FORMULACIÓN

POMCA

RÍO PIEDRAS – RÍO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica



FASE DE DIAGNÓSTICO
DOCUMENTO GENERAL
VOL. I. CARACTERIZACIÓN BÁSICA Y DEL SISTEMA FÍSICOBIÓTICO

MINAMBIENTE

MINHACIENDA

POMCA MAGDALENA AMBIENTAL

CORPAMAG

Fondo Adaptación

TODOS POR UN NUEVO PAÍS

PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO i
LISTA DE FIGURAS xiv
LISTA DE TABLAS xxvii
1. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA CUENCA. 37
1.2. Cartografía Base Y Modelo Digital 38
1.2.1. Cartografía base y temática 38
1.2.2. DEM. 41
1.3. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA 44
1.3.1. Municipios participantes de la cuenca. 44
1.3.2. Centros poblados y áreas urbanas dentro de la cuenca 45
1.3.3. División político administrativa. 47
2. CLIMA 50
2.1. Caracterización De La Red Meteorológica Existente 50
2.2. Tratamiento De Información Climática 53
2.2.1. Tratamiento De Datos 53
2.3. Caracterización Temporal Y Espacial Del Clima En La Cuenca 61
2.3.1. Distribución espacial de la precipitación. 61
2.3.2. Distribución temporal de la precipitación 67
2.3.3. Distribución espacial de la temperatura 68
2.3.4. Distribución temporal de la temperatura en la cuenca. 75
2.3.5. Relación Precipitación-Temperatura: Diagrama Ombrotérmico. 81
2.3.6. Brillo solar 82
2.3.7. Humedad relativa. 86
2.3.8. Evaporación 90
2.3.9. Velocidad del viento 95
2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. 101

2.5. Análisis De Frecuencia No Estacionario De La Precipitación, Variabilidad Climática Y Eventos Extremos. 105
2.5.1. Escenarios de precipitación para eventos extremos considerando períodos de retorno de 2 a 500 años. 105
2.5.2. Determinación y análisis de curvas IDF aplicado a diferentes períodos de retorno y duraciones. 106
2.5.3. Variabilidad climática y eventos ENSO. 117
2.6. Balance Hídrico De Largo Plazo 123
2.6.1. Evapotranspiración. 124
2.6.2. Balance Hídrico A Largo Plazo. 131
2.7. Balances Hidroclimáticos Por Nivel Subsiguiente. 133
2.7.1. Determinación de la retención pluvial (Ret). 133
2.7.2. Determinación de la precipitación infiltrada, P_{in} 133
2.7.3. Balance del suelo 134
2.7.4. Cálculo de la recarga potencial (R_p) 134
2.7.5. Cálculo de las necesidades de riego (NR) 134
2.8. Clasificación Climática De La Cuenca. 135
2.8.1. Zonificación climática de Caldas Lang. 135
2.9. Índice De Aridez 138
2.10. Necesidades De Información Y Conocimiento 140
3. GEOLOGÍA 143
3.1. Metodología 143
3.1.1. Actividades pre-campo 145
3.1.2. Actividades de campo. 149
3.1.3. Actividades post- campo 153
3.2. Marco Geológico Regional 160
3.3. Geología a Escala Media con Fines de Ordenamiento de la Cuenca 161
3.3.1. Estratigrafía 161
3.3.2. Rocas Metamórficas 162

3.3.3. Geología estructural. 177
3.3.4. Sismicidad. 182
3.3.5. Geología económica 185
3.4. Geología para Ingeniería. (Unidades geológicas Superficiales) 187
3.4.1. Objetivos. 188
3.4.2. Metodología. 188
3.4.3. Factores considerados para caracterizar las unidades de roca. 198
3.4.4. Factores considerados para caracterizar las unidades de suelo. 205
3.4.5. Unidades Del Área De Influencia De La Cuenca Del Río Piedras – Manzanares Y Otros Directos Al Caribe 207
3.5. Conclusiones. 218
4. HIDROGEOLOGÍA. 220
4.1. Metodología. 221
4.1.1. Actividades pre-campo. 222
4.1.2. Actividades de campo 222
4.1.3. Resultados 252
4.1.4. Fase de post campo 270
4.2. Identificación y Caracterización de Unidades Geológicas que pueden conformar Sistemas Acuíferos. 294
4.2.1. A. Sedimentos con flujo esencialmente intergranular 294
4.2.2. Acuíferos de Santa Marta Gaira y de los ríos Toribio y Córdoba (A-AlAcLi-Se) 294
4.2.3. Acuíferos de depósitos coluviales (A-CAcLi-Se) 295
4.2.4. Acuíferos de llanura de inundación (A-LlAcLi-Se) 296
4.2.5. Acuífero depósito de playa (A-PlAcLi-Se) 296
4.2.6. C. Sedimentos y rocas, con limitado a ningún recurso de agua subterránea. 297
4.2.7. Acuífugo filitas de Taganga (esquistos de concha) (C-FtAcf) 297
4.2.8. Acuífugo batolito de Santa Marta (C-BsAcf) 297
4.2.9. Acuífugo esquistos de Gaira (C-EgAcf) 297
4.3. Usos Actuales y Potenciales del Recurso Hídrico Subterráneo. 302

4.4. Estimación de la Oferta Hídrica Subterránea y Parámetros Hidráulicos de Acuíferos Confinados. 305
4.4.1. Determinación de la Recarga Potencial 305
4.4.2. Pruebas de Bombeo 309
4.5. Calidad Del Agua Subterránea 334
4.6. Vulnerabilidad De Los Acuíferos A La Contaminación. 340
4.7. Identificación De Zonas Objeto De Protección Y Medidas De Manejo Especial 345
4.8. Piorización de Acuíferos y Zonas de Manejo Especial 347
5. HIDROGRAFÍA 349
5.1. Delimitación De La Cuenca Y Unidades Hidrográficas Subsiguientes 349
5.1.1. Criterios y geoprocesos para la obtención del límite final 349
5.1.2. Zonificación de unidades hidrográficas 352
5.1.3. Identificación de unidades abastecedoras de centros urbanos y centros poblados 358
5.2. Caracterización De La Red De Drenaje 359
5.2.1. Unidades hidrográficas I Nivel subsiguiente 360
5.2.2. Unidades hidrográficas II Nivel Subsiguiente 370
5.3. Caracterización de unidades abastecedoras de centros poblados. 397
5.3.1. Datos morfométricos por subcuencas 397
5.3.2. Jerarquización del drenaje 398
5.3.3. Patrón de alineamiento. 398
5.3.4. Patrón de drenaje. 399
5.3.5. Densidad de drenaje 399
5.3.6. Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales 400
6. MORFOMETRÍA. 403
6.1. Factores Geométricos De Las Unidades Hidrográficas. 403
6.1.1. Parámetros generales de una cuenca hidrográfica. 404
6.1.2. Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca 410
6.1.3. Parámetros de relieve 414
6.1.4. Altura y elevación. 414

6.1.5. Pendiente de la cuenca. 415
6.2. Características De Los Cauces. 417
6.2.1. Longitud de la corriente principal (Lc) 417
6.2.2. Pendiente del cauce principal 418
6.2.3. Perfil longitudinal del cauce principal 419
6.2.4. Orden de los cauces 423
6.2.5. Longitud total de drenajes 426
6.2.6. Densidad de drenaje (corrientes orden 1) 427
6.2.7. Coeficiente de torrencialidad 428
6.2.8. Tiempo de concentración (Tc) 429
6.2.9. Patrones de drenaje 433
6.3. Curva hipsométrica 437
7. PENDIENTES. 442
7.2. Metodología. 443
7.3. Análisis De Pendientes Según Clasificación IGAC. 444
7.4. Análisis De Pendientes Según Clasificación SGC. 446
7.5. Conclusiones. 448
8. HIDROLOGÍA 449
8.1. Descripción Y Evaluación De La Red De Estaciones Hidrológicas En La Cuenca. 449
8.2. Analisis de calidad, validez, consistencia y tendencia de la información. 451
8.3. Inventario De Infraestructuras Hidráulicas Que Afectan La Oferta Hídrica. 463
8.3.1. Condiciones de Abastecimiento 463
8.4. Caracterización Del Régimen Hidrológico. 474
Estimación De La Oferta Hídrica 474
8.4.2. Resultados calibración Río Piedras 478
8.4.3. Resultados calibración Río Manzanares 478
8.4.4. Resultados calibración Río Gaira 480
8.4.5. Cálculo de la oferta de las demás subcuencas. 480
8.4.6. Estimación oferta subcuencas segundo nivel subsiguiente. 481

8.4.7. Caudales característicos y curvas de duración de caudales. 481
8.4.8. Caudales máximos. 487
8.4.9. Caudales mínimos. 492
8.5. Estimación De La Oferta Hídrica 495
8.5.2. Validación de caudales obtenidos con balance hídrico. 497
8.6. Caudales Ambientales. 499
8.7. Estimación De La Demanda Hídrica. 501
8.7.1. Demanda de agua por uso doméstico. 502
8.7.2. Demanda de agua por uso agrícola. 503
8.7.3. Demanda de agua por uso pecuario y avícola. 507
8.7.4. Demanda de agua por uso industrial, comercial y de servicios. 509
8.7.5. Demanda hídrica total. 510
8.8. Índices Hidrológicos. 511
8.8.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH). 511
8.8.2. Índice de Uso del Agua (IUA). 513
8.8.3. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH) 517
8.9. Necesidades De Información Y Conocimiento. 520
9. CALIDAD DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO 521
9.1. Evaluación De Redes De Monitoreo Existentes En La Cuenca 521
9.1.1. Identificación y descripción de redes existentes. 521
9.1.2. Resultados de monitoreo para las redes existentes 525
9.1.3. Evaluación del Índice de Calidad del Agua para las redes de monitoreo existentes 528
9.2. Monitoreo De Cuerpos De Agua Superficial 531
9.2.1. Oxígeno disuelto (OD) 534
9.2.2. Potencial de hidrógeno (pH) 535
9.2.3. Conductividad eléctrica 536
9.2.4. Materia Orgánica (DBO_5 y DQO) 536
9.2.5. Sólidos suspendidos totales 538
9.2.6. Nutrientes 539

9.2.7. Coliformes 541
9.3. Generación De Vertimientos 542
9.3.1. Descripción general de actividades generadoras de vertimiento en la Cuenca 542
9.3.2. Sistemas de manejo de vertimientos municipales 544
9.3.3. Manejo de vertimientos en áreas rurales y centros poblados 544
9.3.4. Manejo de vertimientos por actividades productivas 545
9.3.5. Instrumentos de gestión y control ambiental para vertimientos 548
9.4. Estimación De Cargas Contaminantes 548
9.4.1. Metodología 548
9.4.2. Resultados de carga contaminante por nivel subsiguiente 549
9.5. Manejo De Residuos Sólidos 558
9.5.1. Descripción de Sistemas para el Manejo de los Residuos 558
9.5.2. Planes de Gestión de Residuos Sólidos 559
9.6.3. Índice de Calidad de las Aguas Marinas y Costeras – ICAM 567
9.7. Índice De Alteración Potencial De La Calidad Del Agua -IACAL- 569
9.7.1. Metodología de Cálculo 569
9.7.2. Resultados de IACAL para la Cuenca 572
9.8. Anexos 575
9.8.1. Anexo 01. Datos INVEMAR 575
9.8.2. Anexo 02. Ruta Veredal 575
9.8.3. Anexo 03. Laboratorios 575
9.8.4. Anexo 04. Cálculos 575
9.8.5. Anexo 04. ICA 576
9.8.6. Anexo 05. IACAL 576
10. GEOMORFOLOGÍA 577
10.1. Marco Geológico – Geomorfológico Regional. 577
10.1.1. Secuencia estratigráfica y unidades geológicas 577
10.1.2. Geología estructural regional (pliegues, fallas y lineamientos) 578
10.1.3. Evolución geológica regional 579

10.1.4. Información geomorfológica a escala regional 579
10.2. Metodología para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica. 582
10.2.1. Métodos de obtención de las salidas cartográficas 584
10.2.2. Insumos 585
10.2.3. Descripción de atributos 586
10.3. Caracterización Geomorfológica de la Cuenca. 589
10.3.1. Geomorfoestructura 589
10.3.2. Provincias geomorfológicas 589
10.3.3. Regiones geomorfológicas 589
10.3.4. Unidades y subunidades geomorfológicas 590
10.4. Procesos Morfodinámicos 603
10.4.1. Movimientos en masa 603
10.4.2. Avenidas torrenciales 604
10.4.3. Inundaciones 604
10.4.4. Erosión costera 604
10.5. Conclusiones. 605
11. CAPACIDAD DE USOS DE LAS TIERRAS 611
11.1. Objetivos 611
11.1.1. General. 611
11.1.2. Específicos 612
11.2. Metodologia Para El Análisis De La Capacidad De Usos De Las Tierras 612
11.2.1. Marco conceptual. 612
11.2.2. El problema de la escala 1:25.000 exigida para elaborar el estudio edafológico. 613
11.2.3. Estrategia para obtener el conocimiento requerido por la escala 1:25.000. 613
11.3. Etapas y Actividades 614
11.3.1. Etapa 1: Análisis y evaluación del estudio general de los suelos del departamento de Magdalena, elaborado en el año 2009. 614
11.3.2. Etapa 2: Oferta de Información generada por el POMCA 629

11.3.3. Mosaicos edáficos de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe modificado y complementado con los mapas generados por el POMCA 649
11.3.4. Capacidad de Uso y Manejo de las Tierras 676
11.4. Usos Principales Propuestos 711
11.4.1. Cultivos transitorios intensivos (CTI). 715
11.4.2. Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS) 716
11.4.3. Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) 716
11.4.4. Cultivos permanentes intensivos (CPI) 716
11.4.5. Sistemas agro silvícolas (AGS) 716
11.4.6. Sistemas agro-silvo-pastoriles (ASP) 717
11.4.7. Sistema forestal productor (FPD) 717
11.4.8. Sistemas forestales protectores (FPR) 717
11.4.9. Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza (CRE) 718
11.5. Fotografías 719
12. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 725
12.1. Objetivos 726
12.1.1. Generales 726
12.1.2. Especificos 727
12.2. Metodología. 727
12.2.1. Metodología Corine Land Cover 727
12.2.2. Metodología uso actual del suelo 731
12.2.3. Metodología Análisis Multitemporal 735
12.2.4. Metodología Cálculo Indicadores de Estado 737
12.2.5. Otras consideraciones Metodologicas 740
12.2.6. Sobre el área de trabajo 741
12.3. Etapas Para El Desarrollo Del Componente De Coberturas Y Uso Del Suelo 743
12.3.1. Etapas en la elaboración y verificación del mapa de coberturas de la tierras 743
12.3.2. Etapas en la clasificación de uso actual del suelo. 747
12.3.3. Etapas en la realización del análisis multitemporal de coberturas 748

12.3.4. Cálculo de indicadores 749
12.3.5. Otros aspectos a tener en cuenta 749
12.4. Resultados Proceso Interpretación De Coberturas De La Tierra Y Uso Del Suelo. 749
12.4.1. Resultados del mapa de coberturas 749
12.4.2. Resultados del análisis de uso del suelo 762
12.5. Resultado Del Proceso De Análisis Multitemporal De Coberturas 766
12.6. Resultados De La Determinación De Indicadores De Estado - Tendencia 778
12.6.1. Indicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN) 778
12.6.2. Indice de fragmentación (IF). 781
12.6.3. Indice de vegetación remanente (IVR) 783
12.6.4. Indice de presión demográfica (IPD) 788
12.6.5. Indice de ambiente crítico (IAC) 790
12.7. Conclusiones 792
13. FLORA Y VEGETACIÓN 793
13.1. Generalidades 793
13.2. Objetivos Generales Y Específicos 794
13.2.1. Objetivos Generales 794
13.2.2. Objetivos Específicos 794
13.3. Metodología Para Caracterización De La Flora Y Vegetación 794
13.3.1. Fase metodológica levantamiento de información secundaria 795
13.3.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria 795
13.4. Área De Estudio 799
13.4.1. Río Piedras – Manzanares 799
13.5. Análisis Estructural, Fisionómico Y Composición Florística 801
13.5.1. Información secundaria flora 801
13.5.2. Información Primaria flora 803
13.5.3. Caracterización Vegetación Tierra Firme: Bosques naturales y vegetación secundaria 804
13.5.4. Caracterización de Vegetación de Tierra Firme: Arbustales y herbazales 817
13.6. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial 822

13.7. Conclusiones 822
14. FAUNA 824
14.1. Introducción 824
14.2. Objetivos Generales Y Específicos 824
14.2.1. Objetivos Generales 824
14.2.2. Objetivos Específicos 824
14.3. Metodología Para La Caracterización Faunística 825
14.3.1. Fase metodológica para levantamiento de información secundaria 825
14.3.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria 825
14.3.3. Métodos de observación Directa 826
14.3.4. Métodos de observación indirecta 827
14.3.5. Análisis estadísticos de la información para la Fauna 827
14.4. Composición De La Fauna En La Cuenca 828
14.4.1. Información Secundaria FAUNA 828
14.4.2. Información Primaria FAUNA 831
14.5. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial 846
14.5.1. Mamíferos 846
14.5.2. Aves 848
14.5.3. Reptiles 851
14.5.4. Anfibios 851
14.6. Conclusiones 852
15. ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS 853
15.1. Biomas Y Ecosistemas Presentes En La Cuenca 854
15.1.1. Bioma Bosque seco tropical 854
15.1.2. Bioma Bosque húmedo subandino 855
15.1.3. Bioma Selva húmeda tropical 855
15.1.4. Bioma Matorral seco tropical 855
15.1.5. Bioma Bosque húmedo alto andino 857
15.1.6. Bioma Sabanas tropicales 857

15.1.7. Bioma Bosque de galería tropical 857
15.1.8. Bioma Playas, médanos, dunas tropicales 857
15.1.9. Bioma Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas) 858
15.1.10. Bioma Humedales y zonas lacustres tropicales 858
15.1.11. Bioma Mangle tropical-natales 858
15.2. Áreas Protegidas De Orden Nacional Y Regional Declaradas 858
15.2.1. Sistema de Parques Nacionales Naturales 859
15.2.2. Reserva Forestal Protectora Nacional 864
15.2.3. Reserva Natural de la sociedad civil 864
15.3. Áreas Complementarias Para La Conservación 866
15.3.1. Área de distinción Internacional Reserva de Biosfera Sierra Nevada de Santa Marta 866
15.3.2. Áreas de distinción Internacional AICAS (Área Importante para la Conservación de Aves) 869
15.3.3. Área de Distinción Nacional Zona de Reserva Forestal de la Ley 2 de 1959 871
15.3.4. Áreas Declaradas (Distritos y Municipios) 873
15.3.5. Suelos de protección 876
15.4. Áreas De Importancia Ambiental 877
15.4.1. Bosques 877
15.4.2. Bosque seco 877
15.4.3. Manglares 880
15.4.4. Capacidad de Uso del suelo 880
15.4.5. Rondas hídricas 881
15.4.6. Zonas de recarga 881
15.4.7. Reserva ProAves 882
15.5. Áreas De Reglamentación Especial 883
15.6. Índice De Estado Actual De Coberturas Naturales (IEACN) 883
15.7. Ecosistemas Marinos 888
15.8. Consideraciones Finales 889
BIBLIOGRAFIA. 892
ANEXOS. 909

Carrera 47A Nº 98 – 67/73
Teléfono: (57-1) 645 61 34
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización geográfica de la Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe 37
Figura 1.2. Distribución de planchas escala 1:25.000 para el proyecto 39
Figura 1.3. Estructura de la geodatabase temática del proyecto 40
Figura 1.4. Plantilla utilizada para la publicación de mapa a escala 1:100.000 (plancha única) 41
Figura 1.5. DSM con resolución de 12.5m 43
Figura 1.6. DEM con resolución de 30m 43
Figura 1.7. DEM con resolución de 10m, utilizando interpolador geoestadístico de Kriging 44
Figura 1.8. Porcentaje de participación de los municipios en la cuenca 44
Figura 1.9. Mapa municipal de la Cuenca Rio Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe 45
Figura 1.10. Mapa veredal de la cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe 46
Figura 1.11. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Santa Marta en la cuenca 48
Figura 1.12. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Ciénaga en la cuenca 49
Figura 2.1. Localización espacial de las estaciones de precipitación y clima para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 53
Figura 2.2. Curva de dobles masas, estación Unión La 57
Figura 2.3. Curva de dobles masas estación Tasajera. 58
Figura 2.4. Curva de doble masa, estación San pablo 58
Figura 2.5. Curva de doble masa, estación Esperanza La. 59
Figura 2.6. Curva de doble masa, estación Gavilán. 59
Figura 2.7. Curva de doble masa, estación Carmen 60
Figura 2.8. Curva de doble masa, estación Sara La. 60
Figura 2.9. Isoyetas de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 63
Figura 2.10. Espacialización de a precipitación a nivel mensual. 64
Figura 2.11. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca. 69
Figura 2.12. Isotermas para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe. 71
Figura 2.13. Distribución espacial de la temperatura mes a mes. 72
Figura 2.14. Variación temporal de la temperatura media mensual 76
Figura 2.15. Distribución temporal de la temperatura máxima por estación. 77
Figura 2.16. Distribución temporal de la temperatura máxcima en la cuenca. 78
Figura 2.17. Distribución temporal de la temperatura mínima por estación. 80
Figura 2.18. Distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca. 81
Figura 2.19. Climodiagrama Ombrotérmico de Gaussen. 82
Figura 2.20. Distribución espacial del Brillo Solar medio mensual en la cuenca. 83
Figura 2.21. Distribución espacial del brillo solar en la cuenca. 85
Figura 2.22. Distribución temporal del número de horas de brillo solar mensual multianual. 86
Figura 2.23. Espacialización a nivel mensual de la humedad relativa. 87
Figura 2.24. Distribución espacial anual de la humedad relativa. 89

Figura 2.25. Distribución temporal de la humedad relativa media mensual multianual en la cuenca 90
Figura 2.26. Espacialización de la evaporación de la cuenca a nivel mensual 91
Figura 2.27. Distribución espacial de la evaporación media anual. 94
Figura 2.28. Distribución temporal de la evaporación media mensual multianual en el área de estudio..... 94
Figura 2.29. Espacialización de la velocidad del viento a nivel mensual..... 96
Figura 2.30. Espacialización de la velocidad del viento media anual. 98
Figura 2.31. Distribución temporal de la velocidad media del viento (m/s). 99
Figura 2.32. Rosa de los vientos totales aeronáutica civil – IDEAM..... 100
Figura 2.33. Localización geográfica de las estaciones pluviográficas del proyecto de ECOPETROL. 102
Figura 2.34. Curva IDF, estación 15015050 APTO SIMÓN BOLIVAR. 103
Figura 2.35. Curva IDF, estación 15015020 YE LA. 103
Figura 2.36. Espacialización de valores de intensidad para período de retorno de 100 años, duración 60 min, cuencas de segundo nivel subsiguiente. 116
Figura 2.37. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración de 60 minutos, para las cuencas de segundo nivel subsiguiente. 117
Figura 2.38. Variabilidad climática interanual- ONI 119
Figura 2.39. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niña 121
Figura 2.40. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niño 122
Figura 2.41. Trimestres móviles, serie de datos de precipitación para la estación APTO SIMON BOLIVAR 122
Figura 2.42. Trimestres móviles, serie de datos de temperatura, estación APTO SIMÓN BOLIVAR. 123
Figura 2.43. Distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial de la cuenca según metodología de Penman- Monteith..... 126
Figura 2.44. Distribución espacial de la evapotranspiración real de la cuenca según método de Budyko..... 130
Figura 2.45. Zonificación climática de Caldas – Lang para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 136
Figura 2.46. Índice de aridez para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 139
Figura 3.1. Esquema del proceso de elaboración del Mapa de Geología Básica para el POMCA... 145
Figura 3.2. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:100.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 146
Figura 3.3. Ubicación fisiográfica de la zona de estudio e Índice de Planchas Topográficas ESC 1:100.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe..... 146
Figura 3.4. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC 11, 12,18 y 19. 148
Figura 3.5. Ubicación de las Estaciones registradas durante la Salida a Campo en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 152
Figura 3.6. Salida Cartográfica empleada en el desarrollo de talleres con la comunidad 156

Figura 3.7. Diferentes insumos de apoyo para la interpretación de sensores remotos, partiendo de las imágenes de satélite. 157
Figura 3.8. Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Mapa 04. 158
Figura 3.9. Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de cuencas hidrográficas. 159
Figura 3.10. Localización geológica regional del área de estudio. 161
Figura 3.11. Estación 43. Esquistos de San Lorenzo, unidad inferior, Sector desvío a Pozo Azul. Coordenadas N: 1.722.251 - E: 997.600. 165
Figura 3.12. Tramo estaciones 42- 45. Esquistos de San Lorenzo, unidad superior, vía Minca- Vista Nieves. Coordenadas N: 1.722.396 E: 997.714. 166
Figura 3.13. Explotaciones de mármol en la unidad Mármoles de Ciénaga, Región Río Córdoba. 167
Figura 3.14. Explotaciones de mármol en la unidad Mármoles de Ciénaga, Región Córdoba, vista desde la vía Santa Marta – Ciénaga. 167
Figura 3.15. Detalle de afloramiento de los Esquistos de Gaira, sector vía Santa Marta – Ciénaga, evidencia de estructuras metamórficas. Coordenadas N: 1.708.684 E: 984.700. 169
Figura 3.16. Estación 51. Afloramiento de los Esquistos de Gaira, Avenida Troncal del caribe Santa Marta. N: 1.731.833 E: 987.516. 169
Figura 3.17. Afloramiento de los Esquistos de Concha, Ensenada El Cinto – Parque Tayrona. Coordenadas N: 1.744.591 E: 1.002.105 170
Figura 3.18. Filitas de Taganga, Ensenada Neguanje. Coordenadas N: 1.743.595 E: 998.067. 171
Figura 3.19. Estación 2. Detalle de la textura granular de algunas rocas de la unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá. N: 1732668- E: 991684 173
Figura 3.20. Estación. 30. Fragmento de roca probablemente de la unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Sector Donama. 173
Figura 3.21. Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Vía Santa Marta – Minca. Coordenadas N: 1.726.044 - E: 993.261. 174
Figura 3.22. Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Ensenada El Cabo. Coordenadas N: 1.744.701 E: 1.012.622 174
Figura 3.23. Estación 20. Granitos meteorizados, que conforman un deposito coluvial, sector la revuelta. Coordenadas N: 1.739.087 E: 1.015.192 175
Figura 3.24. Deposito aluvial, Río Gaira, Vereda El Mosquito. Coordenadas N: 1.727.730 E: 988.080. 176
Figura 3.25. Estación 1. Depósito de playa, Sector próximo a la desembocadura del río Manzanares. Coordenadas N: 1.734.363- E: 984.465. 177
Figura 3.26. Estación 52. Depósito de playa, Sector Don Jaca. Coordenadas N: 1.719.092 E: 984.638. 177
Figura 3.27. Expresión morfológica de la complejidad tectónica de la cuenca, en el sector de la Falla Cincinati. N: 1.720.552 E: 998.189. 181
Figura 3.28. La subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. 182
Figura 3.29. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. 184
Figura 3.30. Mapa de geología económica de la cuenca del río piedras-río Manzanares y otros directos al Caribe 187
Figura 3.31. Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería 189

Figura 3.32. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000. 190
Figura 3.33. Salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 para Unidades Geológicas Superficiales 191
Figura 3.34. Salida Cartográfica con estaciones de control de campo para Unidades Geológicas Superficiales 193
Figura 3.35. Insumos de apoyo utilizados para la interpretación de sensores remotos. 195
Figura 3.36. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe 196
Figura 3.37. Perfil de Meteorización Deere-Patton integrado con la clasificación de Dearman 199
Figura 3.38. Factor GSI para macizos rocosos. 203
Figura 3.39. Afloramiento de roca intermedia del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá . 208
Figura 3.40. Afloramiento de roca intermedia de Esquistos de San Lorenzo Inferior 209
Figura 3.41. Afloramiento de roca blanda del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá..... 212
Figura 3.42. Afloramiento de roca blanda de Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas 213
Figura 3.43. Afloramiento de roca blanda de Esquistos de San Lorenzo Inferior 215
Figura 4.1. Esquema de actividades 222
Figura 4.2. Esquema de un arreglo geométrico típico 242
Figura 4.3. Esquema de la tomografía de resistividad eléctrica por el método Wenner 249
Figura 4.4. Resistencias típicas en ohm para distintas rocas, minerales y químicos 250
Figura 4.5. Ubicación espacial de las tomografías realizadas 254
Figura 4.6. Ubicación en Google Earth de la Geotomografía 1 realizada en Cordobita 255
Figura 4.7. Localización de la Línea de Geo tomografía 2 realizada en el Barrio Vista Hermosa ... 255
Figura 4.8. Localización de la Línea de Geo tomografía 3 realizada en el sector del Manantial 255
Figura 4.9. Localización de la Línea de Geo tomografía 4 realizada en el SENA Agropecuario 256
Figura 4.10. Localización de la Línea de Geo tomografía 5 realizada en el sector de Curinca..... 256
Figura 4.11. Localización de la Línea de Geo tomografía 6 realizada en el Polideportivo Jardín ... 257
Figura 4.12. Localización de la Línea de Geotomografía 7 realizada en el barrio Santa Ana..... 258
Figura 4.13. Localización de la Línea de Geotomografía 8 realizada en Sabanas de Bonda 258
Figura 4.14. Ubicación geológica de la tomografía 1 271
Figura 4.15. Tomografía 1, Interpretada 272
Figura 4.16. Ubicación geológica de la Tomografía. 274
Figura 4.17. Tomografía 2 interpretada 275
Figura 4.18. Ubicación geológica de la Tomografía 3..... 277
Figura 4.19. Tomografía 3 interpretada 278
Figura 4.20. Ubicación geológica de la Tomografía. 279
Figura 4.21. Tomografía 4 interpretada 280
Figura 4.22. Ubicación geológica de la Tomografía 5..... 282
Figura 4.23. Tomografía 5 interpretada 284
Figura 4.24. Ubicación geológica de la Tomografía 6..... 285
Figura 4.25. Tomografía 6 interpretada 287
Figura 4.26. Ubicación geológica de la Tomografía 7..... 288
Figura 4.27. Tomografía 7 interpretada 290
Figura 4.28. Ubicación geológica de la Tomografía 8..... 291
Figura 4.29. Tomografía 8 interpretada 292

Figura 4.30. Mapa de Unidades Hidrogeológica 299
Figura 4.31. Leyenda mapa de unidades hidrogeológicas 300
Figura 4.32. Distribución porcentual de los puntos de captación 302
Figura 4.33. Tipo de captación 303
Figura 4.34. Distribución porcentual de usos en pozos profundos 304
Figura 4.35. Distribución porcentual del uso en aljibes 304
Figura 4.36. Curvas patrón de Schosinsky 310
Figura 4.37. Gráfica del periodo de validez de Jacob 311
Figura 4.38. Ubicación geográfica de las pruebas de bombeo 315
Figura 4.39. Formato Prueba de bombeo 321
Figura 4.40. Grafica Prueba 1 322
Figura 4.41. Formato Prueba 2 323
Figura 4.42. Grafica Prueba 2 324
Figura 4.43. Formato Prueba 3 325
Figura 4.44. Grafica Prueba 3 326
Figura 4.45. Formato Prueba 4 327
Figura 4.46. Grafica Prueba 4 328
Figura 4.47. Formato Prueba 5 329
Figura 4.48. Grafica Prueba 5 330
Figura 4.49. Formato Prueba 6 331
Figura 4.50. Gráfica Prueba 6 332
Figura 4.51. Formato Prueba 7 333
Figura 4.52. Gráfica Prueba 7 334
Figura 4.53. Mapa de isoconductividad para el agua subterránea en la Cuenca de los Ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe 335
Figura 4.54. Mapa de isosalinidad para el agua subterránea en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe (expresada como g/L) 336
Figura 4.55. Mapa de isopotencial de hidrógeno (iso-pH) para el agua subterránea en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe 337
Figura 4.56. Rangos de Temperaturas en la cuenca 339
Figura 4.57. Modelo de procesamiento DRASTIC 340
Figura 4.58. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación 344
Figura 4.59. Resultado en formato raster 346
Figura 4.60. Polígonos de recarga reclasificados 347
Figura 4.61. Zonas de priorización y manejo especial 348
Figura 5.1. Localización del POMCA de los ríos Piedras – Manzanares y otros directos al Caribe . 350
Figura 5.2. Localización del POMCA de los ríos Piedras – Manzanares y otros directos al Caribe . 351
Figura 5.3. Codificación subzonas hidrográficas. 353
Figura 5.4. Subzonas hidrográficas Caribe-La Guajira. 354
Figura 5.5. Jerarquía, codificación de unidades hidrológicas. 354
Figura 5.6. Unidades hidrográficas I nivel subsiguiente 355
Figura 5.7. Unidades hidrográficas II nivel subsiguiente. 357
Figura 5.8. Localización de las unidades hidrográficas abastecedoras de segundo nivel subsiguiente. 359

Figura 5.9. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Córdoba 1501-01 360
Figura 5.10. Localización Estrella hídrica cuchilla de San Lorenzo 361
Figura 5.11. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Toribio 1501-02 362
Figura 5.12. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03 363
Figura 5.13. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel, Río Gaira 1501-04 364
Figura 5.14. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel, Río Manzanares 1501-05 366
Figura 5.15. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Quebrada Concha 1501-06 367
Figura 5.16. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07 368
Figura 5.17. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Piedras 1501-08 369
Figura 5.18. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101 370
Figura 5.19. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba 1501-0102 372
Figura 5.20. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada La Sierrita 1501-0103 373
Figura 5.21. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Córdoba-Sector Agualinda 1501-0104 374
Figura 5.22. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md) 1501-0105 375
Figura 5.23. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe 1501-0201 376
Figura 5.24. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Toribio entre Guayabal y Vergel 1501-0202 377
Figura 5.25. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Marinca 1501-0203 378
Figura 5.26. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Guayabo 1501-0204 379
Figura 5.27. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Doctor 1501-0301 380
Figura 5.28. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Don Jaca 1501-0302 380
Figura 5.29. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe 1501-0303 381
Figura 5.30. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi) 1501-0401 383
Figura 5.31. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca 1501-0402 384
Figura 5.32. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) 1501-0403 385

Figura 5.33. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Manzanares en Santa Marta 1501-0501 386
Figura 5.34. Cruce Río Manzanares y Carrera 2, Santa Marta, vista Este-Oeste. 386
Figura 5.35. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Tamacá 1501-0502 387
Figura 5.36. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta 1501-0503 389
Figura 5.37. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Matogiro (Donama) 1501-0504 390
Figura 5.38. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe 1501-0701 391
Figura 5.39. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Cinto y otros directos al Caribe 1501-0702 392
Figura 5.40. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe 1501-0703 393
Figura 5.41. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe 1501-0801 394
Figura 5.42. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Jordán 1501-0802 395
Figura 5.43. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro 1501-0803 396
Figura 5.44. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada La Lisa 1501-0804 397
Figura 6.1. Esquema parámetros morfométricos. 407
Figura 6.2. Unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente 413
Figura 6.3. Relación de perfiles de cauce típicos y sus hidrógrafas. 419
Figura 6.4. Perfil Río Manzanares 420
Figura 6.5. Perfil Quebrada Concha 420
Figura 6.6. Perfil Río Gaira 421
Figura 6.7. Perfil Río Piedras 422
Figura 6.8. Perfil Río Córdoba 422
Figura 6.9. Perfil Río Toribio 423
Figura 6.10. Esquema orden de drenajes. 424
Figura 6.11. Orden de los cauces 425
Figura 6.12. Patrones de drenaje. 435
Figura 6.13. Tipos de curva hipsométrica. 437
Figura 6.14. Curva hipsométrica. Cuenca 1501-08 Río Piedras 438
Figura 6.15. Curva hipsométrica, Cuenca 1501-06 Quebrada Concha 438
Figura 6.16. Curva hipsométrica, cuenca 1501-05 Río Manzanares 439
Figura 6.17. Curva hipsométrica, cuenca 1501-04 Río Gaira 440
Figura 6.18. Curva hipsométrica, cuenca 1501-02 Río Toribio 440
Figura 6.19. Curva hipsométrica, cuenca 1501-01 Río Córdoba 441
Figura 7.1. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno clasificación IGAC, 2016. 445
Figura 7.2. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno clasificación SGC, 2016. 447

Figura 8.1. Localización estaciones hidrométricas 450
Figura 8.2. Series de caudales medios diarios estación BOCAT STA MARTA (15017060). 452
Figura 8.3. Series de caudales medios diarios estación SAN P ALEJANDRINO (15017050). 452
Figura 8.4. Series de caudales medios diarios estación MINCA (15017030). 453
Figura 8.5. Series de caudales medios diarios estación GAIRA (15017010). 454
Figura 8.6. Series de caudales medios diarios estación REVUELTA LA (15017020). 454
Figura 8.7. Diagrama de cajas y bigotes datos estación BOCAT STA MARTA (15017060). 456
Figura 8.8. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación BOCAT STA MARTA (15017060). 456
Figura 8.9. Diagrama de cajas y bigotes datos estación MINCA (15017030). 456
Figura 8.10. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación MINCA (15017030). 457
Figura 8.11. Diagrama de cajas y bigotes datos estación REVUELTA LA (15017020). 458
Figura 8.12. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación REVUELTA LA (15017020). 458
Figura 8.13. Series de datos completados y periodo seleccionado estación BOCAT STA MARTA (15017060). 459
Figura 8.14. Series de datos completados y periodo seleccionado estación MINCA (15017030). . 459
Figura 8.15. Series de datos completados y periodo seleccionado estación REVUELTA LA (15017020). 460
Figura 8.16. Curva de masa datos estación BOCAT STA MARTA (15017060). 461
Figura 8.17. Curva de masa datos estación MINCA (15017030). 461
Figura 8.18. Curva de masa datos estación REVUELTA LA (15017020). 462
Figura 8.19. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación BOCAT STA MARTA (15017060). 462
Figura 8.20. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación MINCA (15017030). 463
Figura 8.21. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación REVUELTA LA (15017020). 463
Figura 8.22. Localización infraestructura que afecta la oferta hídrica 468
Figura 8.23. Puntos de aforo para condiciones seca y normal al interior de la cuenca 469
Figura 8.24. Sección transversal Punto 1 474
Figura 8.25. Diagrama del modelo lluvia-escorrentía GR4J. 475
Figura 8.26. Resultados modelo de transito MDLC para la estación BOCAT STA MARTA [15017060]. 477
Figura 8.27. Resultados modelo de transito MDLC para la estación MINCA [15017030]. 477
Figura 8.28. Resultados calibración modelo GR4J estación REVUELTA LA 15017020. 478
Figura 8.29. Resultados calibración modelo GR4J datos transitados estación BOCAT STA MARTA [15017060]. 479
Figura 8.30. Resultados calibración modelo GR4J datos transitados estación MINCA [15017030]. 480
Figura 8.31. Análisis de frecuencia máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060 488
Figura 8.32. Análisis de frecuencia máximos estación MINCA 15017030 489
Figura 8.33. Análisis de frecuencia máximos estación REVUELTA LA 15017020 491

Figura 8.34. Análisis de frecuencia mínimos estación BOCAT STA MARTA 15017060 492
Figura 8.35. Análisis de frecuencia mínimos estación MINCA 15017030 493
Figura 8.36. Análisis de frecuencia mínimos estación REVUELTA LA 15017020 494
Figura 8.37. Metodología para la determinación de caudal ambiental. 499
Figura 8.38. Demanda hídrica sectorial para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe 511
Figura 8.39. Índice de retención y regulación hídrica para la cuenca. 513
Figura 8.40. Índice de Uso del agua en condiciones hidrológicas normales 516
Figura 8.41. Índice de Uso del agua Seco 517
Figura 8.42. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica normal 519
Figura 8.43. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica Seco 520
Figura 9.1. Estaciones de monitoreo de INVEMAR con registros existentes 522
Figura 9.2. Estaciones REDCAM de INVEMAR activas para monitoreo de la calidad del agua 525
Figura 9.3. Distribución espacial de temperatura en estaciones REDCAM (2001-2013) 526
Figura 9.4. Distribución espacial de salinidad para estaciones REDCAM (2001 – 2013) 527
Figura 9.5. Distribución espacial de SST para estaciones REDCAM (2001 – 2013) 527
Figura 9.6. Distribución espacial de nitrógeno amoniacal en estaciones REDCAM (2012-2013) ... 528
Figura 9.7. Distribución espacial de fósforo reactivo soluble para estaciones REDCAM (2012-2013) 528
Figura 9.8. ICA para condiciones secas en estaciones continentales de monitoreo de calidad del agua - INVEMAR 529
Figura 9.9. ICA para condiciones de lluvia en estaciones continentales de monitoreo de calidad de agua - INVEMAR 530
Figura 9.10. Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca 532
Figura 9.11. Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto para la Cuenca 535
Figura 9.12. Resultados de monitoreo de pH para la Cuenca 535
Figura 9.13. Resultados de monitoreo de Conductividad eléctrica para la Cuenca 536
Figura 9.14. Resultados de monitoreo de Demanda Química de Oxígeno para la Cuenca 537
Figura 9.15. Resultados de monitoreo de Demanda bioquímica de oxígeno para la Cuenca 538
Figura 9.16. Resultados de monitoreo de SST para la Cuenca 539
Figura 9.17. Resultados de monitoreo de Nitrógeno Total para la Cuenca 540
Figura 9.18. Resultados de monitoreo de Fósforo Total para la Cuenca 540
Figura 9.19. Resultados de monitoreo de Coliformes fecales para la Cuenca 541
Figura 9.20. Resultados de monitoreo de Coliformes Totales para la Cuenca 541
Figura 9.21. Ubicación de puntos de vertimiento significativos en la Cuenca 547
Figura 9.22. Resultados de Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones normales. 563
Figura 9.23. Resultados del Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones secas 565
Figura 9.24. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento del Magdalena evaluadas con el $ICAM_{PFF}$ en las épocas (a) lluviosa 2014 y (b) seca 2015 568
Figura 9.25. Metodología para el Cálculo del IACAL 570
Figura 9.26. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones normales 573
Figura 9.27. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones secas 574
Figura 10.1. Fases metodológicas para la caracterización geomorfológica 583
Figura 10.2. Procedimiento para la generación de cartografía geomorfológica 585

Figura 10.3. Patrones de drenaje 587
Figura 10.4. Geomorfoestructura de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe 590
Figura 10.5. Vertientes en escarpes estructurales 592
Figura 10.6. Laderas de lomas estructurales 592
Figura 10.7. Laderas de lomas denudacionales 594
Figura 10.8. Ladera de cerro residual 595
Figura 10.9. Vista de la parte medial del abanco aluvial 597
Figura 10.10. Cultivo de maíz en la terraza aluvial del río Piedras 599
Figura 10.11. Cauce del río Piedras 600
Figura 10.12. Terraza fluvio marina 603
Figura 10.13. Derrumbe 604
Figura 11.1. Unidades de suelos ubicadas dentro de la cuenca del río Piedras Manzanares 616
Figura 11.2. Figura del mapa de pendientes de la cuenca. 630
Figura 11.3. Figura del mapa geológico de la cuenca 631
Figura 11.4. Figura del mapa de erosión de la cuenca 632
Figura 11.5. Figura del mapa climático de la cuenca 633
Figura 11.6. Factores considerados en la identificación de las formas del terreno 637
Figura 11.7. Leyenda de Geomorfología (Metodología Alfred Zinck) 639
Figura 11.8. Geoestructuras para la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares. 641
Figura 11.9. Perfil esquemático con laderas estructurales y denudacionales 642
Figura 11.10. Perfil esquemático de ambientes estructurales. 643
Figura 11.11. Localización de los diferentes paisajes en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares. 644
Figura 11.12. Distribución porcentual de los paisajes en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares 645
Figura 11.13. Distribución de los tipos de relieve encontrados en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares. 648
Figura 11.14. Unidades geomorfológicas cuenca del río Piedras Manzanares 649
Figura 11.15. Figura del mosaico edáfico de la cuenca 651
Figura 11.16. Leyenda Geomorfopedológica 661
Figura 11.17. Distribución porcentual de las clases de tierras por su capacidad de uso en la cuenca 680
Figura 11.18. Clases agrologicas que ocurren en la cuenca 681
Figura 11.19. Leyenda Capacidad de Uso de las Tierras 682
Figura 11.20. Distribución de las tierras de la clase 3 en la cuenca 686
Figura 11.21. Distribución de las tierras de la clase 4 en la cuenca 688
Figura 11.22. Distribución de las tierras de la clase 6 en la cuenca 695
Figura 11.23. Distribución de las tierras de la clase 7 en la cuenca 702
Figura 11.24. Distribución de las tierras de la clase 8 en la cuenca 708
Figura 11.25. Distribución porcentual de los usos principales propuestos en la cuenca del río Piedras Manzanares 711
Figura 11.26. Leyenda Usos Propuestos 712
Figura 11.27. Mapa Usos principales propuestos cuenca río Piedras Manzanares 715

Figura 11.28. Perfil representativo de la unidad geomorfopedológica PM4 719
Figura 11.29. Perfil representativo de la unidad geomorfopedológica PM16 720
Figura 11.30. Tierras de la subclase 7ps 721
Figura 11.31. Tierras de la subclase 6es 722
Figura 11.32. Tierras de la subclase 6ec 723
Figura 11.33. Tierras de la subclase 8p 724
Figura 12.1. Proceso para la identificación de coberturas mediante la aplicación del método PIAO y la metodología CLC. 729
Figura 12.2. Indicadores de estado para el componente de cobertura y uso actual del suelo establecidos por el POMCA. 737
Figura 12.3. Proceso cálculo TCCN. 738
Figura 12.4. Proceso cálculo IF. 738
Figura 12.5. Proceso cálculo IVR. 739
Figura 12.6. Proceso cálculo IPD. 739
Figura 12.7. Proceso cálculo IAC. 740
Figura 12.8. Área de trabajo Cuenca: Río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 741
Figura 12.9. Porcentaje de área ocupada por cada bioma dentro de la cuenca. 742
Figura 12.10. Proceso para la obtención del mapa de coberturas de la tierra CLC. 743
Figura 12.11. Imágenes Rapideye del área de trabajo. 745
Figura 12.12. Montaje información para campo. 746
Figura 12.13. Proceso para la realización del análisis multitemporal de coberturas. 748
Figura 12.14. Número de coberturas por tipo. 750
Figura 12.15. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca - Líneas 753
Figura 12.16. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura antrópica con relación al área total de la cuenca 755
Figura 12.17. Porcentaje de área ocupado por cada tipo de cobertura antrópica con relación al área total antropizada. 756
Figura 12.18. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total de la cuenca 757
Figura 12.19. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total natural. 758
Figura 12.20. Estado de las coberturas en la cuenca. 759
Figura 12.21. Porcentaje área cobertura por grandes grupos en la cuenca. 760
Figura 12.22. Interpretación del tejido urbano continuo 112 (ciudad de Santa Marta) en imagen Rapideye2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271_173606, con combinación de bandas 5-4-3. 760
Figura 12.23. Pastos limpios (municipio de Santa Marta) en imagen Rapideye2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271_173606con combinación de bandas 5-4-3. 761
Figura 12.24. Bosque denso bajo de tierra firme (distribuido por toda la parte oriental de la cuenca) en imagen Rapideye2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606con combinación de bandas 5-4-3 762
Figura 12.25. Cobertura de palma de aceite en imagen Rapideye2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606, con combinación de bandas 5-4-3. 762
Figura 12.26. Porcentaje área por grupos de uso en la cuenca 763

Figura 12.27. Uso actual del suelo en la cuenca. 764
Figura 12.28. Porcentaje área usoactual en la cuenca. 765
Figura 12.29. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca. 766
Figura 12.30. Multitemporal cuenca Piedras. 767
Figura 12.31. Estado coberturas primer período 768
Figura 12.32. Estado coberturas segundo período 768
Figura 12.33. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012 770
Figura 12.34. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012. 771
Figura 12.35. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012 772
Figura 12.36. Coberturas que fueron convertidas a cultivos para el año 2012. 773
Figura 12.37. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012. 774
Figura 12.38. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012. 775
Figura 12.39. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012. 776
Figura 12.40. Coberturas que pasaron a actividad minera en 2012. 777
Figura 12.41. Coberturas que fueron urbanizadas en el 2012. 778
Figura 12.42. Porcentaje TCCN coberturas naturales. 779
Figura 12.43. Mapa TCCN 780
Figura 12.44. Mapa índice de fragmentación 781
Figura 12.45. Porcentaje área categorías IF cuenca 782
Figura 12.46. Porcentaje área biomas prístinos cuenca. 783
Figura 12.47. Mapa Biomas prístinos cuenca 784
Figura 12.48. Sostenibilidad de la cuenca. 786
Figura 12.49. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca. 786
Figura 12.50. Mapa Índice de vegetación remanente 787
Figura 12.51. Porcentaje rango IPD en cuenca 788
Figura 12.52. Mapa Índice de presión demográfica 789
Figura 12.53. Porcentaje área por categoría IAC 790
Figura 12.54. Mapa Índice de ambiente crítico 791
Figura 13.1. Localización de Cuenca Río Piedras - Manzanares 793
Figura 13.2. Distribución espacial de parcelas de vegetación 797
Figura 13.3. Bosque fragmentado con pastos y cultivos 804
Figura 13.4. Bosque fragmentado con vegetación secundaria 806
Figura 13.5. Bosque ripario, alrededores de quebradas 808
Figura 13.6. Bosque denso alto de tierra firme 810
Figura 13.7. Bosque denso bajo de tierra firme 811
Figura 13.8. Bosque abierto bajo de tierra firme 813
Figura 13.9. Vegetación secundaria alta 815
Figura 13.10. Vegetación secundaria baja 816
Figura 13.11. Arbustal denso 817
Figura 13.12. Arbustal abierto esclerófilo 818
Figura 13.13. Herbazal denso de tierra firme no arbolado 820
Figura 13.14. Herbazal denso de tierra firme con arbustos 821
Figura 14.1. Análisis de correspondencia Linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de mamíferos 834

Figura 14.2. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de aves 839
Figura 14.3. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de reptiles 843
Figura 14.4. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de anfibios..... 846
Figura 15.1. Biomas presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe 856
Figura 15.2. Áreas protegidas presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe..... 862
Figura 15.3. Áreas complementarias para la conservación presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe..... 868
Figura 15.4. Áreas de importancia ambiental presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe 879
Figura 15.5. Gráfico de resultados IEACN para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe..... 886
Figura 15.6. Mapa IEACN para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe 887
Figura 15.7. Áreas de ecosistemas estratégicos presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe..... 891

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.2. Municipios de Magdalena en la cuenca 44
Tabla 1.3. Áreas urbanas, veredas y centros poblados dentro de la cuenca 46
Tabla 1.4. Porcentaje de participación de las veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Santa Marta. 47
Tabla 1.5. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Ciénaga en la cuenca 49
Tabla 2.1. Estaciones pluviométricas, pluviográficas y Sinópticas utilizadas en el presente estudio para el análisis de la precipitación. 50
Tabla 2.2. Estaciones climatológicas utilizadas en el presente estudio. 52
Tabla 2.3. Relación de estaciones seleccionadas para el llenado de datos a nivel diario. 55
Tabla 2.4. Variación temporal de la precipitación media mensual para la caracterización climática de la cuenca. 67
Tabla 2.5. Variación temporal promedio de la precipitación media mensual para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 67
Tabla 2.1. Gradientes altitudinales de temperatura media mensual y anual para la cuenca 69
Tabla 2.2. Valores medios mensuales multianuales de temperatura (°C) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca 75
Tabla 2.1. Valores máximos de temperatura 76
Tabla 2.2. Valores mínimos de temperatura. 79
Tabla 2.3. Variación temporal del brillo solar a nivel mensual. 82
Tabla 2.4. Valores medios mensuales multianuales de humedad relativa en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca 86
Tabla 2.5. Valores totales mensuales multianuales de evaporación (mm) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca. 91
Tabla 2.6. Distribución mensual de la velocidad del viento (m/s). 95
Tabla 2.7. Estaciones curvas IDF- ECOPETROL. 102
Tabla 2.8. Coeficientes para la determinación de IDF para cada una de las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 104
Tabla 2.9. Intensidad de la lluvia en [mm/h] (1 mm/h=1 (L/s)/m^2=0,28·10^{-6} m/s). 107
Tabla 2.10. Resultados ajuste IDF. Cuenca 150101. 108
Tabla 2.11. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-02 108
Tabla 2.12. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-03 108
Tabla 2.13. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-04 108
Tabla 2.14. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-05 108
Tabla 2.15. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-06 109
Tabla 2.16. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-07 109
Tabla 2.17. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0101 109
Tabla 2.18. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0102 109
Tabla 2.19. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0103 109
Tabla 2.20. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0104 110
Tabla 2.21. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0105 110

Tabla 2.22. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0201 110
Tabla 2.23. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0202 110
Tabla 2.24. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0203 111
Tabla 2.25. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0204 111
Tabla 2.26. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0301 111
Tabla 2.27. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0302 112
Tabla 2.28. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0303 112
Tabla 2.29. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0401 112
Tabla 2.30. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0402 112
Tabla 2.31. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0403 113
Tabla 2.32. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0501 113
Tabla 2.33. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0502 113
Tabla 2.34. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0503 113
Tabla 2.35. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0504 114
Tabla 2.36. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0600 114
Tabla 2.37. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0701 114
Tabla 2.38. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0702 114
Tabla 2.39. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0703 115
Tabla 2.40. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0801 115
Tabla 2.41. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0802 115
Tabla 2.42. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0803 115
Tabla 2.43. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0804 116
Tabla 2.44. Recopilación de series históricas ONI. 120
Tabla 2.45. Evapotranspiraciones potenciales medias anuales por subcuenca. 128
Tabla 2.46. Valores medios anuales de Evapotranspiración real para las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 130
Tabla 2.47. Balance hídrico a largo plazo para las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. 131
Tabla 2.48. Clasificación climática según el factor de Lang. 136
Tabla 2.49. Área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas de Caldas Lang. 138
Tabla 2.1. Categorías de Índice de aridez. Fuente: (MinAmbiente, 2014) 139
Tabla 3.1. Prioridad de las transectas definidas para el control de campo a parir de los problemas encontrados. 148
Tabla 3.2. Algunos recorridos desarrollados en campo. 149
Tabla 3.3. Fragmento ilustrativo del Anexo 1 del componente de geología que contiene la información levantada en Campo. 151
Tabla 3.4. Unificación de los símbolos de nomenclatura y actualización de las Unidades geológicas presentes en la Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, de acuerdo con la nomenclatura empleada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, 2015. 155
Tabla 3.5. Tipos de Rocas y Edad de las unidades geológicas presentes en la Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. 162
Tabla 3.6. Valores Aceleración sismica cm/s^2. 185
Tabla 3.7. Relacion de los materiales de interes economico en el área de estudio. 185

Tabla 3.8. Información extraída de los puntos de muestreo establecidos para caracterización agrológica integrado con la información de campo obtenida para la clasificación de Unidades Geológicas Superficiales. 197
Tabla 3.9. Condición de fracturamiento de las rocas. 200
Tabla 3.10. Descripción del tamaño del bloque en función del número de discontinuidades. 200
Tabla 3.11. Calidad del macizo rocoso según el índice de fracturamiento. 201
Tabla 3.12. Rangos de RQD para clasificar la calidad del macizo rocoso. 201
Tabla 3.13. Índices de campo la determinación de la resistencia a la compresión simple. 202
Tabla 3.14. Sistema de calificación del RMR para determinar la calidad de macizos rocosos de Bieniawski (1989). 204
Tabla 3.15. Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas. 204
Tabla 3.16. Valores generales para Porosidad Total y Porosidad Eficaz 205
Tabla 3.17. Descripción de la textura de suelos – tamaño 205
Tabla 3.18. Terminología para describir la consistencia de un suelo arcillosos 206
Tabla 3.19. Terminología para describir la densidad relativa de los suelos arenosos 206
Tabla 3.20. Terminología para describir la humedad en el campo 206
Tabla 3.21. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple de suelos cohesivos. 206
Tabla 4.1. Marco conceptual 221
Tabla 4.2. Localización y titular del pozo 223
Tabla 4.3. Material, geometría y usos 225
Tabla 4.4. Nivel piezométrico parámetro físico químicos y equipo de bombeo 228
Tabla 4.5. Localización y titular del aljibe 230
Tabla 4.6. Material, Geometría y usos 232
Tabla 4.7. Nivel Piezométrico, parámetros físicos y químicos, equipo de bombeo 233
Tabla 4.8. Registro fotográfico del inventario de pozos realizado en campo 234
Tabla 4.9. Tipos de arreglos 246
Tabla 4.10. Coordenadas de las Geotomografías 252
Tabla 4.11. Resumen de los modelos de tomografía tomados en campo 259
Tabla 4.12. Puntos de captación 302
Tabla 4.13. Tipo de captación 303
Tabla 4.14. Distribución porcentual del uso en pozos profundos 303
Tabla 4.15. Distribución porcentual del uso en aljibes 304
Tabla 4.16. Resumen de recargas por sub cuencas 307
Tabla 4.17. Permeabilidad por tipo de material. 313
Tabla 4.18. Ubicación de las pruebas de bombeo realizadas. 314
Tabla 4.19. Registro fotográfico 316
Tabla 4.20. Resultados Prueba 1 321
Tabla 4.21. Resultados Prueba 2 322
Tabla 4.22. Resultados Prueba 3 324
Tabla 4.23. Resultados Prueba 4 326
Tabla 4.24. Resultados Prueba 5 328
Tabla 4.25. Resultados Prueba 6 330
Tabla 4.26. Resultados Prueba 7 332

Tabla 4.27. Intervalos de recarga para la cuenca 345
Tabla 5.1. Código áreas hidrográficas. 353
Tabla 5.2. Código zonas hidrográficas. 353
Tabla 5.3. Codificación cuencas de primer y segundo nivel subsiguiente 355
Tabla 5.4. Unidades hidrográficas abastecedoras de segundo nivel subsiguiente. 358
Tabla 5.5. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba 1501-01 .. 361
Tabla 5.6. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio 1501-02 362
Tabla 5.7. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03 364
Tabla 5.8. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira 1501-04..... 365
Tabla 5.9. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares 1501-05 366
Tabla 5.10. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Concha 1501-06 367
Tabla 5.11. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07 368
Tabla 5.12. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras 1501-08 .. 370
Tabla 5.13. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101 371
Tabla 5.14. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba 1501-0102 372
Tabla 5.15. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada La Sierrita 1501-0103 373
Tabla 5.16. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba-Sector Agualinda 1501-0104 374
Tabla 5.17. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md) 1501-0105 375
Tabla 5.18. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe 1501-0201 376
Tabla 5.19. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio entre Guayabal y Vergel 1501-0202 377
Tabla 5.20. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Marinca 1501-0203 378
Tabla 5.21. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Guayabo 1501-0204 379
Tabla 5.22. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Doctor 1501-0301 379
Tabla 5.23. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Don Jaca 1501-0302 381
Tabla 5.24. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe 1501-0303 382
Tabla 5.25. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi) 1501-0401 382

Tabla 5.26. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca 1501-0402 384
Tabla 5.27. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) 1501-0403 385
Tabla 5.28. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares en Santa Marta 1501-0501 387
Tabla 5.29. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Tamacá 1501-0502..... 388
Tabla 5.30. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta 1501-0503..... 389
Tabla 5.31. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Matogiro (Donama) 1501-0504 390
Tabla 5.32. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe 1501-0701 391
Tabla 5.33. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Cinto y otros directos al Caribe 1501-0702 392
Tabla 5.34. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe 1501-0703..... 392
Tabla 5.35. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe 1501-0801..... 394
Tabla 5.36. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Jordán 1501-0802..... 395
Tabla 5.37. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro 1501-0803 396
Tabla 5.38. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada La Lisa 1501-0804..... 397
Tabla 5.39. Datos morfométricos 398
Tabla 5.40. Orden de drenaje 398
Tabla 5.41. Análisis de Patrón de alineamiento..... 399
Tabla 5.42. Análisis de Patrón de drenaje 399
Tabla 5.43. Densidad de drenaje para cada unidad hidrográfica abastecedoras de segundo nivel subsiguiente 399
Tabla 5.44. Análisis de Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales..... 400
Tabla 5.45. Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales para cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente..... 400
Tabla 6.1. Clasificación de cuencas respecto a su área 404
Tabla 6.2. Áreas y clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 405
Tabla 6.3. Perímetro de las unidades de segundo nivel subsiguiente..... 406
Tabla 6.4. Longitud axial para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 407
Tabla 6.5. Ancho para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 408
Tabla 6.6. Desnivel altitudinal de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 409
Tabla 6.7. Formas de la cuenca relativas a *Kc*..... 410
Tabla 6.8. Implicaciones del Índice de Gravelius 411

Tabla 6.9. Coeficiente de compacidad y su clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 411
Tabla 6.10. Formas de la cuenca relativas a Kf 412
Tabla 6.11. Factor de forma y su clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 414
Tabla 6.12. Altura y elevación para las unidades de segundo nivel Subsiguiente 415
Tabla 6.13. Clasificación por rangos de pendiente 416
Tabla 6.14. Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente 416
Tabla 6.15. Longitud del cauce principal para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente. 417
Tabla 6.16. Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente 418
Tabla 6.17. Relación de orden y número de drenajes 424
Tabla 6.18. Densidad de drenajes para las unidades de segundo nivel subsiguiente. 426
Tabla 6.19. Categoría relativas a la densidad de drenaje 427
Tabla 6.20. Densidad para las unidades de segundo nivel subsiguiente. 427
Tabla 6.21. Coeficiente de torrencialidad para las unidades de segundo nivel subsiguiente. 429
Tabla 6.22. Cálculos por metodologías del tiempo de concentración para las unidades de segundo nivel subsiguiente 433
Tabla 6.23. Patrón de Drenaje para las unidades de segundo nivel subsiguiente. 436
Tabla 7.1. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el IGAC para clasificar las pendientes del terreno. 442
Tabla 7.2. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno. 443
Tabla 7.3. Resultados de las clases por pendiente IGAC y su correspondiente área en hectáreas y porcentaje. 444
Tabla 7.4. Clases e intervalos en porcentaje y grados con sus respectivas áreas, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno. 446
Tabla 8.1. Estaciones hidrométricas 450
Tabla 8.2. Estaciones hidrométricas utilizadas para la caracterización de la oferta hídrica 451
Tabla 8.3. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Ciénaga 464
Tabla 8.4. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Santa Marta 464
Tabla 8.5. Descripción de concesiones de agua en la cuenca 467
Tabla 8.6. Recopilación resultados de aforos en puntos de muestreo. Condiciones secas. 469
Tabla 8.7. Recopilación resultados de aforos en puntos de muestreo. Condiciones normales 472
Tabla 8.1. Rango de valores de los parámetros del modelo GR4J. 476
Tabla 8.2. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Piedras. 478
Tabla 8.3. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Manzanares. 479
Tabla 8.4. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Gaira. 480
Tabla 8.5. Caudales característicos para año normal (m^3/s) 482
Tabla 8.6. Caudales característicos para año seco (m^3/s) 483
Tabla 8.7. Caudales característicos para año Húmedo (m^3/s) 484
Tabla 8.8. Caudales característicos máximos, medio y mínimos (m^3/año) 486
Tabla 8.9. Caudales máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060 488

Tabla 8.10. Caudales máximos estación MINCA 15017030 cuenca 1501-0402 490
Tabla 8.11. Caudales máximos estación REVUELTA LA 15017020..... 491
Tabla 8.12. Caudales máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060 493
Tabla 8.13. Caudales máximos estación MINCA 15017030..... 494
Tabla 8.14. Caudales máximos estación REVUELTA LA 15017020..... 495
Tabla 8.15. Oferta hídrica anual (m^3/s)..... 495
Tabla 8.16. Validación de los caudales obtenido en el régimen hidrológico de la cuenca. 497
Tabla 8.17. Caudales ambientales (m^3/s) 500
Tabla 8.18. Nivel de complejidad..... 502
Tabla 8.19. Dotación neta máxima 502
Tabla 8.20. Demanda doméstica 503
Tabla 8.21. Área por cultivo..... 504
Tabla 8.22. Variables por cultivo. 506
Tabla 8.23. Demanda de agua uso agrícola (m^3/año)..... 506
Tabla 8.24. Cabezas por nivel subsiguiente y consumo por cabeza 508
Tabla 8.25. Demanda uso agrícola (m^3/año) 508
Tabla 8.26. Demanda de agua sector Industrial, comercial e institucional. (m^3/año) 509
Tabla 8.27. Demanda de agua total año normal y año seco (m^3/año)..... 510
Tabla 8.28. Calificación del indicador 512
Tabla 8.29. Índice de retención y regulación hídrica 512
Tabla 8.30. Rangos del Índice de Uso del agua según IDEAM, ... 514
Tabla 8.31. Índice de Uso del agua 515
Tabla 8.32. . Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico según la metodología del ENA-2014..... 517
Tabla 8.33. Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico por Unidad hidrográfica de II nivel subsiguiente. 518
Tabla 9.1. Listado de estaciones INVEMAR con registros de monitoreo..... 523
Tabla 9.2. Estaciones de INVEMAR activas para monitoreo de calidad del agua..... 524
Tabla 9.3. Descripción de las estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca 533
Tabla 9.4. Resultados de monitoreo en condiciones secas 533
Tabla 9.5. Resultados de monitoreo en condiciones normales..... 534
Tabla 9.6. Clasificación de vertimientos en la Cuenca..... 542
Tabla 9.7. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas rurales 544
Tabla 9.8. Descripción de permisos de vertimientos otorgados en la Cuenca. 545
Tabla 9.9. Puntos críticos de vertimiento al interior de la Cuenca..... 547
Tabla 9.10. Resultados de carga contaminante de origen doméstico..... 550
Tabla 9.11. Cargas contaminantes de origen agrícola 551
Tabla 9.12. Cargas contaminantes de origen pecuario..... 553
Tabla 9.13. Cargas contaminantes de origen turístico 555
Tabla 9.14. Cargas contaminantes estimadas por nivel subsiguiente para la Cuenca 556
Tabla 9.15. Intensidad de la carga contaminante por nivel subsiguiente para la Cuenca 557
Tabla 9.16. Presiones por carga contaminante en cada nivel subsiguiente para la Cuenca 558
Tabla 9.17. Objetivos y Estrategias del PGIRS para el Distrito de Santa Marta 560

Tabla 9.18. Variables involucradas en el cálculo del ICA 562
Tabla 9.19. Categorías de descripción del ICA 562
Tabla 9.20. Escala de valoración del ICAM 567
Tabla 9.21. Rangos para la clasificación de presión de carga contaminante 571
Tabla 9.22. Formatos anexos de Ruta Veredal 575
Tabla 10.1. Relación de imágenes PALSAR 586
Tabla 10.2. Información utilizada para el análisis geomorfológico 586
Tabla 10.3. Rangos de relieve relativo 587
Tabla 10.4. Rangos de inclinación de la ladera 588
Tabla 10.5. Rangos de longitud de la ladera 588
Tabla 10.6. Forma de la ladera 588
Tabla 10.7. Síntesis explicativa para unidades y subunidades geomorfológicas 607
Tabla 11.1. Distribución climática en la Cuenca del Río Piedras – Manzanares Departamento del Magdalena 617
Tabla 11.2. Diversidad geomorfológica en la Cuenca del Río Piedras – Manzanares 618
Tabla 11.3. Materiales geológicos (Litología / sedimentos) a partir de los cuales se formaron los suelos en la cuenca 620
Tabla 11.4. Relación entre saturación de bases (alta y baja), material parental, drenaje y clima (húmedo y seco) de los suelos de la cuenca 620
Tabla 11.5. Los suelos de la cuenca en la Pirámide Taxonómica 622
Tabla 11.6. Suelos afectados por erosión, pedregosidad, inundabilidad, salinidad y/o sodicidad 624
Tabla 11.7. Clases de suelos por grado de acidez y nivel de fertilidad en la cuenca 625
Tabla 11.8. Vacíos de conocimiento, dudas y/o ambigüedades en la identificación de los ambientes edafogenéticos y la conformación de UCS en el marco del estudio general consultado 627
Tabla 11.9. Sistema taxonómico de las geoformas. Modificado de Zinck, 2012. 636
Tabla 11.10. Relación de imágenes PALSAR 637
Tabla 11.11. Información utilizada para el análisis geomorfológico 638
Tabla 11.12. Cronograma de actividades definido para la ruta de la tierra 652
Tabla 11.13. Estrategias para llenar vacíos de conocimiento mejorar la definición de los ambientes edafogenéticos y precisar y/o discriminar las fases cartográficas de acuerdo a las exigencias de la escala 1:25.000 (PLAN DE TRABAJO) 653
Tabla 11.14. Actividades realizadas para complementar el conocimiento del componente suelos de la cuenca río Piedras, río Manzanares en el marco de la elaboración del mapa de capacidad de uso de las tierras escala 1:25 000 657
Tabla 11.15. Número de observaciones realizadas en la cuenca. 659
Tabla 11.16. Unidades Geomorfopedológicas con sus respectivos perfiles de suelos 659
Tabla 11.17. Limitaciones e impacto sobre la capacidad de uso 678
Tabla 11.18. Clases agrológicas identificadas y su distribución (Has) en los municipios que participan en La cuenca. 685
Tabla 12.1. Características de las imágenes del sensor Rapideye. 730
Tabla 12.2. Usos del suelo por cobertura CLC dentro de la cuenca. 732
Tabla 12.3. Indicadores de cambio de coberturas considerados en el análisis multitemporal. 736
Tabla 12.4. Biomas presentes en el área de la Cuenca 742
Tabla 12.5. Imágenes utilizadas. 744

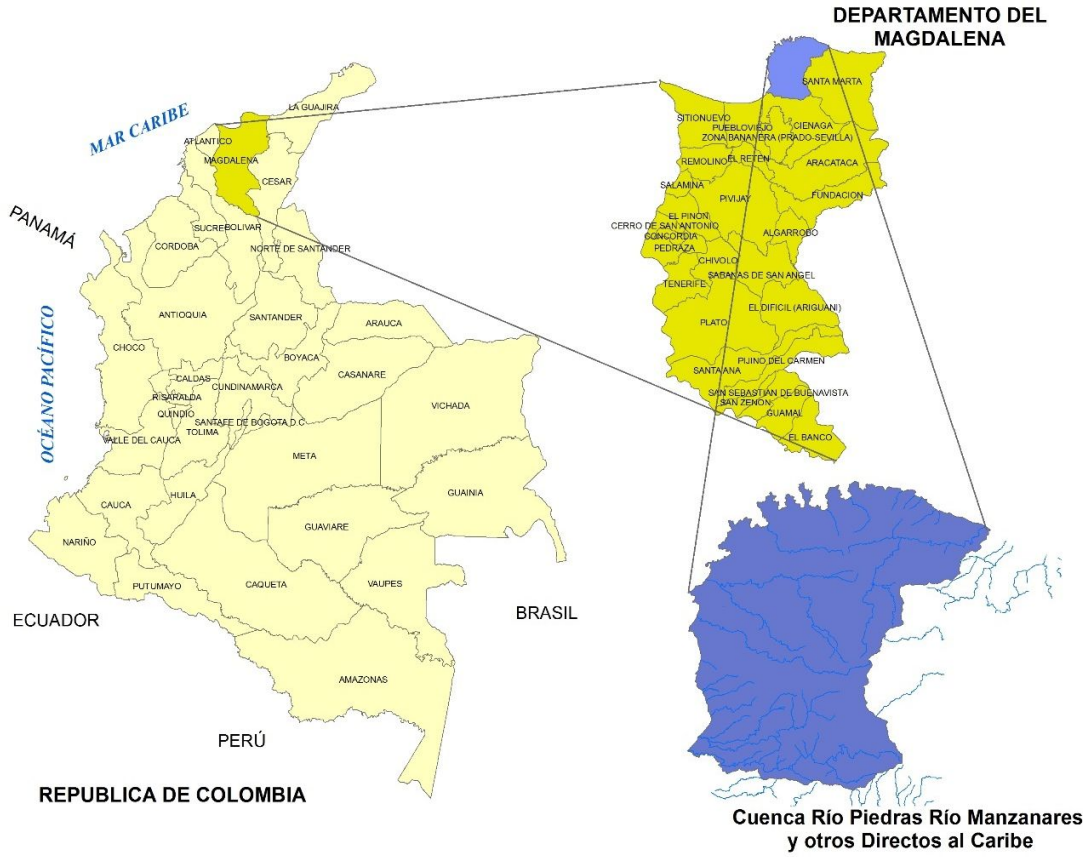
Tabla 12.6. Número de coberturas por tipo. 750
Tabla 12.7. Coberturas presentes en la cuenca. 751
Tabla 12.8. Área Coberturas antrópicas con relación al área total de la cuenca. 755
Tabla 12.9. Área coberturas antrópicas con relación al área total antropizada. 756
Tabla 12.10. Área coberturas naturales con relación al área total de la cuenca. 757
Tabla 12.11. Área coberturas naturales con relación al área total en coberturas naturales 758
Tabla 12.12. Estado de las coberturas en la cuenca. 759
Tabla 12.13. Área de cobertura por grandes grupos en la cuenca. 759
Tabla 12.14. Áreas por grupo de uso en la cuenca. 763
Tabla 12.15. Áreas por uso actual en la cuenca 765
Tabla 12.16. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca 766
Tabla 12.17. . Estado coberturas primer período 768
Tabla 12.18. Estado coberturas segundo período 768
Tabla 12.19. Tabla de los cambios identificados en el análisis multitemporal 769
Tabla 12.20. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012. 770
Tabla 12.21. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012. 771
Tabla 12.22. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012. 772
Tabla 12.23. Coberturas que fueron transformadas a cultivos para el año 2012. 772
Tabla 12.24. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012. 773
Tabla 12.25. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012. 774
Tabla 12.26. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012. 775
Tabla 12.27. Coberturas que pasaron a actividad minera en 2012. 776
Tabla 12.28. Coberturas que fueron urbanizadas en el 2012. 777
Tabla 12.29. TCCN 778
Tabla 12.30. Categorías IF cuenca 782
Tabla 12.31. Biomas prístinos cuenca. 783
Tabla 12.32. Estado general de los biomas en la cuenca 785
Tabla 12.33. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca 785
Tabla 12.34. Índice de presión demográfica por municipio dentro de la cuenca. 788
Tabla 12.35. Área por categoría de IAC en la cuenca 790
Tabla 13.1. Ubicación parcelas caracterización flora y fauna Río Piedras-Manzanares 800
Tabla 13.2. Especies de flora en Cuenca Río Piedras - Manzanares con amenazas 804
Tabla 13.3. Especies del bosque fragmentado con pastos y cultivos 805
Tabla 13.4. Especies del bosque fragmentado con vegetación secundaria 806
Tabla 13.5. Especies del bosque de galería y/o ripario 808
Tabla 13.6. Especies del bosque denso alto de tierra firme 810
Tabla 13.7. Especies del bosque denso bajo de tierra firme 812
Tabla 13.8. Especies del bosque abierto bajo de tierra firme 813
Tabla 13.9. Especies de la vegetación secundaria alta 814
Tabla 13.10. Especies de la vegetación secundaria baja 816
Tabla 13.11. Especies del Arbustal denso 817
Tabla 13.12. Especies del Arbustal abierto mesófilo 819
Tabla 13.13. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado 819
Tabla 13.14. Especies del Herbazal denso de tierra firme con arbustos 821

Tabla 13.15. Especies con amenazas en la cuenca Río Piedras-Manzanares 822
Tabla 14.1. Mamíferos reportados para la cuenca Manzanares 831
Tabla 14.2. Riqueza de Mamíferos por cobertura vegetal 833
Tabla 14.3. Composición, riqueza y abundancia de avifauna 834
Tabla 14.4. Riqueza de aves por cobertura vegetal 838
Tabla 14.5. Especies de reptiles para cuenca Río Piedras - Manzanares 840
Tabla 14.6. Riqueza de reptiles por cobertura vegetal 842
Tabla 14.7. Especies de anfibios reportadas para el área del proyecto 844
Tabla 14.8. Riqueza de anfibios por cobertura vegetal 845
Tabla 14.9. Mamíferos en categorías de amenaza nacional e internacional 847
Tabla 14.10. Especies en Categorías de amenaza, CITES, endemismos 848
Tabla 14.11. Listado taxonómico de reptiles en categorías de amenaza 851
Tabla 15.1. Áreas protegidas de orden nacional y regional 859
Tabla 15.2. Suelos de protección municipal 876
Tabla 15.3. Valores para cada variable y categoría para la construcción del índice de estado de coberturas naturales 884
Tabla 15.4. Valores Índice estado actual de coberturas naturales 884
Tabla 15.5. Análisis de resultados de IEACN en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe 885

1. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA CUENCA.

La cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, está localizada dentro del departamento de Magdalena que a su vez colinda con los departamentos de La Guajira al Nororiente, Cesar al oriente, Bolívar al sur occidente, Atlántico al occidente y al norte con el océano Atlántico. Esta cuenca pertenece a la macro cuenca Caribe, posee una extensión total aproximada de 92799.45 hectáreas. La Figura 1.1 muestra la ubicación espacial de la Cuenca en el contexto Nacional, Regional y Local.

Figura 1.1. Localización geográfica de la Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe



La Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe está geográficamente enmarcada en las siguientes coordenadas:

X min: -74.24247914	X máx.: -73.8859823099
Y min: 10.991065152	Y máx.: 11.34891207

Los límites hidrográficos de la cuenca son:

Norte:
Océano Atlántico

Sur:
Cuencas de los ríos Frío y Sevilla

Occidente:
Océano Atlántico

Oriente:
Cuenca de los ríos Guachaca, Mendiguaca y Buritaca

1.2. Cartografía Base Y Modelo Digital

En este aparte se presenta todo lo relacionado con la cartografía, desde su base de partida como los productos generados en la fase de diagnóstico. Se han dividido en dos apartes relacionados el primero la cartografía base y el segundo el modelo digital del terreno.

1.2.1. Cartografía base y temática

La cartografía sobre la cual se construye este proyecto, corresponde a la generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC; la cual gracias al convenio entre el Fondo de Adaptación y este Instituto se pudo tener acceso a ella.

La cartografía se encuentra a la escala 1:25.000 y consta de 15 planchas las cuales cubren un área de 92.799,45Ha (ver Figura 1.2); No obstante que la cartografía fue entregada por el IGAC en archivos independientes para cada plancha, esta fue integrada en el proyecto en una sola geodatabase llamada Cuenca_1501.gdb, lo que facilita la manipulación y además permite cumplir con los alcances del mismo.

La información temática está depositada en dos geodatabases, la primera llamada GDB_POMCAS 08_2016_MZ.gdb, la cual contendrá todas las temáticas del proyecto que se encuentran en formato vector y como se puede apreciar de la Figura 1.3 cada tema tiene su propio Dataset de información; la otra geodatabase llamada GDB_RASTER.gdb contiene todos los temas generados por el proyecto en formato raster.

Figura 1.2. Distribución de planchas escala 1:25.000 para el proyecto

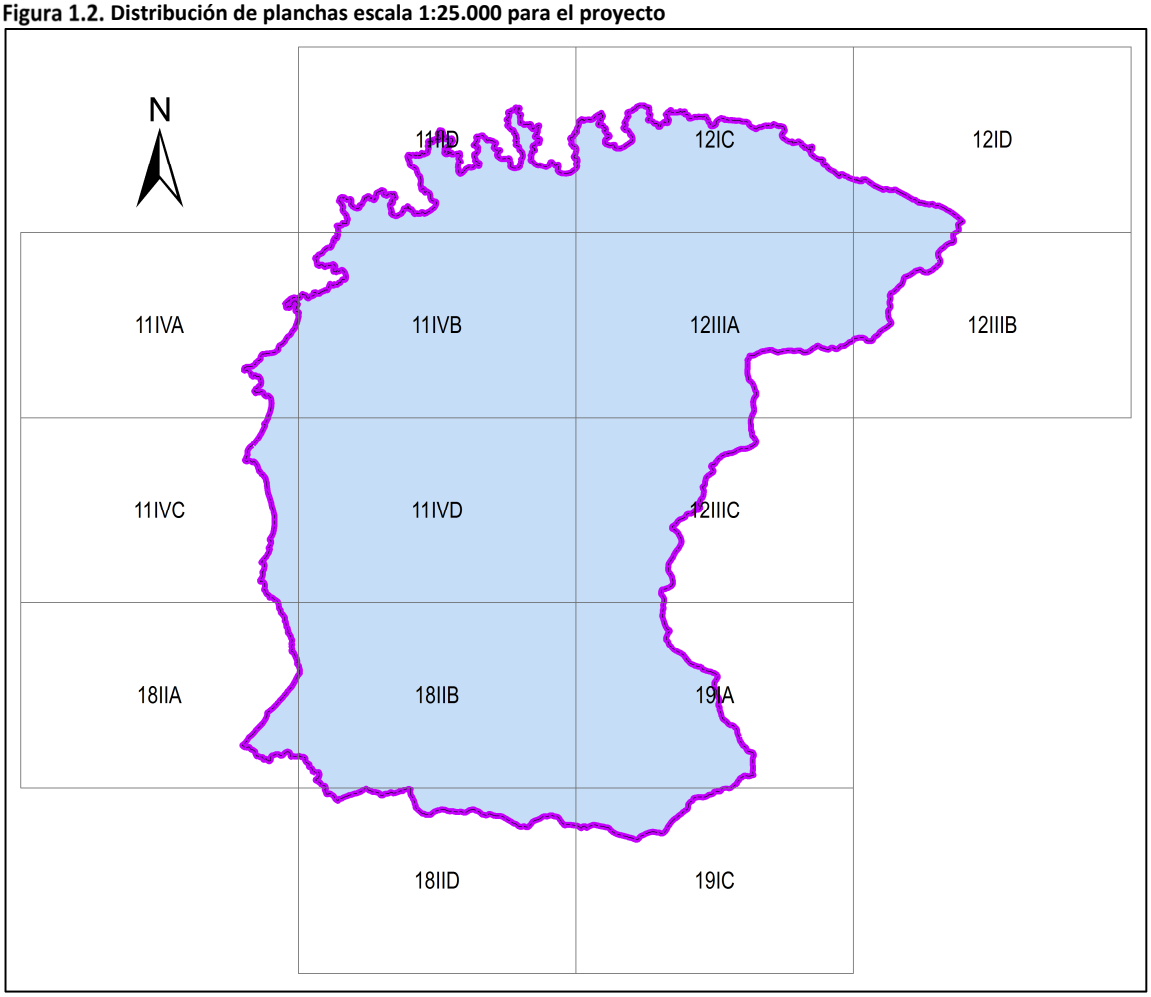
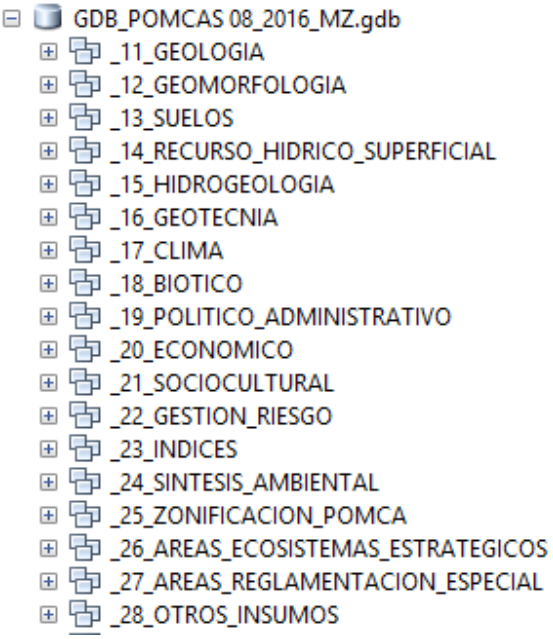


Figura 1.3. Estructura de la geodatabase temática del proyecto



1.2.1.1. *Productos cartográficos*

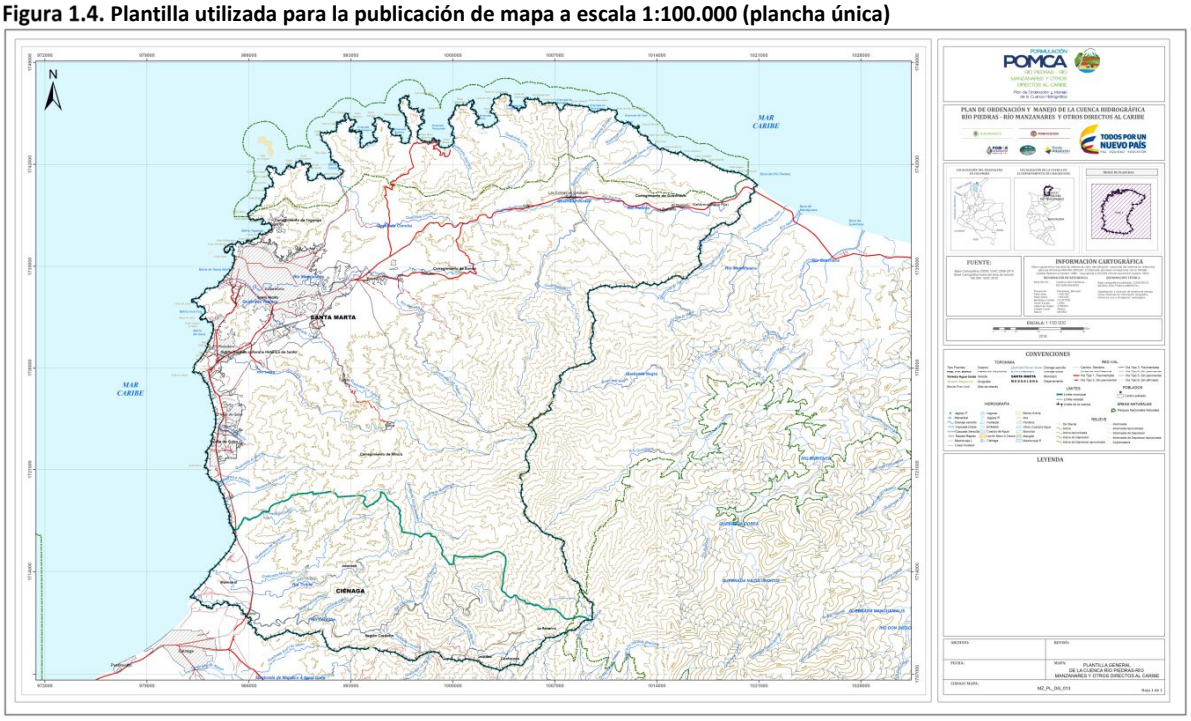
Se refiere a las diferentes formas de expresar los temas del proyecto, en este sentido se hace claridad que existen cuatro tipos de productos, ellos son el modelo digital del terreno, las plantillas, las salidas cartográficas y los mapas; con respecto al modelo digital del terreno sobre este se hablará más adelante, las plantillas son productos del POMCA y sirven para enmarcar los mapas del proyecto, se han diseñado dos plantillas dado que no todos los temáticos se imprimen a la misma escala (ver Figura 1.4), el mapa se refiere a la expresión cartográfica formal, lo que incluye entre otros en el área de mapeo la base cartográfica, norte, grilla y coordenadas, en el área del sello la escala de impresión, sistema de coordenadas, leyenda, etc., mientras que la salida cartográfica solo cumple con algunos mínimos como son norte y leyenda. Los mapas son anexos aparte a este documento, mientras que las salidas cartográficas pueden ir acompañando el cuerpo del documento.

En total se presentan 79 productos cartográficos de los cuales un producto es el modelo digital del terreno, lo mismo que las plantillas para las publicaciones a escala 1:25.000 y 1:100.000; los mapas son 34 y las salidas cartográficas 43.

Con respecto a los mapas se publican ocho a la escala 1:25.000, que corresponden a los siguientes temas: zonas de importancia hidrogeológica, hidrografía, capacidad de uso de la tierra con fines de ordenación de cuencas, cobertura y usos actuales de la tierra, social, cultural, económico y zonificación ambiental, mientras que los restantes 26 mapas se publican a la escala 1:100.000.

Las dimensiones de las planchas para la escala 25.000 son de 84cm de ancho por 48cm de alto y para la escala 100.000 son de 84cm de ancho por 50cm de alto.

Figura 1.4. Plantilla utilizada para la publicación de mapa a escala 1:100.000 (plancha única)



1.2.2. DEM.

El modelo digital de elevación[1] (DEM) es la representación matemática de la altura del relieve y/o otros objetos presentes sobre la superficie del terreno, esta altura está referida respecto al nivel del mar y por ser una representación de carácter matemático es posible su visualización. La estructura de los datos puede ser representada en formato vector o raster; de forma vectorial se utiliza el llamado TIN[2], estructura que simula la superficie a partir de triángulos; mientras que la estructura raster es regular y normalmente utiliza celdas (pixeles) de forma cuadrada.

El término DEM es a veces utilizado de forma genérica para representar los siguientes dos modelos; el DTM o modelo digital del terreno que representa exclusivamente la superficie del terreno ignorando o excluyendo todo aquello construido o colocado sobre el relieve, es en términos hidrológicos el mejor modelo para representar tanto la superficie de escurrimiento como su red de drenaje; el otro modelo es el DSM[3] o modelo digital de superficie que a diferencia del anterior representa la altura de la superficie entendiendo esta la inclusión de árboles, construcciones u otros objetos que puedan estar presentes sobre el terreno al momento de tomar los datos.

[1] DEM: por su sigla en inglés de Digital ElevationModel
[2] TIN: por su sigla en ingles de Triangular Irregular Network
[3] DSM:por su sigla en inglés de Digital Surface Model

Lo propio para el POMCA es que se hubiese contado con el DEM que el IGAC construyó para generar la cartografía oficial; dado que no fue posible tal información, se hizo necesario la construcción de un DEM para el proyecto, sobre la base de la información entregada por la Corporación, la provista por el Fondo de Adaptación por intermedio de la Interventoría o la obtenida por el Consorcio, con estos productos se prosiguió a valorar su pertinencia para la construcción del DEM.

1.2.2.1. *Estado de la información y su valoración.*
El modelo digital de elevación[4] (DEM) es la representación matemática de la altura del relieve y/o otros objetos presentes sobre la superficie del terreno, esta altura está referida respecto al nivel del mar y por ser una representación de carácter matemático es posible su visualización. La estructura de los datos puede ser representada en formato vector o raster; de forma vectorial se utiliza el llamado TIN[5], estructura que simula la superficie a partir de triángulos; mientras que la estructura raster es regular y normalmente utiliza celdas (pixeles) de forma cuadrada.

El término DEM es a veces utilizado de forma genérica para representar los siguientes dos modelos; el DTM o modelo digital del terreno que representa exclusivamente la superficie del terreno ignorando o excluyendo todo aquello construido o colocado sobre el relieve, es en términos hidrológicos el mejor modelo para representar tanto la superficie de escurrimiento como su red de drenaje; el otro modelo es el DSM[6] o modelo digital de superficie que a diferencia del anterior representa la altura de la superficie entendiendo esta la inclusión de árboles, construcciones u otros objetos que puedan estar presentes sobre el terreno al momento de tomar los datos.

Lo propio para el POMCA es que se hubiese contado con el DEM que el IGAC construyó para generar la cartografía oficial; dado que no fue posible tal información, se hizo necesario la construcción de un DEM para el proyecto, sobre la base de la información entregada por la Corporación, la provista por el Fondo de Adaptación por intermedio de la Interventoría o la obtenida por el Consorcio, con estos productos se prosiguió a valorar su pertinencia para la construcción del DEM.

1.2.2.2. *Proceso metodológico para la construcción del DEM.*
El procedimiento consiste en los siguientes pasos a seguir:

Utilizar el modelo digital de resolución más cercana a los requerimientos cartográficos (se requiere un tamaño de pixel entre 5 y 12.5m), para ello se utilizó el DSM de 12.5m.

Utilizar como puntos de control el DEM de 30m validado para la escala 1:100.000.

Identificar si existen en las capas pixeles sin valores (NoData); si los hay se debe proceder a su eliminación utilizando la función Focal Statistics de ArcGIS y con la ayuda de una máscara se procede a su eliminación, dejando intacta la demás área de pixeles.

[4] DEM: por su sigla en inglés de Digital ElevationModel
[5] TIN: por su sigla en ingles de Triangular Irregular Network
[6] DSM:por su sigla en inglés de Digital Surface Model

Identificar si existen valores negativos en el modelo, lo que dado el caso deberán ser modificados dichos pixeles, apoyándose en la base cartográfica existente e imágenes de mayor resolución.

Emplear el módulo de análisis geoestadístico de ArcGIS, utilizando el método geoestadístico de Kriging, el cual es un interpolador, que en este caso suaviza la superficie de acuerdo a la cantidad de error medido; para ello se toma como dataset principal el DEM 12.5m y como dataset secundario (de control) el DEM 30m.

Finalmente, se exporta la interpolación con una resolución de 10m (DEM 10m); en las Figura 1.5 A Figura 1.7 se presenta para una misma área de la cuenca los diferentes modelos digitales de elevación.

Adicional a lo anteriormente descrito, para el tema hidrológico se realizó una corrección al DEM, eliminando los llamados huecos o depresiones en donde no quede el agua estancada, lo que permite el adecuado tránsito o movimiento del agua en la cuenca.

Figura 1.5. DSM con resolución de 12.5m

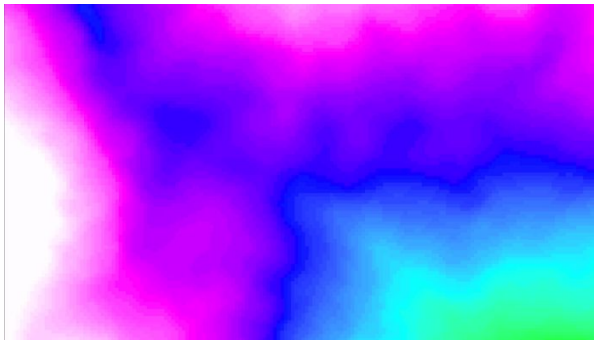


Figura 1.6. DEM con resolución de 30m

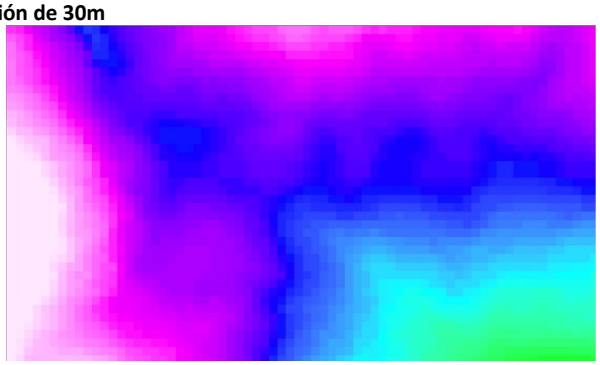


Figura 1.7. DEM con resolución de 10m, utilizando interpolador geoestadístico de Kriging



1.3. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

En este numeral se trata el tema de los municipios participantes dentro de la cuenca y su división político administrativa al interior de cada uno de ellos.

1.3.1. Municipios participantes de la cuenca.

Dentro de la Cuenca Hidrográfica río Piedras río Manzanares y otros directos al Caribe tienen territorialidad los municipios de Santa Marta y Ciénaga. En la Tabla 1.2 se indica el área de cada municipio en la cuenca y en la Figura 1.8 se presenta espacialmente los municipios que incluye la cuenca.

Tabla 1.1. Municipios de Magdalena en la cuenca

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ÁREA Has	% PARTICIPACIÓN DE LOS MUNICIPIOS EN LA CUENCA
MAGDALENA	CIÉNAGA	18.212,36	19,63%
	SANTA MARTA	74.587,09	80,37%
Total		92.799,45	100,00%

Figura 1.8. Porcentaje de participación de los municipios en la cuenca

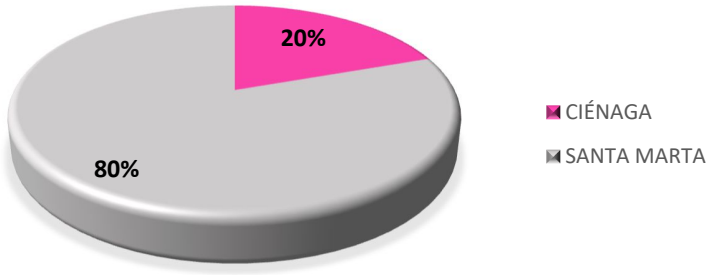
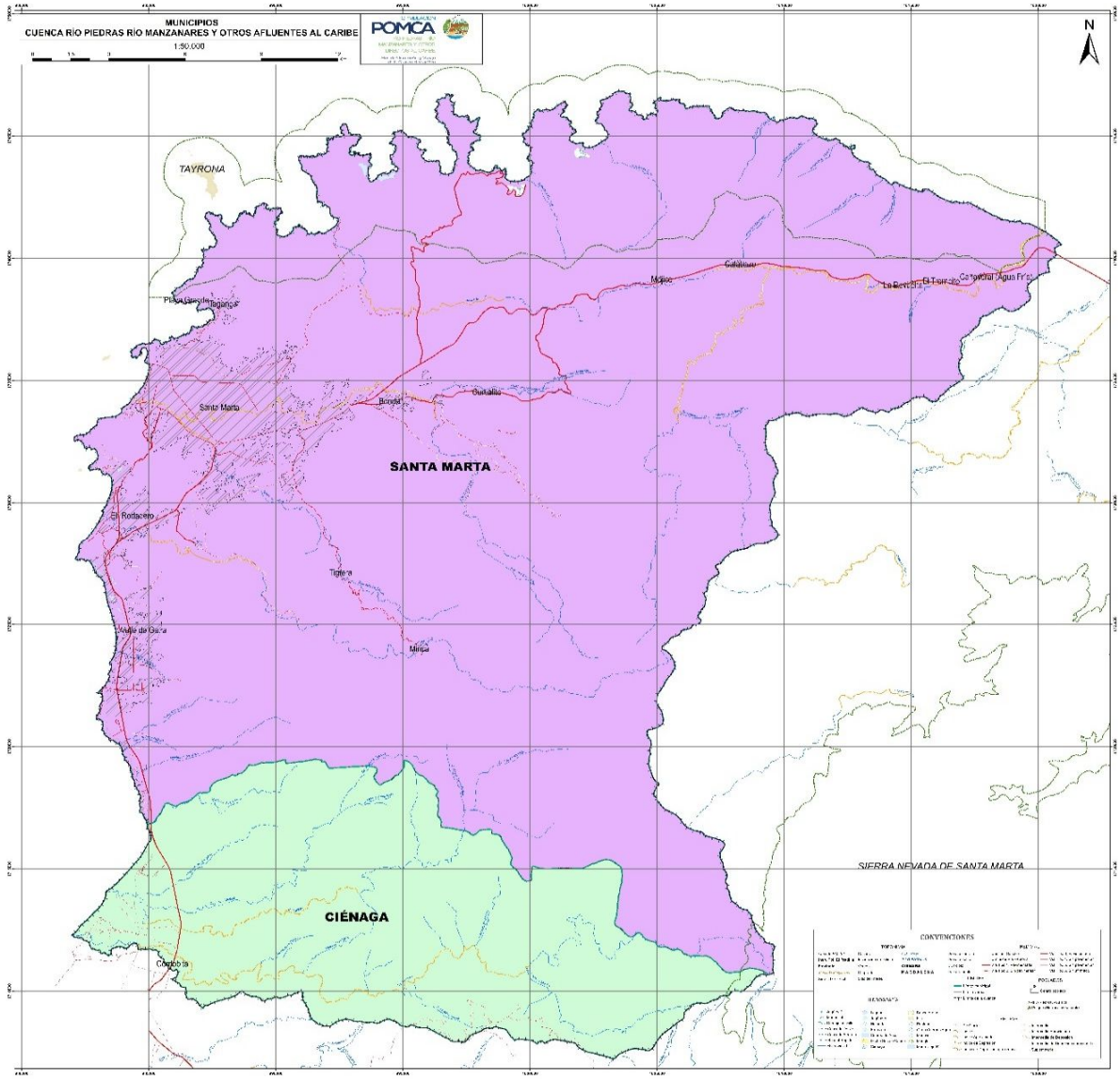


Figura 1.9. Mapa municipal de la Cuenca Rio Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe



1.3.2. Centros poblados y áreas urbanas dentro de la cuenca

La participación de centros poblados, cabeceras y veredas para cada municipio dentro de la Cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Áreas urbanas, veredas y centros poblados dentro de la cuenca

Municipio	No. De Veredas con participación en la cuenca	Cabecera Incluida	Centros poblados
SANTA MARTA	5	SI	Santa Marta, El Trompito, Minca, Calabazo, Cañaveral (Agua Fría), Bonda, La Revuelta, Las Colinas de Calabazo, Calabazo, Mejico, Tigrera, Curvalito, Taganga
CIÉNAGA	6	No	Cordobita

Figura 1.10. Mapa veredal de la cuenca Río Piedras Río Manzanares y otros directos al Caribe



1.3.3. División político administrativa.

A continuación, se presenta para cada uno de los municipios una breve reseña de los aspectos geográficos y su conformación veredal en la cuenca, entre otros.

1.3.3.1. *Municipio de Santa Marta.*

El Distrito de Santa Marta tiene una extensión total de 2.393,35 Km^2, que corresponden a extensión área urbana: 55.10 Km^2, extensión área rural: 2,338.25 Km^2; conformado por un mar territorial, una área montañosa correspondiente a la Sierra Nevada, cuerpos de agua interiores, las islas y bahías localizadas en el mar territorial y en los cuerpos de agua, el suelo consolidado constituido por una zona costera y una zona continental, el suelo no consolidado constituido por la zona de Bajamar, el subsuelo y el espacio aéreo asociado.

Limita por el Norte y el Oeste con el Mar Caribe, al sur los municipios de Ciénaga y Aracataca y por el oriente los departamentos de la Guajira y Cesar.

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 6 msnm, con máxima elevación de 5775 msnm en las cumbres de la Sierra Nevada.

Temperatura media: Posee un clima cálido y seco, con precipitación media anual de 362 mm, humedad relativa del 77% y rango de temperatura entre los 23 - 32 °C.

Distancia de referencia: Distancias y tiempos a Bogotá: Terrestre: 965 km, Aéreo: 1 hora 25 minutos. (Alcaldia Municipal de Santa Marta, 2016)

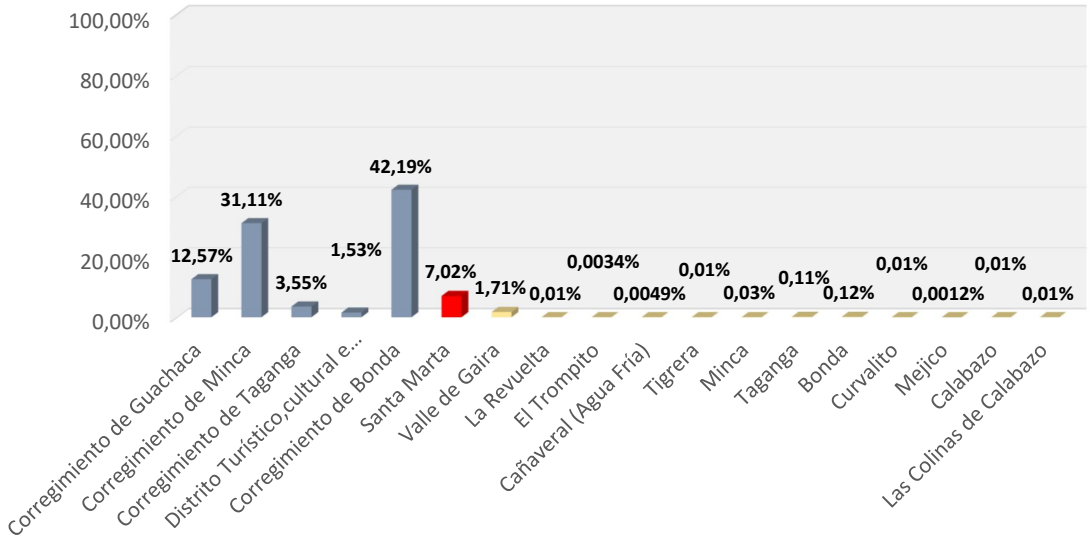
La distribución de las veredas, centros poblados y áreas urbanas dentro del municipio de Santa Marta se presenta en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Porcentaje de participación de las veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Santa Marta.

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
SANTA MARTA	Vereda	Corregimiento de Guachaca	9.373,32	12,57%
	Vereda	Corregimiento de Minca	23.205,17	31,11%
	Vereda	Corregimiento de Taganga	2.645,15	3,55%
	Vereda	Distrito Turístico, cultural e Histórico de Santa Marta	1.140,87	1,53%
	Vereda	Corregimiento de Bonda	31.466,17	42,19%
	Área Urbana	Santa Marta	5.238,35	7,02%
	Centro Poblado	Valle de Gaira	1.277,41	1,71%
	Centro Poblado	La Revuelta	6,04	0,01%
	Centro Poblado	El Trompito	2,50	0,0034%
	Centro Poblado	Cañaveral (Agua Fría)	3,63	0,0049%
	Centro Poblado	Tigrera	9,61	0,01%
	Centro Poblado	Minca	23,33	0,03%

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
	Centro Poblado	Taganga	79,29	0,11%
	Centro Poblado	Bonda	88,97	0,12%
	Centro Poblado	Curvalito	9,69	0,01%
	Centro Poblado	Mejico	0,91	0,0012%
	Centro Poblado	Calabazo	10,53	0,01%
	Centro Poblado	Las Colinas de Calabazo	6,15	0,01%

Figura 1.11. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Santa Marta en la cuenca



1.3.3.2. *Municipio Ciénaga*

Ciénaga con una extensión total de 1.242.68 Km^2, pertenece al departamento del Magdalena, localizado a orillas del mar Caribe, en el extremo nororiental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, alcanzando la categoría de municipio en 1867. La actividad económica predominante fue, durante mucho tiempo, el monocultivo del banano que ahora es reducido, dando paso a una gran diversidad de productos agrícolas y a la ganadería.

El municipio está situado al norte del departamento del Magdalena, de cara al Mar Caribe, cerca de la Ciénaga Grande y al pie de la Sierra Nevada de Santa Marta, entre las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud: 11° 00'Norte

- Longitud: 74°15'Oeste

Con altitud de la cabecera municipal de 3 msnm.

Temperatura media: La temperatura tiene un promedio de 28 °C.

Distancia de referencia: Dista 35 km de la ciudad de Santa Marta.

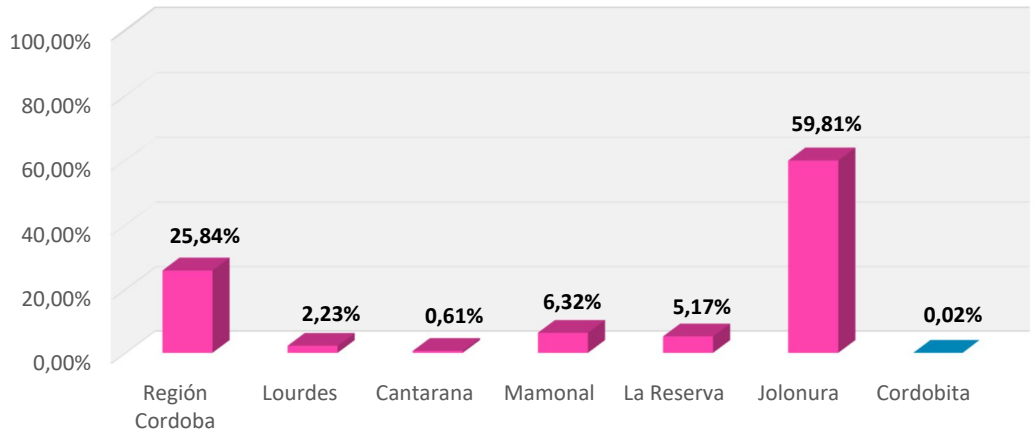
Hidrográficamente, Ciénaga es un municipio afortunado; está bañada por las aguas del mar caribe, de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de los ríos Córdoba y Toribio además de un sin número de ríos y quebradas que bajan de la Sierra Nevada, y como si fuera poco, también tiene aguas termales. (Municipio de Cienaga en Magdalena, 2016)

El municipio cuenta con 6 veredas que participan en la cuenca como se puede ver en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Ciénaga en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
CIÉNAGA	Vereda	Región Cordoba	4.705,49	25,84%
	Vereda	Lourdes	406,08	2,23%
	Vereda	Cantarana	111,36	0,61%
	Vereda	Mamonal	1.151,07	6,32%
	Vereda	La Reserva	941,35	5,17%
	Vereda	Jolonura	10.892,84	59,81%
	Centro Poblado	Cordobita	4,16	0,02%

Figura 1.12. Porcentaje de participación de las veredas del Municipio de Ciénaga en la cuenca



2. CLIMA

2.1. Caracterización De La Red Meteorológica Existente

La cuenca hidrográfica de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, localizada en la costa norte del país como se presenta en el documento de caracterización de la cuenca, posee estaciones hidrometeorológicas con registros de precipitación, temperatura, brillo solar y humedad a escala diaria y mensual, dentro del área de las cuencas y en el área circundante a la misma, permitiendo realizar un análisis regional de las condiciones climáticas, resaltando que sus condiciones especiales dadas por la influencia que ejerce la Sierra Nevada de Santa Marta, su sistema montañoso particularmente ubicado al lado del mar Caribe y a su vez, el efecto generado por los vientos alisios, le dan una condición especial a la cuenca en estudio.

La información proveniente del IDEAM revisada y validada para el desarrollo del presente componente corresponde a estaciones con registros de precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y evapotranspiración a nivel diario y mensual. Para el análisis climatológico, se analizó un total de 33 estaciones, de las cuales 31 poseen registros de precipitación (una pluviográfica PG, dos Sinópticas (SP), tres climatológicas ordinarias (CO), una climatológica principal (CP), veinticuatro Pluviométricas (PM)), y 6 registrando variables climatológicas con series mayores a 15 años (Una Sinóptica (SP), cuatro climatológicas ordinarias (CO) y una climatológica principal (CP)).

A continuación, en la Tabla 2.1, se presentan las estaciones de precipitación que poseían un período homogéneo mayor a quince años, teniendo un rango de registro desde el año 1986 al año 2014, siendo útiles en la caracterización de las condiciones pluviales de la cuenca y sus correspondientes subcuencas.

Tabla 2.1. Estaciones pluviométricas, pluviográficas y Sinópticas utilizadas en el presente estudio para el análisis de la precipitación.

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORIA	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (MSNM)	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
29045020	APTO E CORTISSOZ	SP	ATLANTICO	SOLEDAD	MAGDALENA	14	923218,8044	1695420,462
15015050	APTO SIMON BOLIVAR	SP	MAGDALENA	SANTA MARTA	MAR CARIBE	4	983463,111	1722433,349
29060030	BONGO EL	PM	MAGDALENA	EL RETEN	FUNDACION	20	967395,0893	1669399,345
15010020	BURITACA	PM	MAGDALENA	SANTA MARTA	BURITACA	30	1034397,337	1735844,454
29060140	CARMEN EL	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	25	987424,8526	1670949,957
29060060	CENIZO EL	PM	MAGDALENA	ARACATACA	TUCURINCA	450	1000468,939	1669697,044
29060150	DESTINO EL	PM	MAGDALENA	EL RETEN	ARACATACA	20	983955,5079	1661079,27
15030010	DIBULLA	PM	LA GUAJIRA	DIBULLA	DIBULLA	5	1084198,117	1738333,435

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORIA	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (MSNM)	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
29060160	ENANO EL	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	FRIO	25	987874,5741	1696166,533
29060180	ESPERANZA LA	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	25	974976,7672	1679762,913
29060040	FUNDACION	PM	MAGDALENA	FUNDACION	FUNDACION	40	988538,0926	1655623,606
29060170	GAVILAN EL	PM	MAGDALENA	EL RETEN	ARACATACA	20	976432,6607	1667391,539
15010300	GUACHACA	PG	MAGDALENA	SANTA MARTA	LA SOMBRA	45	1026025,795	1735621,478
29060380	LOMA LA	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	23	970195,0878	1680593,321
29060200	MARIA LA	PM	MAGDALENA	ARACATACA	FUANDACION	30	988018,7669	1657427,379
15010010	MINCA	PM	MAGDALENA	SANTA MARTA	QDA BACHICHA	640	995358,362	1723812,161
29065020	PADELMA	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	986631,1135	1677387,26
29060210	PALMA LA	PM	MAGDALENA	CIENAGA	QDA LA AGUJA	23	986235,1242	1704371,115
29060270	PALO ALTO	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	25	978733,8425	1677544,961
28010370	PARIS DE FRANCIA	PM	CESAR	VALLEDUPAR	GUATAPURI	180	1081990,179	1652179,723
28040350	PASO EL [28040350]	PM	CESAR	EL PASO	ARIGUANI	36	1036027,3	1559710,8
29065030	PRADO SEVILLA	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	SEVILLA	18	991554,8222	1682148,218
29060250	PROYECTOS LOS	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	SEVILLA	20	984513,629	1678260,793
29040300	PTO GIRALDO	PM	ATLANTICO	PONEDERA	MAGDALENA	5	918471,7131	1653896,343
29060280	SAN ISIDRO	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	FRIO	25	985235,155	1695368,747
15015060	SAN LORENZO	CP	MAGDALENA	SANTA MARTA	PIEDRA	2200	1004796,089	1717083,108
29060230	SARA LA [29060230]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	QDA ORIHUECA	25	990575,6897	1690011,211
29060070	SAN PABLO	PM	MAGDALENA	CIENAGA	SEVILLA	800	1005544,641	1687017,581
29060310	SEVILLANO	PM	MAGDALENA	CIENAGA	CGA. GRANDE	5	995716,833	1680580,37
29060120	TASAJERA	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	CGA. GRANDE	2	968933,271	1705618,032
29060240	UNION LA	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	983925,6961	1675090,125
15010040	VISTA NIEVES	PM	MAGDALENA	SANTA MARTA	GUACHACA	2000	1003855,279	1716990,84
15015020	YE LA [15015020]	CO	MAGDALENA	CIENAGA	CORDOBA	20	985395,4119	1707397,974

Fuente: IDEAM (2015).

Respecto al registro de las condiciones climatológicas específicas, como temperatura, humedad relativa y brillo solar, las estaciones presentadas en la Tabla 2.2 poseen información consistente, y pudieron ser tenidas en cuenta en el análisis respectivo para las cuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

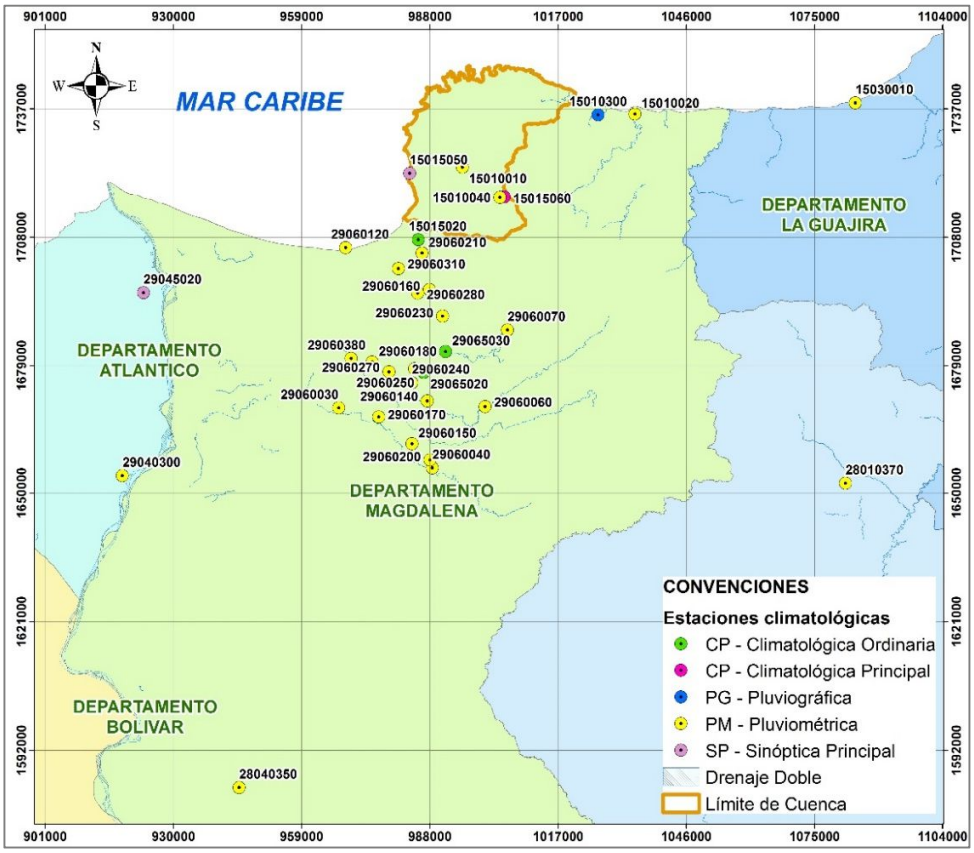
Tabla 2.2. Estaciones climatológicas utilizadas en el presente estudio.

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORIA	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (MSNM)	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DISPONIBLES.
15015050	APTO SIMON BOLIVAR [15015050]	SP	MAGDALENA	SANTA MARTA	MAR CARIBE	4	983463,111	1722433,349	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
15015060	SAN LORENZO [15015060]	CP	MAGDALENA	SANTA MARTA	PIEDRA	2200	1004796,089	1717083,108	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
29065020	PADELMA [29065020]	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	986631,1135	1677387,26	Temperatura,Brillo solar, , Humedad relativa,
29065030	PRADO SEVILLA [29065030]	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	SEVILLA	18	991554,8222	1682148,218	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
15015040	UNIV TEC MAGDALENA	CO	MAGDALENA	SANTA MARTA	MANZANARES	7	988161,263	1732909,14	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
15015020	YE LA [15015020]	CO	MAGDALENA	CIENAGA	CORDOBA	20	985395,4119	1707397,974	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,

Fuente: IDEAM (2015).

A continuación, en la Figura 2.1 se presenta la localización espacial de las anteriores estaciones.

Figura 2.1. Localización espacial de las estaciones de precipitación y clima para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.



2.2. Tratamiento De Información Climática

Para las estaciones de registro de precipitación y clima utilizadas para la zona de estudio, se elaboró un análisis de homogeneidad y calidad de la información, para poder seleccionar las estaciones anteriormente presentadas dentro del universo general de estaciones mostrado en la fase de aprestamiento, y adjuntas en el Anexo 2.1. Después de una revisión general y una armonización de formatos, la información pasó por un proceso de tratamiento de datos acorde a los requerimientos dados por la guía de la OMM No. 168, 2008. A continuación, se presenta la metodología de manejo y verificación de datos general utilizada.

2.2.1. Tratamiento De Datos

- Proceso primario de datos:

El proceso primario es considerado como el conjunto de procedimientos necesarios para transformar los datos de entrada para su almacenamiento, responsabilidad del IDEAM. Los procedimientos de validación de datos hacen comparaciones entre los datos ingresados y los valores de prueba. Para el manejo de la información climática proveniente de las estaciones localizadas en

áreas cercanas y dentro de la cuenca, se recopiló, organizó y filtró la información disponible para cada una de las variables climatológicas. Las variables que no poseían información consistente, con series mayores a 15 años o en muy pocas estaciones no fueron tenidas en cuenta, como son la presión de vapor y la nubosidad.

Posteriormente, se organizó y se dio formato a los datos originalmente entregados de manera cuidadosa, tabulándolos según la variable a analizar, revisando, ajustando y determinando los registros vacíos o anómalos para cada variable, a ser revisados y ajustados.

- Agregación e interpolación de datos:

Debido a su naturaleza dinámica, muchas variables climáticas deben ser medidas en períodos relativamente cortos, para ser utilizadas sólo como promedios o totales de períodos más largos. Las variables climatológicas pueden ser requeridas sólo en valores diarios, siendo medidas con una frecuencia mayor para obtener valores estimados diarios fiables. Si bien la agregación es directa para una serie cronológica de intervalo constante, una doble etapa de interpolación/agregación es necesaria para variables medidas en períodos irregulares. Los datos en un nivel alto de agregación, por ejemplo promedios mensuales o anuales, pueden ser luego mantenidos en línea para su consulta general.

Para el desarrollo del presente análisis climatológico, se utilizó la información diaria y mensual, según la disponibilidad de cada una de las estaciones consultadas en el área de estudio y zonas aledañas.

- Estimativo de datos faltantes de un registro:

❖ Precipitación:

Es muy frecuente observar que un registro pluviométrico está incompleto, lo cual puede suceder por fallas a la hora de registrar la medición a nivel diario, porque se pierden datos durante actualización de las estaciones o el dato correspondiente a uno o varios días no se tomó. Sin embargo, el manejo de la información faltante en los registros de precipitación debe ser riguroso y generar las menores irregularidades posibles a las series de tiempo registradas

La metodología aplicada para completar los datos faltantes en la cuenca fue el método de los promedios ponderados, en el cual el dato faltante se estima utilizando los registros de por lo menos tres estaciones vecinas, es decir, estaciones dentro de la misma región que tengan los registros completos. El procedimiento empleado para completar los datos faltantes por medio del método de los promedios ponderados fue el siguiente:

- Sea X la estación pluviográfica con datos faltantes y A, B y C sean 3 estaciones vecinas, siempre y cuando la precipitación media anual de la estación X no difiera en más del 10% del promedio de las precipitaciones medias anuales de las estaciones vecinas, el dato faltante en X se estima como el promedio aritmético de los registros de las estaciones A,B y C el día de la falla.

- Si la diferencia es mayor del 10%, el dato faltante se estima con el promedio ponderado calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$P_X = \frac{N_X}{3}\left(\frac{P_A}{N_A} + \frac{P_B}{N_B} + \frac{P_C}{N_C}\right) \quad (1)$$

En la ecuación anterior, N representa la precipitación media anual, calculada en las 4 estaciones para el mismo periodo de tiempo.

Para las estaciones trabajadas en el presente estudio, se realizó la selección de las estaciones vecinas por medio del análisis de la similitud entre los valores de precipitación media anual multianual obtenidos desde la información original de las estaciones del IDEAM. Para determinar si el llenado de los datos se desarrollaría por medio de la fórmula (1), o por medio del cálculo del promedio de las estaciones determinadas como similares, se aplicó el criterio anteriormente mencionado, en donde se determinaba un umbral de diferencia máxima del 10%.

A continuación, en la Tabla 2.3 se presenta la información de las estaciones cuyos datos debían ser completados, y las seleccionadas como vecinas o similares para el desarrollo del proceso de completitud de datos faltantes.

Tabla 2.3. Relación de estaciones seleccionadas para el llenado de datos a nivel diario.

Nombre	Vecinos			Precipitación media anual (mm)				PROMEDIO VECINOS (mm)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (%)	PROCESO A APLICAR
	A	B	C	X	A	B	C				
BONGO EL [29060030]	GAVILAN [29060170]	PALO ALTO [29060270]	ESPERANZA LA [29060180]	1398,6	1012,3	1073,8	1386,8	1157,6	241	20,8	formula
BURITACA 15010020	GUACHACA 15010300	VISTA NIEVES 15010040	MINCA 15010010	1960,9	1815,3	2480,2	2443,9	2246,5	285,6	12,7	formula
CARMEN EL 29060140	UNION LA 29060240	BODEGA LA 29030700	PROYECTOS LOS 29060250	1521,6	1282,7	1626,1	1040	1316,3	205,3	15,6	formula
CENIZO EL 29060060	PLAYA LA 29060330	CARMEN EL 29060140	MARIA LA 29060200	2317,7	1510	1521,6	1337,4	1456,3	861,3	59,1	formula
DESTINO EL 29060150	MARIA LA 29060200	GAVILAN 29060170	CARMEN EL 29060140	1496,2	1337,4	989,2	1521,6	1282,7	213,5	16,6	formula
ENANO EL 29060160	SAN ISIDRO 29060280	SEVILLANO 29060310	SARA LA 29060230	993,5	875,5	948,7	1151,2	991,8	1,7	0,2	promedio
ESPERANZA LA 29060180	PALO ALTO 29060270	BODEGA LA 29030700	PROYECTOS LOS 29060250	1375,2	1051,9	1626,1	1040	1239,3	135,8	11	formula
GUACHACA 15010300	BURITACA 15010020	MINCA 15010010	VISTA NIEVES 15010040	1815,3	1960,9	2443,9	2480,2	2295	479,7	20,9	formula
GAVILAN 29060170	UNION LA 29060240	CARMEN EL 29060140	DESTINO EL 29060150	989,2	1282,7	1521,6	1496,2	1433,5	444,3	31	formula
MARIA LA 29060200	DESTINO EL 29060150	GAVILAN 29060170	CARMEN EL 29060140	1337,4	1496,2	989,2	1521,6	1335,6	1,8	0,1	promedio
MINCA 15010010	VISTA NIEVES 15010040	PALMA LA 29060210	SEVILLANO 29060310	2443,9	2480,2	799,1	948,7	1409,4	1034,5	73,4	formula
PALMA LA 29060210	SEVILLANO 29060310	SAN ISIDRO 29060280	ENANO EL 29060160	799,1	948,7	875,5	993,5	939,2	140,1	14,9	formula

Nombre	Vecinos			Precipitación media anual (mm)				PROMEDIO VECINOS (mm)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (%)	PROCESO A APLICAR
	A	B	C	X	A	B	C				
PALO ALTO 29060270	BODEGA LA 29030700	PROYECTOS LOS 29060250	UNION LA 29060240	1051,9	1626,1	1040	1282,7	1316,3	264,3	20,1	formula
PLAYA LA 29060330	SAN PABLO 29060070	SARA LA 29060230	PROYECTOS LOS 29060250	1510	2298	1151,2	1040	1496,4	13,6	0,9	promedio
PROYECTOS LOS 29060250	BODEGA LA 29030700	PALO ALTO 29060270	UNION LA 29060240	1040	1626,1	1051,9	1282,7	1320,3	280,3	21,2	formula
SAN ISIDRO 29060280	ENANO EL 29060160	SARA LA 29060230	SEVILLANO 29060310	875,5	993,5	1151,2	948,7	1031,1	155,6	15,1	formula
SAN PABLO 29060070	PLAYA LA 29060330	CENIZO EL 29060060	SARA LA 29060230	2298	1510	2317,7	1151,2	1659,6	638,4	38,5	formula
SARA LA 29060230	SAN ISIDRO 29060280	ENANO EL 29060160	SEVILLANO 29060310	1151,2	875,5	993,5	948,7	939,2	212	22,6	formula
SEVILLANO 29060310	PALMA LA 29060210	SAN ISIDRO 29060280	ENANO EL 29060160	948,7	799,1	875,5	993,5	889,4	59,4	6,7	promedio
TASAJERA 29060120	SEVILLANO 29060310	SAN ISIDRO 29060280	ENANO EL 29060160	408,1	948,7	875,5	993,5	939,2	531,1	56,5	formula
UNION LA 29060240	BODEGA LA 29030700	PALO ALTO 29060270	PROYECTOS LOS 29060250	1282,7	1626,1	1051,9	1040	1239,3	43,3	3,5	promedio
VISTA NIEVES 15010040	MINCA 15010010	PALMA LA 29060210	SEVILLANO 29060310	2480,2	2443,9	799,1	948,7	1397,2	1083	77,5	formula

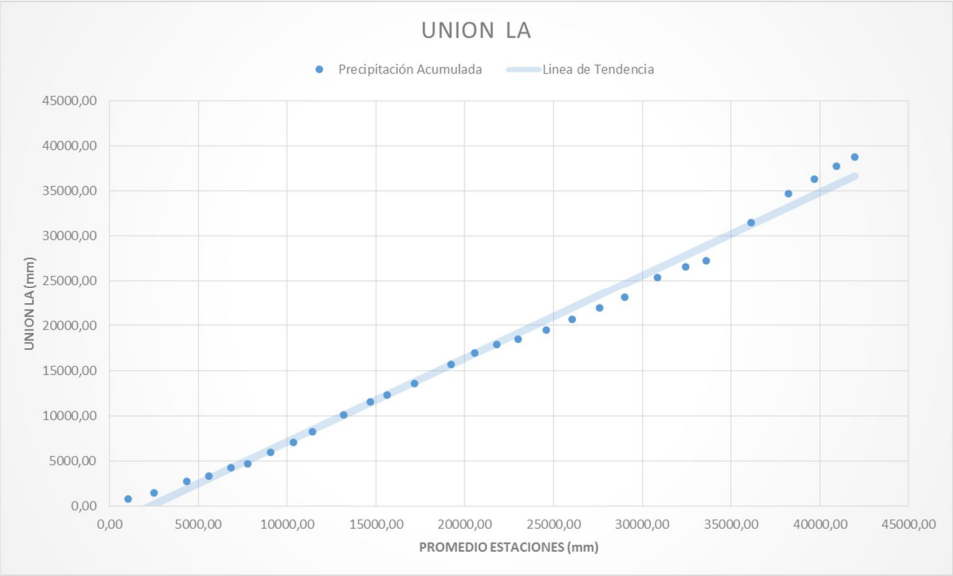
Teniendo en cuenta la información de las estaciones anteriormente presentadas, se procedió a realizar el llenado de datos para cada una de ellas, obteniendo los registros completos paras las series a nivel diario. Sin embargo, teniendo en cuenta que algunas de las estaciones poseían períodos con vacíos considerables, mayores a un mes, se hizo necesario corroborar la consistencia de la información dada por cada una de ellas, por medio de un análisis de curvas de doble masa.

- Consistencia del registro:

Las inconsistencias, cambios o errores de un registro pueden detectarse a partir de curvas másicas o dobles acumuladas y pueden deberse a un cambio en los métodos de recolección de la información, cambios en la ubicación del sitio de medición, almacenamiento artificial (embalses) o a cambios en el uso del agua de la cuenca (Arumí et al., 2002: p.1-24). La curva de doble masas proporciona un criterio que permite determinar si el registro de una estación es consistente, y por medio de este método se detectan los cambios de tendencia no ocasionados por causas meteorológicas.

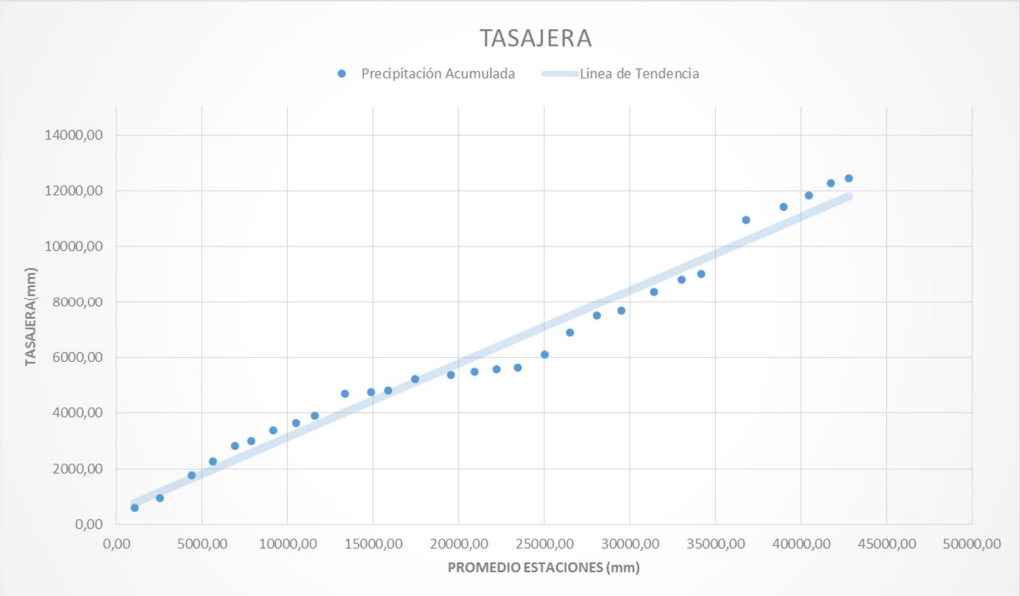
Para el total de estaciones pluviométricas y climatológicas que poseían registros de precipitación, se realizó el análisis de las curvas de dobles masas, relacionando el promedio del total de las estaciones manejadas con el de la estación en análisis, determinando como período homogéneo el rango entre el año 1986 y el 2014. Sin embargo, de las 33 estaciones referenciadas anteriormente como útiles por poseer series de tiempos mayores o iguales a 15 años, la estación Ye la tenía registros que no cumplían con el período homogéneo de registro, por lo que fue descartada del presente análisis. Las siguientes estaciones presentaron inconsistencias en sus series de datos:

Figura 2.2. Curva de dobles masas, estación Unión La



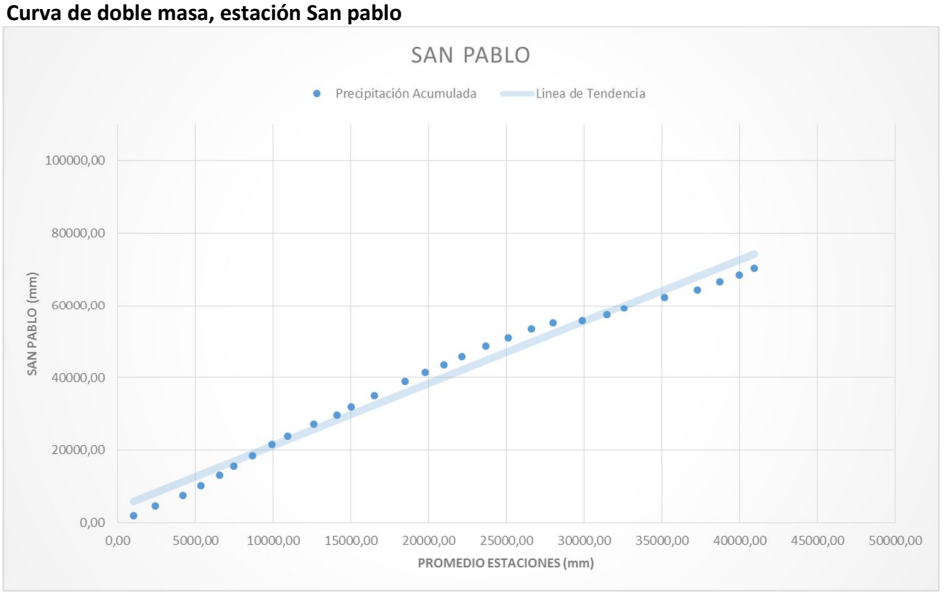
La curva de dobles masas de la estación UNION LA presentada en la Figura 2.2 muestra inconsistencias en la serie de datos desde el año 2002 en adelante, y considerando la consistencia de la información del conjunto de estaciones analizado, se consideró pertinente excluir a la estación del análisis de la precipitación de la cuenca del río Piedras.

Figura 2.3. Curva de dobles masas estación Tasajera.



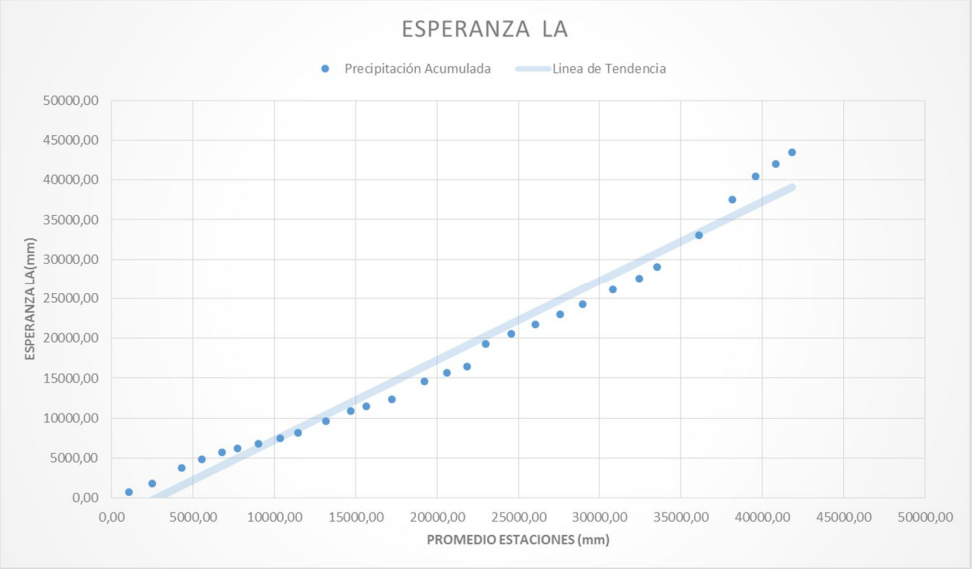
Como puede apreciarse en la Figura 2.3, la estación TASAJERA posee inconsistencias en toda si serie de registro respecto al resto de las estaciones, por lo que se descartó del análisis de la precipitación. Del mismo modo, se observa la tendencia de los datos registrados por la estación San Pablo, presentada en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Curva de doble masa, estación San pablo



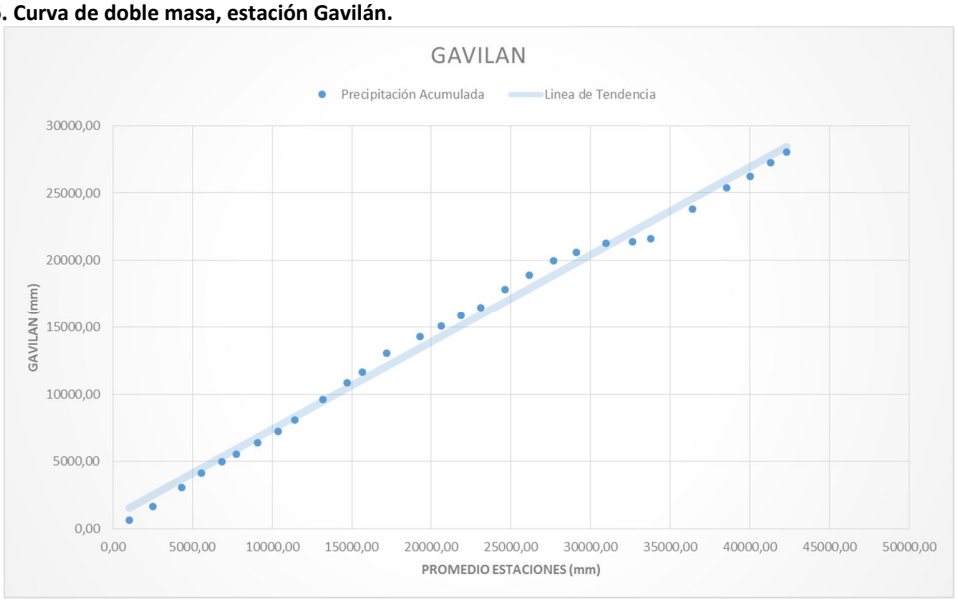
La estación Esperanza La también presenta inconsistencias de la información registradas a lo largo del período analizado, como puede verse en la Figura 2.5.

Figura 2.5. Curva de doble masa, estación Esperanza La.



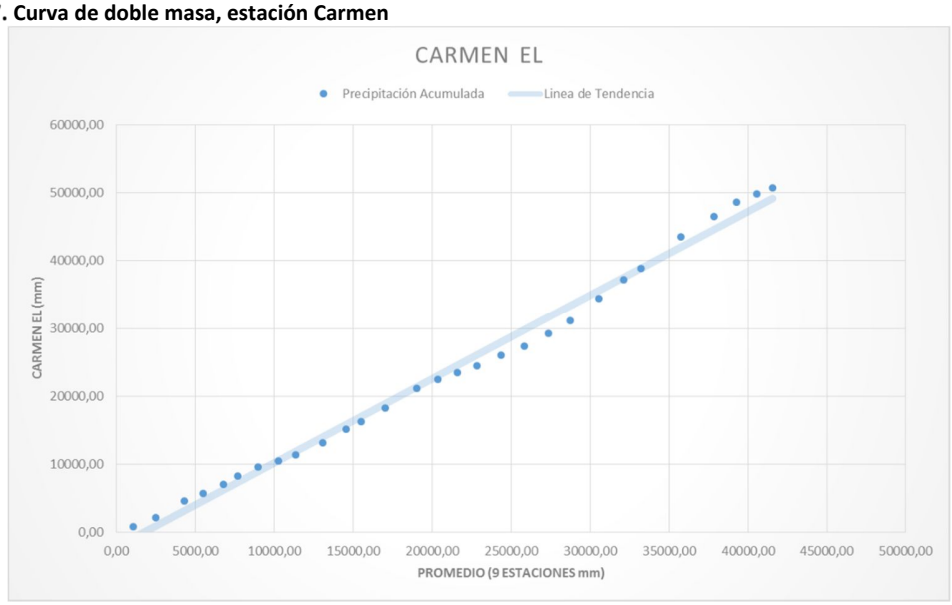
La estación Gavilán presenta en la curva de dobles masas (Figura 2.5) inconsistencias en su serie de datos desde el año 1998 en adelante, por lo que se descartó del análisis de la precipitación.

Figura 2.6. Curva de doble masa, estación Gavilán.



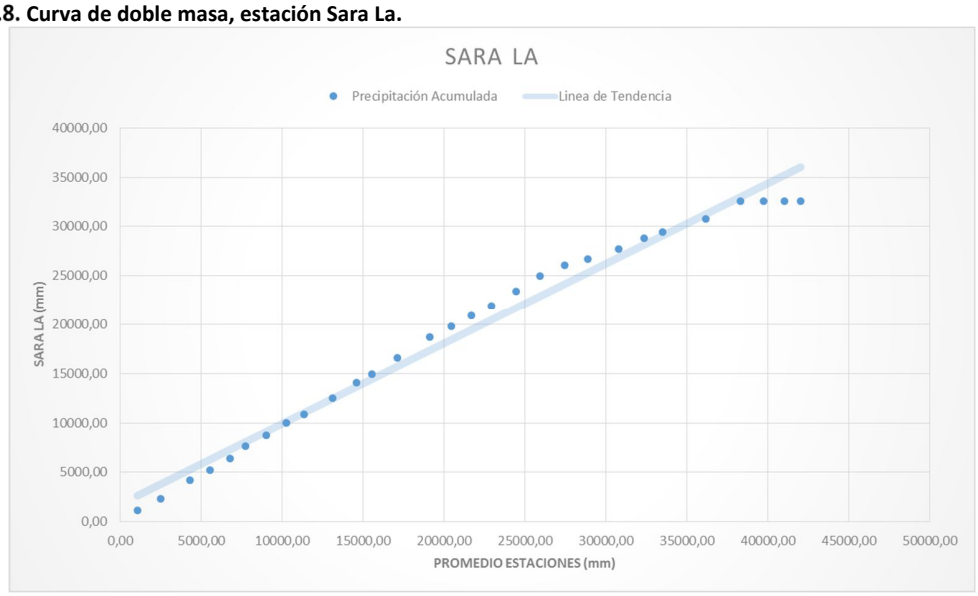
La estación El Carmen presenta inconsistencias entre los años de 1986 al 1991, y del año 2000 en adelante, como se presenta en la Figura 2.6, por lo que se descartó del análisis de la precipitación.

Figura 2.7. Curva de doble masa, estación Carmen



Finalmente, la estación Sara La presenta inconsistencias en toda su serie de datos, por lo que se descartí del análisis de la precipitación de la cuenca.

Figura 2.8. Curva de doble masa, estación Sara La.



El total de las curvas de doble masa realizadas para las 31 estaciones puede verse en detalle en el Anexo 2 del presente documento.

- *Llenado de datos faltantes para las demás variables climatológicas:*

Para los parámetros climatológicos de Humedad relativa, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y viento, cuyo análisis se realiza por medio de los promedios mensuales registrados por cada uno de ellos, se realizó un procedimiento de llenado de datos faltantes por medio del cálculo del promedio mensual multianual de cada una de las estaciones y su variable respectiva, completando el dato faltante con el promedio calculado, siempre y cuando los períodos no fueran mayores a un año.

Por otro lado, para las variables de brillo solar y evaporación, teniendo en cuenta que los valores de la evaporación se registran como totales y no como promedios, al encontrar vacíos de información en períodos relativamente largos, la información mensual se encontraría distorsionada y los valores estarían subdimensionados. De acuerdo con lo anterior, se complementaron las series diarias de los datos faltantes, con el valor promedio diario multianual del mes a complementar. Si el faltante era el mes completo, se complementaron los datos con el valor promedio mensual multianual de la serie. De acuerdo con lo anterior, se trabajaron las series complementadas de todo el período de registro de las estaciones.

En el Anexo 2 del presente documento se incluyen las bases de datos originales y modificados de las variables hidrometeorológicas tenidas en cuenta para el presente estudio, así como las curvas de doble masa de cada una de las estaciones

2.3. Caracterización Temporal Y Espacial Del Clima En La Cuenca

2.3.1. Distribución espacial de la precipitación.

Teniendo en cuenta la cantidad de estaciones disponibles para el análisis de la precipitación y su localización respecto al área de la cuenca, estando la mayoría localizadas fuera de los límites de la misma, se desarrolló un análisis regional de las condiciones de precipitación de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe apoyado en análisis geoestadísticos para la determinación a nivel de cuenca y subcuencas de las condiciones pluviométricas del área en estudio. Generalmente al trabajar con variables distribuidas en el espacio, es necesario realizar predicciones en lugares no muestreados, puesto que ejecutar mediciones exhaustivas resultaría prácticamente inviable tanto técnica como económicamente. Con el fin de solucionar este inconveniente aparecen las metodologías de interpolación aplicadas al análisis climatológico. Las técnicas de interpolación han sido ampliamente utilizadas para la generación de mapas de diferentes variables climáticas, ya que permiten crear superficies continúas facilitando el análisis de la condición climática al predecir valores por medio de la interpolación para todas las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra.

Como puede observarse en laFigura 2.1, la localización de las estaciones es de alta densidad en las áreas aledañas a la cuenca, es decir, fuera de sus límites, y es de muy baja densidad dentro del área de la misma, haciendo necesario realizar comparaciones entre varios métodos de interpolación a

nivel regional, para de esta manera, espacializar de la mejor forma posible la precipitación. En estadística, la interpolación es usada para estimar valores desconocidos a partir de una serie de datos conocidos y ponderados. Cada técnica busca determinar una función que represente adecuadamente el fenómeno bajo estudio y así disminuir la cantidad de información a recolectar en campo.

Entre diversos métodos aplicados de interpolación, en donde se presentaban alteraciones y nodos sobre las estaciones que no brindaban continuidad a la espacialización, fue el método de interpolación del inverso de la distancia al cuadrado, o Inverse Distance Weighting (IDW)[7] Este es un método matemático que usa una función inversa de la distancia, la cual parte del supuesto de que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar. Matemáticamente se expresa como:

$$Z\,(So) = \sum_{i}^{N} = \lambda_i * Z\,(Si) \qquad \textbf{(2)}$$

En el cual Z (So) es el valor a predecir, N es el número de muestras alrededor del punto a predecir, λi son los pesos asignados a cada punto vecino y Z (Si) son los valores medidos. Los pesos de los puntos vecinos están dados por:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_i^N = 1\, d_{i0}^{-p}} \qquad \textbf{(3)}$$

En el cual d es la distancia entre el lugar de predicción (So) y el lugar muestral (Si); P es un factor de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción. El IDW es ampliamente usado en la estimación de campo de precipitaciones generadas para diferentes agregaciones temporales, ajustándose geoestadísticamente de buena manera en áreas que no tienen una distribución continua de puntos.

La mayor ventaja del método de IDW, es, como lo señalan Chen y Liu (2012), es su amplia utilidad a la hora de estimar parámetros que no poseen una distribución normal y que sus condiciones de distancia y densidad no son uniformes. A su vez, el parámetro de influencia crítica del método IDW es la distancia, y por esta razón no se considera la elevación de las estaciones de registro de precipitación. La herramienta IDW utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

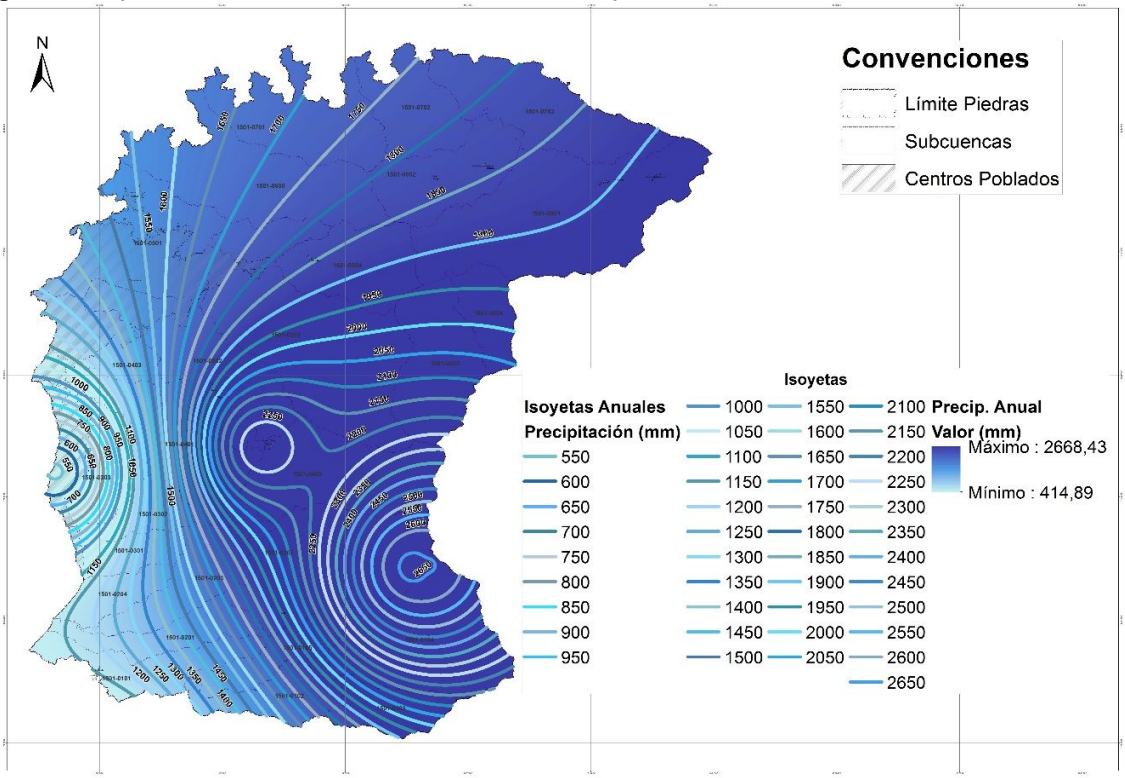
Teniendo en cuenta las condiciones de localización de los puntos de referencia dentro de la estación, en donde no se posee información para toda el área de la cuenca, teniendo áreas sin presencia de estaciones hacia la zona costera de la misma, se obtuvo el mejor ajuste por medio de la interpolación a través del método IDW. Como mencionan Chen y Liu (2012), a través del método de IDW, la espacialización de la precipitación obtenida por medio de la interpolación genera resultados

[7] R. Cañada et al. “Sistemas y análisis de la información geográfica”. Alfaomega, 2008.

satisfactorios en cuanto a la simulación de datos para cada uno de los puntos de información, preservando las propiedades de los mismos y mimetizando la estadística observada a un nivel muy aceptable para propósitos prácticos. Esto quiere decir que, en análisis regionales y teniendo en cuenta la distancia a la cual se encuentran las estaciones, de manera discontinua e irregular, este método permitió determinar de manera continua las tendencias de precipitación de la cuenca, a diferencia de otros métodos aplicados que generaban alteraciones y nodos sobre cada una de las estaciones con información, alterando las tendencias de precipitación espacialmente.

Las isoyetas son la representación gráfica de las líneas de tendencia de precipitación sobre un área determinada por medio de un plano cartográfico, mostrando áreas y sus respectivos valores de precipitación o isolíneas, las cuales permiten ilustrar la distribución que tienen las lluvias en el área de estudio. Para el desarrollo de las Isoyetas, por medio del GIS SURFER, se generaron las interpolaciones posibles con los métodos anteriormente mencionados, obteniendo un mejor ajuste a las condiciones de la cuenca con el método IDW. En la Figura 2.9 se pueden observar las isoyetas a nivel anual para la cuenca.

Figura 2.9. Isoyetas de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

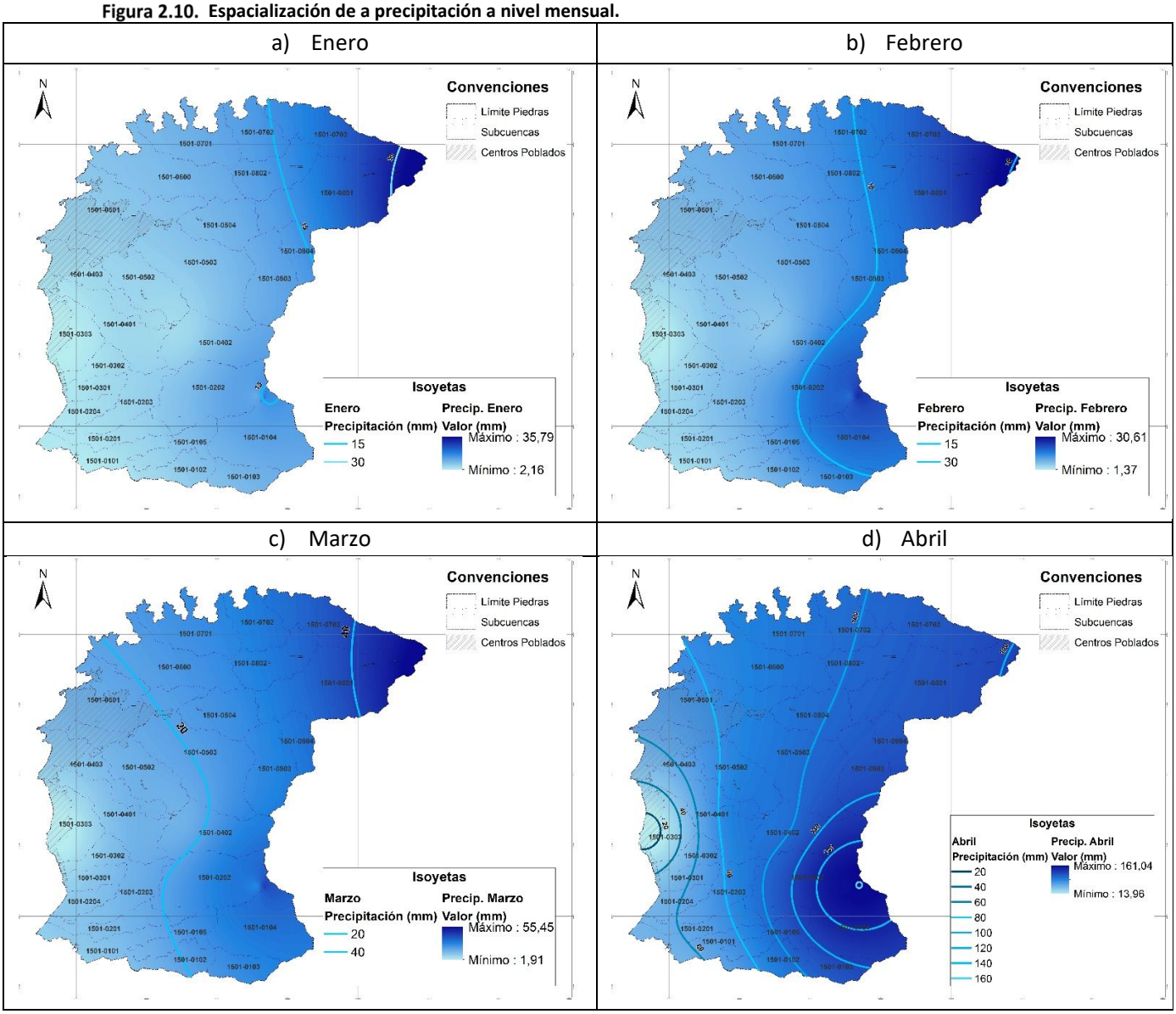


La distribución espacial de la lluvia para las cuencas de los ríos piedras, Manzanares y otros afluentes al Caribe permite observar que las mayores precipitaciones se presentan en el costado sur y occidental de la cuenca, donde los valores totales multianuales de precipitación anual permiten

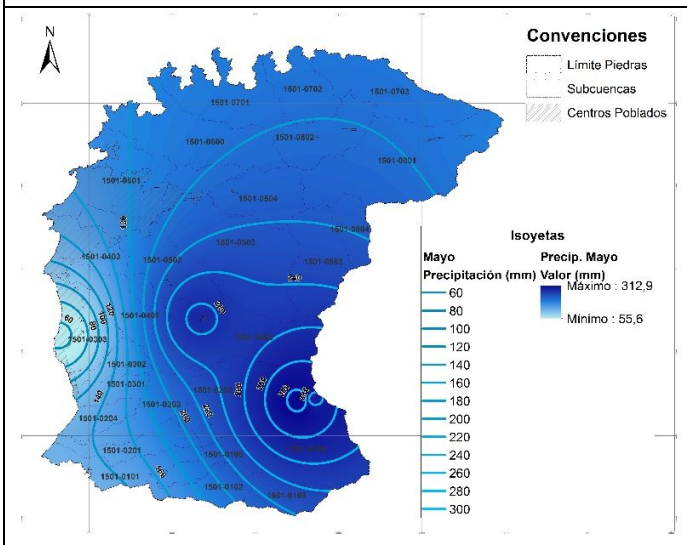
evidenciar un rango aproximado de precipitaciones entre los 2100 y los 2500 mm anuales. El valor medio total para toda la cuenca es de 1789.7 mm anuales.

Para llegar a la espacialización de la precipitación a nivel anual, se desarrollaron las Isoyetas correspondientes a cada uno de los meses del año, presentadas a continuación en la Figura 2.10.

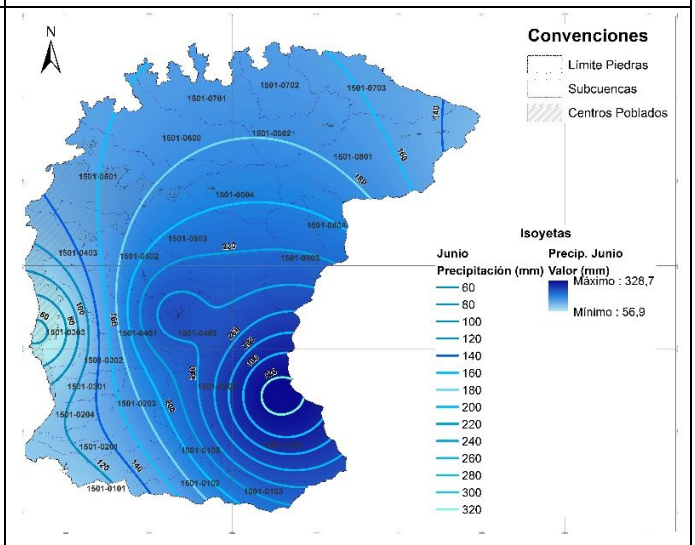
Figura 2.10. Espacialización de a precipitación a nivel mensual.



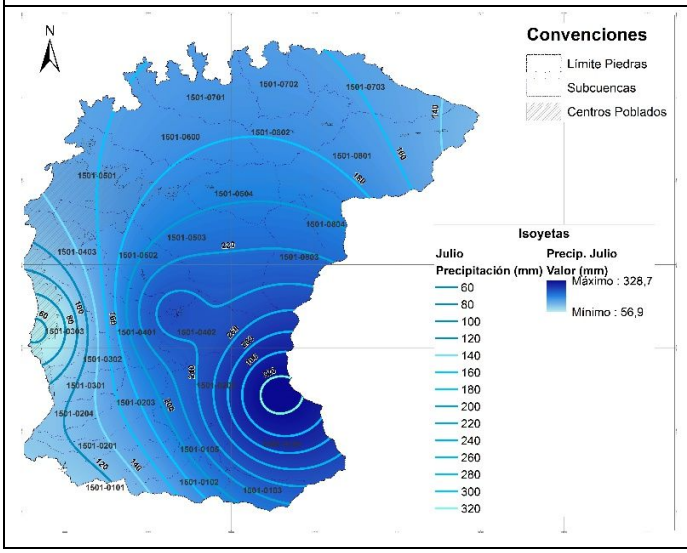
e) Mayo



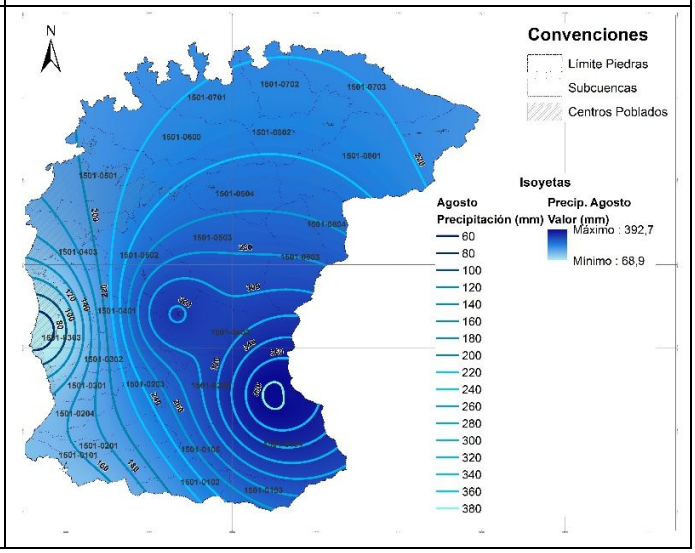
f) Junio



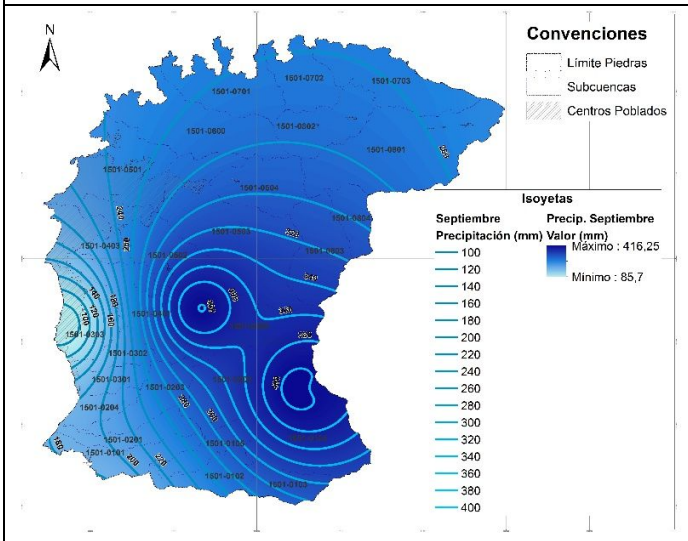
g) Julio



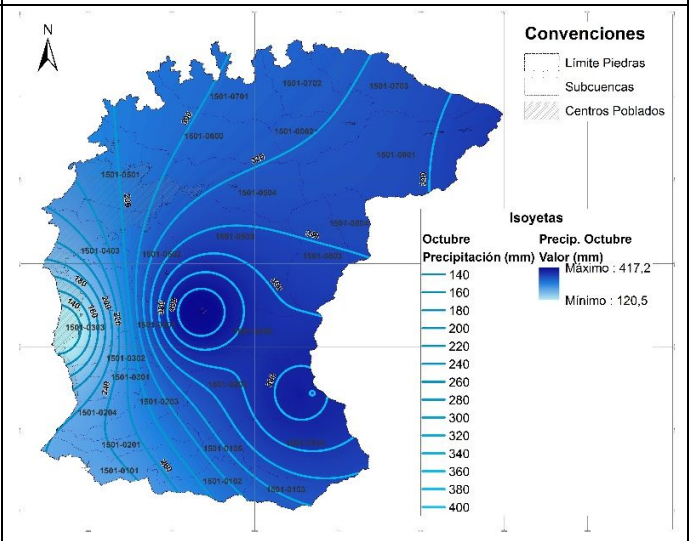
h) Agosto



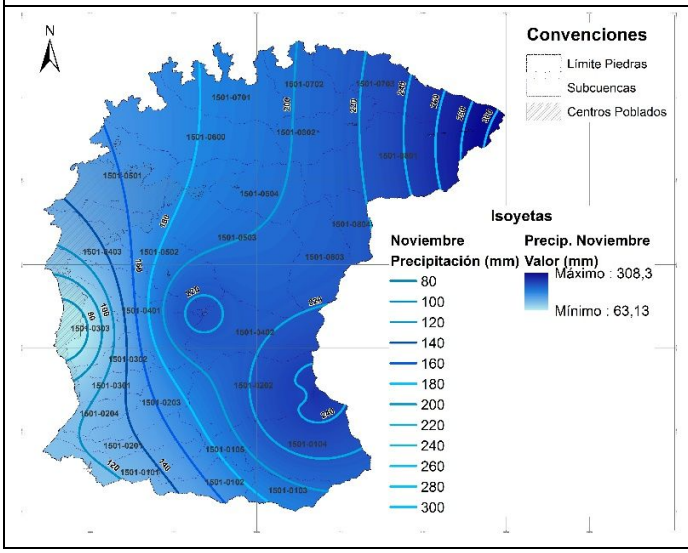
a) Septiembre



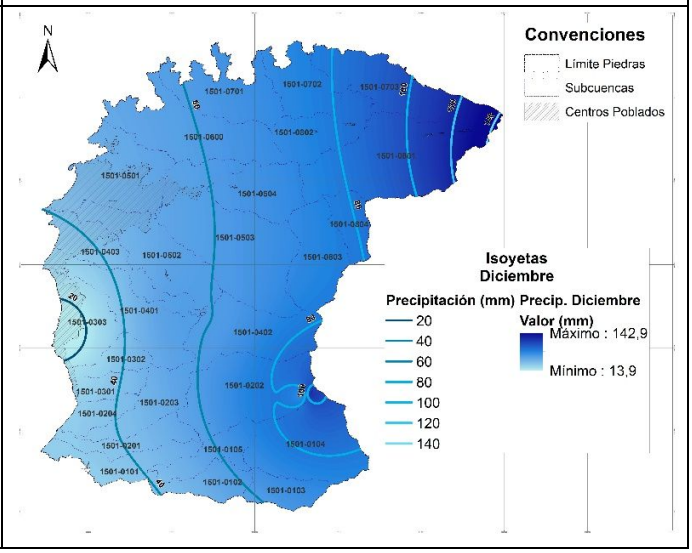
b) Octubre



a) Noviembre



b) Diciembre



2.3.2. Distribución temporal de la precipitación

De acuerdo con el análisis realizado con la información base de las estaciones útiles a nivel diario, se logró establecer que la cuenca en estudio posee un régimen pluviométrico monomodal, consistente con el comportamiento de la región Caribe, en donde se presentan dos períodos definidos; uno de alta precipitación, que va desde el mes de mayo al mes de octubre, y de diciembre a marzo presentando un período seco, siendo los meses de enero y febrero los más secos.

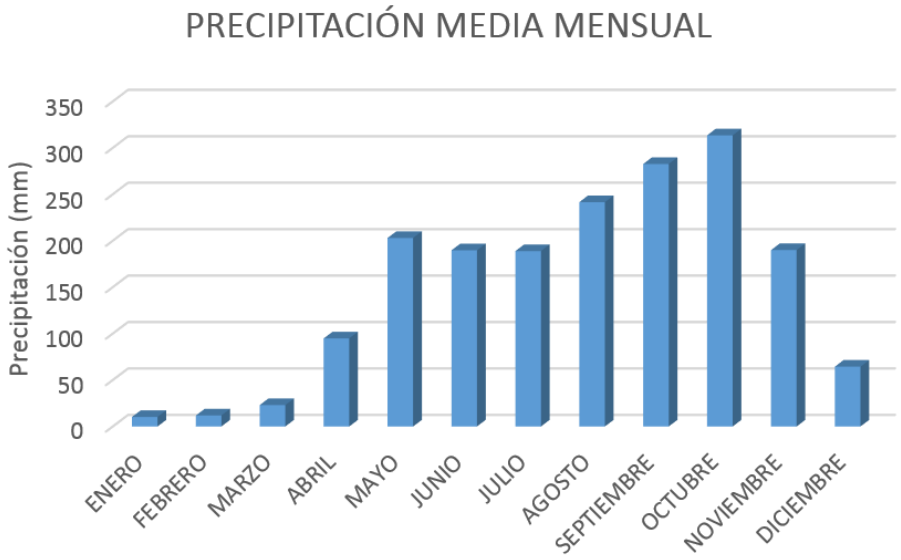
En la Tabla 2.4 se muestra la variación temporal de la precipitación media mensual (mm/mes), mostrando el comportamiento monomodal de la cuenca de los ríos en estudio.

Tabla 2.4. Variación temporal de la precipitación media mensual para la caracterización climática de la cuenca.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO E CORTISSOZ	1,2	0,8	1,4	29,2	116,3	82,9	87,0	115,0	164,7	170,8	94,4	35,4	899,0
APTO SIMON BOLIVAR	2,2	1,4	1,9	14,0	55,6	60,1	56,9	69,0	85,7	120,5	63,1	13,9	544,2
BONGO EL	2,9	1,7	13,7	76,7	171,4	157,0	120,7	182,4	210,5	299,5	136,5	37,1	1410,4
BURITACA	42,1	40,8	63,9	137,8	199,7	127,2	108,8	208,4	247,5	378,2	352,4	164,7	2071,5
CARMEN EL	3,3	4,2	17,7	82,1	245,7	198,0	139,7	192,4	234,6	339,2	150,8	34,8	1642,7
CENIZO EL	26,6	28,5	69,8	252,3	336,0	271,4	246,3	276,5	350,4	391,5	289,8	92,3	2631,4
DESTINO EL	2,7	10,3	25,2	99,4	211,5	158,0	141,5	177,6	223,0	324,5	162,1	51,7	1587,5
DIBULLA	16,4	17,4	32,2	111,2	159,9	82,0	42,0	125,1	214,8	308,8	213,6	54,3	1377,6
ENANO EL	0,7	0,5	4,3	36,6	121,8	124,9	89,6	136,9	192,7	219,5	103,6	21,8	1052,8
ESPERANZA LA	1,0	0,4	8,7	76,4	183,8	154,9	144,5	188,8	200,2	272,9	144,1	39,9	1415,7
FUNDACION	9,0	8,5	34,2	110,2	194,6	139,8	132,0	160,7	213,1	266,3	147,7	44,5	1460,7
GAVILAN EL	1,9	1,8	9,8	47,2	109,6	123,0	88,8	123,2	154,4	212,4	100,9	23,6	996,6
GUACHACA	46,7	37,2	68,0	128,1	175,2	114,2	107,5	187,2	230,7	380,3	359,8	177,3	2012,2
LOMA LA	1,4	2,5	17,8	72,4	155,4	132,7	114,0	169,4	170,1	188,6	97,1	22,6	1143,8
MARIA LA	5,1	7,1	38,7	108,2	202,1	140,8	119,9	165,6	210,0	291,4	138,6	40,9	1468,4
MINCA	4,8	6,2	15,9	93,3	264,1	235,3	247,5	321,5	400,4	417,2	224,5	59,9	2290,6
PADELMA	2,0	2,2	10,4	52,7	148,1	141,4	116,9	150,2	182,4	260,7	132,0	36,2	1235,4
PALMA LA	0,6	0,7	5,7	38,3	99,9	85,1	68,4	99,0	137,0	186,2	86,8	26,0	833,7
PALO ALTO	1,3	1,8	6,6	57,6	134,0	132,3	101,1	134,3	165,4	220,2	89,5	23,3	1067,4
PARIS DE FRANCIA	6,9	17,5	53,6	138,5	202,0	117,9	112,1	156,6	169,1	203,7	124,5	40,9	1343,2
PRADO SEVILLA	2,1	2,7	10,6	73,5	177,2	162,0	139,8	173,2	221,8	279,4	143,3	35,4	1420,9
PROYECTOS LOS	0,2	1,2	6,4	59,5	134,6	119,7	88,2	131,5	166,0	207,4	83,6	23,8	1021,9
PTO GIRALDO	4,1	4,6	25,4	76,9	126,1	112,4	107,4	122,3	142,4	145,7	97,2	30,7	995,2
SAN ISIDRO	1,5	0,5	4,7	35,9	115,8	92,6	81,5	103,6	147,9	190,4	79,3	19,0	872,7
SAN LORENZO	16,5	23,8	38,9	161,1	274,3	305,7	323,4	367,6	394,6	379,6	254,8	111,5	2651,7
SAN PABLO	21,6	31,0	80,6	206,7	337,4	250,4	229,0	292,6	317,2	377,7	191,2	84,3	2419,6
SAN RAFAEL	2,1	4,0	29,3	115,1	236,7	211,6	181,5	259,9	263,9	285,3	161,9	40,9	1792,3
SAN SEBASTIANDER	13,1	35,7	61,9	133,7	183,1	124,4	115,1	158,0	169,6	176,7	91,7	37,9	1300,8
SEVILLANO	0,4	0,2	4,7	34,1	86,5	117,4	78,3	137,9	165,6	232,5	117,8	26,8	1002,2
TASAJERA	0,9	0,6	3,4	11,7	37,7	34,1	29,1	69,1	89,3	92,0	36,9	10,1	414,9
UNION LA	2,5	1,3	5,8	47,8	150,8	123,9	116,1	161,4	216,0	273,9	148,8	44,8	1292,9
VISTA NIEVES	11,5	17,5	26,9	150,1	312,9	314,0	328,8	392,7	416,3	392,1	236,4	69,1	2668,4

Por medio del análisis espacial de los valores medios de precipitación obtenidos para la cuenca, se determinó la siguiente distribución temporal de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe.

Tabla 2.5. Variación temporal promedio de la precipitación media mensual para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.



2.3.3. Distribución espacial de la temperatura

Teniendo en cuenta la relación inversa entre la altitud y la temperatura superficial del aire, se desarrolló el cálculo del gradiente de temperatura mes a mes para conocer con mayor detalle la variación de temperaturas a través del área de la cuenca. Por medio de una correlación lineal, se generó la distribución espacial de la temperatura con relación a la altitud, calculando los valores promedios mensuales de la temperatura de cada una de las estaciones utilizadas, y la información altitudinal proveniente del Modelo de Elevación Digital de la cuenca. Los gradientes altitudinales fueron determinados usando la función de regresión lineal desarrollada por Fries et al (2011) para el cálculo de gradientes altitudinales en ecosistemas andinos diversos y áreas pertenecientes a la línea Ecuatorial y Tropical, desarrollada a continuación:

$$Tmes = \acute{\Gamma} \cdot z + b \qquad \textbf{(4)}$$

Dónde:
$\acute{\Gamma}$ = Gradiente altitudinal.
z= Altitud.
B= Intersección de la regresión.

A su vez, para determinar los valores de temperatura en cualquier punto de la cuenca a través del año, de acuerdo al trabajo de New et al (2000), se desarrolló un procedimiento de generación de valores sintéticos combinados con los datos registrados en las estaciones disponibles a través del tiempo y su relación empírica para su estudio. Para esto, todas las mediciones se redujeron a un valor de referencia, denominado Zdet, correspondiente a la menor altitud registrada en el área de la cuenca, calculando la temperatura de referencia por medio de la siguiente ecuación:

$$Tdet = \text{Tmensual} + \acute{\Gamma} \cdot (\text{Zdet} - \text{Zestación}) \qquad \textbf{(5)}$$

Donde:

Tdet= El promedio mensual de la temperatura en los puntos sin información de la cuenca (°C).
Zdet= El valor de referencia (m.s.n.m).
Zestación= Altitud de la estación climatológica de registro de temperatura (m.s.n.m).

Con apoyo del Software ArcGis, haciendo uso del Modelo de Elevación Digital y los datos registrados por las estaciones, se desarrollan las anteriores ecuaciones para generar la superficie en formato Raster de la temperatura en relación a la altitud, que permita caracterizar mes a mes las condiciones en toda el área de la cuenca. Después de desarrollar ambas ecuaciones, de determinar la correlación entre la altura y la temperatura (r^2 =0,99), y de obtener los gradientes altitudinales para cada estación, se desarollaron los mapas mensuales y anuales de temperatura en la cuenca.

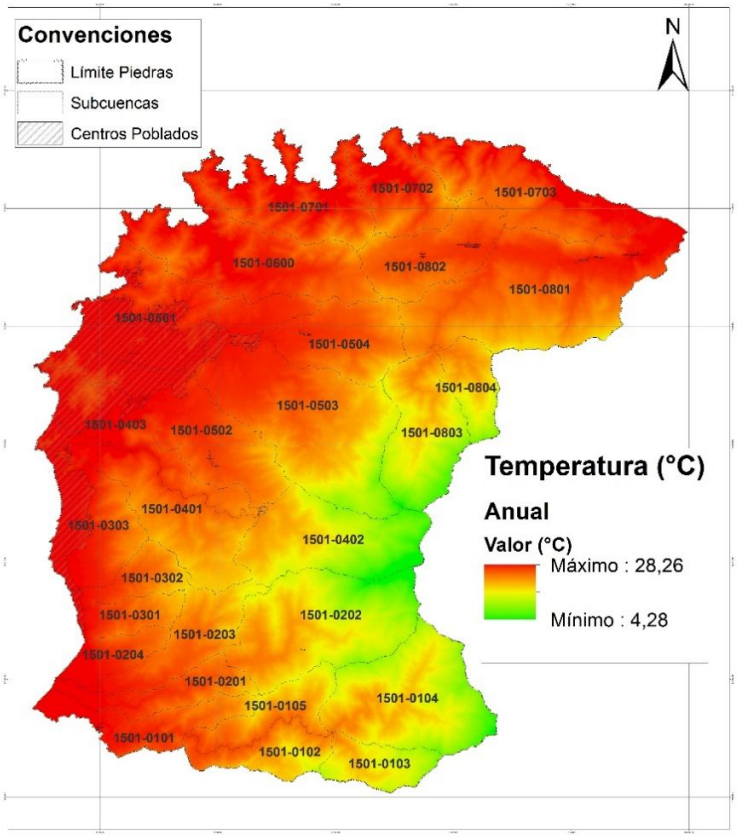
A continuación, se presentan los gradientes de temperatura detrerminados para la cuenca.

Tabla 2.1. Gradientes altitudinales de temperatura media mensual y anual para la cuenca

Gradientes Altitudinales (°C por cada m.s.n.m)	
Enero	0,006
Febrero	0,006
Marzo	0,0059
Abril	0,0058
Mayo	0,0055
Junio	0,0054
Julio	0,0055
Agosto	0,0054
Septiembre	0,0055
Octubre	0,0054
Noviembre	0,0055
Diciembre	0,0057
Anual	0,0056

Los anteriores gradientes responden a lo definido por Eslava (1992), quien determinó que el gradiente vertical de la temperatura (disminución de la temperatura por cada 1000 m. de altitud) oscila desde 1,62 °C en la región del Pacífico, hasta 6,13°C en la región Andina, con un promedio para toda Colombia de 5,53°C, y definiendo un gradiente para la región Caribe de 5.89°C/km, guardando una gran similitud con los valores obtenidos en el presente proyecto.
A su vez, es importante resaltar que la dependencia lineal empírica expresada en la relación anterior, concuerda aproximadamente con el decrecimiento de la temperatura en la atmósfera en función de la altura sobre el nivel del mar para condiciones adiabáticas cercanas a saturación, cuyas ligeras diferencias pueden ser explicadas en función de la humedad del aire (Mesa et al. 1997). La distribución espacial de la temperatura para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe se presenta a continuación en la Figura 2.11

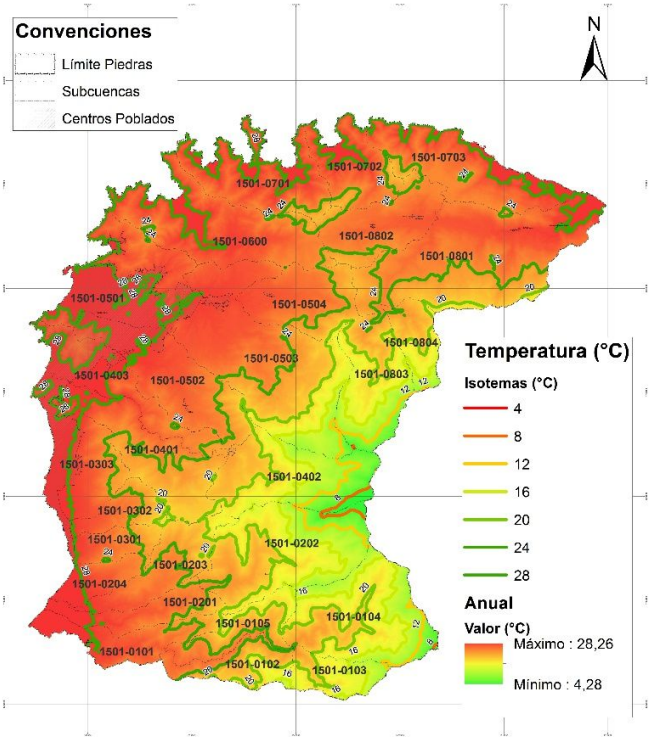
Figura 2.11. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca.



La anterior figura muestra cómo se registran las menores temperaturas en el área de mayores altitudes de la cuenca, al occidente de la misma, llegando a registrar hasta 7°C, mientras que en las zonas planas, localizadas hacia la línea costera de la cuenca, la temperatura media registra valores de 28°C.

Como se mencionó anteriormente, sólo se disponía de 6 estaciones climatológicas en el área de estudio, por lo que la distribución espacial de la temperatura por medio del análisis del DEM, el gradiente adiabático y la información meteorológica dada por las estaciones con información, haciendo uso de la metodología de interpolación anteriormente mencionada por medio del método IDW anteriormente explicado, con el uso de los SIG Surfer 13 y ArcGis 10.3, permitió generar las siguientes isotermas, mostrando que, en efecto el promedio de la temperatura en toda el área de la cuenca está entre los 20 y 24°C.

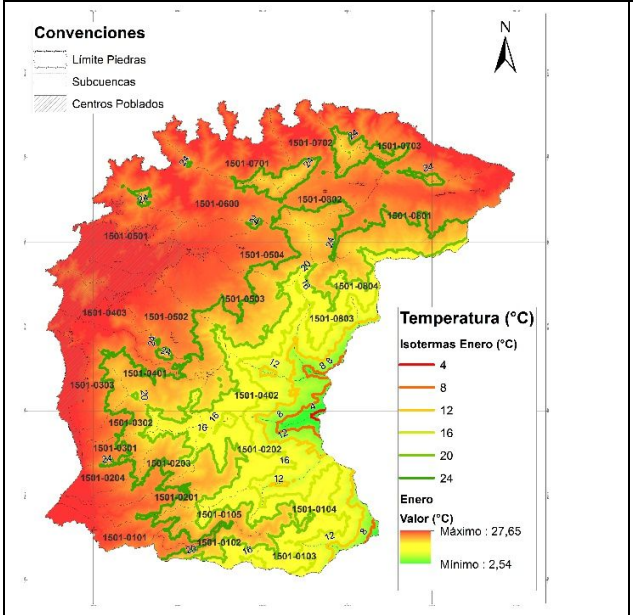
Figura 2.12. Isotermas para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe.



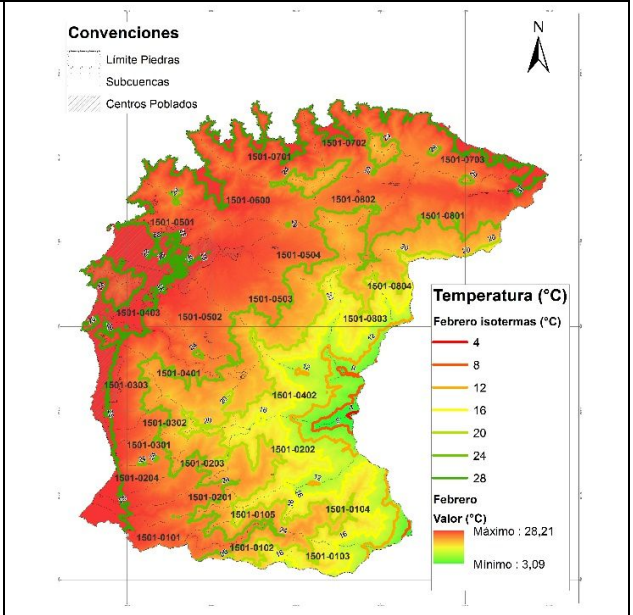
Respecto a la distribución espacial de la temperatura, la cuenca posee una condición sumamente regular a través del año, teniendo variaciones de 1°C a través de las épocas de sequía y precipitaciones altas en la cuenca (Abril y Octubre) en donde las temperaturas en las zonas más planas de la cuenca varían entre los 27 y 28 °C, como se presenta a continuación en la Figura 2.13.

Figura 2.13. Distribución espacial de la temperatura mes a mes.

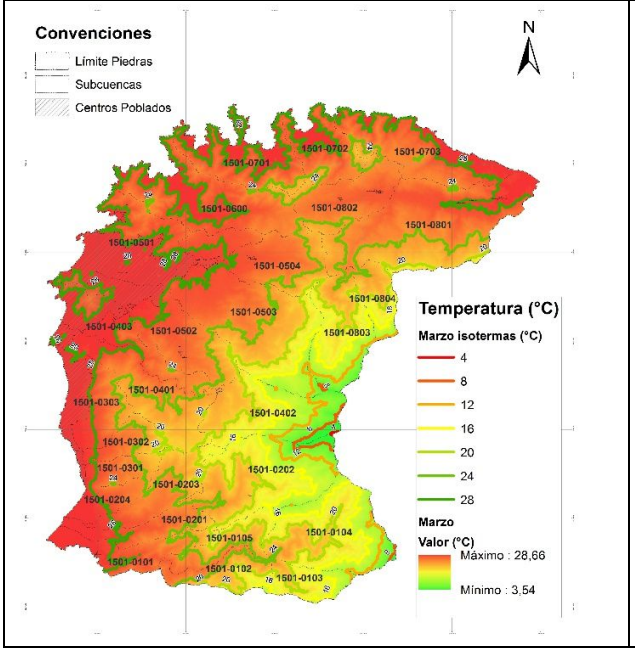
a) Enero



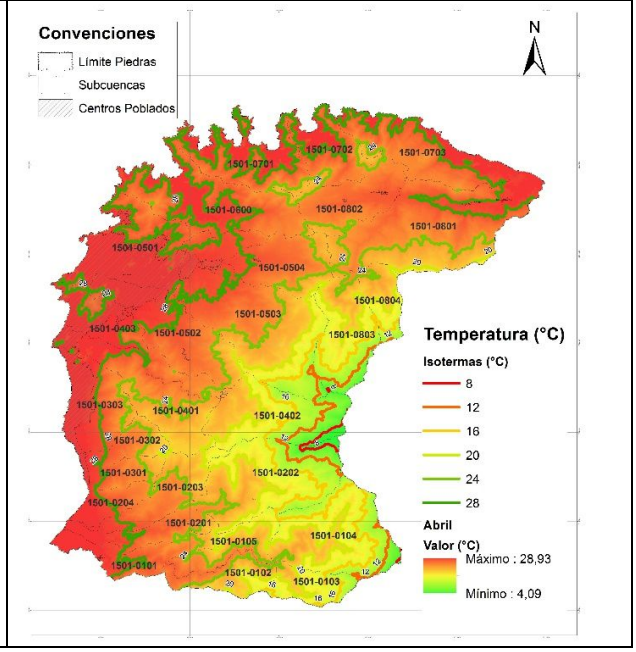
b) Febrero



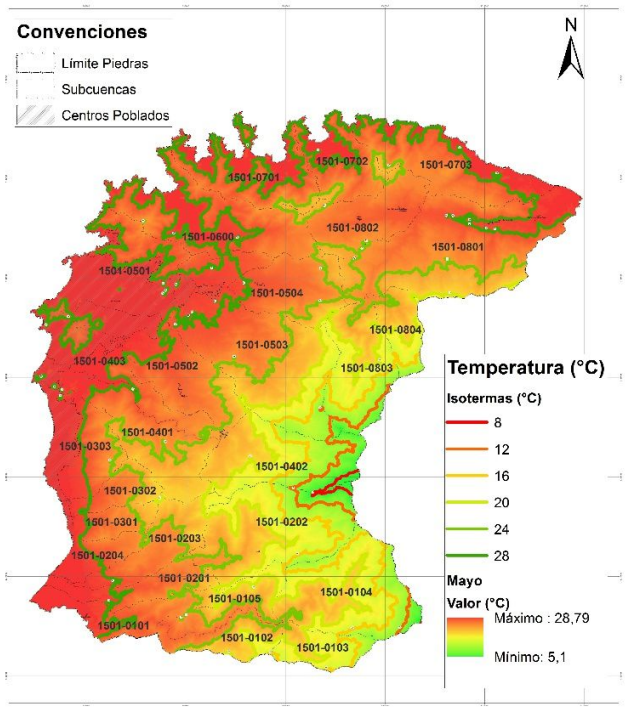
c) Marzo



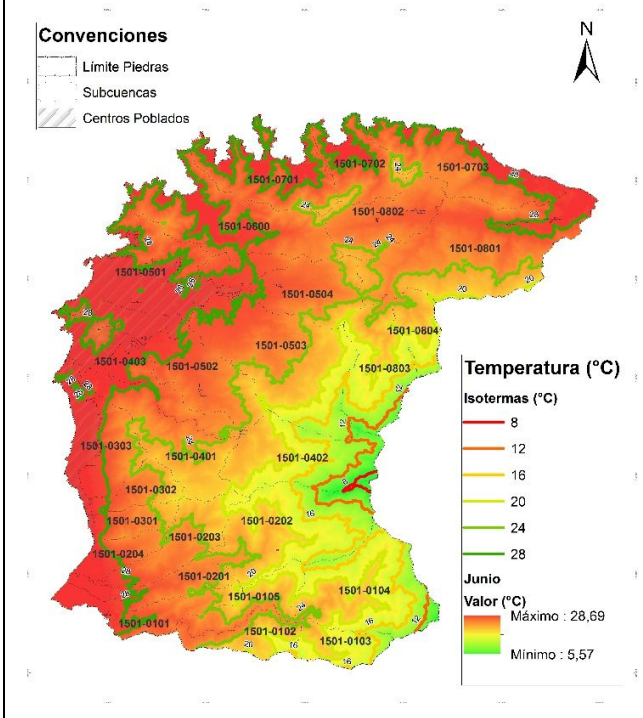
d) Abril



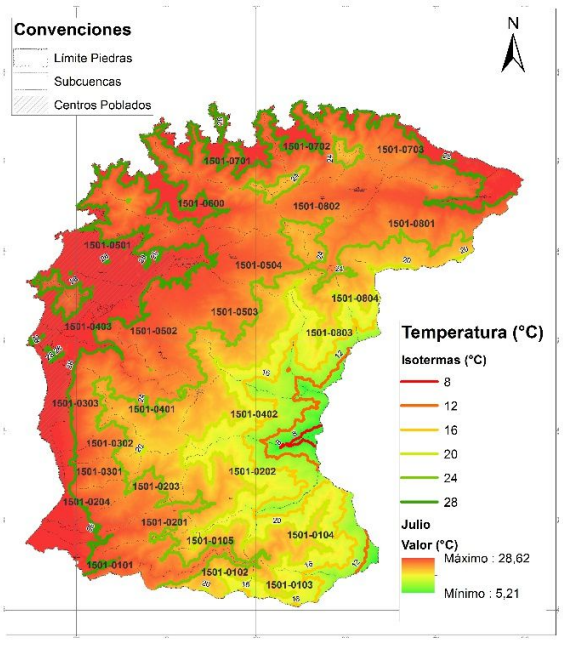
e) Mayo



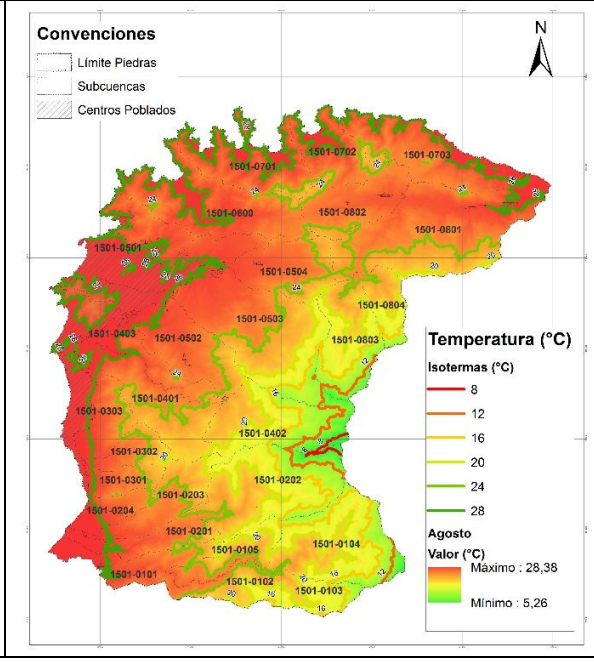
f) Junio



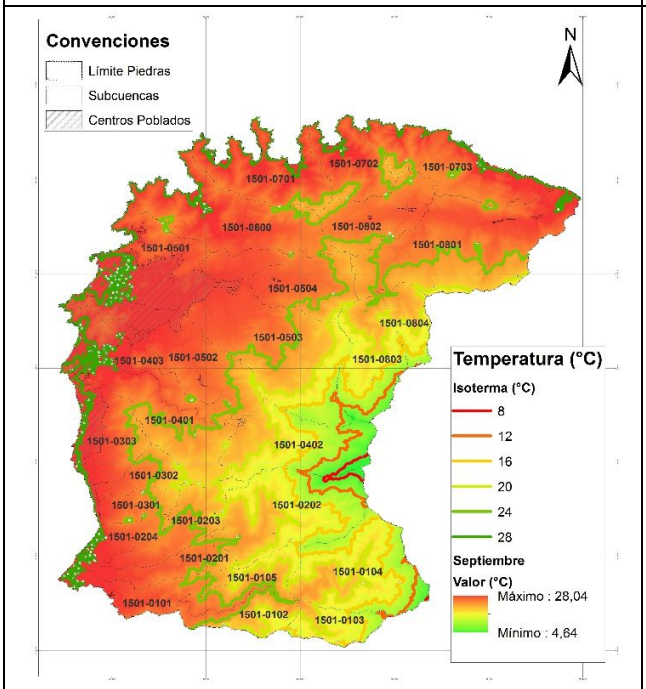
a) Julio



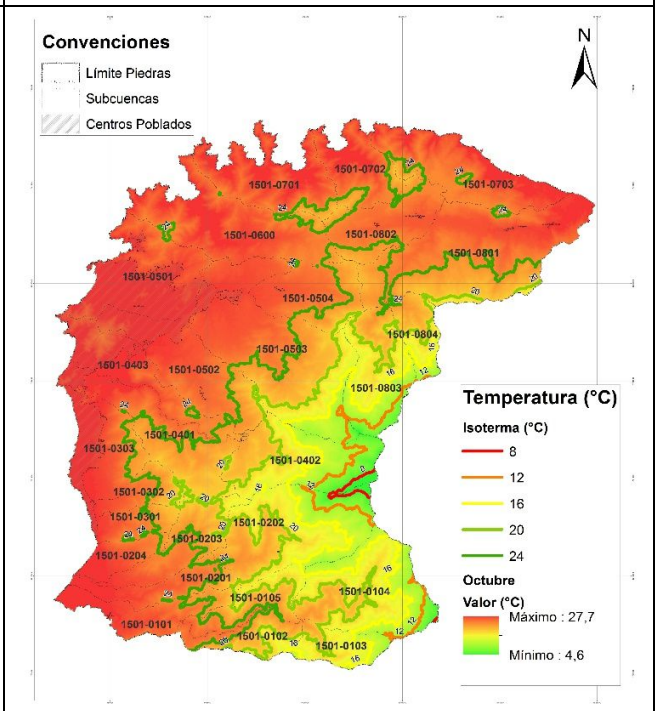
b) Agosto



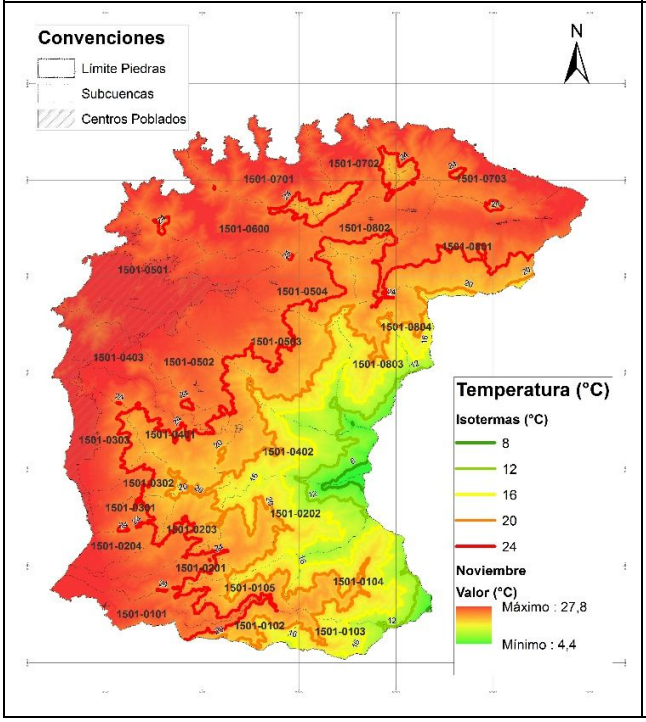
c) Septiembre



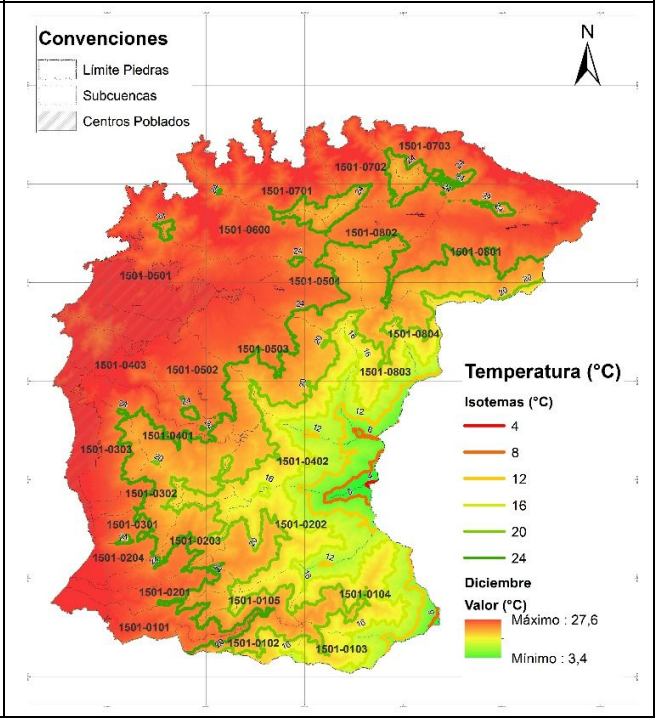
d) Octubre



a) Noviembre



b) Diciembre



2.3.4. Distribución temporal de la temperatura en la cuenca.

La temperatura es uno de los factores más importantes en el análisis climático, pues este parámetro incide directamente en los procesos de evapotranspiración y condicionan la existencia de determinadas especies vegetales.

En general, en el área donde se ubica la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se encuentran cinco estaciones con información de temperatura que cumplen los criterios del presente estudio.

La temperatura media mensual multianual en la mayor parte de la cuenca oscila entre los 24.6 ºC a 27.5 °C, coincidiendo el período más caliente con el período más seco y el período más frío con los períodos de mayor pluviosidad. Estas temperaturas corresponden a un clima Cálido; por la poca variación durante el transcurso del año, se ajusta a un régimen isotérmico de temperaturas con un promedio de 24°C, como se presentó anteriormente.

Las mayores temperaturas en la zona se presentan durante los periodos de bajas precipitaciones, es decir, los meses de marzo a Julio, con valores del orden de 25 a 26 °C. Las temperaturas mínimas se registran durante los meses de octubre a enero, con promedios de 24 a 25 °C.

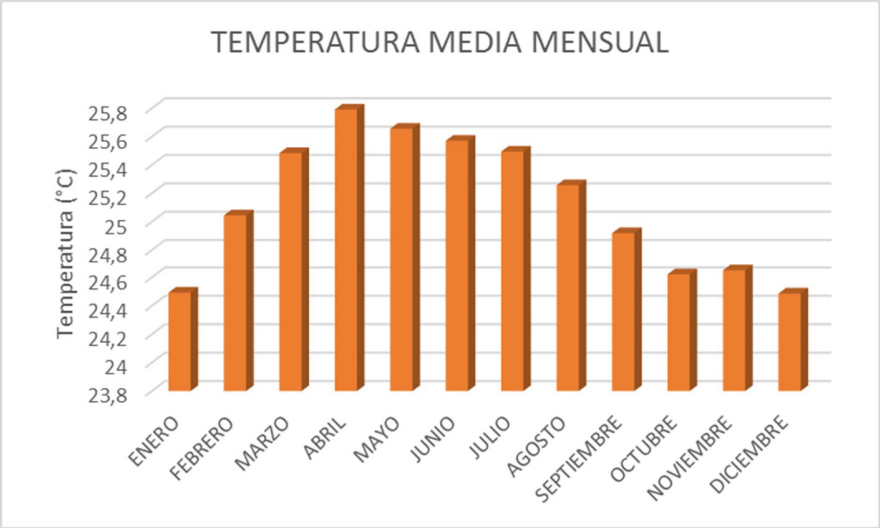
A continuación, en la Tabla 2.2 se relacionan las temperaturas medias anuales multianuales de las estaciones meteorológicas con datos disponibles.

Tabla 2.2. Valores medios mensuales multianuales de temperatura (°C) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca

NOMBRE	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
APTO SIMON BOLIVAR [15015050]	27,4	27,9	28,4	28,9	29,1	29,1	28,9	28,6	28,3	28,0	27,9	27,6
SAN LORENZO [15015060]	12,4	12,9	13,3	13,9	14,3	14,4	14,2	14,1	13,7	13,5	13,3	12,7
PADELMA [29065020]	27,4	27,9	28,4	28,5	28,1	28,1	28,1	27,8	27,5	27,2	27,4	27,4
PRADO SEVILLA [29065030]	27,1	27,8	28,4	28,5	28,0	27,6	27,5	27,5	27,1	26,8	26,9	27,0
YE LA [15015020]	28,3	28,9	29,2	29,3	28,9	28,8	28,8	28,5	28,1	27,8	27,9	27,9

En la Figura 2.14 se presenta la variación temporal de la temperatura media mensual para la cuenca de los ríos Piedras. Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 2.14. Variación temporal de la temperatura media mensual



2.3.4.2. *Temperatura máxima.*

La temperatura máxima se considera como la mayor temperatura del aire alcanzada en un lugar determinado durante las 24 horas de un día (máxima diaria), durante un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual). También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante un período de tiempo mucho mayor (máxima absoluta). En condiciones normales, y sin tener en cuenta otros elementos del clima, las temperaturas máximas diarias se alcanzan a medio día y en las primeras horas de la tarde.

2.3.4.2.1. *Estaciones seleccionadas.*

Para el análisis de las temperaturas máximas, las estaciones climatológicas utilizadas para el análisis de las temperaturas medias también fueron útiles para la determinación de las temperaturas máximas de la cuenca.

2.3.4.2.2. *Distribución temporal.*

La distribución temporal presenta un régimen monomodal poco definido. En la Tabla 2.1, se presentan los valores máximos mensuales y el valor máximo anual y en la Tabla 2.3 la distribución temporal.

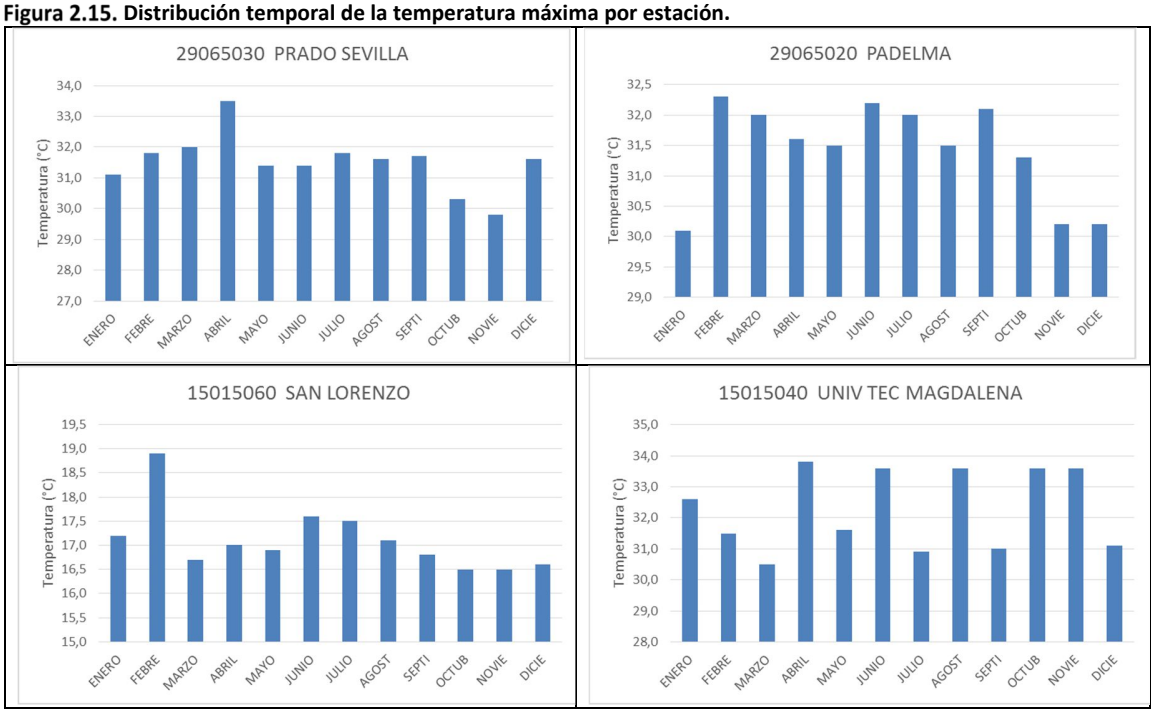
Tabla 2.1. Valores máximos de temperatura

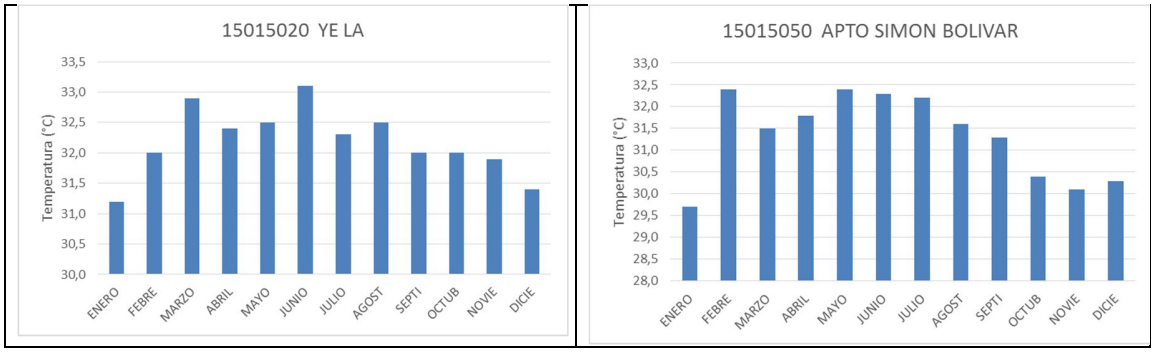
Nombre estación	Temperatura máxima (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PRADO SEVILLA 29065030	31,1	31,8	32	33,5	31,4	31,4	31,8	31,6	31,7	30,3	29,8	31,6	31,5

Nombre estación	Temperatura máxima (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PADELMA 29065020	30,1	32,3	32	31,6	31,5	32,2	32	31,5	32,1	31,3	30,2	30,2	31,4
SAN LORENZO 15015060	17,2	18,9	16,7	17	16,9	17,6	17,5	17,1	16,8	16,5	16,5	16,6	17,1
UNIV TEC MAGDALENA 15015040	32,6	31,5	30,5	33,8	31,6	33,6	30,9	33,6	31	33,6	33,6	31,1	32,3
YE LA 15015020	31,2	32	32,9	32,4	32,5	33,1	32,3	32,5	32	32	31,9	31,4	32,2
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	29,7	32,4	31,5	31,8	32,4	32,3	32,2	31,6	31,3	30,4	30,1	30,3	30,0

La distribución temporal de la temperatura máxima en las estaciones de registro de la cuenca muestran un comportamiento monomodal, registrando temperaturas de hasta 32°C anuales. En la Figura 2.15 se presenta la distribución temporal de la temperatura máxima por cada una de las estaciones de registro.

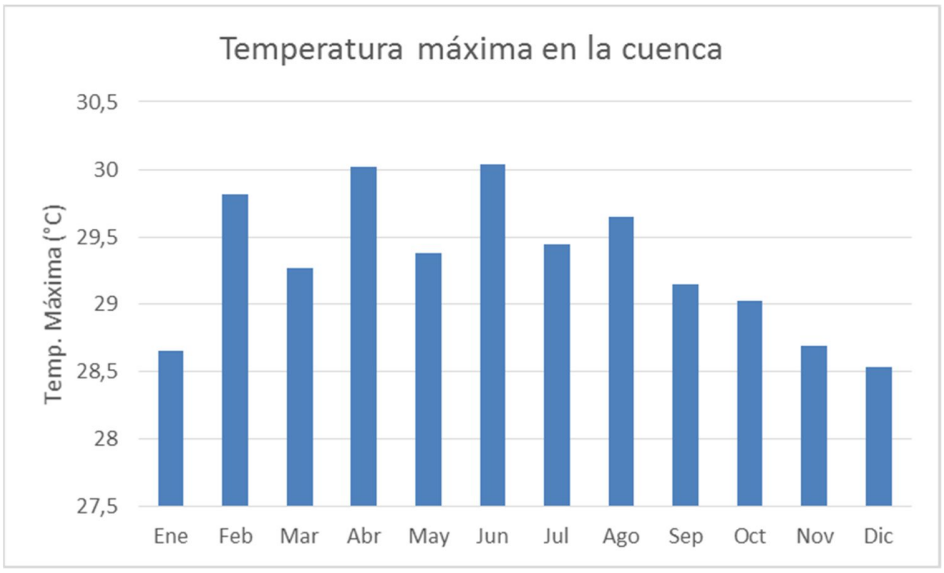
Figura 2.15. Distribución temporal de la temperatura máxima por estación.





Teniendo en cuenta la anterior información y analizando las tendencias para toda el área de la cuenca, se presenta en la Figura 2.16 la distribución temporal de la temperatura máxima en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, registrando las mayores temperaturas (30°C) en los meses de febrero, abril y junio.

Figura 2.16. Distribución temporal de la temperatura máxcima en la cuenca.



2.3.4.3. *Temperatura mínima*

La temperatura mínima es la menor temperatura alcanzada en un lugar determinado durante un día, un mes o un año, así como también la mínima absoluta alcanzada en los registros de temperaturas de un lugar determinado. En condiciones normales, las temperaturas mínimas diarias se registran en horas del amanecer.

2.3.4.4. *Estaciones seleccionadas.*

Para el desarrollo del análisis de las temperaturas mínimas, se cuenta con los valores de las mismas estaciones utilizadas para las temperaturas medias y máximas.

2.3.4.5. *Distribución temporal.*

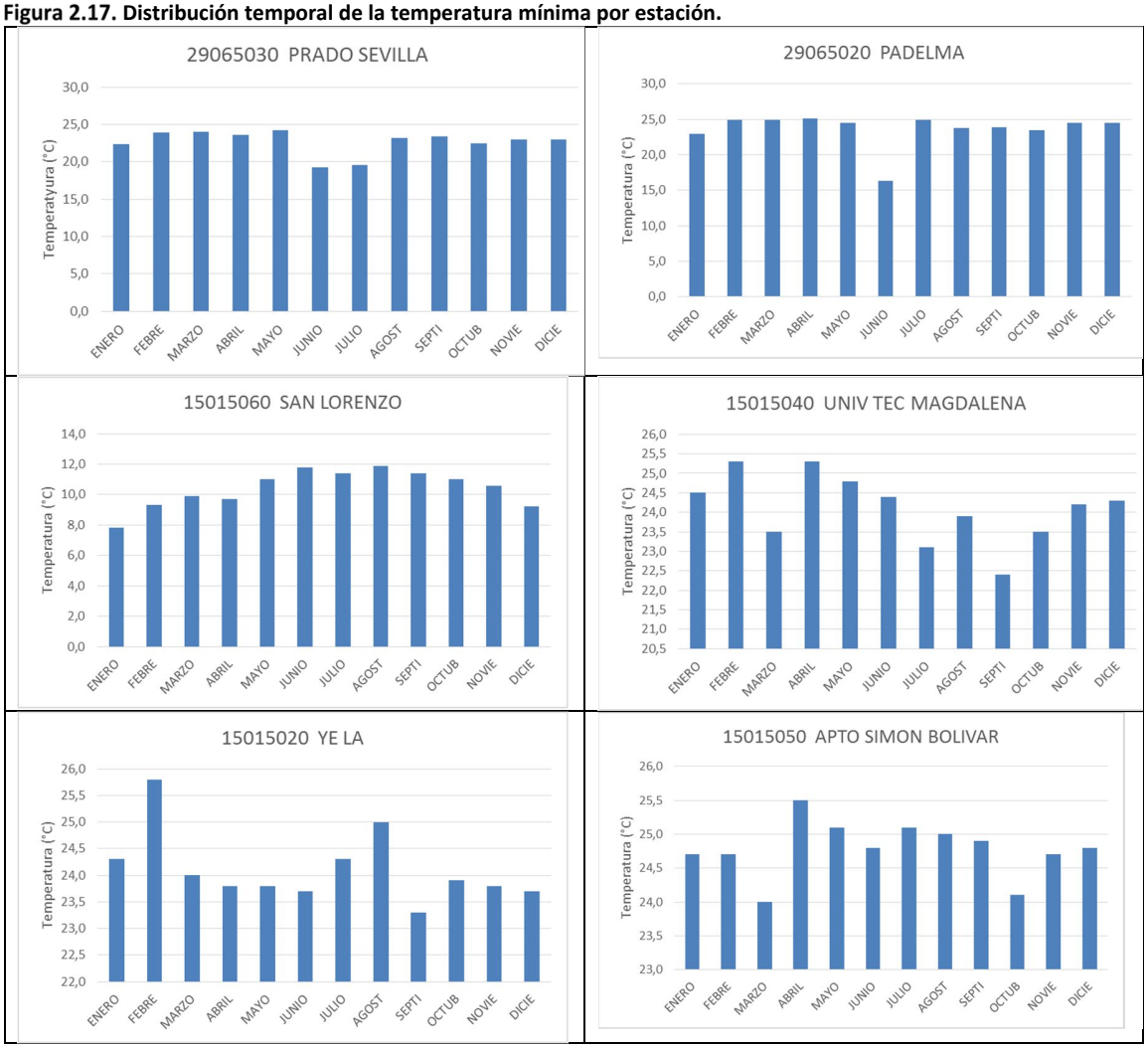
La distribución temporal de la temperatura mpinima es de tipo monomodal, presentando a continuación en la Tabla 2.2 los valores mínimos mensuales y el valor mínimo anual, y en la Figura 2.17 la distribución temporal de cada una de las estaciones de registro. De manera consecuente, la temperatura más baja es la registrada por la estación San Lorenzo, localizada a una altura mayor a la de las demás estaciones de registro de temperatura.

Tabla 2.2. Valores mínimos de temperatura.

Nombre estación	Temperatura mínima (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PRADO SEVILLA 29065030	22,4	23,9	24	23,6	24,2	19,3	19,6	23,2	23,4	22,5	23	23	22,68
PADELMA 29065020	23	24,9	24,9	25,1	24,5	16,3	24,9	23,8	23,9	23,5	24,5	24,5	23,65
SAN LORENZO 15015060	7,8	9,3	9,9	9,7	11	11,8	11,4	11,9	11,4	11	10,6	9,2	10,42
UNIV TEC MAGDALENA 15015040	24,5	25,3	23,5	25,3	24,8	24,4	23,1	23,9	22,4	23,5	24,2	24,3	24,10
YE LA 15015020	24	23,8	23,8	23,7	24,3	25	23,3	23,9	23,8	23,7			23,93
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	24,7	24,7	24	25,5	25,1	24,8	25,1	25	24,9	24,1	24,7	24,8	24,78

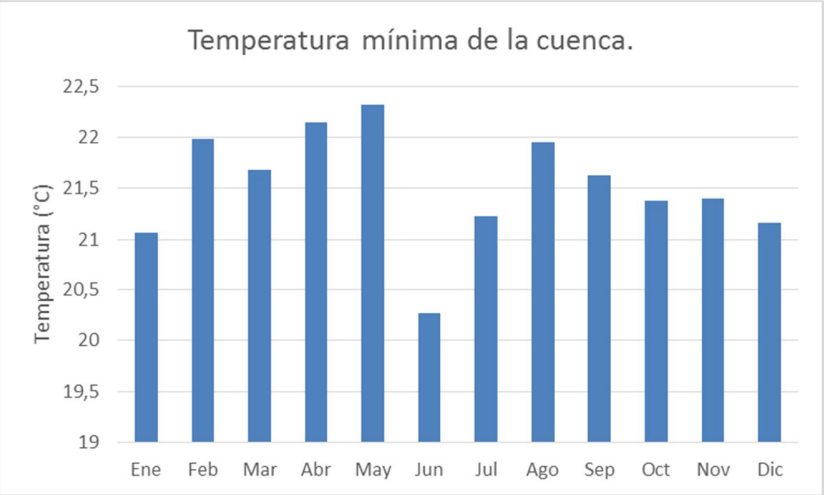
La distribución temporal de la temperatura mínima en las estaciones de registro de la cuenca muestran un comportamiento monomodal, registrando temperaturas de hasta 10°C anuales. En la Figura 2.17 se presenta la distribución temporal de la temperatura mínima por cada una de las estaciones de registro.

Figura 2.17. Distribución temporal de la temperatura mínima por estación.



Teniendo en cuenta la anterior información y analizando las tendencias para toda el área de la cuenca, se presenta en la Figura 2.18 la distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, registrando las menores temperaturas (20°C) en el mes de junio.

Figura 2.18. Distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca.



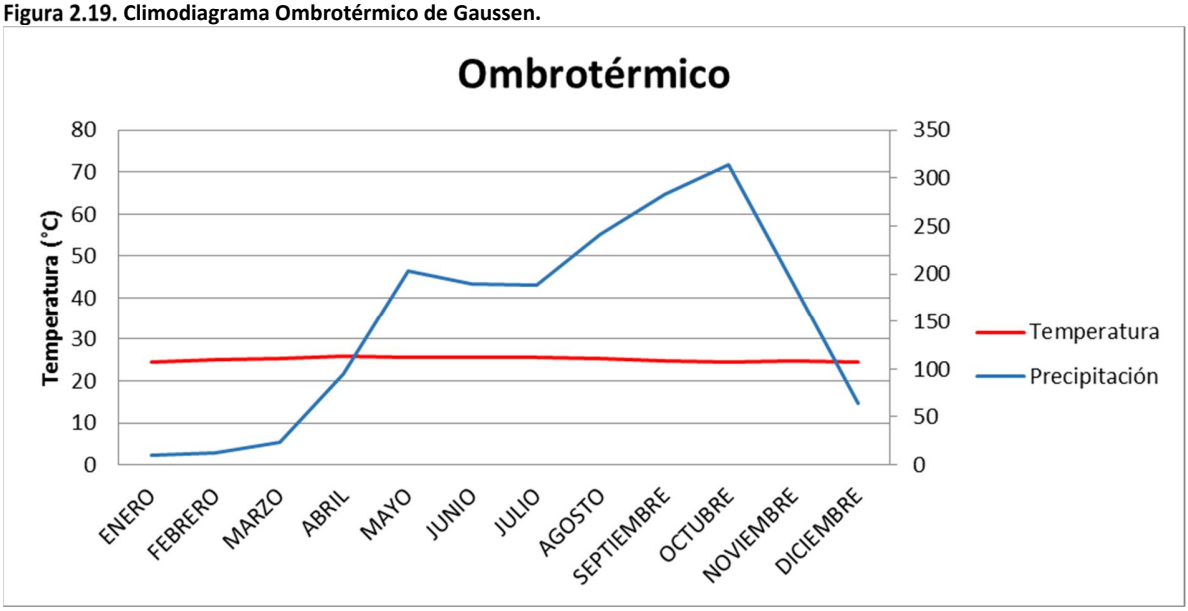
2.3.5. Relación Precipitación-Temperatura: Diagrama Ombrotérmico.

Por medio del análisis de la temperatura versus la precipitación, pueden obtenerse diversos climodiagramas que permiten caracterizar condiciones climáticas durante el año en el área de estudio. El diagrama ombrotérmico de Gaussen permite identificar los períodos secos del año por medio del análisis de las dos variables anteriores, definido por la siguiente expresión:

$$Precipitación\ (mm) = 2 * Temperaturas\ (°C) \qquad \textbf{(6)}$$

Es decir, los períodos durante el año en donde la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media, o más. Cuando la precipitación se ubica debajo de este rango de temperatura, se habla de períodos de sequía, que como se presenta a continuación en la Figura 2.19, se dan en la cuenca desde el mes de diciembre hasta el mes de Marzo.

Figura 2.19. Climodiagrama Ombrotérmico de Gaussen.



El primer trimestre del año se considera como el período en el cual, históricamente, la cuenca presenta períodos de sequía, la cual es una información de suma importancia para determinar las condiciones de uso y manejo del recurso hídrico en el área de la cuenca, y los períodos de desarrollo que deben tener diversas actividades agropecuarias e industriales.

2.3.6. Brillo solar.

En la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros Directos al Caribe, el brillo solar presenta un valor promedio mensual multianual en el orden de las 2070.4 horas al año, mientras que la insolación media mensual en promedio es de 184 horas en promedio. El número de horas de brillo solar es influenciado en la zona en gran medida por la precipitación en los diferentes meses del año, siendo el período seco el de mayor insolación y la temporada húmeda presenta los valores más bajos de brillo solar.

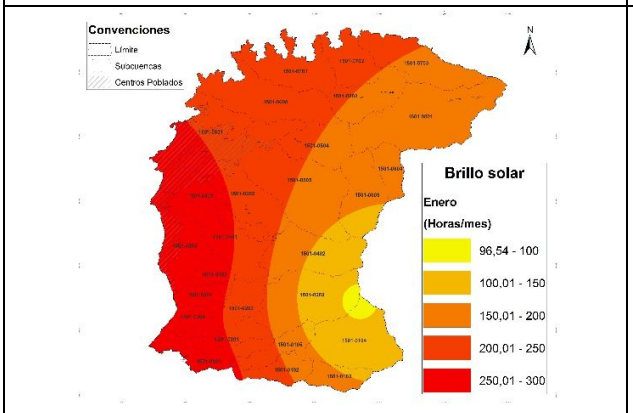
Tabla 2.3. Variación temporal del brillo solar a nivel mensual.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC
PADELMA	263,7	232,0	210,0	189,7	181,4	183,2	195,4	184,1	164,6	182,5	191,4	234,6
LA YE	274,8	244,3	238,0	213,6	201,2	203,6	217,0	210,0	183,7	197,6	217,1	254,0
PRADO SEVILLA	253,1	239,2	213,5	194,1	183,5	181,3	197,3	192,0	166,8	179,0	191,4	210,0
SAN LORENZO	96,5	83,7	88,3	77,8	78,9	85,5	103,7	96,3	72,8	55,5	52,6	76,6
APTO SIMON BOLIVAR	286,7	249,8	248,9	227,3	220,1	226,6	232,3	219,4	200,8	205,7	220,7	269,5
PROMEDIO	235,0	209,8	199,7	180,5	173,0	176,0	189,1	180,3	157,8	164,0	174,7	208,9

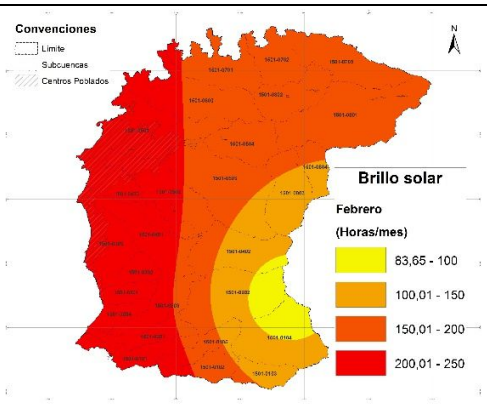
A continuación, en la Figura 2.20 se presenta la distribución espacial del brillo solar, mes a mes, según la información disponible.

Figura 2.20. Distribución espacial del Brillo Solar medio mensual en la cuenca.

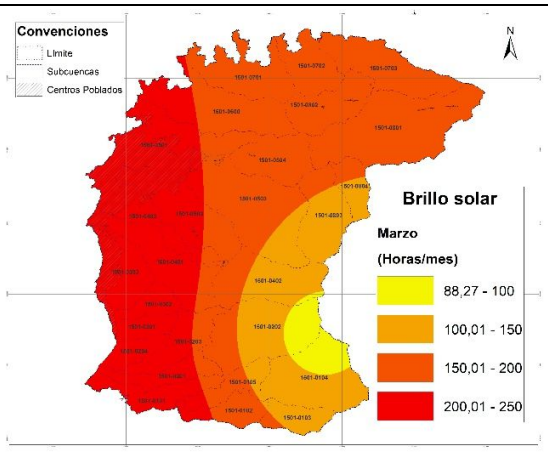
a) Enero



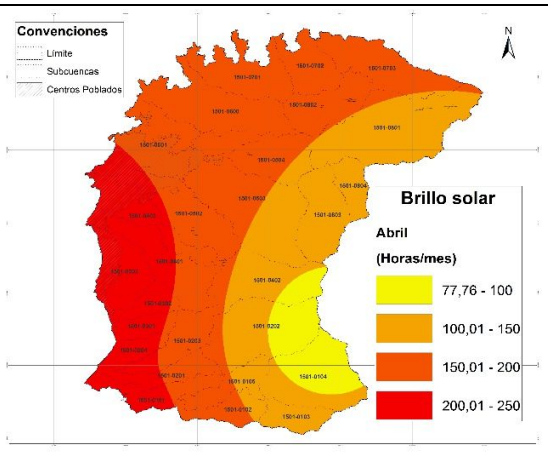
b) Febrero



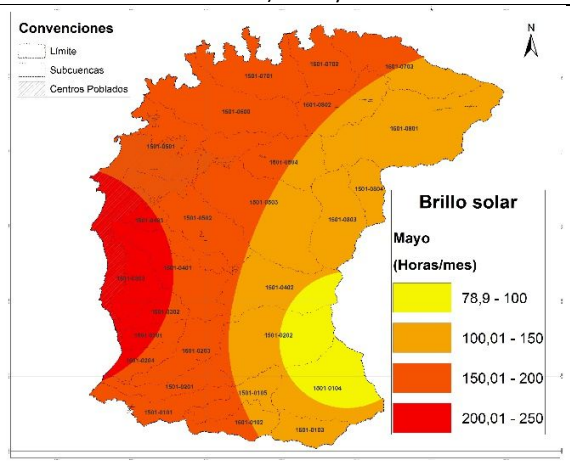
c) Marzo



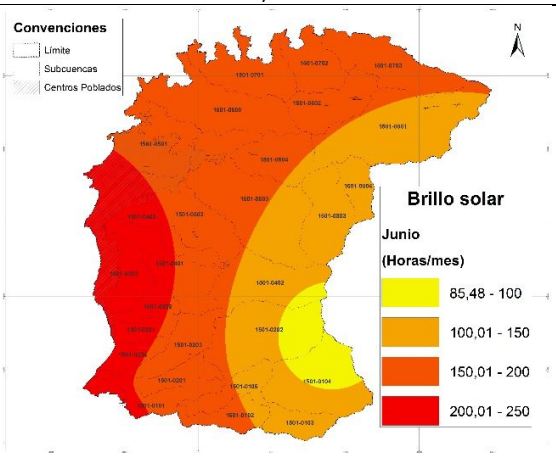
d) Abril



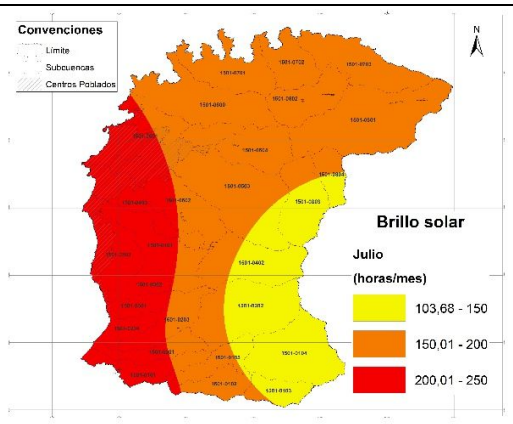
a) Mayo



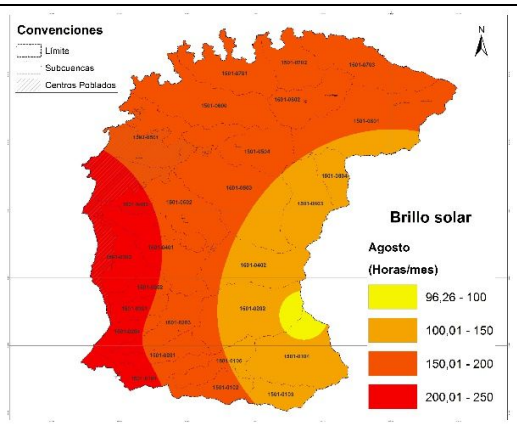
b) Junio



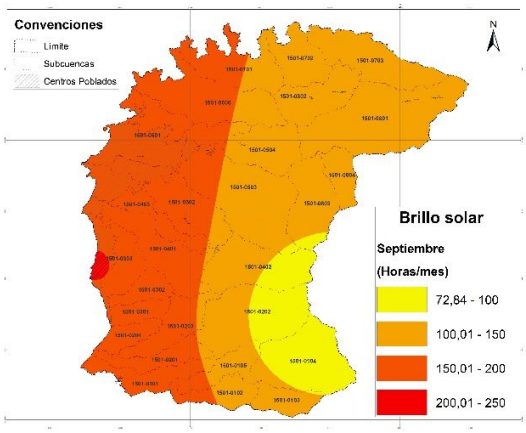
c) Julio



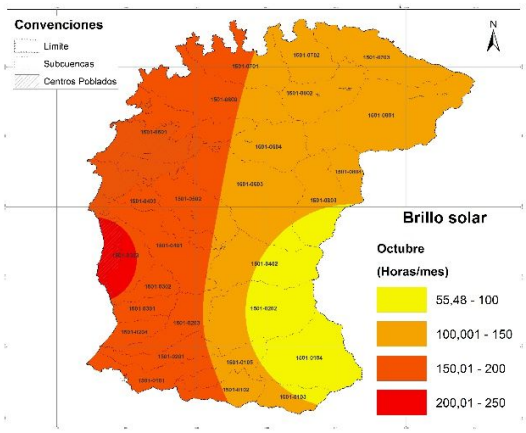
d) Agosto



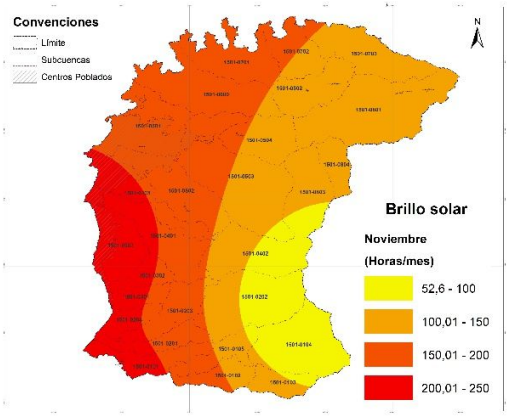
e) Septiembre



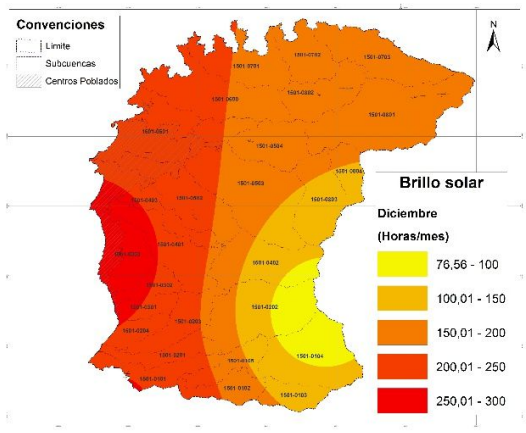
f) Octubre



g) Noviembre

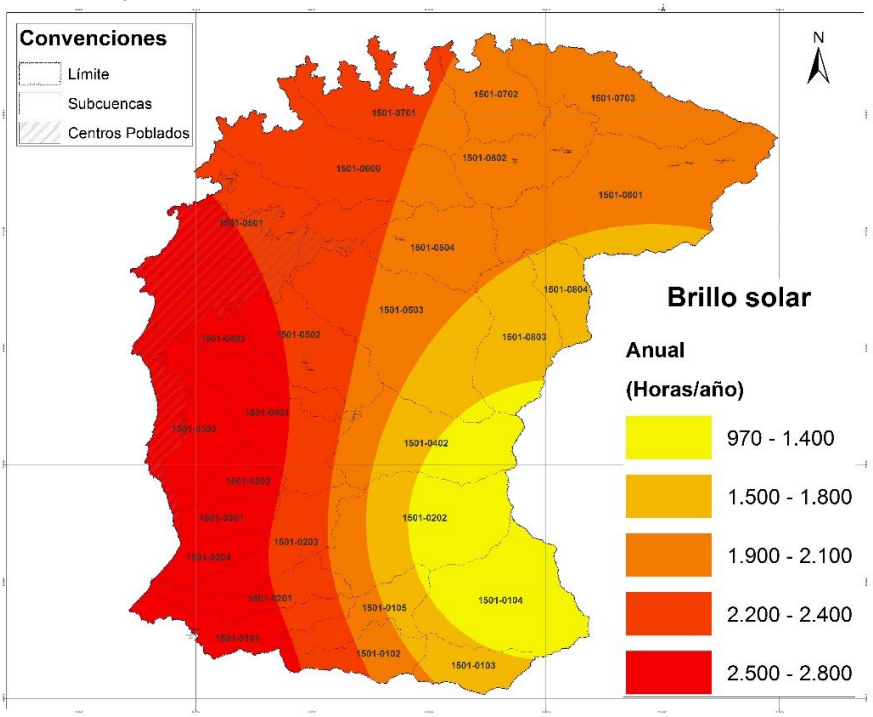


h) Diciembre



Por medio del análisis de la información disponible a nivel mensual, se generó la distribución espacial anual del Brillo Solar en el área de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y Otros directos al Caribe, presentada a continuación en la Figura 2.21.

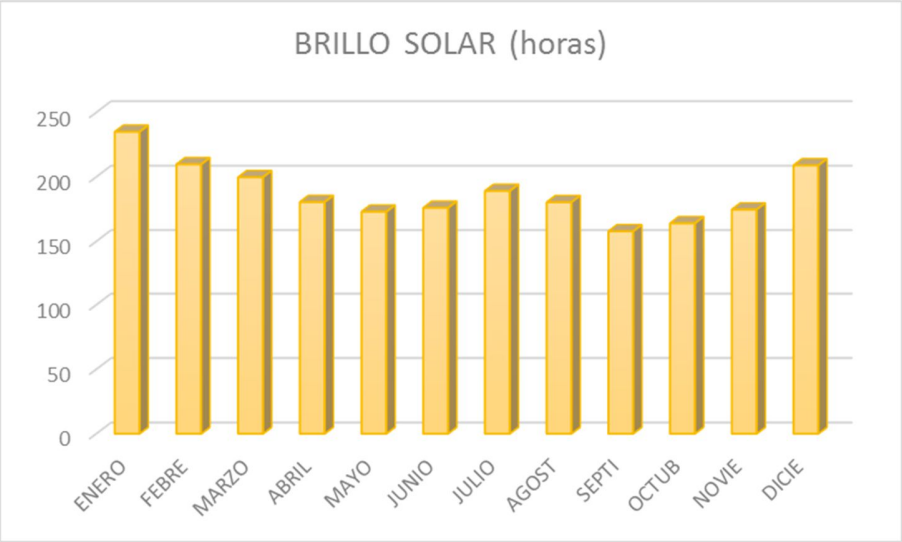
Figura 2.21. Distribución espacial del brillo solar en la cuenca.



La distribución espacial del brillo solar muestra cómo las horas de brillo solar son menores en las regiones de mayor altura de la cuenca, en donde, a su vez, se presentan las menores temperaturas, teniendo un rango de horas de brillo solar al año que oscila entre las 970 y 1400 horas, mientras que la zona costera registra hasta 2800 horas al año de brillo solar.

A continuación, en la Figura 2.22 se presenta la distribución temporal del brillo solar mensual multianual de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 2.22. Distribución temporal del número de horas de brillo solar mensual multianual.



En promedio para la cuenca en estudio, los meses donde se presentan las mayores insolaciones son los períodos de menores precipitaciones (Diciembre-Enero-Febrero-Marzo), con un valor promedio de 213.14 horas mensuales. Las menores insolaciones en promedio se registran durante los meses de Abril a Junio y de Septiembre a Octubre, con un valor promedio de 167 horas.

2.3.7. Humedad relativa.

La humedad relativa es la relación expresada en porcentaje entre la tensión real del vapor de agua y la tensión de saturación a la misma temperatura. La relación humedad relativa y temperatura es inversa cuando la temperatura aumenta, la capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta y la humedad relativa disminuye, mientras que cuando la temperatura disminuye, la capacidad de retención decrece y la humedad relativa aumenta. A su vez, la relación humedad relativa y precipitación es directa, dado que en los meses de mayores precipitaciones se presentan las mayores humedades relativas dependiendo del régimen pluviométrico de las lluvias.

A continuación en la Tabla 2.4 se relacionan los valores medios mensuales multianuales de humedad relativa de las estaciones que caracterizan el área de estudio.

Tabla 2.4. Valores medios mensuales multianuales de humedad relativa en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca

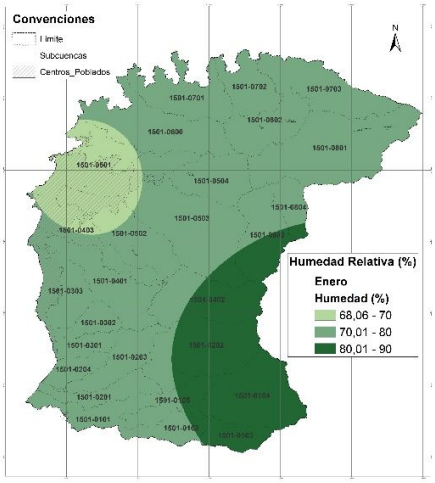
ESTACIÓN	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
UNIVTEC MAGDALENA 15015040	68,1	67,6	68,3	71,3	76,1	75,3	73,5	77,1	80,3	82,0	78,7	73,7
LA YE 15015020	71,9	70,0	70,5	72,7	75,6	75,6	75,3	76,7	78,2	79,2	78,1	75,6
29065030 PRADO SEVILLA	80,0	77,9	77,6	79,0	82,1	83,3	82,8	82,7	83,7	84,5	84,0	82,2

ESTACIÓN	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
PADELMA 29065020	80,1	79,1	78,5	79,4	81,8	81,9	81,6	82,1	82,8	84,0	83,8	82,1
15015060 SANLORENZO	87,8	89,1	90,7	92,4	93,5	92,8	92,5	93,1	93,5	94,6	93,4	90,5
15015050 APTO SIMONBOLIVAR	73,2	71,5	71,3	73,2	75,7	76,0	75,8	77,4	78,3	79,2	78,4	75,7

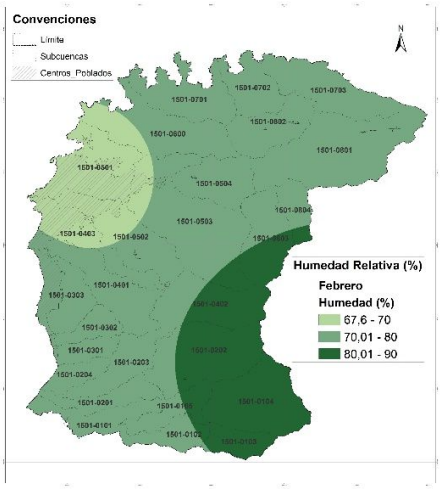
Por medio del análisis de la información registrada por cada una de las estaciones disponibles, se generó la espacialización a nivel mensual de la humedad relativa en la cuenca, presentada a continuación en la Figura 2.23.

Figura 2.23. Espacialización a nivel mensual de la humedad relativa.

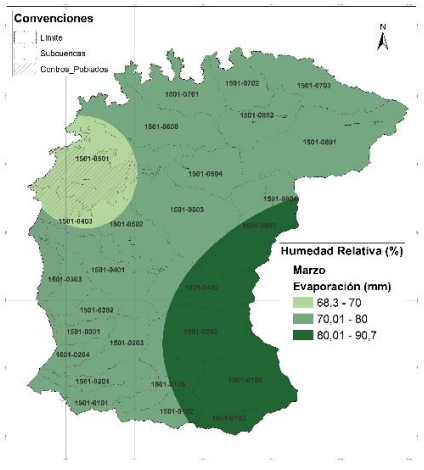
a) Enero



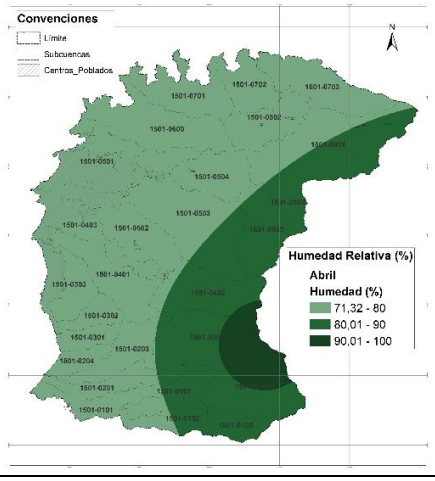
b) Febrero

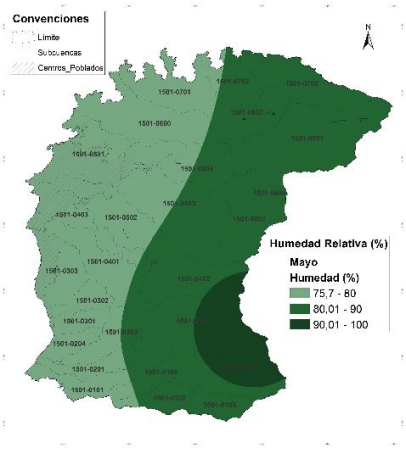
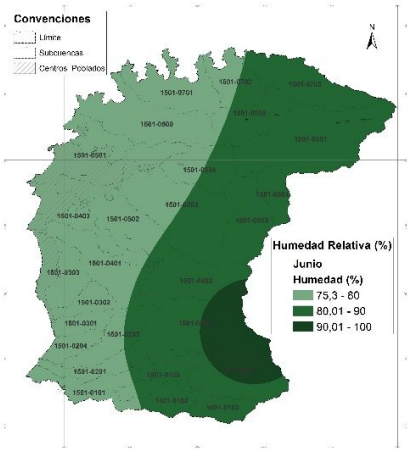
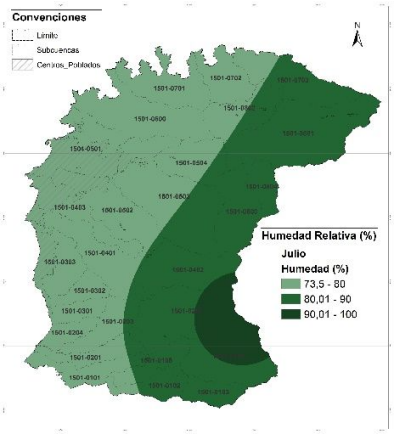
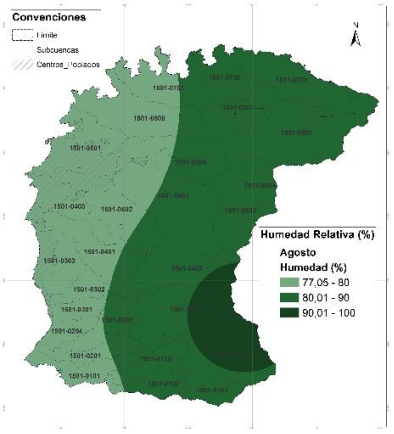
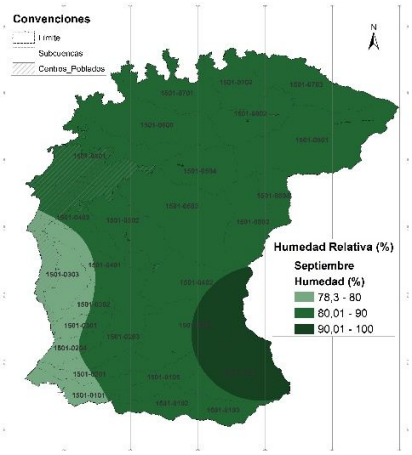
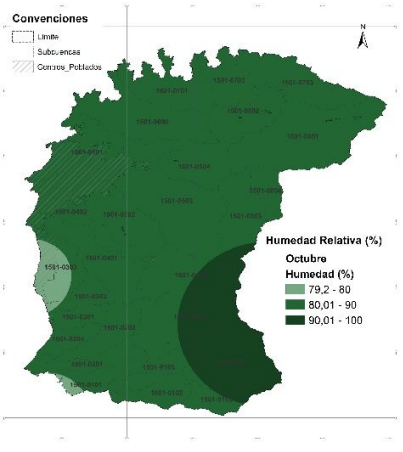


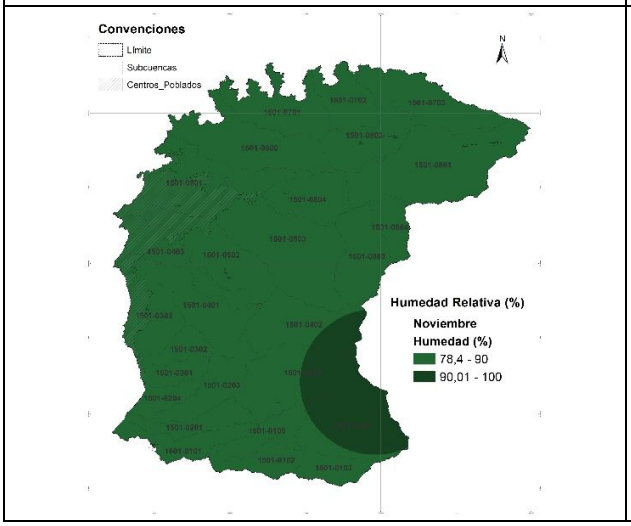
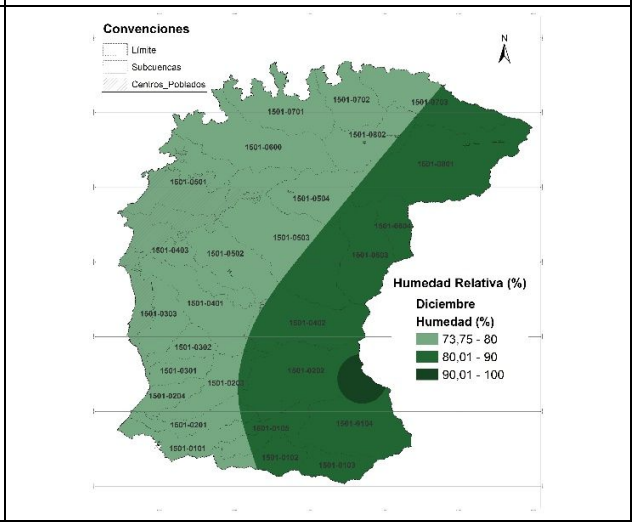
c) Marzo



d) Abril

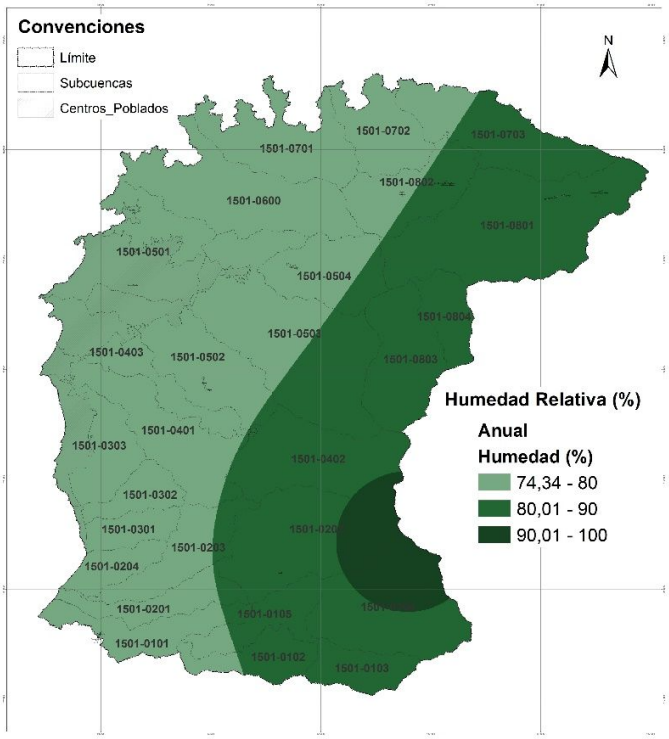


e) Mayo	f) Junio
	
g) Julio	**h) Agosto**
	
i) Septiembre	**j) Octubre**
	

k) Noviembre	l) Diciembre
	

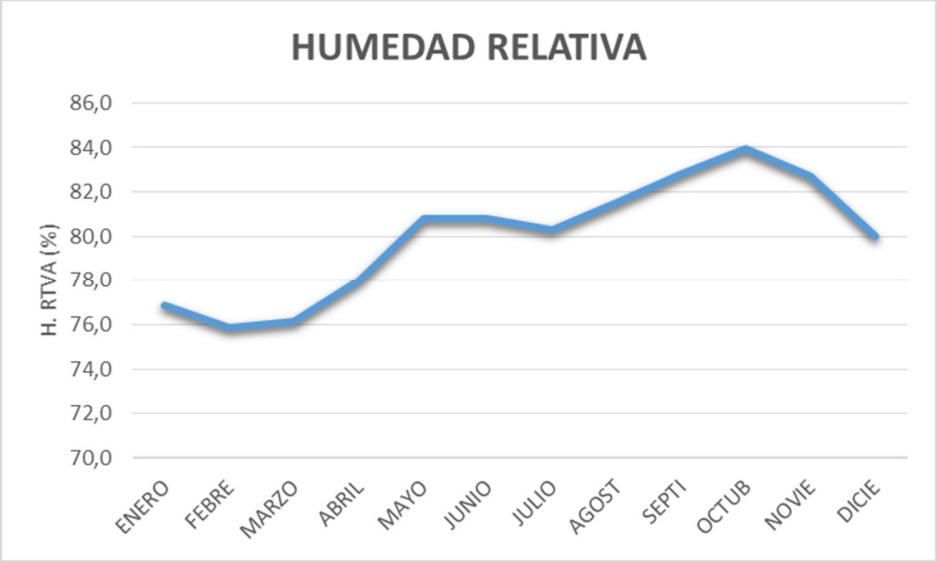
A continuación, se presenta en la Figura 2.24 la distribución espacial anual de la humedad relativa en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 2.24. Distribución espacial anual de la humedad relativa.



Como se presenta, la en la Figura 2.25 se presenta la distribución temporal de la humedad relativa en el área de la cuenca de los ríos piedras, Manzanars y otros directos al Caribe.

Figura 2.25. Distribución temporal de la humedad relativa media mensual multianual en la cuenca



Para el área de la cuenca, el período donde se presentan las mayores humedades relativas está entre los meses de agosto a Noviembre, con un valor promedio de 82.7%, siendo Octubre el mes donde se presenta el valor máximo, con un promedio de 83.9%, coincidiendo con los períodos de mayores precipitaciones. Las menores humedades relativas en promedio se registran entre los meses de enero hasta marzo, con un valor promedio de 76.3%, períodos secos, como se presenta en la Figura 2.25.

2.3.8. Evaporación

La evaporación es un indicador natural del balance hídrico, el cual corresponde al agua que, en forma de vapor, llega a la atmósfera debido a la influencia de diversos factores como son el tipo de suelo, temperatura atmosférica, brillo solar, entre otros. La evaporación permite determinar las deficiencias o excesos de humedad en el suelo cuando éste se encuentra a capacidad de campo.

De acuerdo con los registros de las estaciones analizadas en el área de estudio, la evaporación mensual varía entre 108 mm a 156 mm; siendo marzo el mes con mayor nivel de evaporación, con un valor promedio del orden de 156.6 mm mensuales. Los períodos con menor evaporación son de septiembre a Diciembre, con un valor promedio de 117.2 mm. La evaporación anual en el área de influencia tiene un promedio de 1594 mm y en promedio la evaporación en el área es del orden de 132.9 mm mensuales multianuales, como se observa en la Tabla 2.5 y en la Figura 2.28.

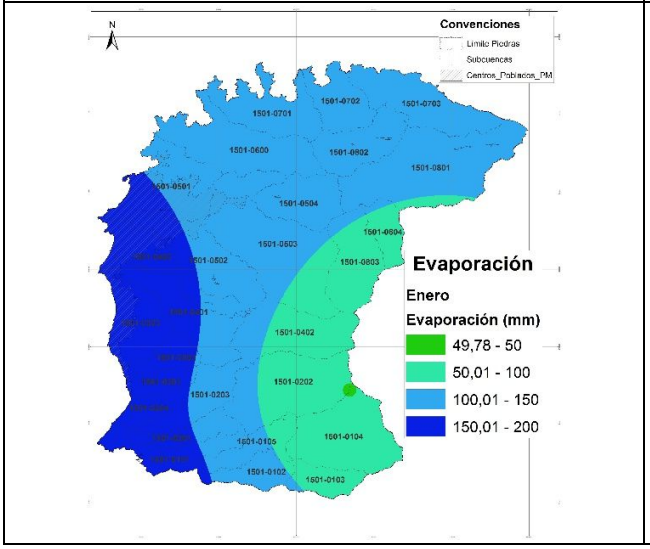
Tabla 2.5. Valores totales mensuales multianuales de evaporación (mm) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca.

ESTACIÓN	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
LA YE 15015020	168,3	166,0	195,2	192,0	180,3	163,0	170,0	165,1	149,1	144,9	133,6	148,4
PRADO SEVILLA 29065030	147,7	149,6	169,7	161,7	151,2	137,6	142,6	141,8	135,8	131,9	122,2	128,8
SANLORENZO 15015060	49,8	45,7	52,7	53,7	59,1	62,3	70,2	65,6	62,3	55,4	46,5	49,8
APTO SIMON BOLIVAR 15015050	174,8	181,3	208,8	187,4	174,0	163,1	165,6	166,2	156,2	144,9	132,3	152,9
PROMEDIO	135,1	135,6	156,6	148,7	141,2	131,5	137,1	134,7	125,8	119,3	108,6	120,0

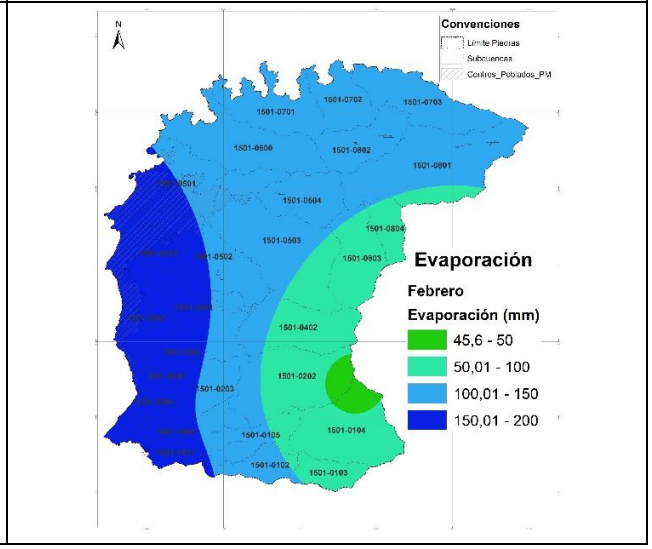
Con la anterior información, se logró espacializar la evaporación de la cuenca a nivel mensual, como puede verse en la Figura 2.26.

Figura 2.26. Espacialización de la evaporación de la cuenca a nivel mensual

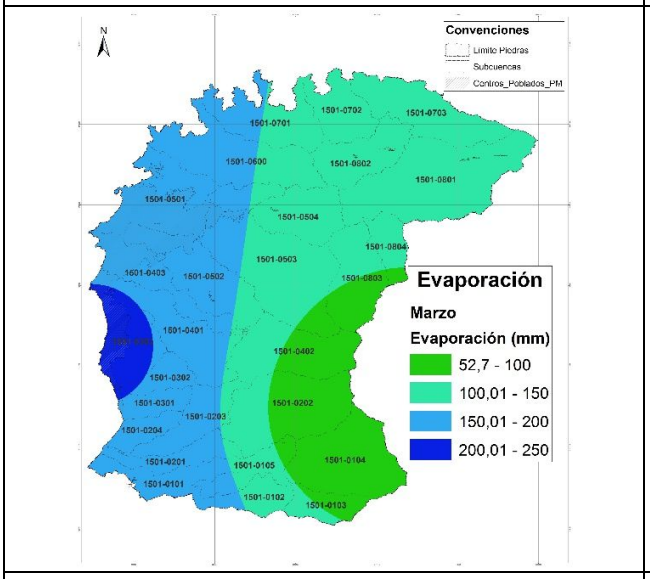
a) Enero



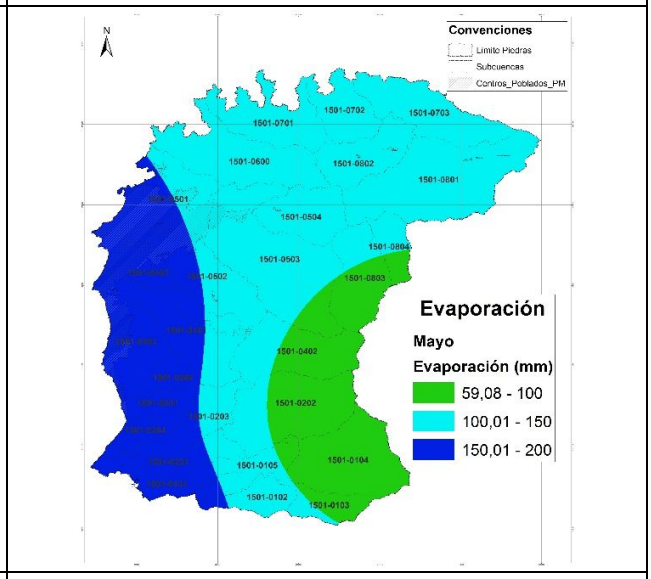
b) Febrero



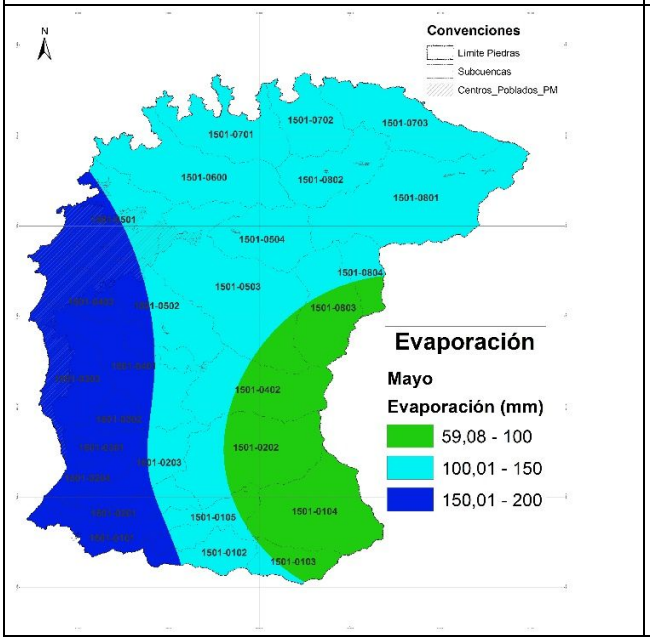
c) Marzo



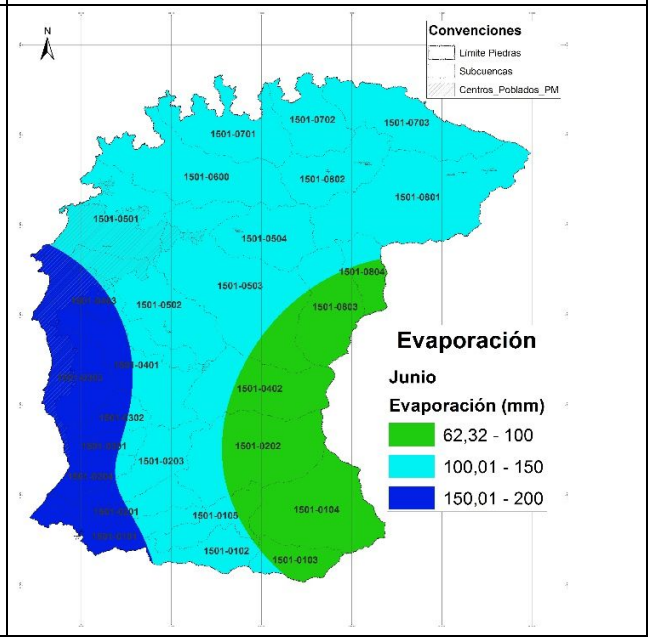
d) Abril



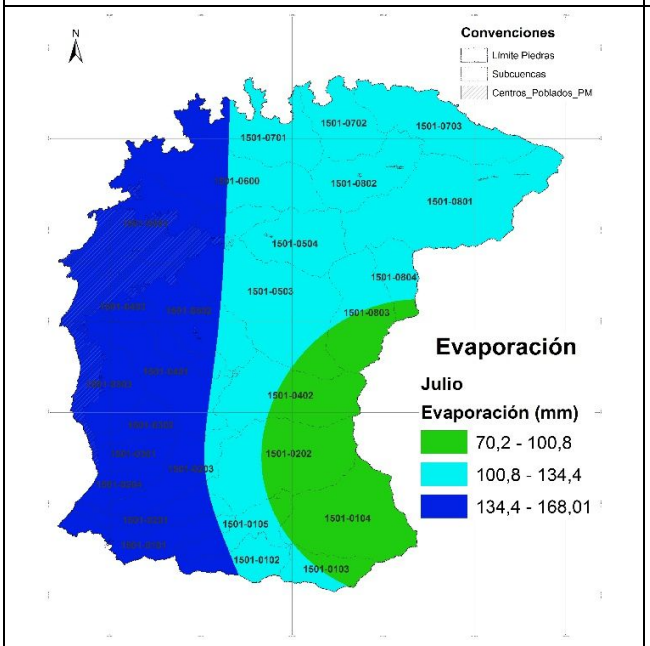
e) Mayo



f) Junio



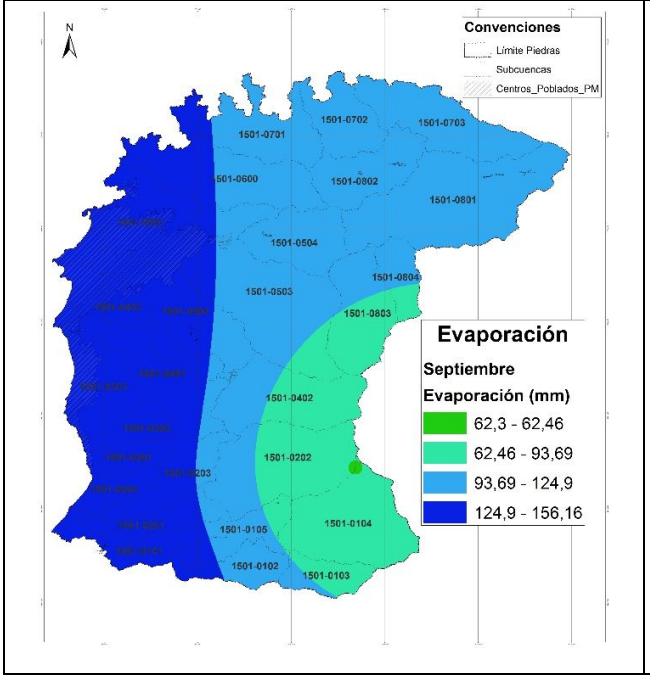
g) Julio



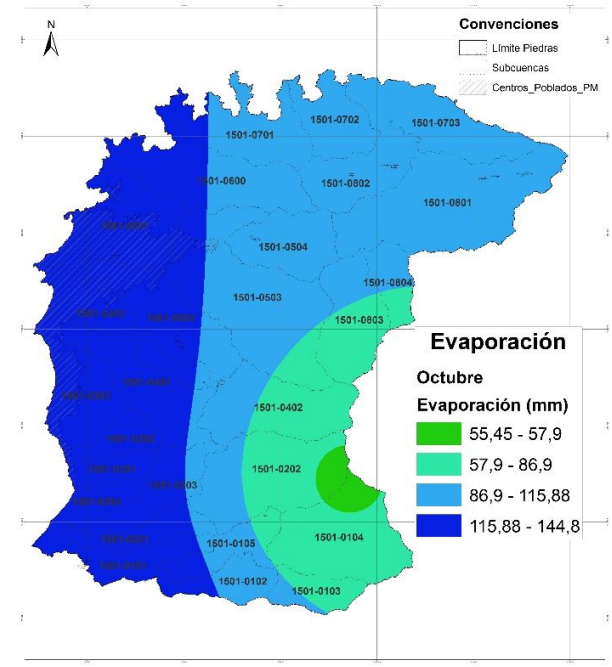
h) Agosto

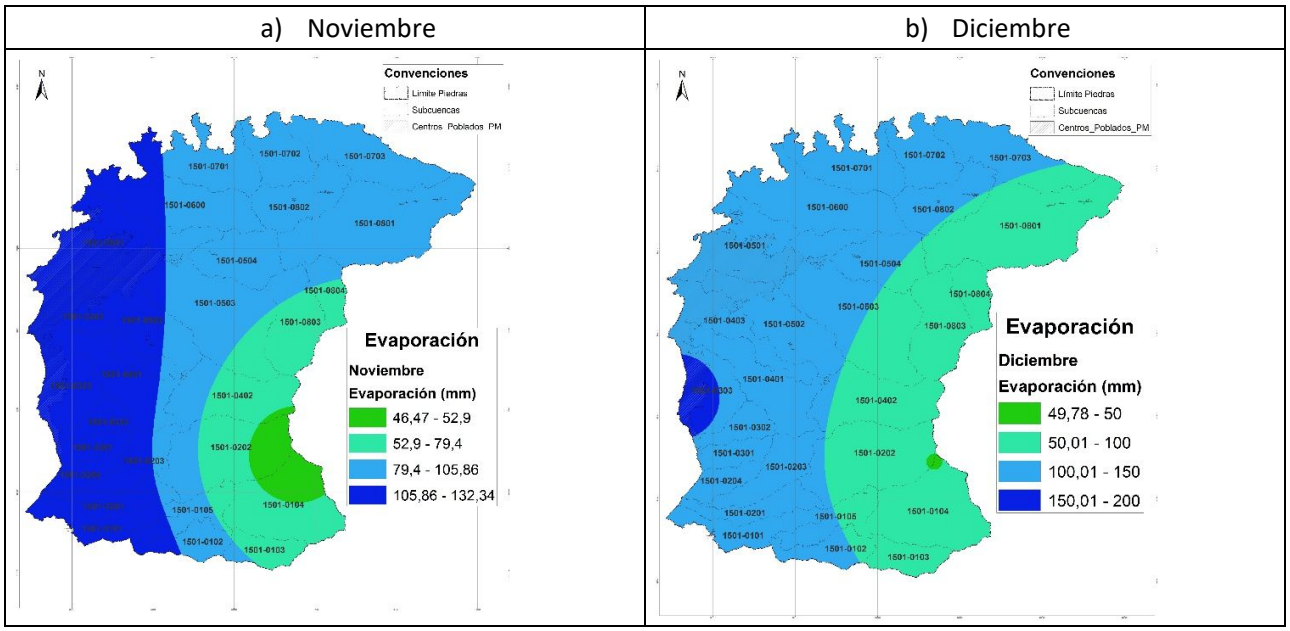


i) Septiembre



j) Octubre





Con la anterior información, se espacializó la evaporación media anual en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, presentada en la Figura 2.27, y su correspondiente distribución temporal en la Figura 2.28.

Figura 2.27. Distribución espacial de la evaporación media anual.

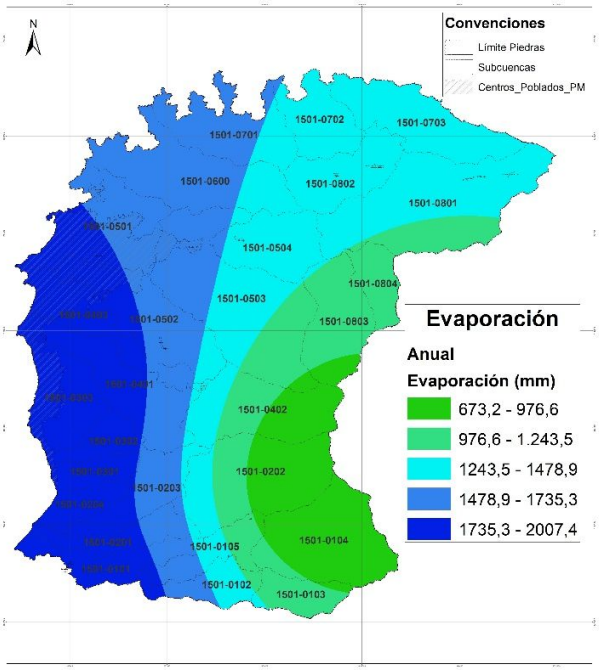
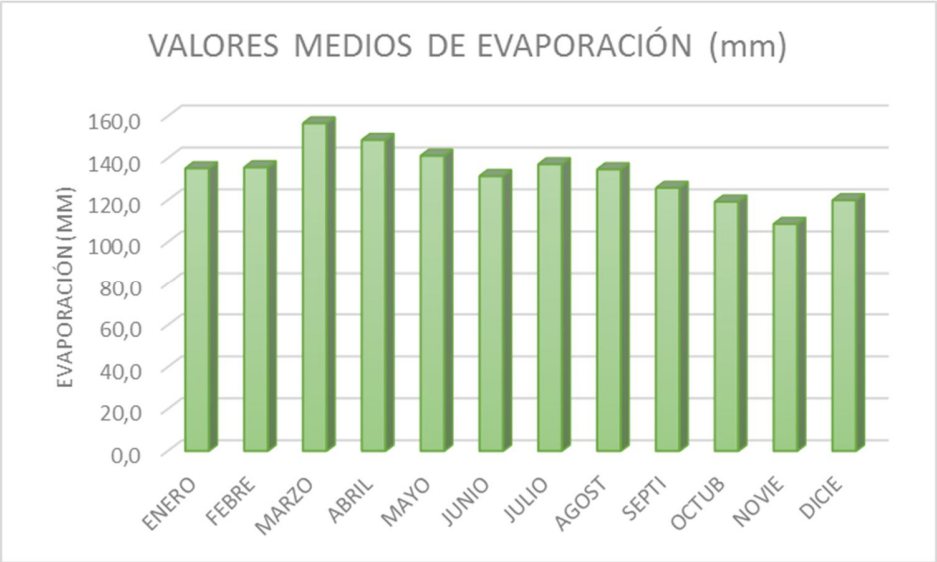


Figura 2.28. Distribución temporal de la evaporación media mensual multianual en el área de estudio.



2.3.9. Velocidad del viento

La velocidad del viento tiene una gran importancia dentro del análisis de las condiciones climatológicas de la cuenca, influyendo en los niveles de evaporación y humedad de una cuenca. Para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se analizó la información proveniente de las estaciones climatológicas que poseían registros de información, aclarando que sus vacíos de información eran amplios, pero frente a la deficiencia de registros, se trataron y organizaron de la siguiente manera (Tabla 2.6)

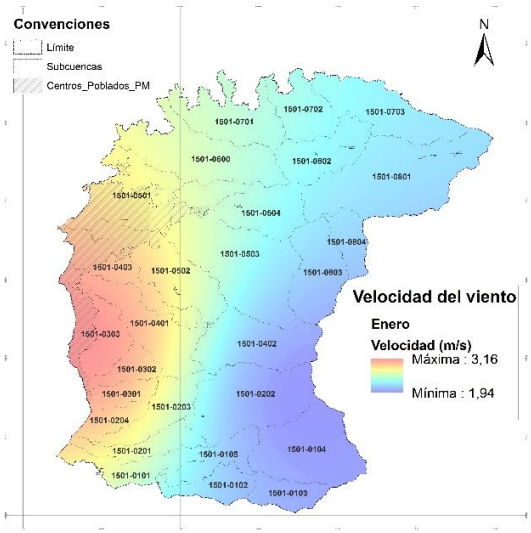
Tabla 2.6. Distribución mensual de la velocidad del viento (m/s).

ESTACIÓN	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
29065030 PRADO SEVILLA	1,4	1,5	1,6	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
15015060 SANLORENZO	1,9	1,9	1,7	1,5	1,4	1,5	1,6	1,8	1,6	1,4	1,6	1,7
15015050 APTO SIMONBOLIVAR	3,2	3,6	3,6	3,4	2,7	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,2	2,6
PROMEDIO	2,2	2,3	2,3	2,1	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	1,7	1,8

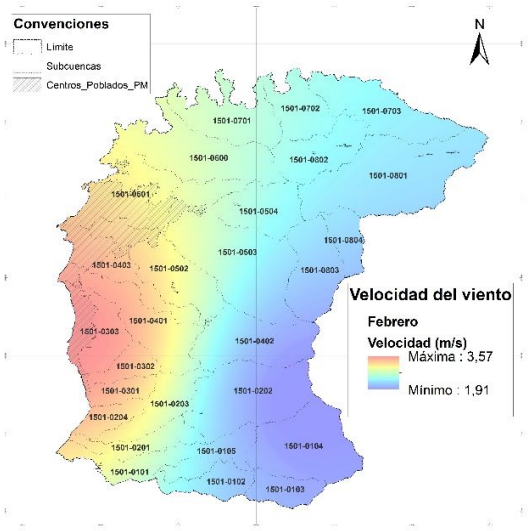
Con la información proveniente de las estaciones climatológicas con disponibilidad de la información, se espacializó el comportamiento a nivel mensual de la velocidad del viento en la cuenca, mostrando su tendencia uniforme a través del tiempo. A continuación, en la Figura 2.29 se presenta la espacialización de la velocidad del viento mes a mes en la cuenca del río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 2.29. Espacialización de la velocidad del viento a nivel mensual.

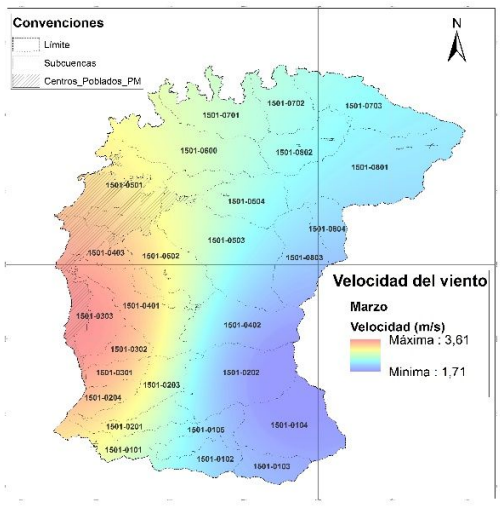
a) Enero



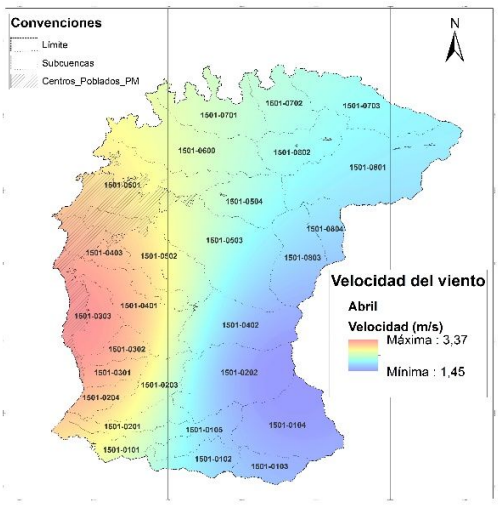
b) Febrero



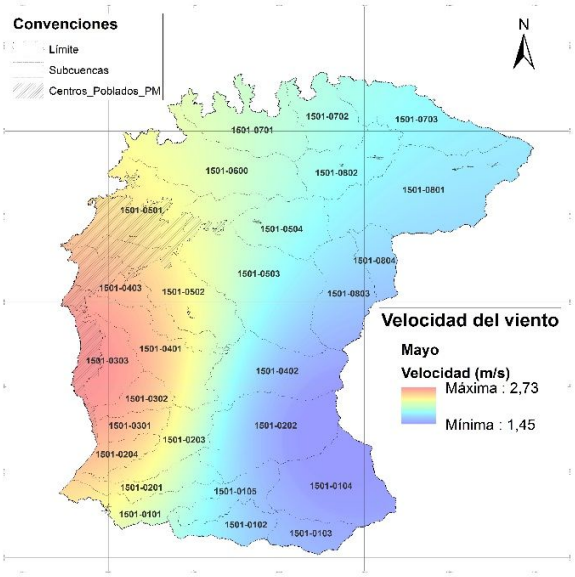
c) Marzo



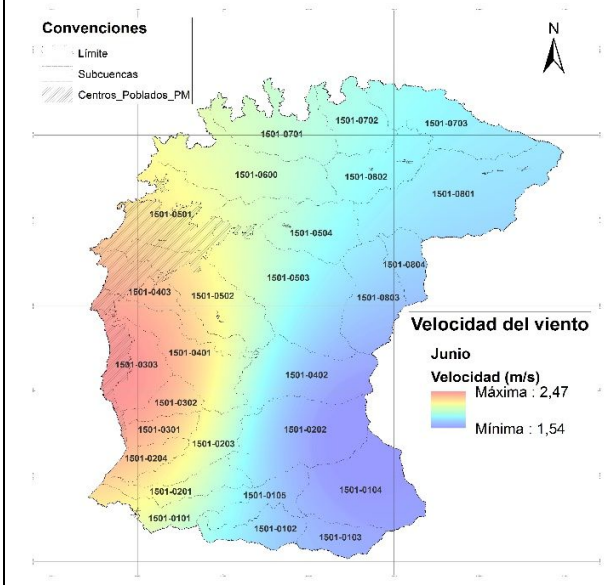
d) Abril



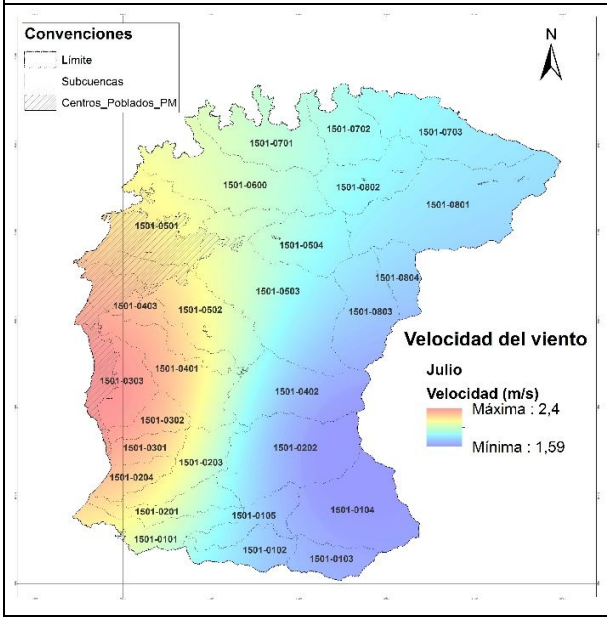
e) Mayo



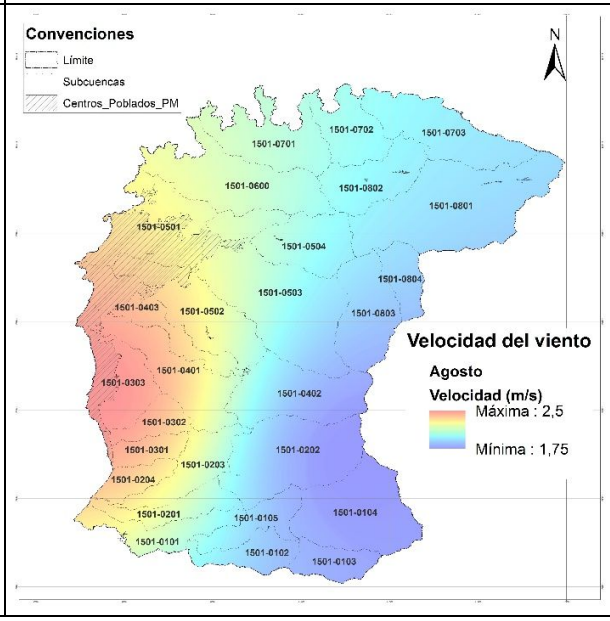
f) Junio



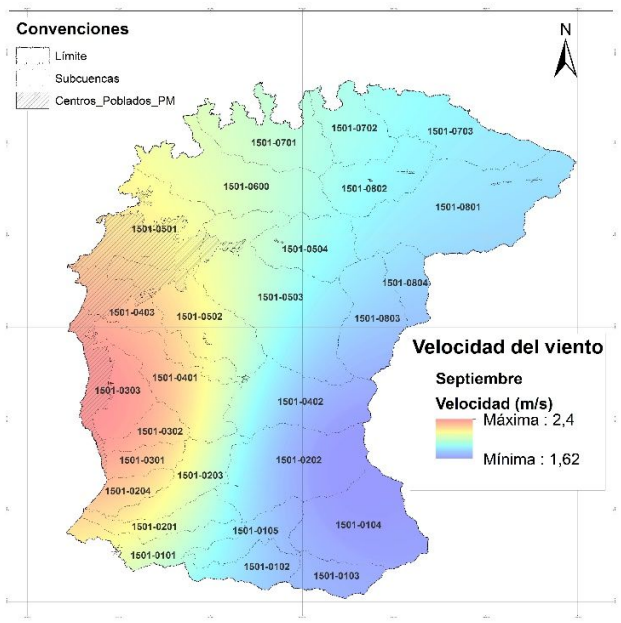
g) Julio



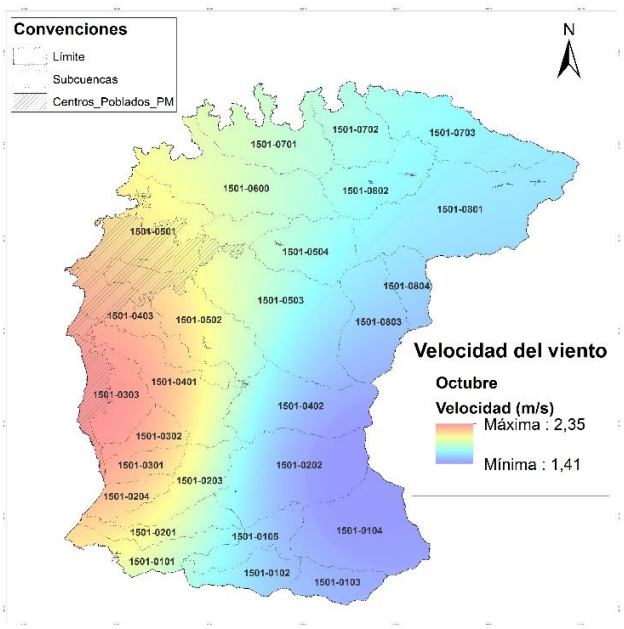
h) Agosto



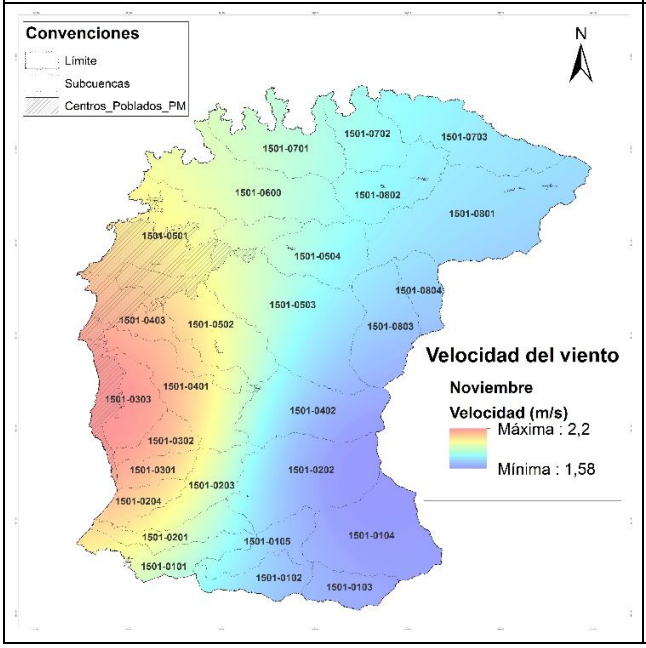
i) Septiembre



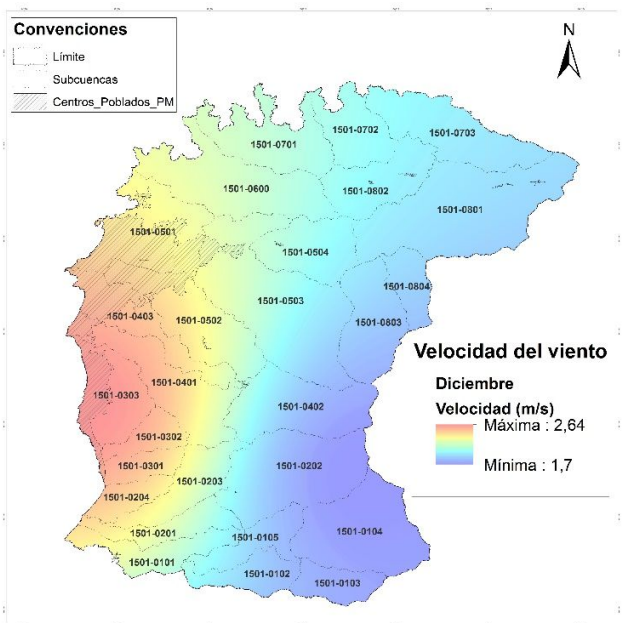
j) Octubre



k) Noviembre

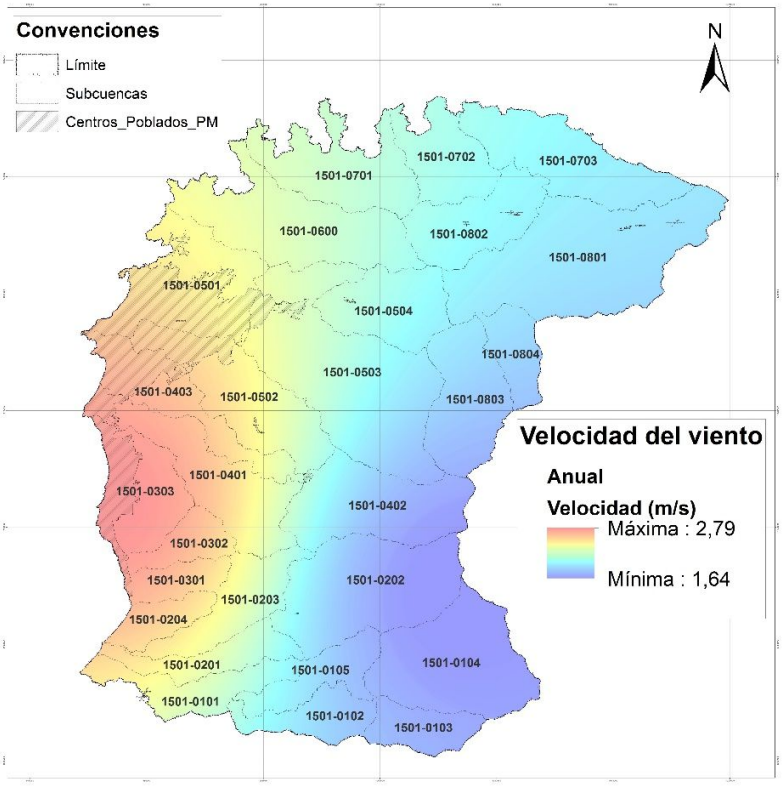


l) Diciembre



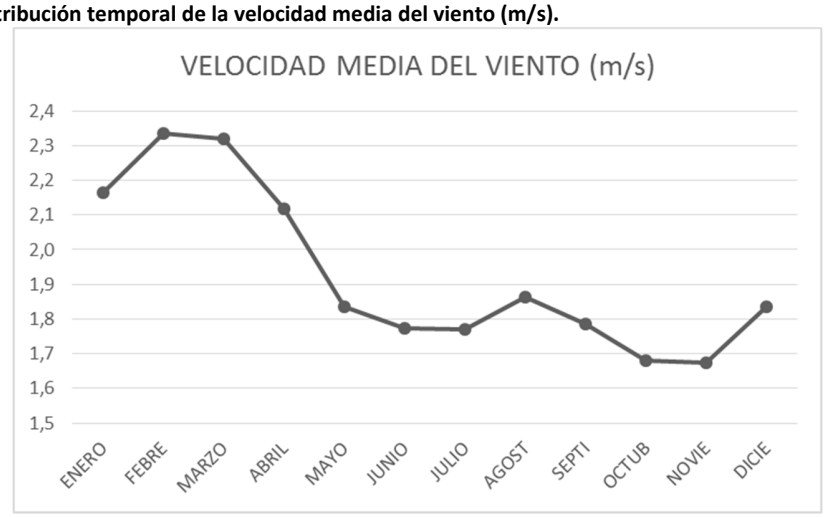
Con la anterior información, se generó la espacialización de la velocidad del vientomedia anual de la cuenca, presentada en la Figura 2.30.

Figura 2.30. Espacialización de la velocidad del viento media anual.



Según la información disponible, se presenta en la Figura 2.31 la distribución temporal de la velocidad del viento en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

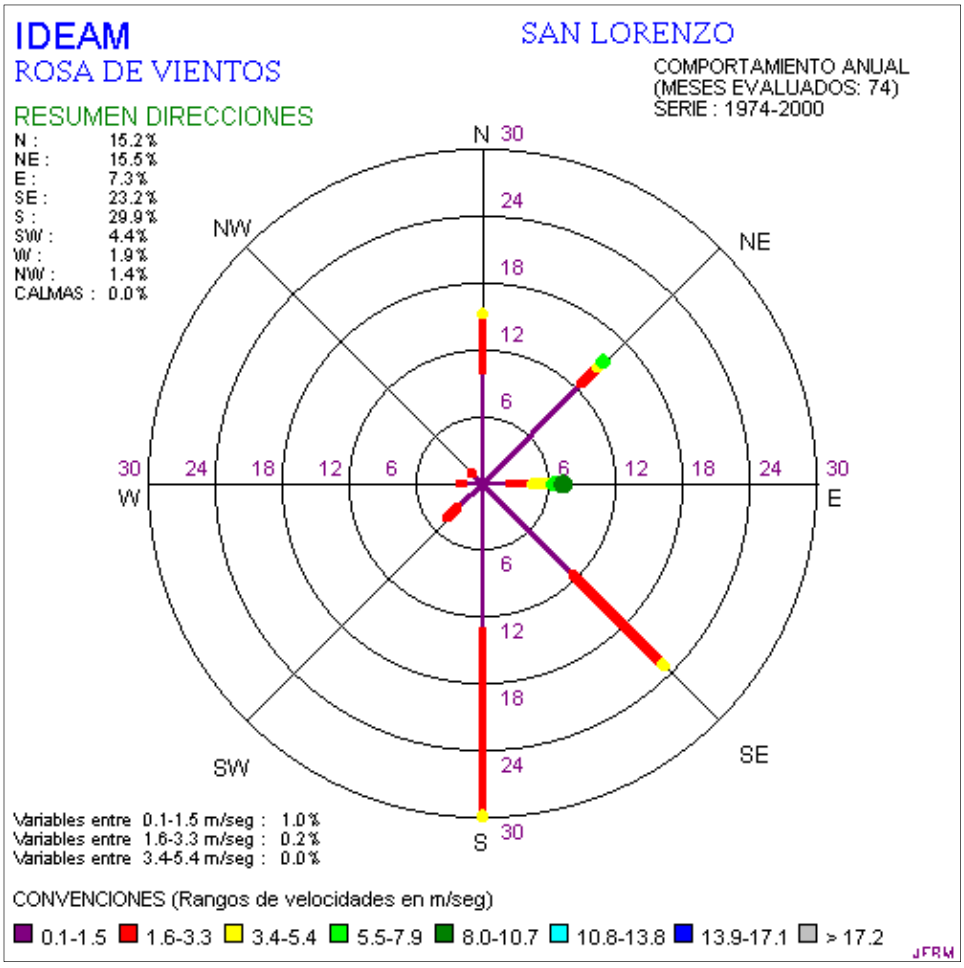
Figura 2.31. Distribución temporal de la velocidad media del viento (m/s).



Teniendo en cuenta que la disponibilidad de información proveniente de las estaciones climatológicas era deficiente, se hizo uso de la información disponible en el Programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM desde su página WEB, teniendo disponibilidad de la rosa de los vientos de la estación SAN LORENZO, ubicada a 2200 metros de altitud en la ciudad de Santa Marta, sobre la corriente del río Piedras. En ésta, se puede observar que, debido a su ubicación, los vientos provenientes de la dirección Sur son los más frecuentes con el 29.9%, seguido de los vientos del Sureste, con el 23.2%; las demás direcciones presentan una predominancia de vientos por debajo del 15%, hasta un mínimo de 1.4% (Noroeste).

Las velocidades registradas muestran tendencias que van desde 0.1 a 1.5 m/s en dirección sur hasta niveles de 1.6 a 3.3 m/s. Respecto a los máximos registrados, se presentan velocidades de hasta 5.4 m/s para el sector Sur, y hasta los 10 m/s provenientes del sector Este.

Figura 2.32. Rosa de los vientos totales aeronáutica civil – IDEAM



2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de curvas Intensidad- Duración-Frecuencia para el área de estudio de las cuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se realizaron dos procesos para sus estimaciones, dependiendo de los fines deseados

- La primera, se generó por medio del análisis de las curvas IDF disponibles en el estudio mencionado en la fase de aprestamiento, desarrollado por ECOPETROL, denominado *CONSULTORÍA PARA EL MONITOREO CLIMÁTICO DE SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE INESTABILIDAD ACTIVADOS POR LLUVIAS EN LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE DE LA VIT DE ECOPETROL S.A Código: PL2-CA-01* (2013). Con la información de las estaciones disponibles, se generó un sistema para calcular las intensidades sobre los nodos a partir de la interpolación de los coeficientes de las ecuaciones IDF realizando cálculos en diferentes aplicativos como SciLab y Matlab, brindando una mayor calidad y confianza en los resultados obtenidos.

- La segunda estimación se realizó por medio del análisis de las estaciones del IDEAM disponibles en la zona de estudio y aledañas, para el análisis de variabilidad climática por medio de una regionalización y ajuste matemático, obteniendo los parámetros C1, C2 y X para cada una de las subcuencas, calculando intensidades asociadas a diferentes períodos de retorno y duraciones.

Para el desarrollo de la primera metodología de estimación, se realizaron interpolaciones para las series de intensidades máximas de las estaciones registradas, antes de llevar a cabo el análisis de frecuencia de las mismas, con el fin de obtener series de intensidades máximas para cada nodo y de esta manera determinar las relaciones IDF.

Las estaciones con curvas IDF útiles desde el proyecto mencionado de Ecopetrol, son las siguientes:

Tabla 2.7. Estaciones curvas IDF- ECOPETROL.

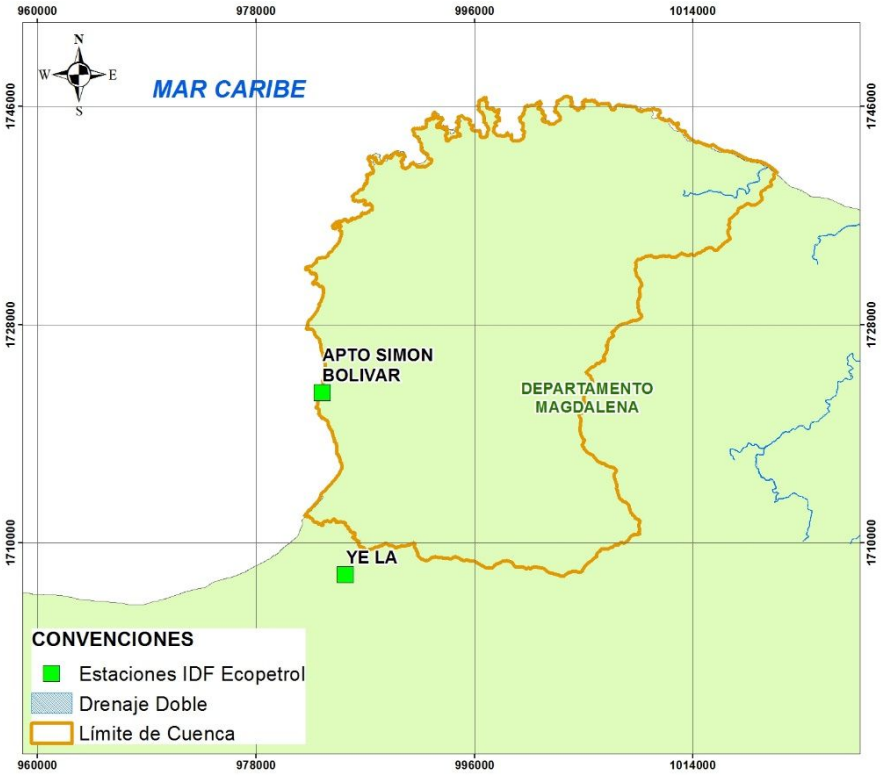
No	CODIGO	NOMBRE	DEPTO	MPIO
1	15015020	YE LA	MAGDALENA	CIENAGA
2	15015050	APTO SIMON BOLIVAR	MAGDALENA	SANTA MARTA

Fuente (Ecopetrol S.A)

Las anteriores estaciones se encuentran localizadas en el departamento del Magdalena, estando APTO SIMON BOLIVAR ubicada dentro del área de la cuenca, mientras que la estación YE LA se encuentra en el municipio de Ciénaga, limitando con la cuenca.

A continuación, se presenta la localización geográfica de las estaciones anteriormente referenciadas.

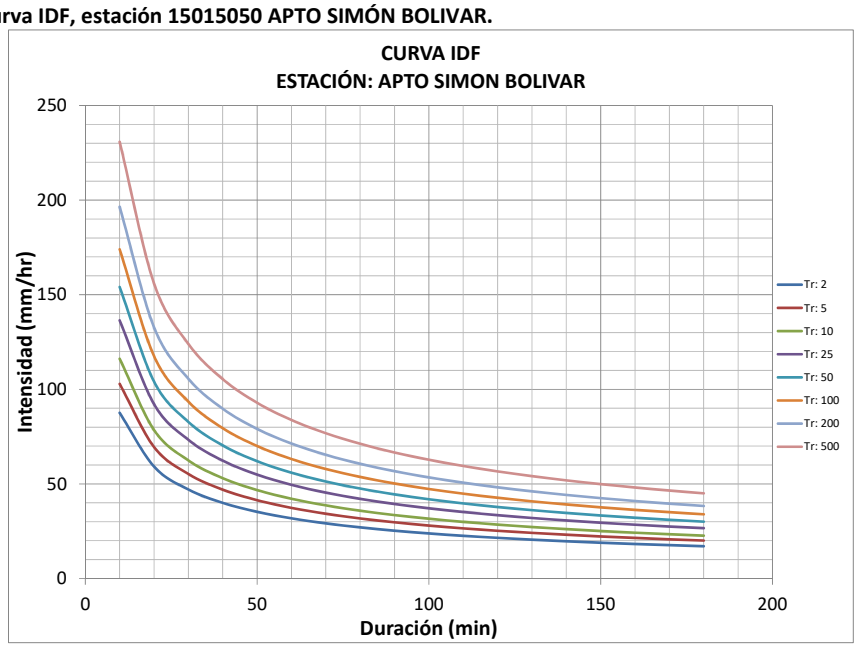
Figura 2.33. Localización geográfica de las estaciones pluviográficas del proyecto de ECOPETROL.



Fuente (Ecopetrol S.A)

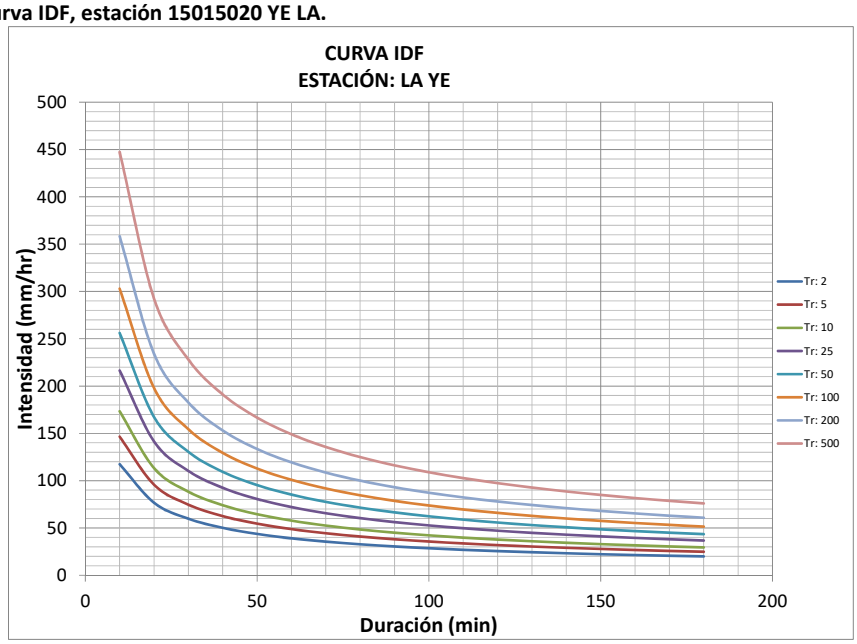
Las curvas IDF correspondientes a las dos estaciones anteriormente presentadas, son las que se muestran en la Figura 2.34 y Figura 2.35.

Figura 2.34. Curva IDF, estación 15015050 APTO SIMÓN BOLIVAR.



Fuente: (Ecopetrol S.A)

Figura 2.35. Curva IDF, estación 15015020 YE LA.



Fuente: (Ecopetrol S.A)

❖ **Ajuste estadístico de Curvas IDF para análisis climático e hidrológico.**

Tradicionalmente, la información reportada para curvas IDF corresponde a la generada a partir del cálculo de la ecuación de la curva IDF. Mediante dicho procedimiento, se realizan ajustes a expresiones no lineales ajustadas por lo general mediante métodos de mínimos cuadrados y que suavizan los resultados, con lo cual se obtienen curvas con un descenso más suave y con tendencias claramente definidas.

Otra forma de desarrollar las curvas IDF es a través de una forma analítica propuesta por Aparicio (1997) (ecuación de Bernard y Yarnell), por medio de la cual se busca obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, como se presenta a continuación:

$$I = \frac{K.TK.T_r^m}{d^n} \qquad (7)$$

Donde
K, m y *n* son constantes de regresión lineal múltiple.
T es el período de retorno en años.
D la duración en minutos u horas.
I la intensidad de precipitación en mm /hr.

De esta manera para la cuenca de los Ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se estimó la siguiente ecuación general:

$$I = \frac{344.84 * T_r^{0.204}}{d^{0.586}} \qquad (8)$$

En donde las constantes de regresión lineal múltiple son *k*=344,869, *m*= 0,204005 y *n* = 0,586254. Esta ecuación está dada en función de la duración que se quiera estimar.

Para cada una de las subcuencas determinadas para los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se determinó el valor medio de los coeficientes respectivos para el desarrollo de la ecuación. En la tabla Tabla 2.8 se muestran los coeficientes obtenidos para cada cuenca de primer y segundo nivel subsiguiente:

Tabla 2.8. Coeficientes para la determinación de IDF para cada una de las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

CODIGO	Nombre	K	m	n
1501-01	Río Córdoba	375,96	0,22	0,60
1501-02	Río Toribio	375,48	0,22	0,60
1501-03	Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe	332,40	0,20	0,58
1501-04	Río Gaira	323,85	0,20	0,58
1501-05	Río Manzanares	323,44	0,19	0,58
1501-06	Quebrada Concha	323,05	0,19	0,58
1501-07	Directos al Caribe en el Parque Tayrona	341,62	0,20	0,58
1501-08	Río Piedras	344,78	0,20	0,58
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	396,41	0,24	0,61
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	379,29	0,22	0,60

CODIGO	Nombre	K	m	n
1501-0103	Quebrada La Sierrita	369,77	0,22	0,60
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	363,80	0,21	0,59
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	367,22	0,22	0,60
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	395,75	0,24	0,61
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	361,97	0,21	0,59
1501-0203	Quebrada Marinca	389,15	0,23	0,61
1501-0204	Quebrada El Guayabo	402,34	0,24	0,61
1501-0301	Quebrad El Doctor	348,71	0,21	0,59
1501-0302	Quebrada Don Jaca	354,20	0,21	0,59
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	321,50	0,19	0,58
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	335,78	0,20	0,58
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	337,91	0,20	0,58
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	311,92	0,19	0,58
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	308,91	0,19	0,57
1501-0502	Quebrada Tamaca	305,79	0,19	0,57
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	329,72	0,20	0,58
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	330,52	0,20	0,58
1501-0600	Quebrada Concha	323,05	0,19	0,58
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	330,15	0,19	0,58
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	338,92	0,20	0,58
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	344,32	0,20	0,58
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	346,32	0,20	0,58
1501-0802	Quebrada Jordán	340,86	0,20	0,58
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	344,83	0,20	0,59
1501-0804	Quebrada La Lisa	0,00	0,00	0,00

En el anexo 3 del presente documento se encuentran los factores para cada una de las subcuencas, a primer y segundo nivel subsiguiente.

2.5. Análisis De Frecuencia No Estacionario De La Precipitación, Variabilidad Climática Y Eventos Extremos.

2.5.1. Escenarios de precipitación para eventos extremos considerando períodos de retorno de 2 a 500 años.

Debido las fluctuaciones y variabilidad climática propias de nuestro país, los eventos extremos y la frecuencia con la que se presentan son de suprema importancia a la hora de evaluar las condiciones de riesgo y las necesidades de adaptación frente al cambio climático que un territorio puede tener. El objetivo del análisis de las lluvias extremas para el presente Plan de Ordenación, busca proveer una proyección de dichos eventos en la cuenca a manera de prevención para la gestión del riesgo y la planeación del territorio.

Como lo indican Cuadrat, Prats & Martín (2007), el análisis de la frecuencia de extremos climáticos suele darse mediante distribuciones de frecuencias acumuladas, y su premisa se basa en relacionar la magnitud con la frecuencia de dichos eventos, partiendo del hallazgo que la serie histórica es independiente del espacio y del tiempo (Acevedo, 2009). Para analizar el comportamiento de la precipitación y sus posibles eventos máximos se han empleado diversos métodos de análisis,

empleando para el presente caso de estudio las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal, y EV3, siendo la distribución Gumbel la más común para el tratamiento de series de precipitación cuando es requerido extrapolar periodos de retorno que superan la serie de registros.

Para el análisis de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe, los periodos de retorno a analizar son 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50,100 y 500 años. No obstante, como lo menciona Acevedo (2009), en este último período de retorno suelen subestimarse los cantiles para largas series históricas. Cabe resaltar, que dichas distribuciones generalmente tienen grandes umbrales de adaptación y por ende en la mayoría de los casos sus resultados pueden ser concordantes con las condiciones climáticas. Sin embargo, debe realizarse un análisis a profundidad cuando la serie histórica es corta (menor a 30 años de registro), ya que el modelo puede aumentar su porcentaje de error.

Para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se contó con el análisis para las lluvias diarias extremas de 29 estaciones climatológicas, aplicando la prueba de bondad de ajuste para dichas distribuciones de Chi cuadrado. Para efectos prácticos se recopilan los resultados en el Anexo 4. Adicionalmente, mediante el ajuste de las curvas o relaciones Intensidad Duración y Frecuencia de las precipitaciones, presentadas en el numeral 1.6., es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno.

2.5.2. Determinación y análisis de curvas IDF aplicado a diferentes períodos de retorno y duraciones.

Generalmente al trabajar con variables distribuidas en el espacio, es necesario realizar predicciones en lugares no muestreados, puesto que ejecutar mediciones exhaustivas resultaría prácticamente inviable (Cañada, 2008). A partir de la información disponible, se realiza el cálculo de las intensidades sobre los nodos a partir de la interpolación utilizando el método del Inverse Distance Weighting (IDW). Es así como se tienen los valores medios por cuencas de primer y segundo nivel subsiguiente para los coeficientes de las ecuaciones IDF, bajo el algoritmo utilizado por Raster Calculator de ArcGis, lo que traduce una mayor calidad en los resultados obtenidos. El IDW es ampliamente usado en la estimación de campo de precipitaciones generadas para diferentes agregaciones temporales, ya que es un método matemático de interpolación que usa una función inversa de la distancia, parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto, tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar. Matemáticamente se expresa como:

$$Z\,(So) = \sum_{i}^{N} 1\,\lambda i * Z\,(Si) \qquad \textbf{(9)}$$

En el cual Z (So) es el valor a predecir, N es el número de muestras alrededor del punto a predecir, λi son los pesos asignados a cada punto vecino y Z (Si) son los valores medidos. Los pesos de los puntos vecinos están dados por:

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^{N} d_{io}^{-p}} \qquad \textbf{(10)}$$

En el cual d es la distancia entre el lugar de predicción (So) y el lugar muestral (Si); P es un factor de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción. De esta manera se puede afirmar que la herramienta IDW utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

La interpolación predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra; inclusive, puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico relacionado en este caso con los diferentes parámetros de las relaciones Intensidad Duración frecuencia.

Así mismo, dentro de la validación del aplicativo se procedió a Interpolar las series de intensidades máximas de las estaciones, antes de llevar a cabo el análisis de frecuencia de las mismas, con el fin de obtener series de intensidades máximas para cada nodo y a éstas realizarles el respectivo análisis de frecuencia para determinar las relaciones IDF.

- ***Ajuste estadístico de las Curvas IDF*.**

Para desarrollar el respectivo ajuste estadístico, se aplica un modelo de regresión lineal, el cual relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas de manera apropiada, expresado de la siguiente manera:

$$I = C_1 * (Duración + X_0)^{C_2} \qquad \textbf{(11)}$$

Dónde (*I)* Intensidad está dada en mm/h, la duración en minutos, *C1, X0* y *C2* son constantes de regresión lineal múltiple, encontradas para los diferentes períodos de retorno T en años.

La intensidad de la lluvia se mide con los tradicionales pluviógrafos, o con los detectores ópticos (radar o infrarrojos, desde tierra, globo, avión o satélite) que miden cantidad y tamaño de partículas. Si no se indica la duración, se sobre entiende que se trata de valores promediados a la hora, aunque la intensidad instantánea siempre varía con el tiempo de la misma manera: crece al principio del proceso de precipitación, alcanza un máximo y disminuye más lentamente hasta finalizar; en la siguiente tabla se muestra una escala de intensidades de lluvia.

Tabla 2.9. Intensidad de la lluvia en [mm/h] (1 mm/h=1 (L/s)/m^2=0,28·10^{-6} m/s).

Muy débil	<0.5
Débil	0.5..2
Moderada	2..15
Fuerte	15..30
Muy fuerte	30..60
Torrencial	>60

Fuente: COPETE , OBREGÓN, & HERRERA (2013).

❖ Resultados

Para cada subcuenca, se estimaron las intensidades de precipitación en mm /h, para periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, así como para duraciones de 15, 30, 60, 120 y 360 minutos. A continuación, se muestran las Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia obtenidas para cada cuenca de primer y segundo nivel subsiguiente de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe:

Tabla 2.10. Resultados ajuste IDF. Cuenca 150101.

CUENCA: Río Córdoba - 1501-01						
DURACIÓN	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	131,3	389,9	406,4	1281,4	3253,4	9435,1
30	104,3	315,0	332,7	1063,0	2720,4	7939,4
60	73,1	225,3	241,7	784,6	2026,7	5961,6
120	44,9	140,8	153,0	503,9	1311,4	3884,3
360	16,7	53,1	58,0	192,4	501,1	1487,1

Tabla 2.11. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-02

CUENCA: Río Toribio - 1501-02						
DURACIÓN	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	127,3	351,3	391,3	1281,0	3332,4	10013,8
30	101,1	283,4	319,8	1060,5	2779,1	8403,2
60	71,1	202,8	232,2	782,3	2067,9	6300,6
120	43,9	127,3	147,6	504,5	1342,7	4119,0
360	16,6	48,8	57,0	197,0	524,3	1613,5

Tabla 2.12. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-03

CUENCA: Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe - 1501-03						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	116,9	258,3	310,8	1014,2	2677,8	8377,5
30	92,9	207,9	253,7	836,6	2223,4	6996,9
60	65,4	148,8	184,4	616,2	1649,9	5229,6
120	40,6	93,8	118,0	399,1	1075,0	3429,9
360	15,6	36,7	46,7	159,9	430,8	1381,2

Tabla 2.13. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-04

	CUENCA: Río Gaira - 1501-04					
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	114,5	260,5	293,0	916,6	2416,8	7553,5
30	90,9	209,7	238,6	755,3	2004,3	6300,2
60	64,1	150,1	173,0	556,0	1486,1	4704,3
120	39,8	94,7	110,6	360,5	968,8	3087,1
360	15,4	37,2	43,8	145,2	390,4	1250,8

Tabla 2.14. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-05

CUENCA: Río Manzanares - 1501-05

DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	108,9	219,1	242,5	690,4	1781,2	5558,2
30	86,5	176,2	197,0	568,1	1474,3	4626,0
60	61,0	126,1	142,7	417,9	1091,7	3449,0
120	38,0	79,7	91,2	271,3	712,5	2265,8
360	14,7	31,5	36,4	110,3	289,9	927,6

Tabla 2.15. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-06

CUENCA: Quebrada Concha - 1501-06						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	110,3	237,8	260,2	766,4	2003,2	6267,3
30	87,7	191,3	211,3	630,9	1659,0	5219,6
60	61,8	136,9	152,9	464,2	1229,1	3893,9
120	38,5	86,6	97,6	301,5	802,3	2558,5
360	14,9	34,2	38,9	122,4	326,0	1045,8

Tabla 2.16. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-07

CUENCA: Directos al Caribe en el Parque Tayrona - 1501-07						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	129,0	471,4	440,1	1454,7	3904,1	11869,3
30	102,6	380,8	358,5	1204,8	3257,0	9964,8
60	72,2	273,1	259,6	890,3	2426,9	7483,1
120	44,8	172,1	164,8	576,4	1581,4	4910,5
360	17,1	66,6	64,0	227,7	624,6	1947,0

Tabla 2.17. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0101

CUENCA: Río Córdoba-Sector Cordobita - 1501-0101						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	129,6	340,7	392,5	1264,4	3219,8	9451,0
30	102,9	275,0	321,5	1048,4	2690,8	7948,7
60	72,2	196,6	233,9	773,7	2004,1	5966,9
120	44,4	123,0	148,4	497,2	1297,7	3890,2
360	16,6	46,5	56,5	190,7	498,0	1495,8

Tabla 2.18. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0102

CUENCA: Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi) - 1501-0102						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	130,0	364,0	393,6	1228,1	3103,4	8985,1
30	103,2	293,9	322,1	1018,6	2594,3	7558,5
60	72,3	210,1	233,8	751,3	1931,7	5672,1
120	44,4	131,2	147,8	481,9	1248,5	3691,3
360	16,5	49,3	55,8	183,4	475,5	1408,5

Tabla 2.19. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0103

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia

CUENCA: Quebrada La Sierrita - 1501-0103						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	131,6	397,9	401,6	1236,2	3105,0	8870,6
30	104,5	321,6	328,9	1026,1	2598,0	7469,4
60	73,2	229,9	238,8	757,2	1935,6	5609,1
120	44,9	143,5	150,9	485,2	1250,1	3647,8
360	16,6	53,6	56,7	183,5	473,2	1383,0

Tabla 2.20. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0104

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Córdoba-Sector Agualinda - 1501-0104						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	132,7	422,3	420,5	1319,9	3356,1	9699,2
30	105,4	341,3	344,1	1095,5	2807,3	8165,2
60	73,9	244,3	249,8	808,9	2092,6	6134,5
120	45,4	152,8	158,1	519,7	1354,6	3998,8
360	16,9	57,6	59,8	198,5	517,6	1531,2

Tabla 2.21. . Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0105

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md) - 1501-0105						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	129,9	367,7	397,6	1269,0	3239,7	9494,0
30	103,1	296,9	325,4	1051,9	2706,4	7981,2
60	72,3	212,3	236,4	776,1	2015,1	5988,8
120	44,5	132,8	149,9	498,8	1304,7	3904,3
360	16,6	50,3	57,1	191,6	501,3	1503,6

Tabla 2.22. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0201

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe - 1501-0201						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	128,6	340,1	392,4	1276,6	3283,3	9755,6
30	102,1	274,4	321,1	1057,7	2741,1	8196,2
60	71,7	196,2	233,4	780,4	2040,7	6149,4
120	44,2	123,0	148,2	502,4	1323,1	4014,4
360	16,6	46,8	56,8	194,4	512,0	1557,5

Tabla 2.23. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0202

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Toribio entre Guayabal y El Vergel - 1501-0202						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	127,9	372,5	397,3	1298,0	3383,1	10146,6
30	101,6	300,6	324,7	1074,5	2821,4	8514,6
60	71,4	215,1	235,8	792,7	2099,4	6384,4

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Toribio entre Guayabal y El Vergel - 1501-0202						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
120	44,1	135,1	149,9	511,4	1363,4	4174,5
360	16,7	51,8	57,9	199,7	532,7	1636,3

Tabla 2.24. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0203

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Marinca - 1501-0203						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	125,3	324,4	377,8	1239,0	3235,4	9817,2
30	99,5	261,5	308,5	1024,9	2695,8	8230,5
60	69,9	187,1	223,8	755,8	2004,7	6167,0
120	43,3	117,5	142,3	487,8	1302,5	4033,9
360	16,4	45,2	55,2	191,4	511,2	1588,7

Tabla 2.25. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0204

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada El Guayabo - 1501-0204						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	126,7	321,3	382,3	1272,4	3306,8	9981,3
30	100,6	259,2	312,9	1053,4	2758,0	8377,2
60	70,7	185,4	227,7	777,2	2052,5	6282,3
120	43,7	116,4	145,1	501,3	1332,9	4107,7
360	16,5	44,6	56,2	195,8	520,6	1609,2

Tabla 2.26. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0301

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrad El Doctor - 1501-0301						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	123,0	301,9	352,6	1198,6	3149,7	9673,0
30	97,7	243,3	289,1	990,7	2621,9	8101,6
60	68,7	174,0	211,1	730,4	1948,9	6067,1
120	42,6	109,5	135,2	472,1	1267,6	3973,0
360	16,2	42,4	53,1	186,5	501,0	1576,3

Tabla 2.27. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0302

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Don Jaca - 1501-0302						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	118,8	274,7	327,2	1077,5	2845,9	8857,0
30	94,4	221,2	267,1	889,3	2364,7	7403,2
60	66,4	158,3	194,2	655,2	1755,6	5536,4
120	41,2	99,8	124,1	424,2	1143,3	3629,7
360	15,8	38,9	48,9	169,3	456,5	1455,8

Tabla 2.28. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0303

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe - 1501-0303						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	113,3	230,4	279,4	880,8	2314,0	7285,3
30	90,0	185,4	227,8e	725,7	1918,7	6075,6
60	63,4	132,6	165,5	534,2	1422,5	4536,2
120	39,4	83,7	106,0	346,4	927,6	2977,6
360	15,2	32,9	42,1	139,7	374,4	1208,1

Tabla 2.29. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0401

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi) - 1501-0401						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	111,3	222,9	262,0	788,1	2051,1	6430,5
30	88,4	179,3	213,2	648,9	1699,2	5357,3
60	62,3	128,3	154,6	477,4	1258,9	3996,8
120	38,8	81,1	98,9	309,8	821,1	2624,1
360	15,0	31,9	39,3	125,4	332,5	1068,8

Tabla 2.30. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0402

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca - 1501-0402						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	122,7	341,0	366,9	1200,1	3179,3	9761,7
30	97,5	274,9	299,1	991,5	2645,0	8170,4
60	68,6	196,8	216,9	731,0	1965,4	6116,4
120	42,5	124,0	138,1	472,9	1279,3	4008,1
360	16,3	48,1	54,0	187,7	507,9	1597,9

Tabla 2.31. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0403

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) - 1501-0403						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	103,7	159,0	183,2	434,7	1022,5	3088,9
30	82,3	127,7	149,1	357,2	844,8	2565,8
60	58,0	91,4	108,3	262,5	624,8	1910,1
120	36,2	57,8	69,5	170,6	408,0	1255,5
360	14,1	22,9	28,0	69,8	167,1	517,7

Tabla 2.32. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0501

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Manzanares en Santa Marta - 1501-0501						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	100,7	133,8	153,4	280,5	560,4	1535,1
30	80,0	107,5	124,5	230,2	462,5	1273,8
60	56,4	76,9	90,1	169,1	341,8	947,5
120	35,2	48,7	57,7	110,0	223,3	623,0
360	13,7	19,4	23,2	45,2	91,9	258,1

Tabla 2.33. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0502

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Tamaca - 1501-0502						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	104,4	168,0	193,9	468,7	1124,1	3418,9
30	82,9	135,0	157,3	385,2	928,9	2840,6
60	58,4	96,6	113,9	283,1	687,1	2115,1
120	36,5	61,1	72,8	184,0	448,7	1390,1
360	14,2	24,2	29,2	75,2	183,6	572,7

Tabla 2.34. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0503

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta - 1501-0503						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	112,6	254,5	279,2	849,2	2236,8	7000,3
30	89,4	204,9	227,0	699,4	1853,7	5834,4
60	63,0	146,6	164,4	514,8	1373,9	4354,5
120	39,2	92,6	105,0	334,0	896,3	2859,4
360	15,2	36,4	41,7	135,1	362,7	1163,8

Tabla 2.35. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0504

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Matogiro (Donama) - 1501-0504						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	115,9	297,8	313,7	996,4	2660,4	8316,1
30	92,1	239,8	255,3	821,5	2207,6	6940,7
60	64,9	171,7	185,0	605,1	1637,9	5186,3
120	40,3	108,4	118,0	392,5	1068,3	3405,3
360	15,6	42,5	46,7	158,1	430,5	1379,7

Tabla 2.36. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0600

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Concha - 1501-0600						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	110,3	237,8	260,2	766,4	2003,0	6267,3
30	87,7	191,3	211,3	630,9	1658,9	5219,6
60	61,8	136,9	152,9	464,2	1229,0	3893,9
120	38,5	86,6	97,6	301,5	802,3	2558,5
360	14,9	34,2	38,9	122,4	326,0	1045,8

Tabla 2.37. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0701

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe - 1501-0701						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	117,9	323,8	335,7	1087,3	2912,1	9072,0
30	93,7	260,9	273,2	897,1	2418,5	7578,9
60	66,0	186,9	197,9	661,2	1795,7	5668,2
120	41,0	118,0	126,2	428,9	1171,4	3722,3
360	15,8	46,2	49,8	172,4	471,1	1504,5

Tabla 2.38. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0702

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Cinto y otros directos al Caribe - 1501-0702						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	127,4	441,7	421,5	1403,8	3759,1	11461,5
30	101,3	356,7	343,7	1162,0	3133,8	9614,9
60	71,3	255,7	249,2	858,2	2333,8	7215,5
120	44,2	161,2	158,6	555,8	1521,0	4735,1
360	16,9	62,5	61,8	220,2	602,4	1882,9

Tabla 2.39. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0703

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe - 1501-0703						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	136,8	570,7	495,4	1607,4	4230,9	12465,7
30	108,8	462,2	404,6	1335,7	3543,3	10508,7
60	76,6	331,9	293,4	989,3	2648,5	7919,5
120	47,3	208,8	186,0	639,4	1724,3	5193,4
360	17,8	79,8	71,2	248,6	670,0	2023,4

Tabla 2.40. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0801

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe - 1501-0801						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	135,6	549,2	478,4	1574,3	4158,5	12316,1
30	107,8	444,5	391,5	1307,4	3480,2	10375,0
60	75,9	319,1	284,6	967,8	2599,6	7812,7
120	46,9	200,7	180,8	625,5	1692,0	5121,7
360	17,7	76,7	69,5	243,5	658,3	1998,5

Tabla 2.41. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0802

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada Jordán - 1501-0802						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	127,4	441,4	420,9	1397,7	3747,6	11436,2
30	101,2	356,4	343,1	1156,8	3124,1	9593,1
60	71,3	255,5	248,7	854,4	2326,3	7198,3
120	44,2	161,0	158,2	553,2	1515,8	4722,9
360	16,9	62,4	61,6	219,0	600,1	1877,1

Tabla 2.42. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0803

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro - 1501-0803						
DURACION	PERIODO DE RETORNO, años					
Minutos	3	5	10	25	50	100
15	125,6	395,5	395,7	1309,9	3491,3	10668,9
30	99,8	319,1	322,8	1083,4	2907,9	8940,9
60	70,2	228,6	234,3	799,4	2163,2	6701,6
120	43,5	144,0	149,2	517,3	1408,5	4393,4
360	16,6	55,8	58,2	204,8	557,7	1746,8

Tabla 2.43. Resultados ajuste IDF, cuenca 1501-0804

Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia						
CUENCA: Quebrada La Lisa - 1501-0804						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	129,4	450,3	434,9	1422,5	3783,9	11439,1
30	102,9	363,7	354,3	1178,2	3157,0	9604,1
60	72,4	260,7	256,5	870,3	2351,8	7210,2
120	44,8	164,1	162,7	562,8	1530,9	4726,3
360	17,0	63,3	62,9	221,5	602,4	1866,4

En el Anexo 5 se muestran los coeficientes para cada ecuación asignados por subcuenca, asociados a periodos de retorno T de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Finalmente, con los resultados obtenidos es posible la generación de mapas de valores de intensidad para distintas duraciones, desde 15 a 360 minutos con la información obtenida. A continuación, se presenta en la Figura 2.36 la espacialización por subcuencas de la intensidad para duraciones de 60 Y en la 0 , con una duración de 120 minutos para un periodo de retorno de 100 años.

Figura 2.36. Espacialización de valores de intensidad para período de retorno de 100 años, duración 60 min, cuencas de segundo nivel subsiguiente.

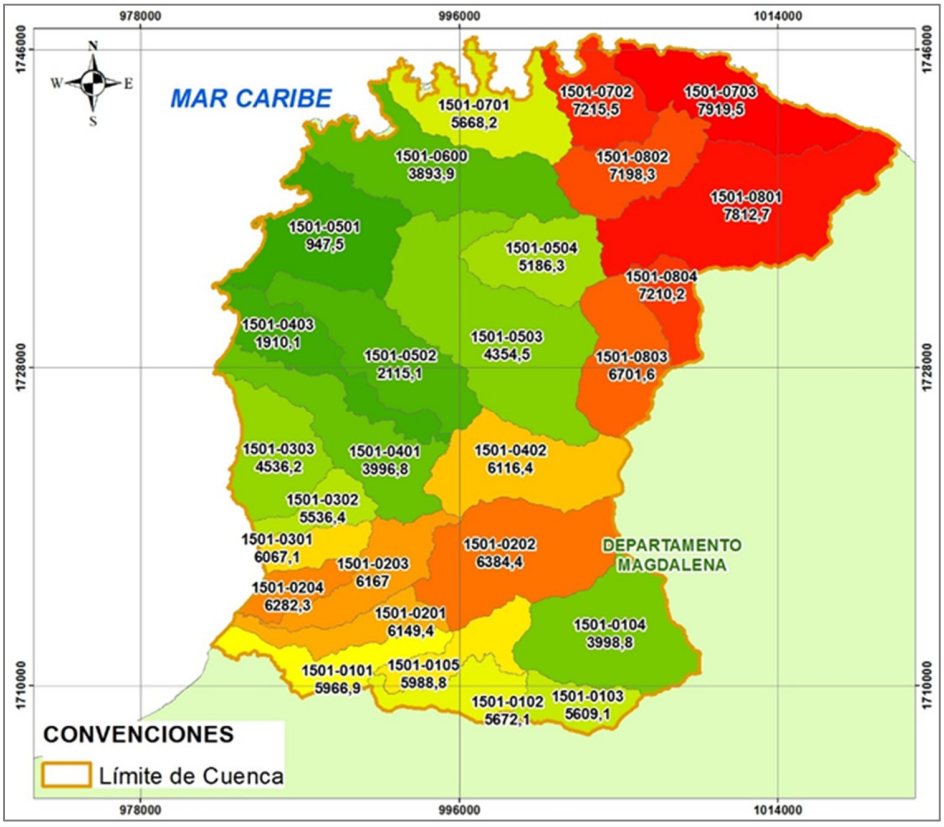
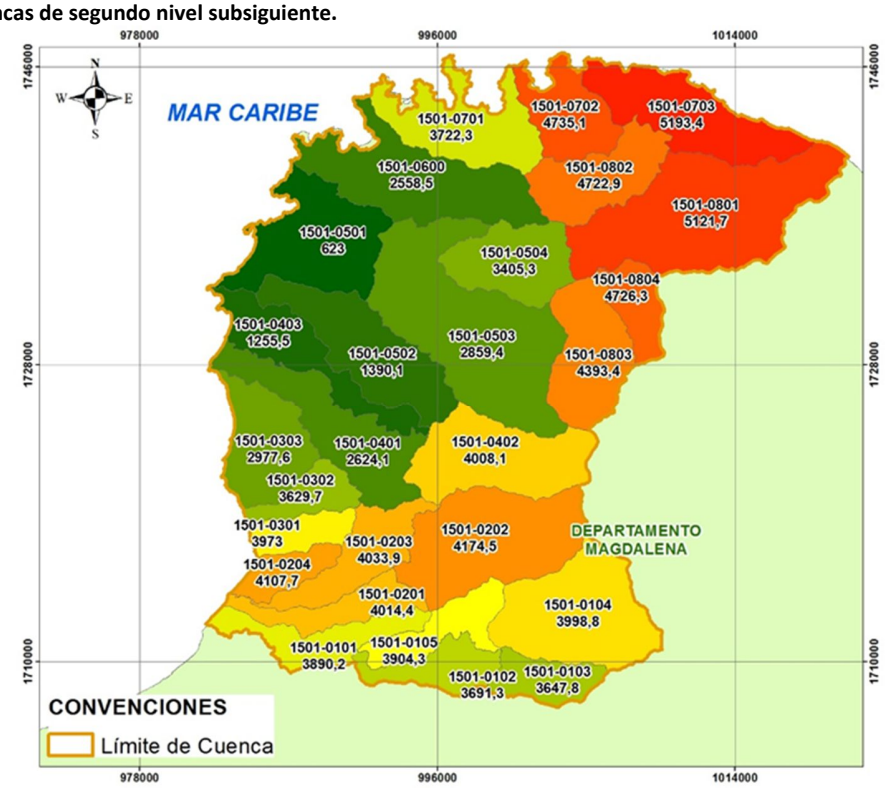


Figura 2.37. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración de 60 minutos, para las cuencas de segundo nivel subsiguiente.



2.5.3. Variabilidad climática y eventos ENSO.

Las fluctuaciones del clima pueden darse a nivel espacial y temporal, y su análisis es de suma importancia para lograr evaluaciones y predicciones climáticas que permitan preparase a eventos extremos. Como lo indica Montealegre (2014), las interacciones entre los diversos factores que influencian el sistema climático, determinan dichas fluctuaciones a nivel temporal o espacial. La variabilidad se puede presentar a diferentes escalas, siendo las siguientes las de mayor relevancia:

2.5.3.1. ***Variabilidad estacional:*** *Obedece a los cambios mensuales que se pueden presentar en los aspectos climatológicos. Para países en latitudes tropicales como Colombia, se presentan dos fluctuaciones a grandes rasgos, temporada de lluvias y temporada de sequía; que a su vez difiere entre regiones naturales.*

2.5.3.2. ***Intraestacional:*** *Tiene lugar en las dinámicas estacionales, cuyos cambios, al ser determinantes durante decenas de días, tienen percepción leve. La detección de la variabilidad intraestacional comúnmente se da por una señal denominada 30-60 días (Montealegre, 2014).*

2.5.3.3. ***Interanual:*** *En esta escala temporal se tiene lugar a los cambios que oscilan de un año a otro. Como lo estiman (Arango, Dorado, Guzmán, & Ruíz), un año puede registrar valores por encima o por debajo de lo normal para cualquier variable climatológica, y esta comparación se da a partir de unos valores Normales de dichas variables obtenidos a partir de un promedio histórico mínimo de 30 años, establecidos por la ONU en 1997.*

2.5.3.4. ***Interdecadal:*** *En esta escala la variabilidad histórica se da en décadas; al ser un rango de tiempo tan extenso, las oscilaciones son leves a comparación de las anteriores temporalidades. Sin embargo, pueden dar razón al cambio climático del planeta y su tendencia a mediano y largo plazo.* Los factores que mayor influencia tienen en las dinámicas climáticas son la latitud, la distancia al mar, la vegetación y la presencia o ausencia de sistemas orográficos. Estas variables construyen un sistema complejo de interacciones armónicas que dan lugar a las características y/o variables climatológicas.

Como lo han identificado (Montealegre & Pabón, 2000) dichas complejas interacciones están directamente relacionadas con las dinámicas atmosféricas, oceánicas, propias de los glaciares y por supuesto las de las superficies terrestres que incluyen las actividades antrópicas. Estos procesos se combinan para dar lugar a un intercambio energético entre subsistemas, y a los tan importantes ciclos biogeoquímicos. Montealegre y Pabón (2000) exponen que los sistemas pluviogenéticos están relacionados con otros componentes del sistema climático. Sin embargo; son el océano, como controlador del clima, y la atmósfera, en cuyo seno se suscitan los procesos físicos de la condensación (formación de nubes), los responsables más determinantes de la variabilidad interanual de la precipitación. Por ello, se considera que los procesos de interacción entre estos dos medios tienen una influencia, prácticamente directa, en la variabilidad de la precipitación.

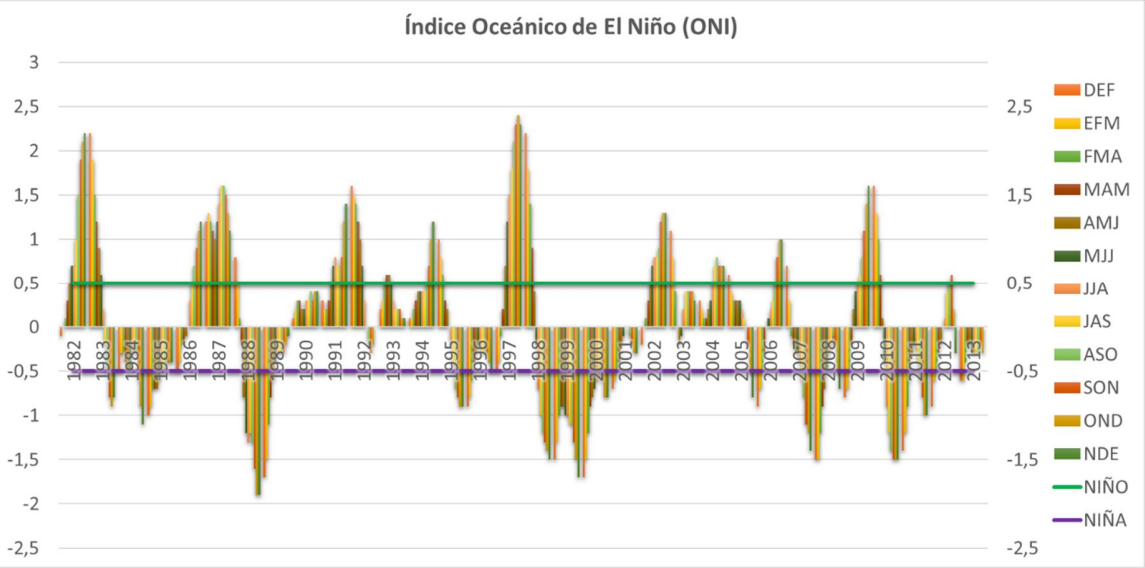
Para el caso de estudio de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, nos enfocaremos en la variabilidad climática interanual, específicamente en los fenómenos que mayor influencian los regímenes de precipitación en Colombia, *El Niño, La Niña – Oscilación del sur (ENSO o ENOS)*. Por lo anterior, la variabilidad en Colombia está sujeta a los procesos del océano Pacífico y Atlántico, y la influencia de uno u otro varía según la región y la época del año. No obstante, el océano Pacífico manifestado a través del ciclo *ENSO* ha sido determinante en la mayor parte del país.

Dichas alteraciones se dan gracias a una variabilidad del campo térmico superficial en el Pacífico tropical, que se reflejan como oscilaciones de periodos cálidos y fríos recurrentes entre tres y seis años, según lo estima (Montealegre, 2009). El Niño corresponde a su fase cálida y La Niña a la fría, cambios a escala interanual que tienen lugar en periodos relativamente cortos y para su determinación a nivel mundial se han establecido una serie de indicadores e índices que describen el ciclo.

Para el caso, se utilizó el Índice Oceánico de El Niño (ONI), como se ve en la Figura 2.38 para el cual se tomó una serie histórica desde 1982 a 2013 con la que se compararon las series históricas de precipitación y temperatura de las estaciones disponibles. El *ONI* ha establecido el fenómeno El Niño a nivel mundial cuando el promedio de tres meses de las anomalías de las temperaturas superficiales

del Océano Pacífico (ATSM) en la región NIÑO 3.4 es mayor o igual a +0,5 °C. En forma inversa define al fenómeno "La Niña" cuando el promedio de tres meses de ATSM es menor o igual a -0,5 °C. (NOAA, 2015).

Figura 2.38. Variabilidad climática interanual- ONI



Las series recopiladas en la Tabla 2.44, obedecen a los promedios trimestrales clasificados para cada año, iniciando en Diciembre del año inmediatamente anterior, Enero y Febrero (DEF), terminando para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero del año próximo (NDE). Posteriormente, se analizaron las series para las estaciones climatológicas (años 1982-2013) de precipitación y temperatura, a las cuales se le estableció una relación de terciles dónde se clasificaron los trimestres móviles como POR DEBAJO DE LO NORMAL O PROMEDIO (valores menores que el percentil 33%), NORMAL O PROMEDIO (valores entre el 33% y el 66%) o POR ENCIMA DE LO NORMAL O PROMEDIO (valores mayores al 66%).

Tabla 2.44. Recopilación de series históricas ONI.

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1982	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1983	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
1984	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA
1985	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
1986	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1987	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1988	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
1989	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
1990	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
1991	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1992	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
1993	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
1994	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1995	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
1996	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA
1997	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
1998	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
1999	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
2000	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
2001	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
2002	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
2003	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO
2004	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
2005	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA
2006	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
2007	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
2008	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA
2009	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO
2010	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
2011	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NIÑA
2012	NIÑA	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NIÑO	NIÑO	NEUTRO	NEUTRO
2013	NIÑA	NIÑA	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO

Comparando, la información obtenida, puede analizarse que el periodo para el fenómeno La Niña ocurrido entre los años 2010 – 2011 presentó precipitaciones por encima de lo normal, y se corrobora por el índice que éste período correspondió efectivamente a un evento Niña. Adicionalmente la Tabla 2.44 indica el inicio del ciclo en el trimestre de Junio-Julio-Agosto (JJA) de 2010 hasta Marzo-Abril-Mayo de 2011. Cabe señalar que esta estandarización está dada a nivel mundial y por factores orográficos y otros anteriormente mencionados que influencian las variables climáticas, el ciclo ENSO para Colombia puede presentarse de modo diverso, variando su efecto de lluvia o sequía entre regiones naturales. A grandes rasgos, para la cuenca se presentan las mayores precipitaciones en los trimestres ASO y SON y la mayor variabilidad registrada en la última década ha tenido lugar para los años de 1999 – 2000 y 2011 - 2012. Cabe resaltar, que a escala interdecadal puede apreciarse una tendencia de aumento en las fluctuaciones desde 1999.En el Anexo 6 se consolidan las gráficas para las estaciones de mayor influencia en la cuenca.

El IDEAM (2013) determinó los períodos en los que los eventos Niño-Niña se registraron en el país. En la Figura 2.39 se presentan los años de ocurrencia para el territorio Colombiano de los eventos niña, los cuales concuerdan con los registrados con el ONI.

Figura 2.39. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niña



Fuente: Montealegre (2014)

Por otro lado, en la Figura 2.40 se presentan los eventos secos en los cuales se presentó el evento de El Niño en el territorio Colombiano.

Figura 2.40. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niño



Fuente: Montealegre (2014)

Con respecto a la temperatura, las variaciones son leves a lo largo de la serie histórica, por lo que se puede afirmar que se ha presentado una tendencia y un comportamiento estable a escala interanual. En las Figura 2.41 y Figura 2.42 se presenta el anpalisis de trimestres móviles para la series de precipitación y de temperatura, respectivamente, para la estación APTO SIMON BOLIVAR.

Figura 2.41. Trimestres móviles, serie de datos de precipitación para la estación APTO SIMON BOLIVAR

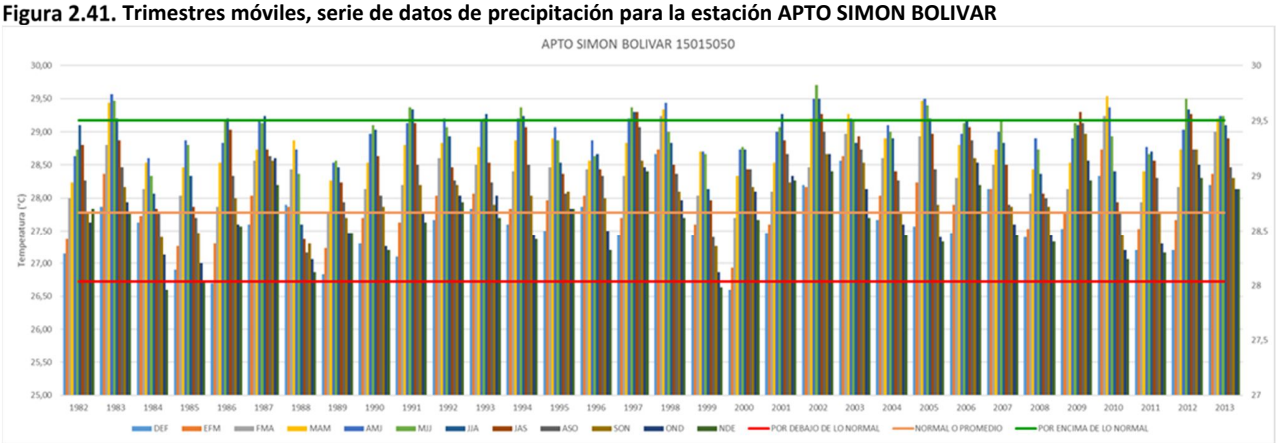
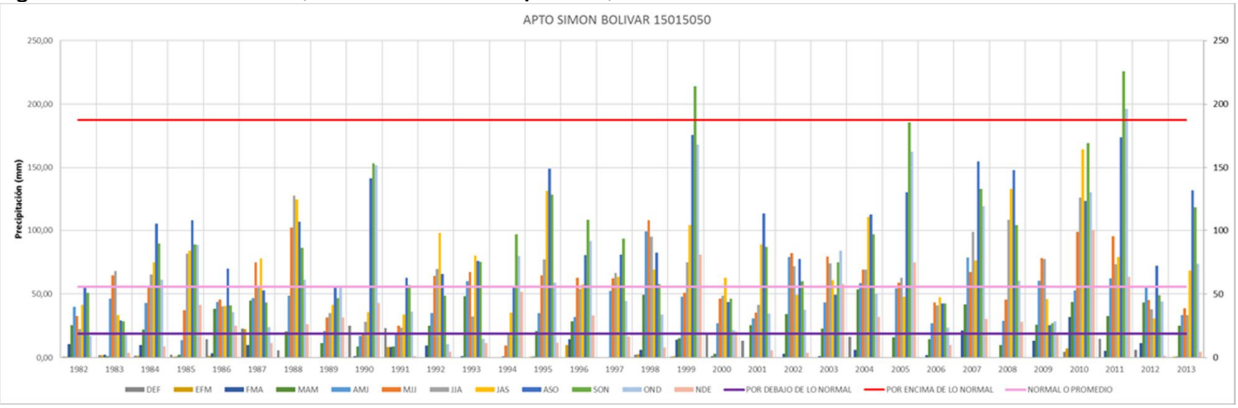


Figura 2.42. Trimestres móviles, serie de datos de temperatura, estación APTO SIMÓN BOLIVAR.



De acuerdo con los análisis desarrollados para cada una de las estaciones de registro de precipitación y temperatura, es posible afirmar lo siguiente:

- La tendencia de la precipitación en el área de la cuenca muestra modificaciones en los regímenes de precipitación relacionados a los eventos ENSO, presentando mayores precipitaciones en los meses de Agosto a Noviembre, registrando la mayor variabilidad en los años de 1999 – 2000 y 2011 - 2012. Por otro lado, la tendencia general de la precipitación a escala interdecadal presenta una tendencia de aumento en las fluctuaciones desde 1999.En el Anexo 2.6 y 2.7 se consolidan las gráficas para las estaciones de mayor influencia en la cuenca.
- La tendencia de la temperatura en la cuenca muestra a nivel interdecadal un comportamiento regular a través del tiempo, con aumentos muy leves para determinar que la tendencia de la variable esté claramente definida. Esto puede deberse a que los períodos de registro de temperatura no son suficientemente largo, ya que para estudios de variabilidad y cambio climático se recomienda realizar los análisis respectivos con series mayores a 30 años. Sin embargo, para cada una de las estaciones analizadas, se adjunta en el Anexo 2.8.

La anterior información funge como insumo importante en la definición de escenarios tendenciales en la fase de prospectiva. Se reitera que en los Anexos 7 y 8, respectivamente, se presentan los cálculos del ONI para cada una de las estaciones evaluadas, tanto para precipitación como para temperatura, con su respectiva clasificación.

2.6. Balance Hídrico De Largo Plazo

Debido a las condiciones específicas que posee nuestro país, dadas por la variabilidad climática, la localización en la zona tropical y la multiplicidad de aspectos geográficos y atmosféricos que se presentan sobre el territorio nacional, la cantidad de climas y condiciones de interacción de los componentes ambientales con el recurso hídrico son múltiples, haciendo que el análisis tenga que desarrollarse de manera específica para cada zona del país.

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración de referencia mensual estimada, es posible estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año.

Como se especifica en el ENA 2014, el balance hídrico a largo plazo, dado por la relación entre precipitación y evapotranspiración, permite determinar la escorrentía sobre una unidad de análisis considerando que el cambio de almacenamiento de agua en el volumen de control es nulo. Teniendo en cuenta el diagnóstico elaborado para la Política Nacional del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010) con base en estimaciones del IDEAM et al. (2004), en Colombia la precipitación media anual es de 3.000 mm con una evapotranspiración real de 1.180 mm y una escorrentía media anual de 1.830 mm (Maricio Cabrera Leal, 1994).

En la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur se indica que, para cualquier masa de agua, en áreas extensas y en largos periodos de tiempo, se puede utilizar la ecuación simplificada, considerando que los cambios de almacenamiento tienden a minimizarse y pueden suponerse nulos (Unesco, 1982). Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad del agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal o de criterios de diferenciación climática.

Como presenta el ENA 2014, la expresión para el balance hídrico a largo plazo, que relaciona las variables de precipitación y escorrentía, es la siguiente:

$$ESC = P - ETR \qquad \textbf{(12)}$$

En donde la
ESC= corresponde a la escorrentía hídrica superficial (mm).
P= Precipitación (mm).
ETR= Evapotranspiración real (mm).

Para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se analizaron las variables climatológicas involucradas en el balance hídrico a largo plazo, siendo la evapotranspiración determinada con las anteriores variables.

Para el cálculo de la Evapotranspiración media multianual existen varios métodos empíricos, la mayoría de ellos basados en fórmulas que han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por Barco y Cuartas (1998) se demostró que los métodos más confiables para estimar la evapotranspiración en Colombia se basan en las ecuaciones propuestas por Cenicafé (Pemnan Monteith) y Turc. A continuación, se presentan de manera resumida las principales ecuaciones utilizadas para estimar la evapotranspiración, tanto potencial como real en Colombia. Dichas metodologías representan un insumo de gran importancia para el cálculo de la oferta hídrica (caudales medios) en cuencas poco instrumentadas.

2.6.1. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es un componente clave en las interacciones de la superficie terrestre y la atmósfera dentro del balance hídrico, representada como la transferencia del agua absorbida por las plantas y que de manera posterior regresa a la atmósfera. Teniendo como referencia condiciones

no intervenidas y condiciones reales, se pueden determinar dos tipos de evapotranspiración, presentadas a continuación.

2.6.1.1. *Evapotranspiración potencial.*

La Evapotranspiración Potencial ***ETP*** (mm/año) se define como "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas" (Pulido, 1979). Mientras que la ETP no involucra el agua que cae al suelo, la evapotranspiración real ***ETR*** (mm) si lo tiene en cuenta.

La estimación de la *ETP* puede darse por diversos métodos, siendo tenidos en cuenta en el presente estudios los siguientes:

- CENICAFÉ.

Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial (ETP) de forma sencilla, pues en dicha ecuación la ETP solo depende de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación [12] fue producto de una regresión elaborada por Cenicafé entre los valores de evapotranspiración y la altura sobre el nivel del mar. Las estimaciones de ETP por medio de este sencillo método son validadas para su uso debido al tratamiento por medio del cual dicha regresión lineal fue obtenida, ya que se determinó al aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas de Colombia (Jaramillo, 1989), incluyendo las estaciones manejadas en el presente estudio. La regresión es la siguiente:

$$ETP = 1017.17 * e^{-0.0002\,h} \qquad \textbf{(13)}$$

Éste método se ajusta a las condiciones de altitud variables de la cuenca en estudio.

- Ecuación de Thornthwaite

Para Thornthwaite, se establece una relación de sumatoria de los doce índices de calor mensual (*i)* y el índice de calor anual (*I)* como lo indica (Sánchez, 2001).

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1{,}514} \qquad \textbf{(14)}$$

$$I = \sum i \qquad \textbf{(15)}$$

Posteriormente se obtendrá la ETP bajo la siguiente ecuación:

$$ETP_{\text{sin } corregir} = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^{a} \qquad \textbf{(16)}$$

Dónde *t* es la temperatura media mensual en °C y *a* es un factor que viene dado por:

$$a = (675 * 10^{-9} * I^3) - (771 * 10^{-7} * I^2) + (1792 * 10^{-5} * I) + (0{,}49239) \quad \textbf{(17)}$$

La ETP hace referencia a meses de 30 días y 12 horas de sol.

- Evapotranspiración Potencial para el Caribe Colombia

El Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2006) generó unas ecuaciones para la estimación de ETP discriminando las diferentes regiones colombianas de acuerdo con la división de cuencas hidrográficas, para los de déficit de información. Esta metodología parte de la ecuación lineal:

$$ETP = constante\ (a) + (pendiente\ (b) * elevación) \quad \textbf{(18)}$$

Esta constante *a* y pendiente *b* se tomó para el área hidrográfica Bajo Magdalena – Caribe. Obteniendo así la siguiente expresión:

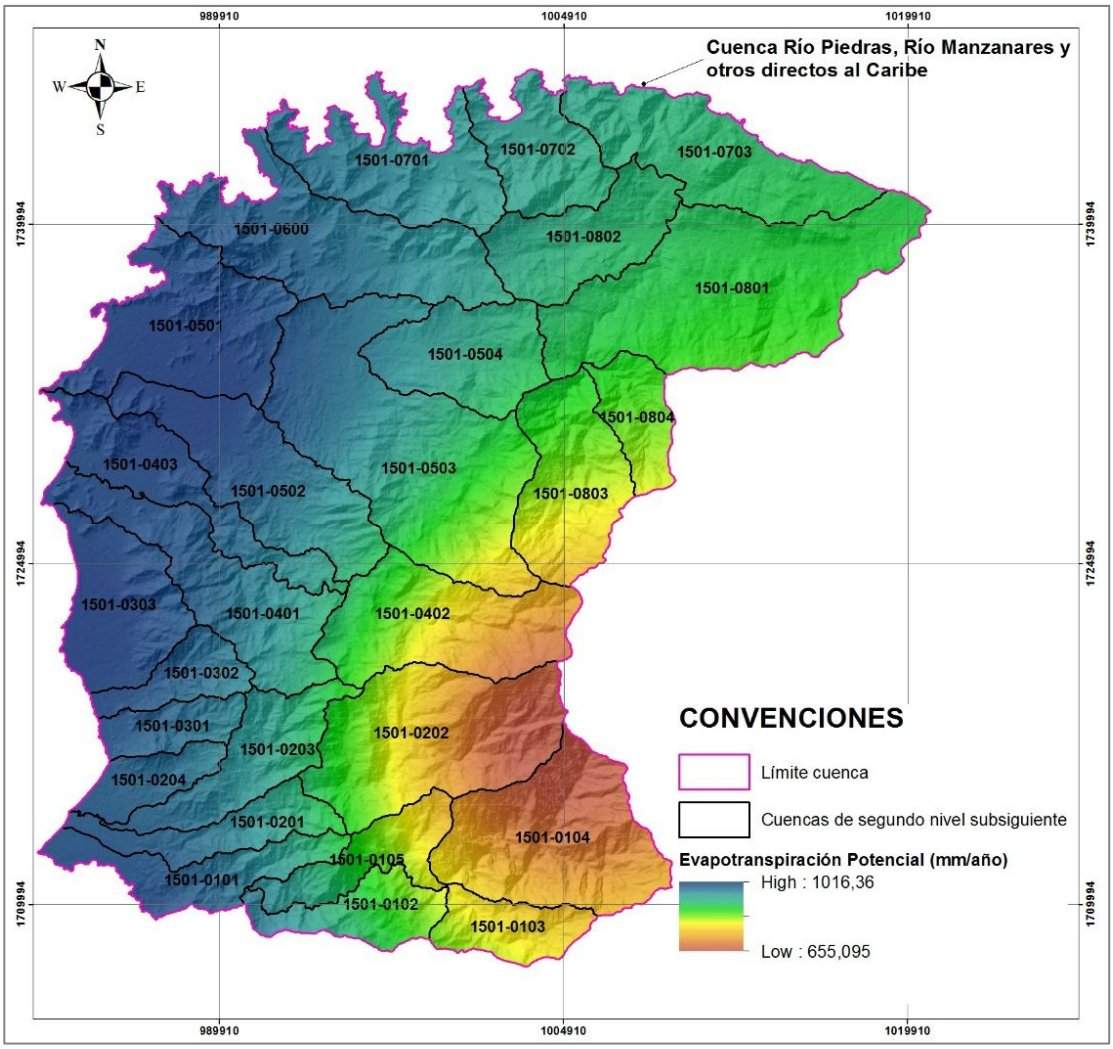
$$ETP = 131.39 + (-0.02 * h) \quad \textbf{(19)}$$

Siendo *h* la altura media en (msnm).

Al aplicar las anteriores metodologías para la estimación de la evapotranspiración potencial, se determinó que las metodologías de Thornthwaite y la potencial para el caribe colombiano sobreestiman los valores de la evapotranspiración de manera considerable, por lo que fueron descartadas para su análisis a nivel anual.

Para el desarrollo del presente análisis, se determinó como la de mayor ajuste para las condiciones de la cuenca la metodología de CENICAFÉ, que como se explicó anteriormente, fue validada para su uso por CENICAFÉ al obtener por medio de la ecuación de Penmanth-Montheith la regresión lineal bajo la cual se realiza su cálculo.
A continuación, en la Figura 2.43 se presentan los rangos de evapotranspiración potencial en la cuenca y subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Figura 2.43. Distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial de la cuenca según metodología de Penman-Monteith.


Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y otros directos al Caribe
N
W
E
S
989910
1004910
1019910
1739994
1724994
1709994
1501-0701
1501-0702
1501-0703
1501-0600
1501-0802
1501-0801
1501-0501
1501-0504
1501-0804
1501-0403
1501-0503
1501-0502
1501-0803
1501-0303
1501-0401
1501-0402
1501-0302
1501-0301
1501-0202
1501-0203
1501-0204
1501-0201
1501-0104
1501-0105
1501-0101
1501-0102
1501-0103
CONVENCIONES
Límite cuenca
Cuencas de segundo nivel subsiguiente
Evapotranspiración Potencial (mm/año)
High : 1016,36
Low : 655,095

En la anterior figura, se muestra que la evapotranspiración potencial de la cuenca se encuentra en un rango entre los 655 mm y los 1016 mm, presentando en la Tabla 2.45 los valores medios por subcuenca.

Tabla 2.45. Evapotranspiraciones potenciales medias anuales por subcuenca.

CODIGO	NOMBRE	ETP Media (mm) (Penman)
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	975,6
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	892,0
1501-0103	Quebrada La Sierrita	795,4
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	714,1
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	857,7
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	958,0
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	765,0
1501-0203	Quebrada Marinca	943,9
1501-0204	Quebrada El Guayabo	985,4
1501-0301	Quebrad El Doctor	983,9
1501-0302	Quebrada Don Jaca	987,7
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	1008,4
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	972,2
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	801,0
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	994,1
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	1008,0
1501-0502	Quebrada Tamaca	981,3
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	921,3
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	930,4
1501-0600	Quebrada Concha	975,9
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	961,8
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	934,7
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	910,7
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	885,7
1501-0802	Quebrada Jordán	917,8
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	828,5
1501-0804	Quebrada La Lisa	851,4

2.6.1.2. *Evapotranspiración real (ETR).*

La estimación de la *ETR* puede darse por diversos métodos, como se presenta a continuación:

- ❖ Método de Turc

La ETR en (mm/año) se cuantifica por el algoritmo de Turc, bajo la siguiente expresión (Sánchez, 2001):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \qquad (20)$$

Dónde *P* es la precipitación en (mm/año) y *L* es un factor que relaciona la temperatura media anual *t* (°C):

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad \textbf{(21)}$$

Cabe resaltar que el método de Turc es aplicable para cuencas que cumplan con el siguiente criterio: *P/L<0.316*, caso contrario al de la cuenca en estudio.

- Factor regional

La metodología de ***Factor regional*** es una relación que involucra la radiación y parte de la premisa que la evaporación anual no excede los valores correspondientes a la precipitación, como se presenta a continuación:

$$ETR = \frac{P}{(1 + \left(\frac{P}{Rn}\right)^{\alpha})^{1/\alpha}} \quad \textbf{(22)}$$

Siendo *P* la precipitación (mm/año), *Rn* es una relación entre la radiación que recibe la cuenca y el agua evaporada (1172,69 mm/año) y *α* es un parámetro que involucra la temporalidad de la ETP, el cual se ha estimado como 1.91. El método asume que la evaporación anual no excede los valores correspondientes a P o R_n y dispone de la relación μ= P/ $R_n$en el intervalo 0,23 <μ<1,97. Esta metodología propone para cálculo del factor α en la región de trabajo, el valor que minimiza el error medio entre las evaporaciones estimadas y las obtenidas al realizar el balance de largo plazo. En 52 cuencas con áreas entre 25 y 5300 km2 con condiciones climáticas diferentes, se encontró un valor de α = 1,91 con muy buenos resultados, pero aplicable para zonas con0, 85<μ<6,37. Por lo que no es apropiado su uso para la presente cuenca, con un área mucho mayor a la evaluada por el método.

- Ecuación de Budyko

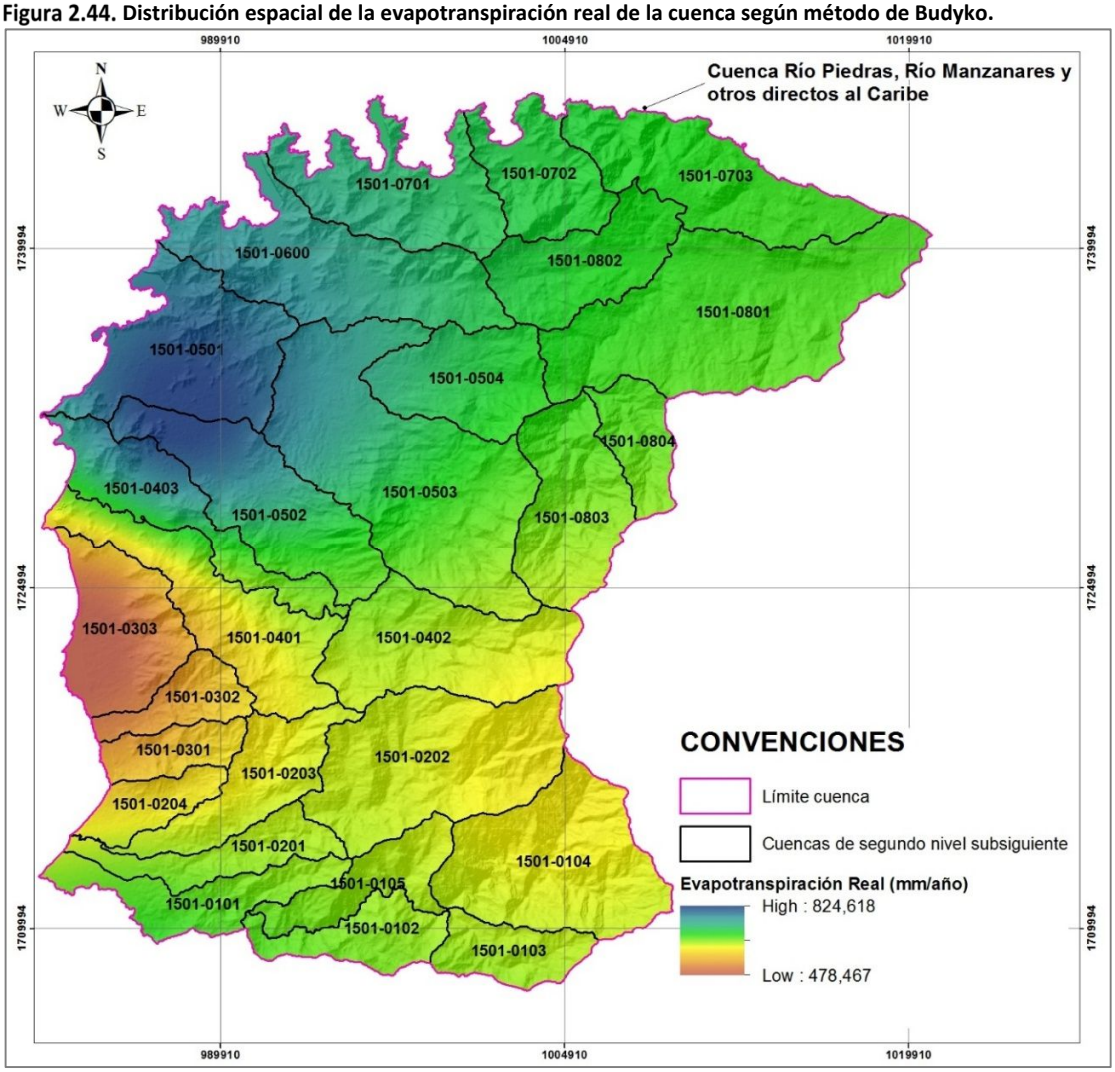
En este método se relaciona la ETP y la ETR bajo una compleja relación, involucrando también la precipitación, dada en la siguiente ecuación:

$$ETR = \left\{ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + senh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]\right\}^{1/2} \quad \textbf{(23)}$$

Dónde la ETP y la precipitación (*P*) se dan en (mm/año).

Teniendo en cuenta los parámetros y requisitos anteriormente presentados por cada meotdología, se decidió realizar la estimación de la evapotranspiración real por medio de la metodología de Budyko, presentando en la Figura 2.44 la distribución espacial de la misma.

Figura 2.44. Distribución espacial de la evapotranspiración real de la cuenca según método de Budyko.



A continuación, en la Tabla 2.46 se presentan los valores medios de evapotranspiración para la cuenca y las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 2.46. Valores medios anuales de Evapotranspiración real para las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

CODIGO	NOMBRE	ETR (mm)
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	663,2
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	656,4
1501-0103	Quebrada La Sierrita	644,4
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	627,6
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	646,8
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	648,1
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	629,4
1501-0203	Quebrada Marinca	629,5

CODIGO	NOMBRE	ETR (mm)
1501-0204	Quebrada El Guayabo	612,6
1501-0301	Quebrad El Doctor	580,3
1501-0302	Quebrada Don Jaca	565,2
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	524,7
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	627,5
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	638,8
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	721,0
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	796,5
1501-0502	Quebrada Tamaca	740,4
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	706,6
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	705,9
1501-0600	Quebrada Concha	744,2
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	723,5
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	700,8
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	685,8
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	676,9
1501-0802	Quebrada Jordán	693,2
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	659,1
1501-0804	Quebrada La Lisa	666,2

2.6.2. Balance Hídrico A Largo Plazo.

Teniendo los valores de las evapotranspiraciones potencial y anual media para la cuenca y subcuencas relacionadas, a continuación en la Tabla 2.47 se presenta el balance hídrico a largo plazo, mostrando los valores de escorrentía media resultante de la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración real.

Tabla 2.47. Balance hídrico a largo plazo para las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

CODIGO	NOMBRE	Precipitación (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Escorrentía (mm)	Caudal (m3/s)
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	1313,831818	975,6	663,2	650,7	0,46
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	1656,283299	892,0	656,4	999,9	0,55
1501-0103	Quebrada La Sierrita	1995,193258	795,4	644,4	1350,8	0,66
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	2364,46743	714,1	627,6	1736,8	2,87
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	1839,372782	857,7	646,8	1192,6	0,69
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	1440,55706	958,0	648,1	792,4	0,45
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	2277,304842	765,0	629,4	1647,9	2,98
1501-0203	Quebrada Marinca	1615,380479	943,9	629,5	985,8	0,79
1501-0204	Quebrada El Guayabo	1257,218585	985,4	612,6	644,6	0,25
1501-0301	Quebrad El Doctor	1280,373362	983,9	580,3	700,1	0,27
1501-0302	Quebrada Don Jaca	1291,682909	987,7	565,2	726,5	0,31

CODIGO	NOMBRE	Precipitación (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Escorrentía (mm)	Caudal (m3/s)
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	842,636979	1008,4	524,7	317,9	0,32
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	1629,151533	972,2	627,5	1001,7	1,30
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	2272,712389	801,0	638,8	1633,9	2,26
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	1525,988303	994,1	721,0	805,0	0,75
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	1550,883699	1008,0	796,5	754,4	1,10
1501-0502	Quebrada Tamaca	1828,028081	981,3	740,4	1087,7	1,47
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	1966,880592	921,3	706,6	1260,3	3,38
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	1882,39749	930,4	705,9	1176,5	1,09
1501-0600	Quebrada Concha	1696,804072	975,9	744,2	952,6	1,62
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1709,625697	961,8	723,5	986,2	1,14
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	1772,805008	934,7	700,8	1072,1	0,83
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	1832,207533	910,7	685,8	1146,4	1,52
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1901,585485	885,7	676,9	1224,7	3,17
1501-0802	Quebrada Jordán	1832,59555	917,8	693,2	1139,4	1,07
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	2078,139952	828,5	659,1	1419,0	1,57
1501-0804	Quebrada La Lisa	1982,717054	851,4	666,2	1316,5	0,62

Finalmente, teniendo en cuenta los caudales obtenidos en la campaña de monitoreo, la información obtenida en los mismos fue muy poca, por lo que se considera insuficiente para realizar una validación apropiada con datos observados, debido a las condiciones hidrológicas que se tuvieron durante el año 2016 en la cuenca, que correspondió a un período hidrológico sumamente seco clasificado como El Niño, período en el cual se desarrollaron los monitoreos. Sin embargo, en el numeral 8 del presente documento se desarrolla la validación de la información obtenida en el balance hídrico versus los datos obtenidos en la generación de caudales a nivel de subcuenca en los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

2.7. Balances Hidroclimáticos Por Nivel Subsiguiente.

Teniendo en cuenta los requerimientos de la Guía Técnica para la Formulación de los POMCAS y con el fin de lograr un mayor detalle respecto a las condiciones hidroclimáticas de la cuenca y cada subcuenca que la componen, así como sus condiciones de recarga potencial, se desarrolló un balance hidroclimático mensual, el cual permite establecer el déficit o exceso de agua a nivel mensual y anual por subcuenca. Para lo anterior, se desarrolló un balance para cada una de las estaciones, y se empleó una modificación de la metodología de Balance Hídrico de Suelos propuesta por Schosinsky (2006) la cual toma en consideración diferentes variables que inciden en la capacidad de recarga de acuíferos de una cuenca, como lo son la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno.

La necesidad del presenta balance hidrocllimático está dada tanto para el componente hidrológico como para el componente hidrogeológico, al estimar la capacidad de recarga de los acuíferos, haciendo necesaria la consideración de los parámetros relacionados en el procedimiento, y el cálculo de necesidades de riego. Para los fines del componente hidrológico, se considera el balance hídrico a nivel de subcuenca, presentado en el Anexo 2.9 del presente documento.

A continuación, se resume la secuencia metodológica empleada para la obtención de la recarga potencial.

2.7.1. Determinación de la retención pluvial (Ret).

La presencia de cobertura vegetal genera por sí misma una retención del agua que recibe la cuenca como precipitación. Se estima que la retención que realiza el follaje de las plantas equivale en promedio a un 12% de la precipitación mensual, aunque este valor se eleva a un 20% en bosques densos. De igual manera, si la precipitación está por debajo de los 5 mm mensuales no se genera infiltración. (Schosinsky, 2006). A partir de la cobertura definida para cada subcuenca, se descuenta de la precipitación el valor retenido por las plantas de manera directa sin que llegue al suelo, Ret.

2.7.2. Determinación de la precipitación infiltrada, P_{in}

La metodología de Schosinsky plantea que, conociendo la infiltración básica del suelo (obtenida en campo), la cobertura vegetal y la pendiente, se estima la precipitación que infiltra a través del suelo; para posteriormente con ella determinar la escorrentía mensual mediante un balance hídrico en la superficie del suelo. Sin embargo, como se conoce la escorrentía superficial para cada subcuenca a partir del análisis hidrológico, se empleó el balance hídrico en la superficie para estimar la cantidad de precipitación infiltrada. Adicionalmente, dadas las condiciones de las cuencas, se encontró que era necesario corregir el balance para tomar en consideración los aportes subsuperficiales que vendrían dados por zonas de surgencia del agua que se transporta a través del área no saturada. Este aporte subsuperficial se determina como el déficit de precipitación que permite obtener un nivel de escorrentía determinado, haciendo que la infiltración sea cero. Así, el balance queda de la siguiente manera:

$$P_{in} = P - Ret - ESC + L$$

donde P es la precipitación media mensual, ESC la escorrentía obtenida de la hidrología (en mm/mes), y L los aportes subsuperficiales (iguales a cero si P - Ret > ESC).

2.7.3. Balance del suelo

El primer dato necesario para proceder al balance del suelo es la infiltración que ya se obtuvo del numeral anterior. Luego, es preciso conocer la capacidad de campo promedio (CC) y el punto de marchitez (PM) del suelo en cada subcuenca, así como la profundidad radicular para convertir la capacidad de campo de unidades de porcentaje a lámina de agua. Sin embargo, haciendo la comparación de este cálculo con lo descrito por Bradbury *et al.* (2000), el resultado corresponde a la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, que está relacionada hidrológicamente con las abstracciones iniciales de los modelos de lluvia-escorrentía por medio del umbral de escorrentía. De esta manera, se emplearon las relaciones del modelo de lluvia-escorrentía del SCS para determinar la capacidad de almacenamiento del suelo y se igualó a la capacidad de campo. Teniendo en cuenta la ausencia de mediciones, se emplearon tablas para estimar el punto de marchitez permanente a partir de la capacidad de campo calculada.

Con la anterior información y la evapotranspiración potencial (ETP) mensual obtenida dentro del balance hídrico a nivel de subcuenca, se estima la evapotranspiración real (ETR) que se ocasionaría tomando en cuenta el cierre de las estomas de las plantas en la superficie y los cambios en la humedad del suelo producidos por la precipitación infiltrada. Si dicho valor supera la humedad disponible, se considerará esta como la evapotranspiración real factible en la unidad de suelo.

Finalmente, se determina la humedad del suelo al final del mes a partir de la humedad disponible y la evapotranspiración real calculada, tomando en cuenta que no puede superar la capacidad de campo.

2.7.4. Cálculo de la recarga potencial (R_p)

La recarga potencial mensual, en mm/mes, que se produce en cada subcuenca vendrá dada por:

$$R_p = P_i - \Delta HS - ETR$$

donde ΔHS representa el cambio de humedad del suelo durante el mes.

2.7.5. Cálculo de las necesidades de riego (NR)

La necesidad de riego (NR) se refiere a la cantidad de agua, mediante irrigación, que habría que agregar al suelo durante cada mes, para mantener el suelo siempre a capacidad de campo, la cual representa el punto óptimo para el crecimiento de la vegetación, y por ende de cultivos. Con esta irrigación, la planta puede evapotranpirar sin necesidad de cerrar sus estomas y evitaría marchitarse. La expresión para calcular la necesidad de riego es:

$$NR = CC - HS_f - ETR + ETP$$

donde HS_f es la humedad del suelo (en mm) al final del mes.

El procedimiento descrito se realizó a través de una hoja de cálculo en Excel, y los resultados para cada subcuenca se muestran en el Anexo 9 del presente documento.

2.8. Clasificación Climática De La Cuenca.

2.8.1. Zonificación climática de Caldas Lang.

Las zonificaciones climáticas buscan agrupar las condiciones comunes en un territorio respecto a sus variables climatológicas más representativas. Como sintetizan Caicedo et al (2001), Las variables climatológicas de temperatura y precipitación sintetizan el comportamiento del clima de una región de una manera muy acertada, y para territorios tan diversos climáticamente como Colombia, son las más representativas.

Dentro de las múltiples metodologías de zonificación climática a nivel mundial, como son la clasificación de Thorntwaite, una de las de mayor reconocimiento, que relaciona la evapotranspiración y la precipitación media como elementos básicos, la clasificación de Koppen, que se basa en los diversos tipos de vegetación presentes en un área determinada, y la clasificación de caldas Lang, directamente relacionada con los ´pisos térmicos.

Esta última metodología de zonificación climática está pensada en las áreas del trópico americano, y su origen se dio desde 1802, cuando se reunieron en Quito los investigadores Alejandro Humboldt, Ame Bonpland y Francisco José de Caldas, quien desarrollo investigaciones respecto a las alturas sobre el nivel del mar y su influencia en la variación de las temperaturas. Caldas expuso la información climática presentada por los cambios de alturas respecto a nivel del mar, y determinó una serie de divisiones respecto a las condiciones de altitud que se presentaban en el territorio andino tropical, denominados pisos térmicos. Humboldt difundió la información dada por Caldas, respetándose incluso la designación de los pisos térmicos en castellano propuesta, perdurando hasta la actualidad. Se originó entonces la clasificación climática de Caldas, la cual considera únicamente el factor térmico y se fundamenta en la variación de la temperatura con la altura.

Como presenta Eslava (1992), Caldas estableció una relación empírica que muestra, que a una altitud de 1000 m corresponde una temperatura media de 23.8°C, a 2000 m se alcanzan los 18°C. a 3OOO m. se observan 12.7°C y a 4OOO m. se tienen valores de 7°C. Los límites de Caldas, indican los siguientes cinco pisos térmicos:

- ***Piso térmico cálido**:* localizado entre 0 y 1000 m. de altitud, con valores de temperatura superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m. según sean las características locales.

- ***Piso térmico templado***: comprende altitudes situadas entre 1000 Y 2000 m. con temperaturas mayores o iguales a 17.5°C y con un margen de amplitud en sus límites superior e inferior a 5OOm.

- ***Piso térmico frío***: comprende altitudes entre 2000 y 3000 m.

- ***Piso térmico paramuno***: Corresponde a las áreas situadas entre los 3000 m. de altitud y bajo el límite de las nieves- perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdivide en dos zonas de páramo: la primera de mayor temperatura, denominada "páramo bajo "con altitudes que oscilan entre 3200 y 3700 m y que, se caracteriza por estar en el intervalo de los 7°C a los 12°C; la segunda conocida como "'páramo alto", consecuentemente está sobre tos 3700.m y va hasta los 4200 m aproximadamente. (Eslava, J., 1992)

De manera posterior, se originó un avance significativo en la zonificación climática por Richard Lang en el año de 1915, quien con su trabajo estableció una nueva clasificación del clima basado en la relación obtenida al dividir la precipitación anual por la temperatura media anual (mm/°C). Este cociente se llama también Índice de efectividad de la precipitación y/o factor de lluvia de Lang (Eslava, 1992) el cual es usado por el autor para definir los índices de aridez o humedad según se muestra en la Tabla 2.48

Tabla 2.48. Clasificación climática según el factor de Lang.

FACTOR DE LANG	CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
0 a 20.0	Desértico	D
20.1 a 40.0	Árido	A
40.1 a 60.1	Semiárido	Sa
60.1 a 100.1	Semihúmedo.	Sh
100.1 a 160.1	Húmedo	H
> a 160.0	Superhúmedo	SH

Fuente: Eslava, 1992

Como resultado de las dos metodologías anteriores, Schaufelberguer en 1962 combinó la clasificación de Caldas con la de Lang, obteniendo 25 tipos de clima diferentes según el factor térmico y el factor de humedad, características principales del clima de las zonas tropicales. Es por este motivo que la clasificación climática según Caldas-Lang se considera ajustada y de buena aproximación para las múltiples condiciones locales del clima de Colombia.

Los resultados de la zonificación climática para la cuenca usando el método de Caldas - Lang se presentan en la Figura 2.45 y en la 0 se presenta el valor en porcentaje del área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas.

Figura 2.45. Zonificación climática de Caldas – Lang para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

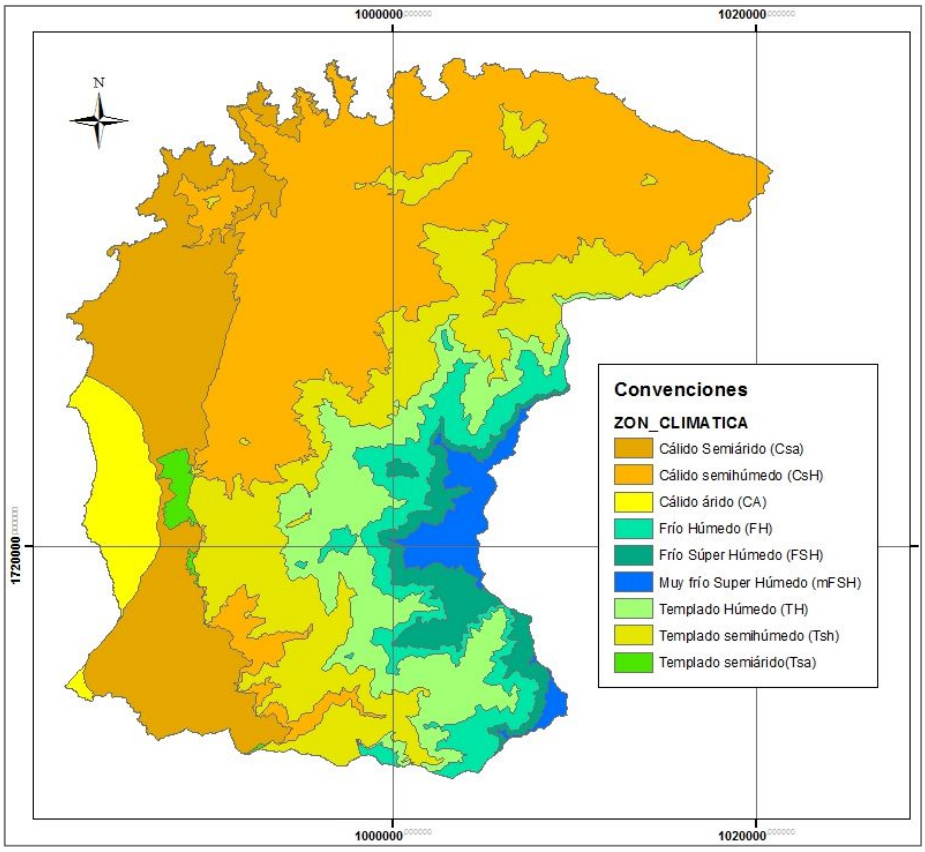

1000000
1020000
1720000
N
Convenciones
ZON_CLIMATICA
Cálido Semiárido (Csa)
Cálido semihúmedo (CsH)
Cálido árido (CA)
Frío Húmedo (FH)
Frío Súper Húmedo (FSH)
Muy frío Super Húmedo (mFSH)
Templado Húmedo (TH)
Templado semihúmedo (Tsh)
Templado semiárido(Tsa)

Tabla 2.49. Área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas de Caldas Lang.

ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	NOMENCLATURA	% AREA	AREA (ha)
Cálido Semiárido (Csa)	Csa	17,8	16478,2
Cálido semihúmedo (CsH)	CsH	36,0	33424,8
Templado semihúmedo (Tsh)	Tsh	18,3	16990,3
Templado Húmedo (TH)	TH	10,5	9733,9
Frío Húmedo (FH)	FH	6,4	5929,5
Frío Súper Húmedo (FSH)	FSH	3,7	3408,5
Cálido árido (CA)	CA	4,0	3757,6
Muy frío Súper Húmedo (mFSH)	mFSH	2,6	2447,4
Templado semiárido(Tsa)	Tsa	0,7	629,2

El mayor porcentaje de la cuenca se encuentra dentro de la clasificación de cálido semihúmedo, cálido semiárido y templado semihúmedo, teniendo en total nueve clasificaciones según la metodología Caldas Lang, lo cual refleja la diversidad del territorio respecto a las condiciones altitudinales del mismo, incluyendo territorios costeros hasta áreas muy frías semihúmedas en la región montañosa de la cuenca, en donde la influencia de las condiciones orográficas de la región de la Sierra Nevada de Santa Marta se ve reflejada.

2.9. Índice De Aridez

El régimen hidrológico de una cuenca puede caracterizarse con el apoyo de una serie de índices que relacionan los factores que influencian la oferta hídrica de la misma. Uno de los más representativos es el *Índice de aridez (Ia).*

Este índice relaciona factores tanto meteorológicos como hidrológicos y se concibe como una interrelación de las variables que intervienen en el balance hídrico, que para efectos prácticos "permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial" (IDEAM, 2011).

A nivel nacional según el ENA 2014 cerca del 43% del país presenta altos excedentes de agua, mientras que cerca del 1% del territorio muestra un déficit. Para el área hidrográfica del Caribe se tiene un precedente de *Ia* que varía entre Altamente deficitaria a Deficitaria.

Cuantitativamente el *Ia* se estima con la siguiente expresión:

$$Ia = \frac{ETP - ETR}{ETP} \qquad \textbf{(24)}$$

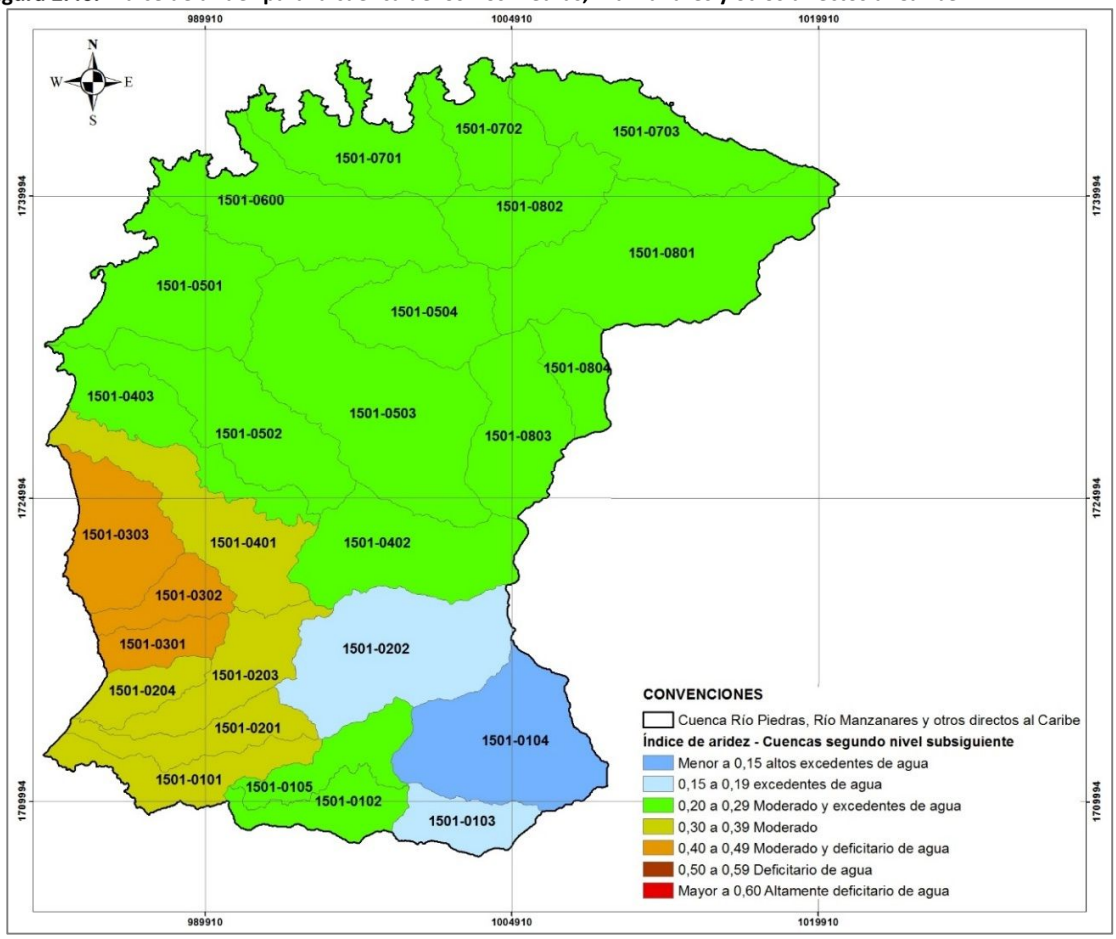
En aras de estandarizar el *Ia,* se clasifica en las siguientes categorías:

Tabla 2.1. Categorías de Índice de aridez. Fuente: (MinAmbiente, 2014)

CATEGORÍA	ÍNDICE DE ARIDEZ
Cuenca altamente deficitarias de agua	>0.60
Cuencas deficitarias	0.50 – 0.59
Cuenca entre normales y deficitarias	<40 – 0.49
Cuencas Normales	0.30 – 0.39
Cuencas con excedentes de agua	<0.15

Para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, la clasificación del índice de aridez obtenida es la presentada en la Figura 2.46.

Figura 2.46. Índice de aridez para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.



Como se presenta en la anterior figura, el 50% del territorio de la cuenca posee un nivel moderado de excedentes de agua, mientras que la zona localizada en la subcuenca Río Córdoba sector Agualinda, posee altos excedentes de agua. Las condiciones en esta subcuenca, localizada en el área de influencia directa de la Sierra, y considerada el Nacimiento del Río Córdoba, hacen que se

presenten estas condiciones de excedencia. Por otro lado, las subcuencas localizadas en sectores bajos, como la Quebrada el Doctor, Don Jaca, el Ébano y otros directos al Caribe, presentan niveles moderados de déficit de agua.

2.10. Necesidades De Información Y Conocimiento

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), define el clima como "el conjunto de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados del tiempo en una porción determinada de espacio"[8]. El clima se determina por el análisis espacio tiempo de los elementos que lo definen y los factores que lo afectan, y no se puede caracterizar con base en observaciones aisladas, lo que hace necesario disponer de información histórica del comportamiento de los eventos a analizar. Un comportamiento aislado de las distintas variables no tiene ningún valor desde el punto de vista climatológico.

La situación geográfica de Colombia, ubicada entre 4° de Latitud Sur y 13° de Latitud Norte, hace que gran parte del territorio quede condicionada a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Por tal razón, las condiciones y variaciones, a través del tiempo, de las masas de aire que influyen sobre el tiempo y el clima en Colombia, están muy ligadas a la presencia de la ZCIT que es, entonces, el sistema meteorológico que fija el mecanismo general del clima.

Los procesos de convección, la influencia de la ZCIT, los efectos de los movimientos de aire así como el efecto Foehn presentado en zonas con influencia montañosa como la cuenca en estudio, entre muchas otras dinámicas, presentan una importancia decisiva en el régimen climático, condicionado por las características específicas de relieve, vegetación, interacciones entre componentes y los procesos atmosféricos condicionantes de la precipitación. Sin embargo, al ser tan sumamente diversos y condicionados por características específicas, su análisis detallado tanto en escala temporal como espacial es sumamente necesario.

Como se presentó en el capítulo anterior, la cuenca hidrográfica de los ríos Piedras, Manzanares y otros directo al Caribe presenta un clima asociado a múltiples factores; existe desde el cálido hasta climas muy fríos y húmedos, propios de las mayores altitudes. En su parte baja se generaliza el clima cálido seco, con temperatura media anual de 24°C y una oscilación extrema que puede darse entre los 29° y 4.3°C, humedad relativa promedio del 80% y precipitación media anual en la cuenca de 1789.7 mm; presenta fluctuaciones en el estado del tiempo por la influencia de fenómenos locales (vientos y humedad de la Sierra Nevada). En la parte montañosa se manifiestan los diferentes climas de altitud con las variaciones características del área tropical.

Para efectuar la caracterización climática de la cuenca se realizó el inventario y recopilación de la información disponible de las diferentes estaciones meteorológicas, que a pesar de ser de muy baja densidad en relación al área de la cuenca, se logró elaborar el análisis climático, el cual se compone de una interpretación de las series históricas obtenidas en el IDEAM a través del uso de gráficas donde se representa la distribución temporal de los elementos del clima considerados. En este análisis climático se realizó la descripción del funcionamiento general de los elementos del clima y

[8] Obtenido de http://www.wmo.int/pages/index_es.html

los factores que los generan en cada unidad de análisis de la cuenca, teniendo en cuenta que la información es de nivel regional, no local.

Para realizar la identificación de necesidades de información y conocimiento del componente climático, integrado con las otras temáticas, en el desarrollo de la fase de Diagnóstico se logró resaltar principalmente lo siguiente:

- La información climatológica obtenida para el desarrollo del componente climático del presente POMCA es muy escasa, haciendo particularmente difícil e inexacta a nivel local la modelación del clima con datos diarios, por ser una zona con una red meteorológica pequeña.

- La calidad de los análisis del componente climático, en términos de caracterización detallada frente a las características reales de cada zona, depende en gran medida de la densidad espacial y la exactitud de las observaciones, así como del proceso de gestión de datos. La necesidad de disponer de información más exacta y oportuna es imperante, debido a que la diversidad de las necesidades específicamente asociadas a la formulación de POMCA requiere de información de detalle. Para citar un ejemplo específico, en el documento del Plan Distrital para la Gestión del Riesgo de Desastres del Distrito Turístico Cultural e Histórico de Santa Marta[9], se resalta la imperante necesidad de implementar medidas para la obtención de información confiable y detallada para generar una calificación de las amenazas en el Distrito de Santa Marta en el sector urbano y rural referente a los huracanes, vendavales, tormentas eléctricas, sequias y desertificación que se ajuste de mejor manera a las condiciones que realmente se presentan, ya que al realizar análisis con estaciones localizadas en la región y no específicamente en el área de estudio genera problemas a la hora de zonificar y predecir los posibles eventos que puedan llegar a presentarse. Esta misma situación sucede con los análisis realizados para los fines de ordenación ambiental del territorio; entre más información local en términos climáticos se tenga, mejores serán los resultados.

- Según la Guía de prácticas climatológicas (OMM, 2011), la manera más apropiada para mejorar las condiciones de la red hidroclimatológica de una región estaría dada por la implementación de programas que contengan los siguientes puntos de manejo:

- Planificación de redes de estaciones
- Ubicación o reubicación de las estaciones climatológicas
- Cuidado y la seguridad de los emplazamientos de observación
- Inspección periódica de las estaciones
- Selección y formación profesional de observadores
- Instrumentos o sistemas de observación que habrán de instalarse para garantizar la obtención de registros representativos y homogéneos.

[9] Alcaldía de Santa Marta 2012

- Una estrategia que puede ser muy efectiva para mejorar la información que se encuentra actualmente disponible de las variables climáticas más importantes, como son la precipitación, la temperatura, la humedad, entre otras, está en la integración de otras fuentes de información basadas en sensores remotos, teledetección, radares meteorológicos, y otros, ya que tienen la ventaja de brindar abundante información complementaria, sobre todo procedente de zonas donde escasean los datos por su localización o condiciones geográficas o la dificultad de acceso. Dada la cobertura espacial que ofrecen, complementan las redes de superficie, pero no las sustituyen, lo que puede ayudar a ajustar los errores que en las series disponibles se encuentran por motivos de toma de datos inexacta o fallas en los equipos.
- Proponer que el IDEAM integre los requerimientos de información climática del POMCA con el sistema de observación climática global (GCOS) el cual consiste en una red de observación que monitorea el sistema climático, para detectar y explicar sus cambios, determinar el impacto de la variabilidad y para apoyar investigación que mejore su comprensión, modelación y predicción. EL GCOS se ocupa de todo el sistema climático, incluyendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y sus componentes atmosféricos, hidrológicos terrestres y criosféricos. Así mismo que se considere la información del Sistema de Observación Global (GOS) el cual provee desde la Tierra y desde el espacio observaciones del estado de la atmósfera y de la superficie del océano para la preparación de análisis de Tiempo, pronósticos, avisos y advertencias para el monitoreo del clima y actividades ambientales llevadas bajo programas de la WMO y otras organizaciones internacionales relevantes[10].
- Mediante la gestión institucional, explorar la posibilidad de usar información proveniente de radares meteorológicos según sea la disponibilidad y cobertura de los datos; El radar meteorológico que se citó durante la fase de aprestamiento, propiedad de la Aeronáutica civil e instalado en el aeropuerto de Corozal, tiene información disponible desde noviembre 2 del año 2012 referente a los campos de precipitación y vientos, pero el acceso a dicha información es sumamente restringido. Es necesario que este tipo de herramientas esté disponible para los efectos de la ordenación ambiental del territorio, ya que para lo concerniente a los vientos, cuya información es mínima para el área de estudio, y a la precipitación, tiene una inmensa utilidad, especialmente para los mayores pulsos registrados respecto a las duraciones e intensidades de las lluvias y los efectos de los vientos y corrientes que afectan al área de la cuenca.

[10] https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-160es.pdf

3. GEOLOGÍA.

La geología es uno de los factores que componen el medio natural, el cual contribuye a determinar las características y parte de la dinámica del medio físico en relación con diferentes actividades humanas que se desarrollan dentro de un territorio. La descripción de las unidades geológicas, la estratigrafía, la tectónica, permiten poner en contexto otros factores del medio como la geomorfología, la hidrogeología, los suelos y las amenazas geológicas con los cuales construye el al análisis holístico que determina la caracterización de la cuenca hidrográfica enfocándola a la Gestión del Riesgo y el Análisis Situacional de sus potencialidades y limitantes como objetivos principales de la Formulación del este Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

En el tratamiento del presente texto, se encuentran dos ejes principales, el primero corresponde a la temática de Geología propiamente dicha, dentro de ella se aborda la Metodología con la cual se compilo y analizó la información, agrupando las actividades de acuerdo con las fases establecidas para el Desarrollo del POMCA, en Actividades pre-campo, Actividades de campo y Actividades post-campo; se mencionan los Estudios anteriores que pudieron ser consultados y analizados y que de alguna forma entregaron información pertinente con el alcance y objeto de este POMCA y se desarrollan los subtemas de geología regional; estratigrafía; geología estructural haciendo una breve referencia a sismicidad por tratarse de un elemento intrínsecamente relacionado con la evolución estructural de la cuenca. De tal forma que el desarrollo de este eje temático a la obtención del Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de la Cuenca, como uno de los productos principales de este documento.

El segundo eje temático, corresponde a la Geología Para Ingeniería, también llamado Unidades Geológicas Superficiales-UGS, el cual, si bien está estrechamente relacionado con la Geología propiamente dicha, su tratamiento y desarrollo requiere una metodología especifica que implica el cruce de capas de otras temáticas de información como la Geomorfología y la Zonificación Preliminar de Amenazas, para la obtención del otro producto objetivo que como ya se mencionó corresponde al Mapa de Geología para Ingeniería o Mapa de Unidades Geológicas Superficiales-UGS el cual se requiere como insumo para realizar la evaluación de Amenaza dentro de la Temática de Gestión del Riesgo de la Cuenca.

El informe geológico expuesto en este texto, y los mapas de Geología Básica con fines de Ordenación de la cuenca y de Unidades Geológicas Superficiales-UGS corresponden a los productos mínimos del desarrollo la Temática de Geología y se constituyen en insumos de uso multipropósito para el análisis de los demás factores temáticos requeridos para el ordenamiento de la Cuenca.

3.1. Metodología

Este capítulo, se realizó siguiendo la estructura definida por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en la Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de

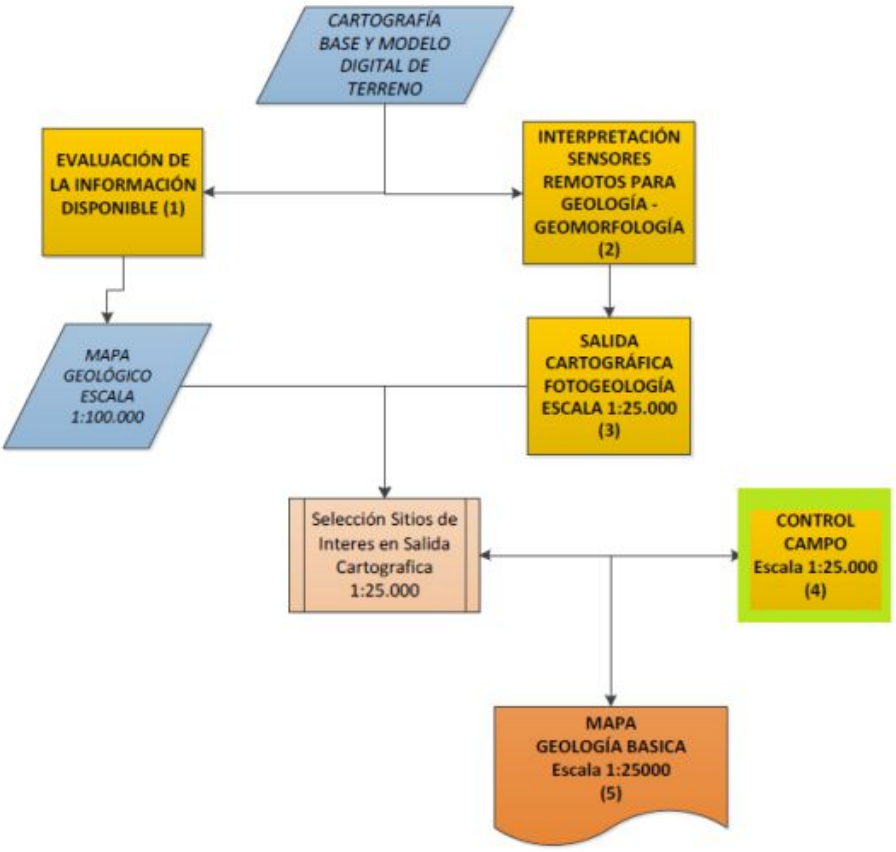
cuencas hidrográficas[11], la cual implica una Fase de Aprestamiento y una Fase de Diagnóstico; durante la Fase de Aprestamiento, las actividades principales fueron elaboración del Plan de trabajo y recopilación y análisis de la información existente. Mientras que la Fase de Diagnóstico, las actividades principales fueron la realización de salidas de campo, caracterización geológica de la cuenca, compilación, análisis y consolidación de la información y elaboración de la cartografía geológica.

El primer objeto del componente de Geología es obtener como producto principal el Mapa de Geología Básica con Fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, con su Informe Geológico. El alcance de este mapa es identificar y localizar los diferentes tipos de rocas y depósitos geológicos, su distribución lito estratigráfica y sus características estructurales existentes en la cuenca, fundamentado en los atributos de la litología de las rocas y sus depósitos, con sus características intrínsecas de génesis, composición, edad y afectación por elementos estructurales.

De acuerdo con El Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas[12], el siguiente esquema muestra las actividades desarrolladas para la obtención de este producto, las cuales se resumen en cinco pasos: 1. Análisis de información secundaria, 2. Análisis de sensores remotos, 3. Elaboración de la salida cartográfica preliminar, 4. Control de campo y 5. Elaboración del Mapa de Geología Básica con Fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas.

[11] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Guía Técnica Para La Formulación De Los Planes De Ordenación Y Manejo De Cuencas Hidrográficas. Bogotá D.C., 2014.
[12] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Proyecto formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País. Bogotá D.C., 2014.

Figura 3.1. Esquema del proceso de elaboración del Mapa de Geología Básica para el POMCA



Tomada de Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014

La metodología empleada en el desarrollo del eje temático de Geología para llegar a la elaboración del Mapa de Geología Básica con Fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas y su memoria técnica, permite agrupar las actividades ya mencionadas de la siguiente manera:

3.1.1. Actividades pre-campo

Básicamente se refieren a la Fase de Aprestamiento, realizando la compilación, análisis y validación de información existente, correspondiente a cuatro grupos: Estudios geológicos oficiales, Planes de Ordenamiento Territorial, Estudios geológicos provenientes de instituciones educativas y/o miembros asociados y Otros estudios realizados principalmente por empresas consultoras.

Se determinó emplear como insumo principal para la cartografía geológica, Las Planchas geológicas en escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano- SGC, antes denominado INGEOMINAS; la cual se consideró pertinente, fiable y de calidad por haber sido elaborado por una entidad estatal experta en el tema, que incluyó información primaria para el análisis y construcción del modelo

geológico presentado y cumplió con todos los requisitos técnicos mininos que debe llevar un estudio de este carácter. Las Planchas geológicas consultadas fueron la 11, 12, 18 y 19; que corresponden con las planchas de topográficas básicas a escala 1:25.000, referidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC que se muestran en la Figura 3.2 y sobre la ubicación fisiográfica de la zona de estudio en la Figura 3.3.

Figura 3.2. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:100.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

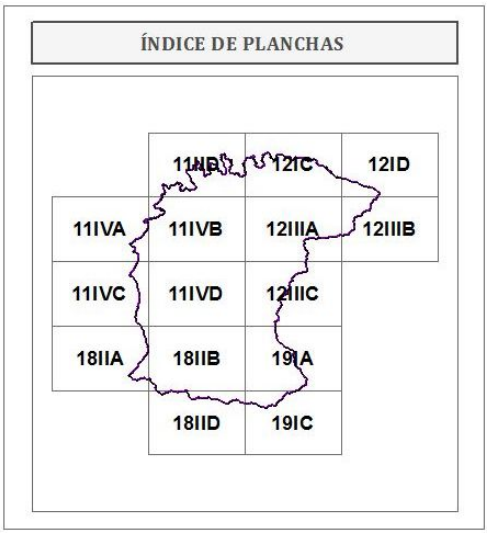
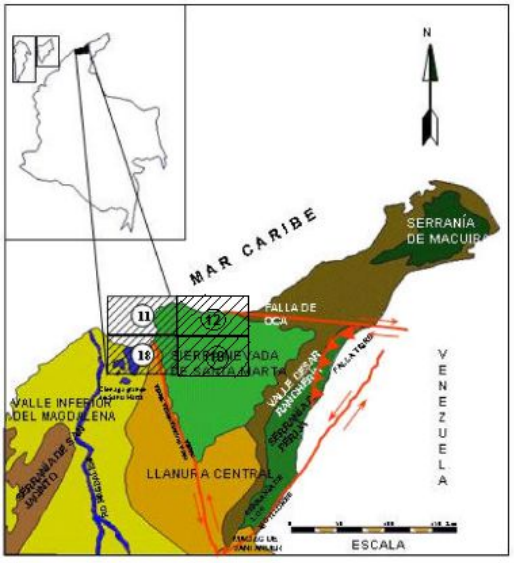


Figura 3.3. Ubicación fisiográfica de la zona de estudio e Índice de Planchas Topográficas ESC 1:100.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.



Fuente: IGAC

Para el territorio de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se encontraron documentos de estudios anteriores, referidos los Planes de Ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos Piedras, Gaira y Córdoba, y otros documentos técnicos de entidades como CORPAMAG y el Centro de Investigaciones en desarrollo Humano Universidad del Norte, sin embargo, los documentos empleados como referente dentro de la temática de Geología, corresponden los levantamientos de la cartografía geológica a escala 1:100.000, de las planchas 11-Santa Marta[13], 12-Don Diego[14], 18-Cienaga[15] y 19-Sierra Nevada de Santa Marta[16] realizados por el Servicio Geológico Colombiano, SGC.

El apoyo en imágenes de satélite como las obtenidas de la Plataforma Alos Palsar[17], con resolución espacial a 12,5 m, permitió construir un mosaico de imágenes de radar llamado Modelo de Elevación Digital del Terreno DEM, del cual, empleado diferentes filtros y contrastes de canales, se obtuvo un Modelo de Sombras del Terreno y un Mapa de Pendientes; también se contó imágenes satelitales Rapideye (2013-2014) con las cuales se avanzó en la interpretación de sensores remotos, insumo fundamental para la obtención de las Salidas Cartográficas Preliminares a la salida de campo.

Con base de la compilación, análisis e interpretación de la información geológica obtenida de las fuentes ya mencionadas, se generó la salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 que muestra la disposición de las rocas expuestas en el área de la cuenca y los rasgos estructurales que las afectan. Sobre esta la salida cartográfica preliminar se planeó la revisión o control de campo a lo largo de las vías de acceso y drenajes, para corroborar la distribución espacial de las rocas aflorantes y para resolver las diferencias encontradas en algunos sectores de incongruencia de empalmes entre las planchas geológicas a escala 1:100.000 del SGC, inconsistencias que se evidenciaron en los límites de empalme entre planchas geológicas, correspondiendo a la diferencia de símbolos y colores para representar una misma unidad geológica entre planchas contiguas y a la interrupción de la continuidad en el trazo de algunas estructuras, esta dificultad se obvió preliminarmente con el análisis de las imágenes de satélite tipo Landsat y el mapa de sombras.

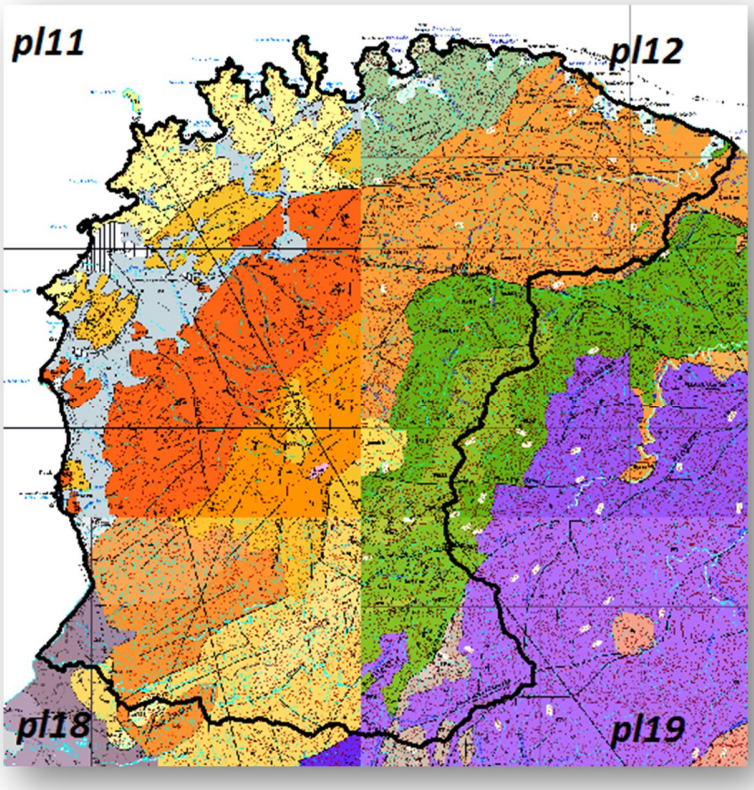
Los sectores que se priorizaron a visitar en campo corresponden a los empalmes en el eje Norte con valor 1´720.000 entre las planchas 11 y 18; y 12 y 19 para definir la continuidad de las rocas del Batolito de Santa Marta, los Esquistos de San Lorenzo, los Depósitos Aluviales; en el eje Este con valor 1´000.000 entre las Planchas 11 y 12 para definir continuidad de rocas del Neis de Buritaca, y de los Esquistos de San Lorenzo, entre las planchas 18-19 para verificar la continuidad de las rocas del Batolito de Santa Marta y de los Esquistos de Gaira. Prioridad de las transectas definidas para el control de campo.

[13] Hernández M. Geología de las Planchas 11-Santa Marta y 18 Ciénaga. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[14] Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.
[15] Hernández M. Geología de las Planchas 11-Santa Marta y 18 Ciénaga. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[16] Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.
[17] Alos Palsar, misión de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón 2006-2011. https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/

Tabla 3.1. Prioridad de las transectas definidas para el control de campo a parir de los problemas encontrados.

DIFICULTAD ENCONTRADA	UBICACIÓN	PLANCHAS 1:100.000	AÑO DE PUBLICACIÓN	OBJETIVO A RESOLVER
Incongruencia en el empalme entre planchas	A lo largo del Eje Norte 1´720.000	11 18 12 19	1998 1999 2007 2007	Verificar la continuidad de las rocas del Batolito de Santa Marta, los Esquistos de San Lorenzo y Depósitos Aluviales
Incongruencia en el empalme entre planchas	A lo largo del eje Este 1´000.000	11 12	1998 2007	Definir continuidad de rocas del Neis de Buritacá, y de los Esquistos de San Lorenzo
Incongruencia en el empalme entre planchas	A lo largo del eje Este 1´000.000	18 19	2007	Verificar la continuidad de las rocas del Batolito de Santa Marta y de los Esquistos de Gaira, la continuidad de las fallas del río Córdoba, San Lorenzo, El Guaco y El Jordán.

Figura 3.4. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC 11, 12,18 y 19.

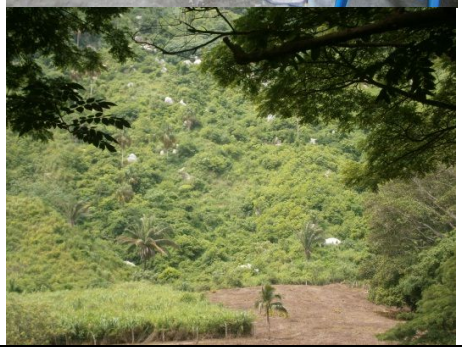


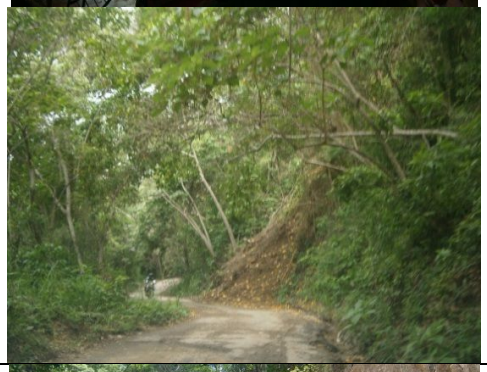
3.1.2. Actividades de campo.

Esta actividad se desarrolló en conjunto con el Equipo social, ya que se determinó la importancia de la participación de la comunidad y la necesidad de elegir actores sociales de la zona para realizar el acompañamiento durante cada recorrido de acuerdo con las transectas proyectadas y así poder conocer de primera mano las inquietudes de la comunidad y recoger la mayor información posible sobre amenazas y riesgos que perciben los habitantes en cada sector de la cuenca. Estas rutas con acompañamiento de los actores sociales se denominaron RUTA DE LA TIERRA.

De acuerdo con el plan propuesto para campo, se realizaron los recorridos logrando verificar 67 puntos de control y recorriendo aproximadamente el 90% del territorio de la cuenca, adelantando reuniones con diferentes comunidades, en las cuales se intercambió información, se dio a conocer el objetivo de la salida de la ruta de la tierra, las transectas programadas, se concertaron o modificaron algunos de los recorridos propuestos y se eligieron a los coordinadores sociales quienes acompañaron a los profesionales en algunos tramos de los recorridos que resultaron de interés relevante para la comunidad. La siguiente tabla muestra algunos ejemplos del trabajo en campo.

Tabla 3.2. Algunos recorridos desarrollados en campo.

Tramo recorrido	Justificación del recorrido	resultados	Evidencia
Santa Marta, Sector Las Tinajas, sitio Calabazo, Veredas Cacahualito y Curval.	Identificación de rocas pertenecientes a Esquistos del Gaira y al Batolito de Santa Marta. Identificación de depósitos cuaternarios.	Se identificaron rocas ígneas y metamórficas tipo granitos y esquistos; se evidenció procesos de erosión y algunos rasgos de la Falla Jordán.	 

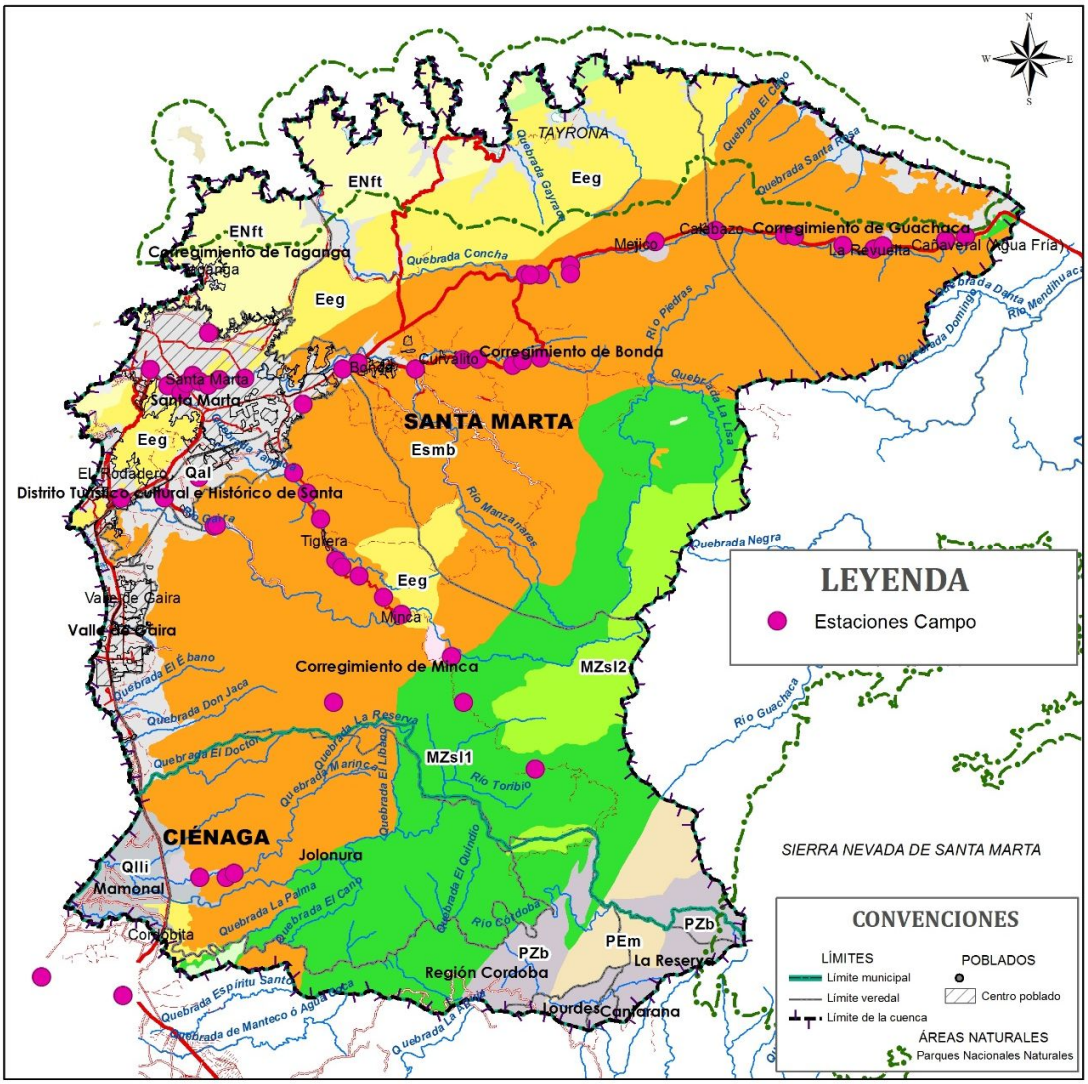
Tramo recorrido	Justificación del recorrido	resultados	Evidencia
Centro poblado Minca, Veredas El Porvenir, El Campano, Vista Nieves.	Identificación de rocas pertenecientes a Esquistos de San Lorenzo, Esquistos del Gaira y al Batolito de Santa Marta. Identificación de depósitos cuaternarios	Verificación de unidades de rocas ígneas y metamórficas y depósitos cuaternarios. Verificación de rasgos estructurales.	 
Veredas Jolonura, Mosquito, Casco Urbano de Santa Marta	Identificación de rocas pertenecientes a Esquistos de san Lorenzo y al Batolito de Santa Marta. Identificación de depósitos cuaternarios	Verificación de unidades de rocas ígneas y metamórficas y depósitos cuaternarios.	 

Con las actividades de campo, se logró obtener información técnica concerniente a las rocas aflorantes; verificación de contactos, estructuras locales (lineamientos, pliegues y fallas), datos esquistosidad, foliación y se identificaron algunos procesos erosivos que se desarrollan sobre los materiales observados. La información a detalle de esta actividad se puede consultar en el Anexo 1 del componente de geología que contiene la tabla de estaciones de campo y en el Anexo 2 que corresponde al respectivo registro fotográfico; la Tabla 3.3 ilustra una sección de esta tabla y la Figura 3.5 presenta una imagen del mapa de la cuenca, con la ubicación de las estaciones registradas durante el control de campo.

Tabla 3.3. Fragmento ilustrativo del Anexo 1 del componente de geología que contiene la información levantada en Campo.

ESTACION	COORD. N	COORD. E	MSNM	DESCRIPCION
1	1733727	989320	32	Desembocadura Rio Manzanares
2	1732668	991684	41	Barrio 11 de noviembre, afloramiento de granodiorita meteorizada, que presenta fracturas y erosión botroidal, que deja sin sustrato algunos sectores de construcción (escaleras, cimientos de casas). Se observa un depósito in situ con bloques de granodiorita por la erosión de las rocas a lo largo de la ladera.
3	1734337	993924	58	Patio de acopio de arcillas para elaboración de ladrillos. Zona de granitos meteorizados.
4	1737928	1000707	345	Sector las Tinajas, granitos
5	1738303	1002533	305	Ye Escuela Cacahualito. Vía en mal estado
6	1737958	1002522	357	Tienda Cacahualito. Zona de alta pendiente con material de granito meteorizado y fracturado que genera riesgo por caída de material, escarpe que pone en riesgo un sector de 5 casas con aproximadamente 20 personas. Se encuentra muy cerca de la tubería de gas.
7	1737926	1001317	380	Zona de inestabilidad, vía las Tinajas - Cacahualito.

Figura 3.5. Ubicación de las Estaciones registradas durante la Salida a Campo en la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.



Es de aclarar que de acuerdo con el documento correspondiente al Anexo que define los Alcances Técnicos de la Consultoría para la Elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras –Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501) en el numeral 2. Especificaciones Técnicas para los Mapas y Salidas Cartográficas, se determina para los Mapas 05 y 06 que corresponden a los Productos de la Temática de Geología, que su escala de producción es de 1:25.000, lo cual es coherente con el documento de Protocolo Para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas, en donde se indica que durante las actividades de control de Campo se debe tener en cuenta la clasificación de las cuencas para ordenación de acuerdo a la cantidad de hectáreas de terreno que la conforman, e indica que

se estima por análisis de expertos que por cada plancha 1:25.000 o su equivalente deberá efectuarse transversas estratégicas para el control geológico de campo, en donde se deben realizar entre 5 y 6 puntos de control/plancha, teniendo en cuenta las características geológicas entre cada una de las estaciones de control efectuadas.

La cuenca del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe es de tipo 1 de <100.000 ha-300.000 ha ya que su área total es de 92.799,449 ha y corresponde con aproximadamente 6 planchas en escala 1:25.000, lo cual indica que para lograr la escala de producción cartográfica requerida 1:25.000 mínimo se estiman unos 30 puntos de control, de los cuales se levantó prácticamente el doble durante el desarrollo de las transectas de campo, localizados principalmente en los sectores donde se debió corroborar información; empleando para su georreferenciación un geoposicionador satelital (GPS 62S marca Garmin) que presenta un margen de error en la horizontal de ± 5 m y en la vertical de ± 10 ft.

También cabe anotar que como lo menciona el documento de Protocolo ya citado, el desarrollo de esta metodología que tiene como objeto la elaboración del Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, como su nombre lo indica, este "*es de utilidad únicamente para las necesidades del POMCA y no cumple con los controles de campo, levantamientos de columnas estratigráficas, muestreos de rocas y sedimentos activos para el análisis de laboratorio y demás técnicas que utiliza el SGC para el levantamiento geológico misional*"[18]

3.1.3. Actividades post- campo

Las actividades de esta etapa, se encaminan básicamente a la elaboración de los productos finales de la temática de Geología, estos productos, definidos en el Anexo de Alcances Técnicos de la Consultoría para la Elaboración del Plan de Ordenación y Manejo la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501) corresponden a la Memoria Técnica y a los mapas finales denominados: 1. Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas-Mapa 04. 2. Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de cuencas hidrográficas-Mapa 05 y 3. Mapa de Geología para ingeniería a escala intermedia o de Unidades Geológicas Superficiales-UGS-Mapa 06.

La elaboración de la Memoria Técnica, implico el análisis y compilación de toda la información ya mencionada, tanto secundaria, como la colectada en campo, se creó un modelo teórico conceptual a una escala de análisis 1:25.000 el cual se espacializó dentro de la base cartográfica, con la cual se definió la estructura y contenido de este documento que presenta de forma descriptiva el resultado del análisis y caracterización de la información geológica para fines de ordenamiento de la cuenca.

[18] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Proyecto formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País. Bogotá D.C., 2014.

Paralelamente, y de conformidad con los lineamientos dados en el Protocolo para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas[19], se procedió a construir los mapas geológicos definitivos que reflejan atributos como tipos de rocas existentes en la cuenca, tipos de depósitos, rasgos estructurales, leyenda lito estratigráfica y convenciones (según estándares del SGC). El Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas, se generó, de acuerdo con lo indicado los términos de referencia de este POMCA, a partir de la geología básica disponible en el SGC a escala 1:1000.000, correspondiente al Mapa Geológico de Colombia 2015; se presenta en escala 1:100.000.

El Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de cuencas hidrográficas, como ya se mencionó antes, tuvo como base la geología a escala 1:100.000 del SGC, la cual se fue definiendo, de acuerdo con lo indicado en el Protocolo, dentro del modelo teórico conceptual en una escala de producción de 1:25.000, sin embrago se aclara que a pesar de la cantidad de estaciones levantadas en campo con respecto al Protocolo, existen zonas a las que no se pudo acceder para tomar la información primaria, por lo tanto se pueden apreciar vacíos en la densidad de ubicación de estas estaciones, lo que determinó que en estos sectores se optara por tomar los datos y la información presentada en las Planchas Geológicas a escala 1:100.000 del SGC.

El Mapa de Geología para ingeniería a escala intermedia o de Unidades Geológicas Superficiales-UGS, corresponde al segundo eje temático de la Geología, por tanto, la metodología de su elaboración y el contenido del mismo, se aborda en el numeral segundo de este documento.

En general, las actividades post-campo implicaron realizar un barrido de reinterpretación y análisis con las imágenes satelitales Rapideye y la incorporación como herramienta de apoyo del Modelo de Elevación Digital del Terreno, DEM, con resolución de 12.5 m. para definir con mayor precisión la ubicación y extensión de algunos depósitos cuaternarios y la longitud y dirección de las estructuras que afectan las rocas aflorantes; este elemento de apoyo incorporado y la información obtenida con las actividades de campo, e integrada con la capturada en la Fase de Aprestamiento permitieron realizar los ajustes y complementos para obtener el Mapa Final y la Caracterización geológica de la cuenca.

La memoria explicativa del Mapa Final de Geología dentro del documento de Diagnóstico, comprende la descripción de cada una de las unidades geológicas aflorantes referidas a sitios específicos dentro del área de estudio, al igual que la descripción de los elementos estructurales que las afectan; también contiene la descripción de la geología regional, sus atributos litológicos y la referencia a edades de las rocas, la cual se obtuvo de la información secundaria compilada.

La información geo referenciada tomada en campo, fue analizada y cartografiada, superpuesta a la existente tomada de las planchas geológicas a escala 1:100.000 del SGC, dando como resultado la inclusión, ajuste y redefinición de los trazos de algunos contactos y estructuras de falla; también se

[19] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Proyecto formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País. Bogotá D.C., 2014.

unificó la nomenclatura de las unidades geológicas de acuerdo con a la utilizada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, publicado por esta entidad en 2015, obviando así las diferencias de símbolo que se encontraron entre algunas de las planchas consultadas, quedando actualizada la nomenclatura geológica de la forma como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 3.4. Unificación de los símbolos de nomenclatura y actualización de las Unidades geológicas presentes en la Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, de acuerdo con la nomenclatura empleada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, 2015.

NOMBRE UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO EMPLEADO EN PLANCHA ESC 1:100.000 DEL SGC / AÑO DE PUBLICACIÓN				SÍMBOLO UNIFICADO
	11	12	18	19	
	1998	1999	2007	2007	
Depósitos de Playa	Qpl	-	Qpl	-	Q2pl
Depósitos Aluviales	Qal	Qal Qt	Qal	Qal	Q2al
Depósitos de Llanura de Inundación	-	-	Qfaf	-	Q2lli
Depósitos Coluviales	-	-	Qcl	-	Q2c
Batolito de Santa Marta	Esmb Eb	Esmb-b	Eb Eds	-	E2smb
Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá	-	Esmb-cd	Esmb	Esmb-cd	E2smbd-cd
Filita de Taganga	ENft	-	-	-	K2K5ft
Esquistos de Concha	-	Kc	-	-	K2k5c
Esquistos de Gaira	Eeg	Kg	Eeg	-	K2k5eg
Mármoles de Ciénaga	-	Kmc	Em	-	K1mc
Esquistos de San Lorenzo Superior	Easl	KZsl2	Eesl	MZsl2	K1sl2
Rocas Ultramaficas Intrusivas y Metamórficas	MZu	-	MZu	-	Kum
Esquistos de San Lorenzo Inferior	-	MZsl1	-	MZsl1	J3sl1
Neis de Buritacá	-	PZb	PTnb	PZb	Pb
Granulita de Los Mangos	-	PEm	PCagm	PEm	PRm

Figura 3.6. Salida Cartográfica empleada en el desarrollo de talleres con la comunidad



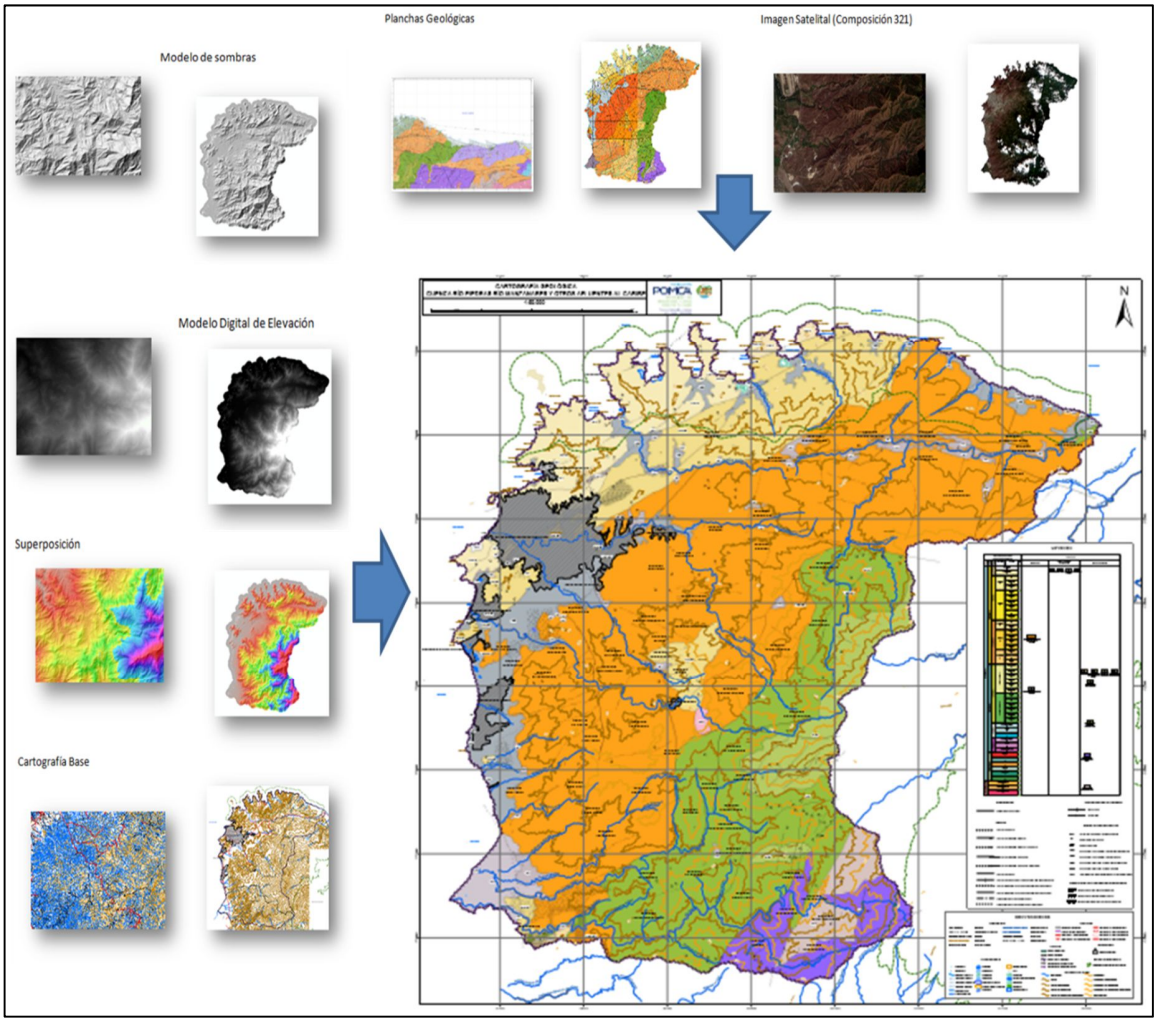
En diferentes etapas de avance fue necesario el apoyo en salidas cartográficas que no eran específicas de la temática de Geología, pero que facilitaron el trabajo de análisis holístico de la información y la comprensión de todos los elementos que conforman el territorio; estas salidas cartográficas de apoyo son: Localización general de la cuenca, localización preliminar de eventos históricos y sus afectaciones en la cuenca, pendientes en grados, fotointerpretación geomorfológica básica a nivel de unidades de terreno, geomorfología con criterios geomorfogeneticos, cobertura y usos actuales de la tierra y división municipal y veredal de la cuenca.

Las salidas cartográficas propias de la temática de geología que se generaron durante el proceso corresponden a Fotogeología para la Geología Básica, que en este caso correspondió a la Salida Cartográfica de Interpretación de Imágenes Satelitales para Geología Básica y para Unidades Geológicas Superficiales y la Salida Cartográfica Geológica-Geomorfológica, que resultó del cruce de los mapas de Geología y Geomorfología, a la que se le añadió como atributo los tipos de suelos y con en ella se apoyó la fase de campo para reconocimiento preliminar de UGS. En el proceso de elaboración digital de estas y de los mapas finales se emplearon una serie de herramientas de apoyo, que como ya se indicó antes, que se fundamentaron en las imágenes de satélite y en los diferentes cruces y superposiciones que se pudieron hacer entre ellas y con la información adicional georreferenciada en el SIG.

Como proceso de edición de los productos, se puede indicar que luego de la interpretación de los sensores remotos, se realizó la vectorización y edición de estructuras, fallas, pliegues, contactos geológicos, datos estructurales en la Base de Datos Geográficos del POMCA, GDB; se realizó la conversión de contactos geológicos a unidades geológicas, se asignó la simbología: colores y símbolos para cartografía geológica empleando los estilos definidos por SGC; la edición propiamente dicha consistió en aplicar a la información la plantilla definida para la presentación final. La Figura

3.7 muestra los diferentes elementos cartográficos de apoyo que se emplearon para la interpretación de los sensores remotos.

Figura 3.7. Diferentes insumos de apoyo para la interpretación de sensores remotos, partiendo de las imágenes de satélite.



De acuerdo con el documento contractual que define los Alcances Técnicos de la Consultoría para la Elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501) en el numeral 2. Especificaciones Técnicas para los Mapas y Salidas Cartográficas, se determina para los Mapas 05 y 06 que corresponden a productos de la temática de geología, que su escala de presentación puede darse en escalas 1:25.000, 1:50.000 o 1:100.000, para este caso, se ha optado por realizar la presentación del producto Mapa 04 en escala 1:100.000, mientras que de los productos Mapa 05 y 06 en escala 1:25.000.

Figura 3.8. Mapa **de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Mapa 04.**

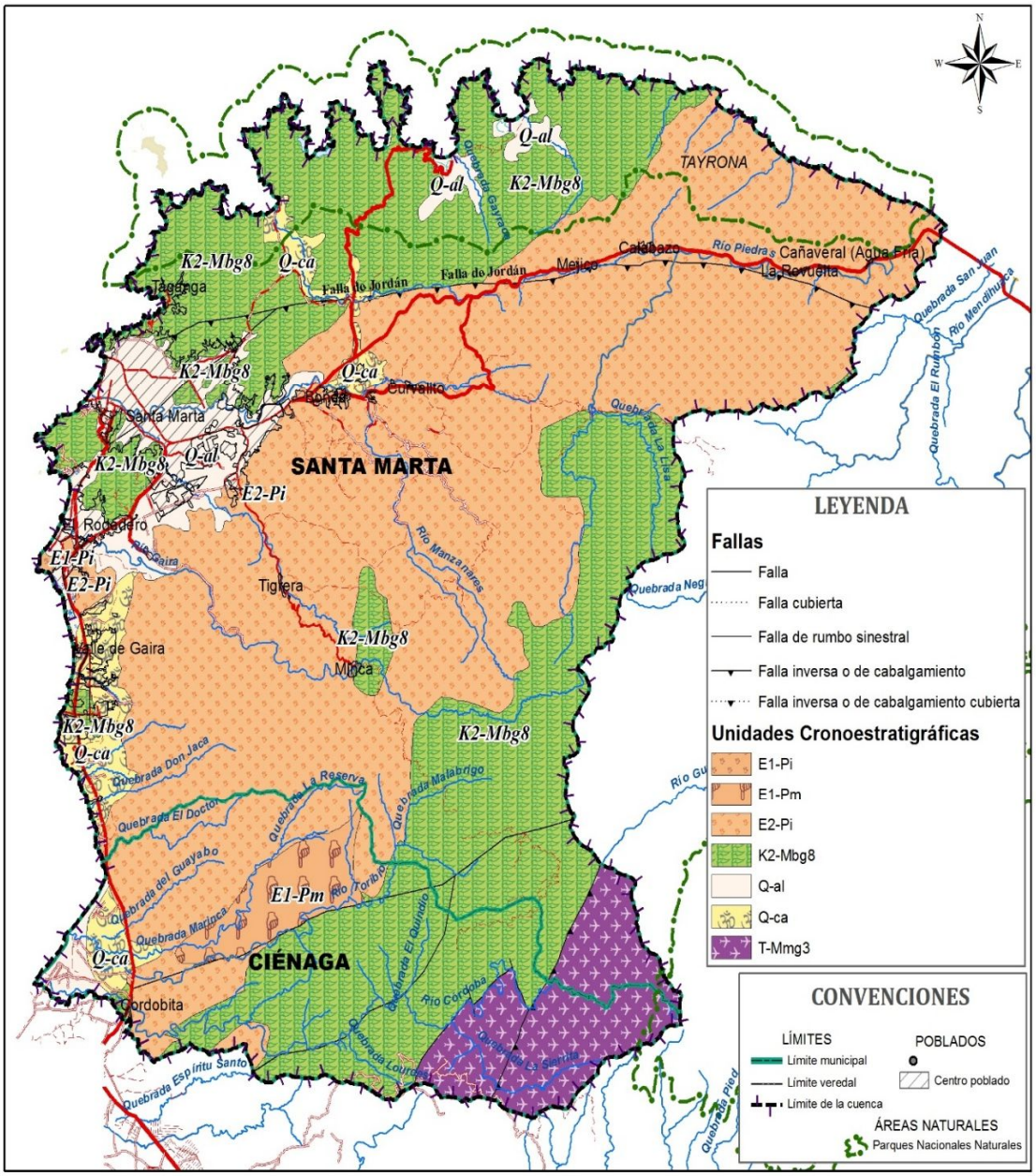
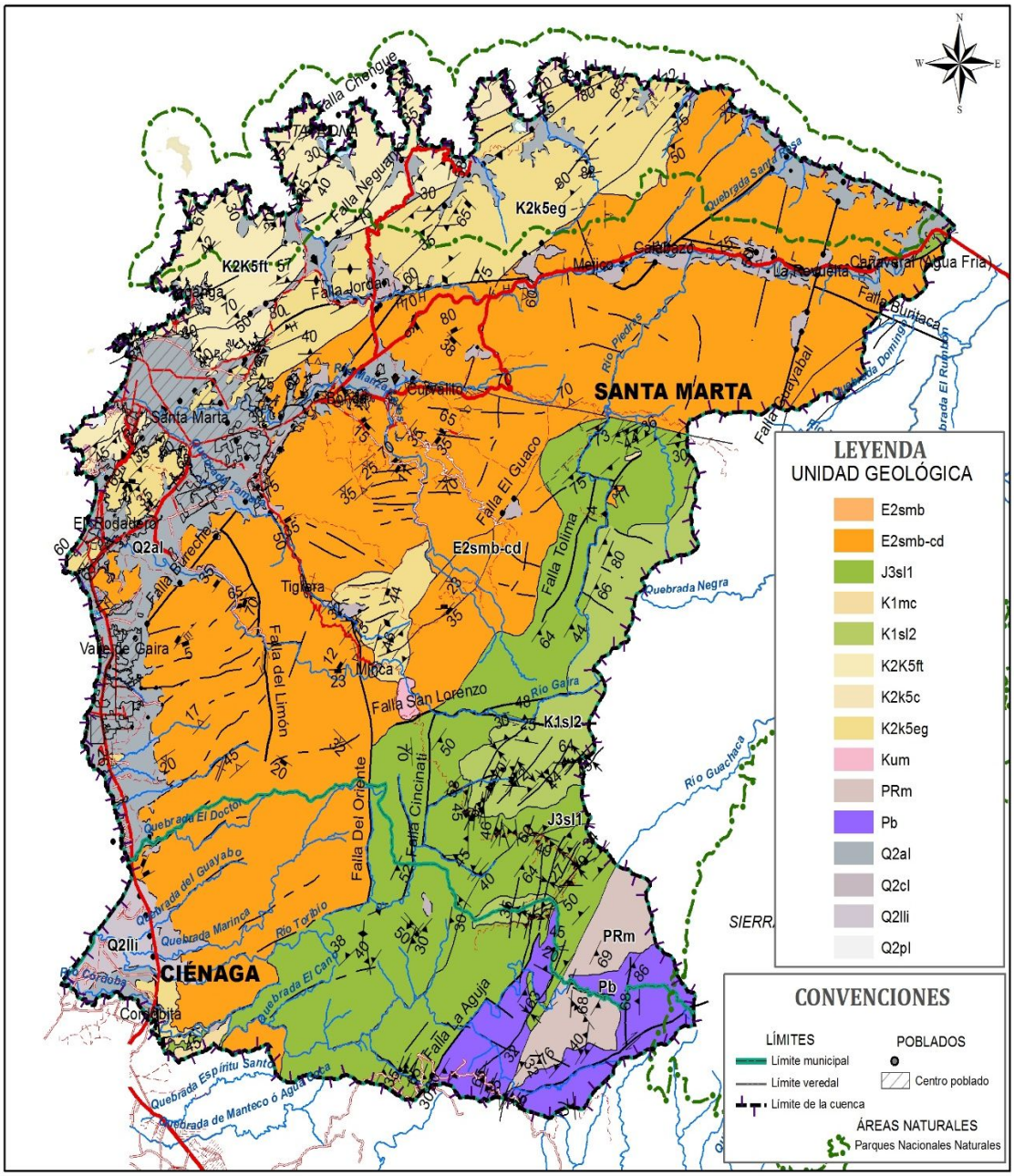


Figura 3.9. Mapa **de Geología Básica con fines de Ordenación de cuencas hidrográficas.**



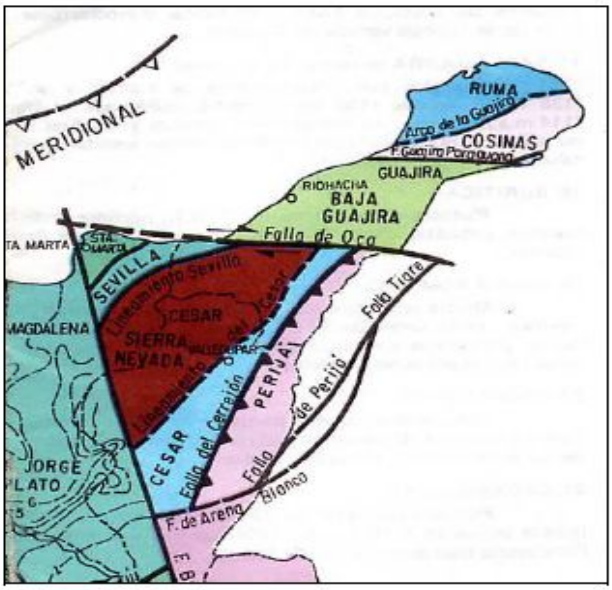
3.2. Marco Geológico Regional

La del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se encuentra ubicada en el sector norte del Departamento del Magdalena, haciendo parte de los denominados Terrenos Geológicos de la Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta. El Terreno Sierra Nevada, corresponde a "un terreno ensiálico, limitado al Norte por el Lineamiento de Sevilla, al Oeste por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga y al este por el Lineamiento del Cesar, y constituido por una alternancia de varios tipos de rocas félsicas y mafias de la facies granulita, muchos con ortopiroxenos de edad precámbrica; atravesando plutones félsicos jurásicos dispuestos en una faja cuarzodioritica al Norte y otra cuarzo monzonitica al Sur; y con cobertera sedimentaria de conglomerados, arenitas, lodolitas rojas y rocas volcánicas espilíticas conservadas al sur y paralelamente al Lineamiento del Cesar. El Terreno Sevilla, limitado al Norte por la Falla de Oca, al Oeste por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga, al Sureste por el Lineamiento de Sevilla y al Noroeste por el Complejo Metamórfico de Sevilla – Cinturón Metamórfico de Santa Marta; está constituido por un complejo poli metamórfico de neises máficos y esquistos, algunos bloques de granulitas y de rocas Ultramáficas; y es un terreno que probablemente representa la corteza oceánica acrecentada durante el jurásico al terreno de la Sierra Nevada a lo largo del Lineamiento de Sevilla (sutura criptica). El Terreno Santa Marta, limitado al Norte por la Falla de Oca, al Oeste por la Falla de Santa Marta – Bucaramanga y al Sureste por el Complejo Metamórfico de Sevilla- Cinturón Metamórfico de Santa Marta, está constituido por dos fajas metamórficas: la de la costa presenta filita y esquisto verde; la de la contracosta contiene mica esquistos y anfibolita "[20].

En el terreno Santa Marta, las fajas de esquistos se encuentran atravesadas por plutones terciarios de diorita o cuarzo diorita. ¿Este terreno se adhirió al terreno de Sevilla durante el Cretácico? – Paleoceno?, a lo largo del límite Complejo Metamórfico de Sevilla-Cinturón Metamórfico de Santa Marta[21].

[20] Colmenares F., Mesa A., Roncancio H., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto "Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Bogotá, INGEOMINAS, 2007.
[21]Colmenares F., Mesa A., Roncancio H., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto "Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Bogotá, INGEOMINAS, 2007.

Figura 3.10. Localización geológica regional del área de estudio.



Tomado de Etayo el al., 1983 Mapa de terrenos geológicos de Colombia.

3.3. Geología a Escala Media con Fines de Ordenamiento de la Cuenca

3.3.1. Estratigrafía

Las unidades litológicas presentes en el área de estudio corresponden a una amplia diversidad de rocas con un rango de edad que van desde el Precámbrico hasta el reciente y con diferentes génesis. Este documento, se fundamenta en los estudios realizados por El Servicio Geológico Colombiano SGC, donde se presentan las definiciones y descripciones oficiales, sin embargo, luego de las observaciones de campo y el análisis de los sensores remotos, se han efectuado algunos cambios en la distribución geográfica de algunas unidades, y aunque se han mantenido los nombres de las unidades litológicas, los códigos de estas se han modificado de acuerdo con la nomenclatura utilizada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, publicado por esta entidad en 2015.

Tabla 3.5. Tipos de Rocas y Edad de las unidades geológicas presentes en la Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

Nombre Unidad	Símbolo	Periodo	Época	Edad	Tipo de roca
Depósito de Playa	Q2pl	Cuaternario	Holoceno	-	Sedimentaria
Deposito aluvial	Q2al			-	
Depósito de llanura de inundación	Q2lli			-	
Deposito coluvial	Q2c			-	
Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá	E2smbd-cd	Paleógeno	Eoceno	-	Ígnea
Filita de Taganga	K2K5ft	Cretácico	Superior	Campaniano	Metamórfica
Esquistos de Concha	K2k5c				
Esquistos de Gaira	K2k5eg				
Mármoles de Ciénaga	K1mc			-	
Esquistos de San Lorenzo Superior	K1sl2	Cretácico	Inferior	-	
Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas	Kum	Cretácico	-	-	Ígnea
Esquistos de San Lorenzo Inferior	J3sl1	Jurásico	Superior	-	Metamórfica
Neis de Buritacá	Pb	Pérmico	-	-	
Granulita de Los Mangos	PRm	Proterozoico	-	-	

A continuación, se describen las unidades de acuerdo con tipo de roca que corresponde a su génesis Metamórficas, Ígneas y Sedimentarias; en cada uno de estos tipos, las unidades se ordenan de la más antigua a la más reciente, aunque se debe tener en cuenta que algunas de las edades asignadas a las unidades ígneas y metamórficas, en los estudios del SGC, son imprecisas y dudosas, debido a que fueron establecidas indirectamente.

3.3.2. Rocas Metamórficas

Son las rocas que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo, el cual implica la transformación de la composición de un material, sin que se produzca un cambio de estado. Este proceso se produce cuando la roca preexistente se enfrenta a condiciones de presión o de temperatura diferentes de aquellas que permitieron su desarrollo[22]. Rocas ígneas, sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando quedan sometidas a presiones cercanas a los 1.500 bares, a altas temperaturas (entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de las mismas, aportando nuevas sustancias a éstas se transforman en rocas metamórficas[23].

Dentro del área de estudio, se identifican las siguientes unidades de origen metamórfico.

[22] https://es.wikipedia.org/wiki/Roca_metam%C3%B3rfica
[23] https://es.wikipedia.org/wiki/Roca_%C3%ADgnea

3.3.2.1. *Granulita de Los Mangos (PRm).*
Esta unidad fue descrita por Tschanz el al. En 1969. Los autores, consideran que estas rocas forman el basamento metamórfico de la provincia granulítica precámbrica alóctona. Son intruídas por batolitos jurásicos que afloran en la mayor parte del área. Consiste de bandas paralelas alternantes de granulitas máficos a Ultramaficas densas, de tono oscuro, granulitos graníticos de tonos claros y composición intermedia. El bandeamiento se encuentra desde el orden centímetros a cientos de metros; presenta algunas intercalaciones delgadas de capas de mármol diópsido o rocas calcosilicatadas, con granulitas de grano medio a grueso, bien foliadas, de textura granoblástica[24].

Las dataciones radiométricas realizadas en la Granulita de Los Mangos muestran una edad de 940+-34 Ma K/Ar en hornblenda y 752+-70Ma y 1300+-100 Ma Rb/Sr en roca total, edades correspondientes al proterozoico. La Granulita de Los Mangos es el equivalente a las rocas precámbricas de parte occidental de la Serranía del Perijá, estado de Zulia, Venezuela[25].

Estas rocas metamórficas, se formaron en un ambiente anhidro de alta presión en cuyas condiciones se han cristalizado las rocas madres originales, probablemente rocas ígneas desde composición silícea hasta andesitas y dacitas[26].

Se encuentran aflorando en la esquina Sur-Este de la cuenca, en el sector de las veredas Bajo Morros, Cantarrana y Alto Córdoba, entre las fallas Nueva Granada, al Sur- Este y Orihueca al Oeste. Esa unidad se cartografió de acuerdo con la información de la Plancha 19- Sierra Nevada de Santa Marta a escala 1: 100.000 del SGC y se corroboró con el análisis de los sensores remotos.

3.3.2.1.1. *Neis de Buritacá (Pb)*
Esta unidad fue descrita originalmente por Tschanz et al. 1969, agrupa todos los neises meta ígneos máficos y migmatíticos que contienen asociación mineral de las facies anfibolita almandino. Son neises de hornblenda – plagioclasa, anfibolitas y migmatitas que contienen principalmente hornblenda y plagioclasa con menor cantidad de cuarzo, biotita y epidota baja en hierro. Las migmatitas son rocas bandeadas con alternancia de niveles espesos de neises máficos y delgados irregulares, neises concordantes de cuarzodiorita o granodiorita biotíticas. En las capas granitas son más abundantes el feldespato potásico y la biotita[27].

La edad en la que se ubica esta unidad es dentro del Orógeno Permotriasico, en unos 152+-11 Ma (K/Ar en hornblenda). Por sus características petrográficas y la presencia de algunas estructuras de tipo augen y flaser pueden correlacionarse con algunas variedades de Neis que se han encontrado en el departamento de Santander, y con neis de la Sierra Nevada que afloran en su parte central, también con el neis de Buritacá. Esta unidad es originada por metamorfismo regional de alto grado y afectada posteriormente por procesos metasomáticos y metamórficos[28].

[24] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[25] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[26] Ibíd.
[27] Ibíd.
[28] Ibíd.

En el área de estudio, se encuentran en el sector Sur- Este, en una franja al Este de la Falla Aguja, y en el sector de la Quebrada Piedras Blancas, en las veredas Corea, Cantarrana y Alto Córdoba. Esa unidad se cartografió de acuerdo con la información de la Plancha 19- Sierra Nevada de Santa Marta a escala 1: 100.000 del SGC y se corroboró con el análisis de los sensores remotos.

3.3.2.1.2. *Esquistos de San Lorenzo Inferior (J3sl1).*
El nombre Esquistos de San Lorenzo fue empleado por Tschanz et al. 1969 para designar un conjunto de rocas metamórficas conformadas por esquistos grafitosos, esquistos cuarzo micáceo y cuarcitas que aflora en el flanco Noroeste de La Sierra Nevada de Santa Marta.

La unidad inferior, corresponde a un cuerpo de esquistos conformada por una gran variedad de rocas metamórficas de diferente grado de metamorfismo, predominan esquistos micáceos y ocasionalmente esquistos grafitosos, cloríticos, anfibolitas y cuarcitas, mármoles y neises. Es común la presencia de lentes (augen) de cuarzo, que ocurren tanto por segregación como por presión solución; se observan diques pegmatíticos graníticos, moscovíticos y localmente con granates, es común la precipitación secundaria de yeso y azufre[29].

Esta unidad aflora en una franja de dirección Noreste desde la vía Ciénaga - Fundación, hasta la vía Santa Marta –Ríohacha, ocupa buena parte de las veredas Bajo agua linda, El Vergel, Central Córdoba, Tras Jornada, Horizonte, Nuevo Mundo, Marinca y El Vergel. En los afloramientos observados se aprecia rocas metamórficas de clores verdosos, café y grises que contienen micas y eventualmente presentan venas de cuarzo lechoso, delgadas y discontinuas; su esquistosidad es muy fina e irregular. Son rocas relativamente duras al golpe de martillo manual.

[29]Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.

Figura 3.11. Estación 43. Esquistos de San Lorenzo, unidad inferior, Sector desvío a Pozo Azul. Coordenadas N: 1.722.251 - E: 997.600.



3.3.2.1.3. *Esquistos de San Lorenzo Superior (K1sl2)*

Esta unidad corresponde a un cuerpo de esquistos micáceos con interposiciones de cuarcitas; fue descrita por Tschanz et al. 1969. Está conformada por esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos; con cuarcitas micáceas bien estratificadas de aspecto cristalino, compactas que preservan la estructura sedimentaria.

La Edad para las unidades del Esquisto de San Lorenzo, se considera entre los 279,5+-2,5 Ma (Pérmico) y los 83 Ma (Cretácico superior). Su génesis puede ser producto de metamorfismo regional de secuencias pelíticas fino granulares con contenido de materia orgánica (niveles grafitosos) y con importantes intercalaciones siliciclásticas de cuarzoarenitas de origen fluvial a marino, según lo evidencia la presencia de algunas estructuras sedimentarias como estratificación cruzada[30].

Dentro del área de la cuenca, se encuentra en una franja con dirección Noreste, que aflora en la parte noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta SNSM, en las veredas Vista Nieves, El Campano, Nuevo Mundo, Bella Vista, Cerro Kennedy, la Serranía de Córdoba y la Cuchilla de San Lorenzo. Los afloramientos de estas rocas, obervados en campo, en los sectores próximos al Corregimiento de Minca, presentan los esquistos de colores crema y gris, más meteorizados que los denominados “inferior”, a simple vista presentan mayor contenido de micas tipo moscovita y las venas de cuarzo lechoso se observan más fácilmente, ya que son un poco más gruesas.

[30] Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.

Figura 3.12. Tramo estaciones 42- 45. Esquistos de San Lorenzo, unidad superior, vía Minca- Vista Nieves. Coordenadas N: 1.722.396 E: 997.714.



3.3.2.1.4. *Mármoles de Ciénaga (K1mc)*

Unidad descrita por Tschanz et al. 1969, quienes inicialmente la denominaron "Mármol (m)". Actualmente se conoce como Mármoles de Ciénaga (K1mc) a los afloramientos de mármoles y calizas que afloran en dos pequeños cuerpos localizados al Este del municipio de Ciénaga.

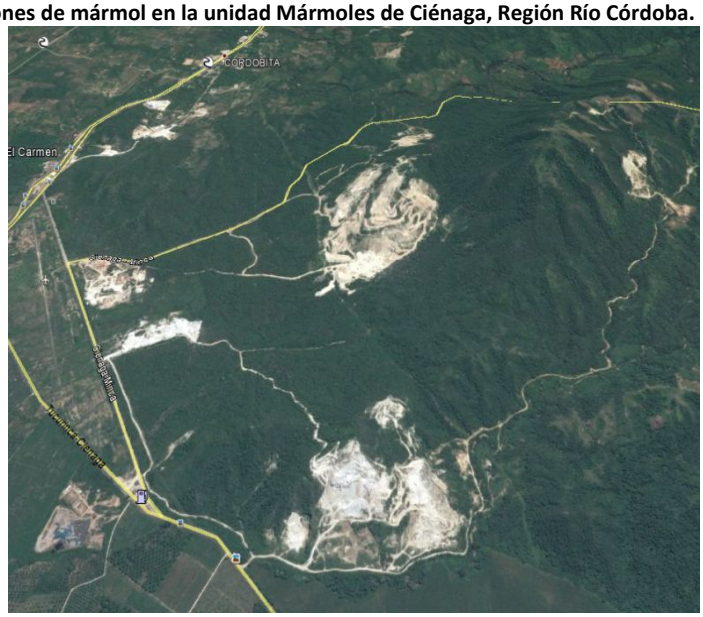
Los Mármoles de Ciénaga, se caracterizan por ser mármoles arenosos impuros y dolomitas; no contienen minerales metamórficos, lo que es difícil de explicar debido a que la temperatura de metamorfismo excede la trayectoria normal de reacción del cuarzo y la dolomita. Algunos autores (Tschanz et al. 1970, Hernández, 2003) reportan mármoles de diópsido, de textura granoblástica y bandeada, con bandas blancas grueso granulares y bandas negras con tamaño de grano indistinguible, estos mármoles están asociados con rocas de alto grado de metamorfismo (migmatitas) y rocas esquistosas anfibólicas[31].

Los autores de esta unidad, le han asignado la misma edad del Conjunto Inferior del Esquisto de San Lorenzo, a 50,7+-2,1 Ma, debido a que el Esquisto de San Lorenzo presenta interestratificaciones de niveles de mármol. La génesis de los Mármoles de Ciénaga corresponde a niveles calcáreos (calizas) afectados por metamorfismo regional, la presencia de mármoles arenosos coincide con interposiciones siliclásticas dentro de la secuencia. Debido a la ausencia de minerales metamórficos no se ha definido el grado de metamorfismo de esta unidad.

Las mejores exposiciones de estos mármoles se encuentran en las canteras donde son explotados, las cuales se localizan en los cerros de la denominada Región Río Córdoba, entre las quebradas Espíritu Santo y Mateo.

[31] Ibíd.

Figura 3.13. Explotaciones de mármol en la unidad Mármoles de Ciénaga, Región Río Córdoba.



Tomada de Google Earth 7/27/2016.

Figura 3.14. Explotaciones de mármol en la unidad Mármoles de Ciénaga, Región Córdoba, vista desde la vía Santa Marta – Ciénaga.



3.3.2.1.5. *Esquistos de Gaira (K2k5eg)*

Unidad de roca descrita por Tschanz et al. 1969, los principales afloramientos se encuentran en la vía Minca – Córdoba, vías La Tagua, Cincinati y Región de Lourdes, Gaira y Santa Marta. Consiste de esquistos anfibólicos densos, negros y mica esquistos, la parte inferior presenta algunas capas de filita clorita con foliación crinkled, con pequeños cristales de cloritoide y espesartita. Los mica-esquistos son principalmente esquistos biotíticos, pero algunos contienen también moscovita; presentan biotita semitransparente metamórfica baja en hierro que da un brillo plateado a la superficie[32].

La datación radiométrica de estas rocas indicada en K/Ar, en anfíbol, dio como resultado un metamorfismo de 50,3+-8,1 Ma. (Paleoceno-Eoceno); su génesis se asocia a fenómenos de metamorfismo y deformación metamórfica y estructural que produjeron una zona de migmatización dentro de los esquistos formados por metamorfismo de grado medio[33].

Los Esquistos de Gaira, en el área de la Cuenca se encuentran aflorando en la esquina Sur-Oeste, en la vía Ciénaga-Santa Marta, sector la YE., allí se pueden apreciar explotaciones de mármol de esta unidad; al Norte del Corregimiento de Minca, en la quebrada La Tigrera; en el Sector de El Rodadero; y en una franja relativamente amplia, de dirección Noreste, controlada por las Fallas Taganga, Palangana, Jordán y Playa Brava entre Santa Marta y la Ensenada Palmarito.

Se observaron en campo, en el sector Noreste de la cuenca una serie de esquistos de color verde oscuro a negro, bandeados con mineralizaciones más claras ricos en micas principalmente biotita, aunque también presentan moscovita, son relativamente blandos al golpe del martillo manual. En el sector de sur de la cuenca, esta unidad metamórfica presenta además de las facies de esquisto, mármoles claros, y los calores son más claros e incluso cafés.

[32] Ibíd.
[33] Ibíd.

Figura 3.15. Detalle de afloramiento de los Esquistos de Gaira, sector vía Santa Marta – Ciénaga, evidencia de estructuras metamórficas. Coordenadas N: 1.708.684 E: 984.700.



Figura 3.16. Estación 51. Afloramiento de los Esquistos de Gaira, Avenida Troncal del caribe Santa Marta. N: 1.731.833 E: 987.516.



3.3.2.1.6. *Esquistos de Concha (K2k5c)*

Unidad denominada por MacDonald et al. (1971) y Doolan (1971) para describir las rocas metamórficas que en un sector de la costa entre Punta El Cinto y Punta Florín, consiste principalmente en esquistos talcosos, en menor proporción filitas cloríticas y anfibolitas de actinolita.

Los Esquistos de Concha, probablemente corresponden a una sucesión de sedimentos Paleozoicos o Mesozoicos de grano fino, sometidos durante el intervalo de tiempo Cretácico – paleoceno a metamorfismo regional de bajo grado en facies esquisto verde. Las diferentes dataciones radiométricas K/Ar indican edades desde Cretáceo Inferior 110,5+-8,8 Ma hasta Cretáceo Superior 80 Ma[34].

Figura 3.17. Afloramiento de los Esquistos de Concha, Ensenada El Cinto – Parque Tayrona. Coordenadas N: 1.744.591 E: 1.002.105



3.3.2.1.7. *Filita de Taganga (K2K5ft)*
Unidad descrita por Tschanz et al. 1969. Está conformada por rocas metamórficas que aflora a lo largo de la línea de costa entre la ensenada de Neguanje y Gaira. En la Ensenada de Neguanje, esta unidad está formada por filitas cloríticas y sericiticas de color verde claro con una foliación pizarrosa; dentro de esta unidad se encuentran en menor proporción otros tipos de rocas como anfibolitas de grano fino y talco esquistos, también unas rocas masivas, pero ligeramente esquistosas de grano medio a grueso que contienen fenocristales de un mineral negro no identificado.[35]

Se encuentra contacto fallado entre la Filitas de Taganga y los Esquistos de Gaira, definido en la interpretación de sensores remotos. La edad de metamorfismo que asigna Tschanz et al. 1969 es probable Paleógeno-Neógeno. En cuanto a su génesis Los documentos del SGC reportan clorita y cuarzo en el análisis de secciones delgadas, lo que indica que corresponde con una facies de esquistos verdes superior de series de baja presión (Abukuma o presiones más bajas).

[34] Ibíd.
[35] Ibíd.

Las Filitas de Taganga, se pueden observar en el sector Norte de El Rodadero, En Punta Betín, en el Sector de Playa Grande y Taganga, y dentro del Parque Tayrona en una franja limitada al Este por la Falla de Taganga y al Oeste por la playa en las ensenadas de Concha, Chenge, Gairaca y Neguanje hasta Punta del Cinto. Las rocas de esta unidad son de colores grises y verdosos presentan un brillo sedoso; en algunos sectores se observan talcos de colores verdes y marrones, que eventualmente son explotados de forma rudimentaria por habitantes para fabricar pequeñas esculturas y artesanías.

Figura 3.18. Filitas de Taganga, Ensenada Neguanje. Coordenadas N: 1.743.595 E: 998.067.



3.3.2.2. *Rocas Ígneas*

Las rocas ígneas (del latín *ignis*, fuego) también nombradas magmáticas, son todas aquellas que se han formado por solidificación de un de material rocoso, caliente y móvil denominado *magma*; este proceso, llamado cristalización, resulta del enfriamiento de los minerales y del entrelazamiento de sus partículas. Este tipo de rocas también son formadas por la acumulación y consolidación de lava, palabra que se utiliza para un magma que se enfría en la superficie al ser expulsado por los volcanes.[36]

3.3.2.2.1. *Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas (Kum)*

Tschanz et al. 1969, describió esta unidad de roca, asociando varios tipos de rocas ultramáficas, intrusivas y metamórficas de diferente edad y origen que se presentan en cuerpos de poca extensión no cartografiables a la escala de trabajo. Estas rocas en general carecen de foliación definida e incluyen serpentinitas (probablemente) de origen intrusivo, rocas talco tremolita, tremolita masiva posiblemente metamorfoseada, hornblenda, piroxenos, peridotitas y rocas de talco serpentina o

[36] http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/nuestro-planeta

rocas de clorita talco-serpentina-tremolita, rocas intrusivas ultramáficas (con olivino) y mármoles ricos en magnesio o piroxenitas y serpentina. [37]

El autor de esta unidad, asigna una edad tentativa del Mesozoico. Su origen se considera intrusivo en forma de masas cristalinas sólidas básicas (y no por cristalización de un magma de este tipo), que han sido emplazadas por procesos dinámicos.[38]

Dentro del área de estudio, esta unidad se cartografía como un pequeño cuerpo al Sureste de Minca, en dirección hacia El Campano.

3.3.2.2.2. *Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (E2smbd-cd)*
El Complejo Batolito de Santa Marta, corresponde a un grupo de rocas ígneas plutónicas que afloran ampliamente en el sector de la cuenca Río Piedras Manzanares, este cuerpo presenta amplias variaciones composicionales y texturales, por lo cual los diferentes autores que han descrito geología de esta región de Colombia, lo han dividido en diferentes unidades a las cuales le han asignado diferentes asociaciones mineralógicas y nombres.

La cartografía de esta unidad, presenta inconformidades de continuidad y nomenclatura entre las planchas geológicas del SGC que contienen el área de la cuenca, debido en parte a la diferencia en la nomenclatura utilizada y a la forma los autores principales Tschanz et al. y MacDonald et. al, definieron estas rocas agrupando y nombrando los materiales de forma diferente; por lo tanto, en el presente documento, y entendiendo que el objeto principal del POMCA no es la cartografía geológica a detalle se opta, para su descripción en este texto, por unificar el Batolito de Santa Marta (E2smbd) y la unidad denominada Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (E2smbd-cd) como un solo conjunto de rocas ígneas llamadas Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (E2smbd-cd).

Con la aclaración anterior, se puede decir la unidad denominada como *Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (E2smbd-cd)* corresponde a cuerpos de rocas ígneas intrusivas posiblemente del Paleógeno-Eoceno, de composición tonalítica y de rocas híbridas que afloran en la zona de contacto de esquistos intruyendo las rocas metamórficas del Jurásico -Cretácico. Su génesis corresponde a un cuerpo intrusivo de magma félsico[39].

Su litología corresponde a cuarzodiorita gris de biotita y hornblenda masiva y relativamente uniforme, con algo de foliación, presenta en su mayor parte textura granular, y los minerales máficos muestran débil orientación. Dentro del cuerpo, en varios sectores, se encuentran pegmatitas principalmente de moscovita y cuarzo monzonita, xenolitos de esquistos y rocas ultramáficas; también se observa afectado por cuerpos félsicos tabulares de espesores variables de menos de 5 cm. a 1,40 m. Es común observar granitos en franca meteorización concéntrica, que conforman grandes bloques redondeados dispuestos a lo largo de algunas laderas.

[37] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[38] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[39] Ibíd.

Esta unidad abarca la mayor distribución dentro de la cuenca, se puede observar en los sectores de Minca, El Campano, Tigrera, El Limón, Marinca, Cerro El Doctor, La Gran Vía, y en un pequeño cuerpo que se diferencia en el sector de La Región Donama, al Suroeste de la Cuchilla Piedras Blancas

Figura 3.19. Estación 2. Detalle de la textura granular de algunas rocas de la unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá. N: 1732668- E: 991684.



Figura 3.20. Estación. 30. Fragmento de roca probablemente de la unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Sector Donama.



Figura 3.21. Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Vía Santa Marta – Minca. Coordenadas N: 1.726.044 - E: 993.261.



Figura 3.22. Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá, Ensenada El Cabo. Coordenadas N: 1.744.701 E: 1.012.622.



3.3.2.3. *Rocas Sedimentarias*

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos, que dan lugar a materiales consolidados. Las rocas

sedimentarias pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos; se hallan dispuestas formando capas o estratos[40].

En el área de estudio, las rocas sedimentarias, corresponden a los Depósitos Cuaternarios o recientes, su cartografía se realizó principalmente por medio de la interpretación de sensores remotos ya que sus rasgos son más geomorfológicos que litológicos y a continuación se describen teniendo en cuenta su edad de los más antiguos a los más recientes.

3.3.2.3.1. *Depósito coluvial (Q2c)*
Estos depósitos, dentro de la cuenca se han identificado principalmente en los sectores de mayor elevación dentro del pie de monte de la SNSM, son de poca extensión. Están formados por gravas sub redondeados y bloques de hasta de más de 1 m de diámetro, derivados de rocas ígneas y metamórficas, con escasa en matriz arenosa.

En la zona de estudio se ubican principalmente en las veredas Calabaza, Nuevo México, Giro Casaca, en el sector alto del barrio 11 de noviembre en Santa Marta, y al sur de la cuenca, en la parte intermedia de la quebrada Marinca, sector Brizas del Mar.

Figura 3.23. Estación 20. Granitos meteorizados, que conforman un deposito coluvial, sector la revuelta. Coordenadas N: 1.739.087 E: 1.015.192



3.3.2.3.2. *Depósito de llanura de inundación (Q2lli)*
Dentro del área de estudio, este tipo de depósito se identifica en la esquina Sur-Oeste, en las proximidades del casco urbano del municipio de Ciénaga, correspondiendo con la zona baja y de desembocadura del río Córdoba y las quebradas Guayabo y Marinca. Presenta zonas anegadas y

[40] https://es.wikipedia.org/wiki/Roca_sedimentaria

algunos pantanos que están siendo desecados con rellenos. Los materiales que los componen corresponden a limos y arcillas.

3.3.2.3.3. *Depósito aluvial (Q2al)*

Estos depósitos se encuentran asociados a los causes de los drenajes principales, ubicándose en las zonas de intersección entre afluentes y/o en sectores próximos a su desembocadura. Están constituidos principalmente por gravas y fragmentos de rocas metamórficas e ígneas de las rocas que se encuentran en las zonas topográficamente más altas. Conforman terrazas y pueden considerarse intermontanos recientes como en los ríos Aguja y Córdoba, pero por su extensión no son cartografiables a la escala de trabajo.

Figura 3.24. Deposito aluvial, Río Gaira, Vereda El Mosquito. Coordenadas N: 1.727.730 E: 988.080.



3.3.2.3.4. *Depósito de Playa (Q2pl)*

Depósitos de arenas de playa de grano fino, compuestas por cuarzo y minerales pesados, dispuestas en forma plano paralela a semiparalela continua, presenta algunos lentes de materiales con carbonatos, y de material arcilloso de color claro, contiene abundantes conchas. Se aprecian a lo largo de casi toda la línea de costa; en las zonas de deltas de los ríos que descargan al mar, los materiales se mezclan con los de los depósitos aluviales, presentando delgados lechos de conglomeráticos. Estos depósitos se encuentran expuestos a la modificación por procesos de erosión y acreción de sedimentos, que actúan dependiendo del sector donde se localizan.

Figura 3.25. Estación 1. Depósito de playa, Sector próximo a la desembocadura del río Manzanares. Coordenadas N: 1.734.363- E: 984.465.



Figura 3.26. Estación 52. Depósito de playa, Sector Don Jaca. Coordenadas N: 1.719.092 E: 984.638.



3.3.3. Geología estructural.

- **Falla Taganga**, Falla inversa, de dirección N45°E, con cabalgamiento al noroeste, que se define entre Santa Marta, al sur de Punta Betín, hasta Punta Florín. En el sector de la Vereda Palangana, se convierte en el contacto entre La Filita de Taganga y los Esquistos de Gaira. Esta falla se constituye en el rasgo estructural ubicado más al Noroeste de la SNSM, y se

considera el elemento tectónico aflorante más reciente del sistema regional de la Falla de Oca, cuyo trazo principal se encuentra fuera del área de estudio[41].

- **Falla Jordán,** Falla de rumbo con desplazamiento dextral, que se proyecta con dirección de rumbo aproximada N80°E, entre Santa Marta (barrio 17 de diciembre) y la desembocadura del río Piedras en el sector de la Revuelta. Se extiende casi por 20 Km a lo largo del río Jordán y el río Piedras. Esta falla se encuentra dislocada en varios tramos al este, por otras fallas menores que afectan las Veredas Trompito, Calabazo y Nuevo México. Controla una parte del curso de la quebrada Concha.

- **Falla de Neguanje,** Corresponde a una estructura de falla inversa, cuyo trazo N45°E se puede referir desde el sector sureste de la Bahía Concha, hasta la Ensenada de Neguanje, donde las rocas pertenecientes a las Filitas de Taganga se encuentran afectadas, mostrándose milonitizadas y con fuerte contorsión de su esquistosidad.

- **Falla Florín,** Falla inversa con bajo grado de inclinación, de rumbo N60°E; se extiende desde el Sureste de la Ensenada de Neguanje en su costado este, continuando su trayectoria noreste hasta Punta Florín, esta falla coloca los Esquistos de Gaira sobre los Esquistos de Concha.

- **Falla Chengue,** Corresponde a un trazo de dirección N45°E definido en imágenes satelitales, entre la Ensenada El Chengue y la Ensenada Gairaca, afectando rocas de la unidad Filita de Taganga.

- **Falla Guayabal,** En el costado Sur de la vereda Trompito Alto, se observa en las imágenes de satélite, un trazo de dirección N48°E, afecta rocas de la unidad denominada Batolito de Santa Marta – Plutón de Buritacá.

- **Falla El Carmen,** Presenta rumbo aproximado S85°E, que se extiende desde el Norte del Casero de Bonda hasta el río Mendihuaca, su trazo es casi rectilíneo; es de tipo de rumbo dextral que dentro del área de la cuenca afecta principalmente rocas del Batolito de Santa Marta – Plutón de Buritacá y en su extremo más este las pone en contacto con los esquistos de San Lorenzo.

- **Falla Playa Brava,** Estructura que se encuentra con rumbo aproximado N45°E, entre el sector de la vereda Las Tinajas y Playa Brava, al este de la Ensenada Palmarito. Afecta rocas de la unidad Esquistos de Gaira, y en su primer tramo se convierte en el contacto entre esta unidad y las rocas del Batolito de Santa Marta – Plutón de Buritacá, al norte solo afecta los Esquistos de Gaira. No se puede definir sus componentes de movimiento.

[41] Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.

- **Falla Bureche,** Falla con Rumbo N45°E, se extiende dese el sector del Rodadero, hasta la quebrada Concha entre las Veredas Palangana y Curval. Presenta varios sectores de su trazo cubiertos por depósitos aluviales. No se determinó su plano de falla, ni su movimiento relativo pues su trazo se corroboró en el análisis de sensores remotos.

- **Falla de Buritacá,** se localiza en el costado noreste del área de estudio, su trazo se proyecta en dirección sureste aproximadamente S30°E hacia fuera de la cuenca hacia el río Mendihuaca; se considera una falla de rumbo con desplazamiento dextral, ya que los lineamientos asociados, cercanos y paralelos entre sí, dispuestos "en echelon" presentan variaciones de rumbo con respecto a la del trazo principal de la falla.

- **Falla Rodadero,** Es una falla de tipo inverso, cuyo trazo presenta un rumbo N65°E, y se puede evidenciar en las silletas de falla que se observan por la vía Santa Marta- Rodadero, las cuales se pueden mimetizar con los planos de esquistosidad que presenta las rocas del sector. Se extiende desde El Rodadero hasta la Vereda Palangana. Su trazo se encuentra cubierto casi en su totalidad.

- **Falla Palangana,** Falla local, cuyo trazo se puede seguir al noroeste de la localidad de Bonda, en una dirección aproximada N53°E hasta la quebrada Concha, donde al parecer es dislocada al oeste por la Falla Jordán, continuando por la vereda palangana hasta la Ensenada de Neguanje. Afecta la unidad Filitas de Taganga.

- **Falla El limón,** Es una falla de rumbo sinextral**,** que afecta rocas del Batolito de Santa Marta – Plutón de Buritacá, sigue un trazo de falla de dirección aproximada N10°W y de ella se desprenden casi en todo su largo, en su costado oeste, varios lineamientos menores de dirección noreste.

- **Falla tres Puentes,** Es una falla local, con dirección de rumbo aproximada N30°W, que está controlado el curso de la quebrada la Tigrera, entre la vereda Minas, al norte del corregimiento de Minca, y el sector del barrio El Jardín, en el casco urbano de Santa Marta, donde se intersecta con la Falla Rodadero casi perpendicularmente. Afecta rocas de la unidad denominada Batolito de Santa Marta-Plutón de Buritacá. No se identifican sus características estructurales, pues parte de su trazo se encuentra cubierto por sedimentos cuaternarios, y no existe evidencia que permita definir su movimiento dentro de la unidad Batolito de Santa Marta-Plutón de Buritacá.

- **Falla El Guaco,** Esta estructura local, se localiza al noroeste del corregimiento de Minca, en el sector de las veredas Mundo Nuevo, Minas, Mazinga, Giro Casaca y Tras Jornada. Sigue un rumbo de N45°E, afecta rocas del Batolito de Santa Marta-Plutón de Buritacá, y en su extremo más norte se convierte en el contacto entre la unidad Batolito de Santa Marta-Plutón de Buritacá y los Esquistos de San Lorenzo, mientras en su extremo sur, presenta un trazo bifurcado que también afecta rocas de la unidad Esquistos de Gaira.

- **Falla del Río Piedras**, En la vereda Horizonte, controla un tramo del río Piedras, en dirección Norte-Sur, en un sector hace las veces de contacto entre las unidades Esquistos de San Lorenzo Superior e Inferior. No se determinaron sus características, pues su identificación se realizó por sensores remotos.

- **Falla Tolima,** Estructura local, prácticamente paralela a la Falla del Río de Piedras antes descrita, también en la Vereda Horizonte afecta rocas de la unidad Esquistos de San Lorenzo. No se determinó su plano de falla, ni su movimiento relativo pues su trazo se corroboró en el análisis de sensores remotos.

- **Falla San Lorenzo,** Presenta un trazo rectilíneo de dirección este a oeste, que se extiende entre las Veredas Nuevo Mundo y El Campano, controlando un tramo del río Gaira. Corresponde a una falla de rumbo con desplazamiento dextral que afecta rocas de los denominados Esquistos de San Lorenzo (superior e inferior).

- **Falla Río Córdoba,** Su traza muy sinuosa es de unos 22 Km de longitud**,** entre las fallas Orihueca en su extremo noreste y la Falla de Santa Marta-Bucaramanga en su extremo sureste sus rasgos se aprecian a lo largo del río Córdoba en las Veredas Agua Linda, Vergel y Alto Córdoba. Es una falla inversa en la cual el boque este cabalga sobre el bloque oeste.

- **Falla Cincinati,** Es una falla con rumbo N-NS, que solo afecta rocas de los Esquistos de San Lorenzo, en el sector las veredas Campano, Vista Nieves y Bella Vista. No se determinó su plano de falla, ni su movimiento relativo pues su trazo se corroboró en el análisis de sensores remotos.

- **Falla Orihueca,** Su trazo con rumbo aproximado N45°E discurre en el sureste del área de estudio; solo una parte de este se encuentra dentro de la cuenca, sin embargo, esta falla regional se extiende por más de 50 Km con una buena expresión morfológica que está dada por una serie de sillas alineadas y desviación de algunos drenajes, se trata de una falla de cabalgamiento que dentro del área de estudio pone en contacto las Granulitas de los Mangos ubicadas al este, con Los Esquistos de San Lorenzo en su sección norte y con el Neis de Buritacá en su sección sur, localizándose las dos unidades anteriores en el costado oeste de la falla.

- **Falla la Aguja,** Su trazo de dirección aproximada N45°E se encuentra al sureste de la cuenca en las veredas Agua Linda, Corea y Cantarranas, se reporta en la literatura SGC, como un cabalgamiento de alto a moderado ángulo. Pone en contacto rocas del Neis de Buritacá sobre los Esquistos de San Lorenzo.

- **Falla Nueva Granada,** Es una falla de rumbo dextral, que se localiza la Vereda Canta Rana, alinea un tramo de la quebrada la Sierrita, en dirección aproximada N50°E, afecta rocas del Neis de Buritacá y se extiende al noreste por fuera dela área de estudio.

- **Falla del Oriente,** Es una falla de dirección aproximada N12°E que se localiza entre las veredas Marinca, Oriente y Tolonura; en su tramo sur pone en contacto los Esquistos de San Lorenzo al Este, con rocas del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá al oeste. En la quebrada Tigrera, esta falla toma un rumbo aproximado N50°W afectando rocas de la misma unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá. "Resulta difícil determinar el tipo de falla en forma exacta, pero, al parecer, por las características de los datos estructurales del área, es de tipo inverso de alto ángulo"[42].

- **Falla de Santa Marta-Bucaramanga,** Se ubica en la esquina suroeste de la cuenca, solo un corto fragmento de su gran traza está dentro del área de estudio; la dirección de su rumbo es SE-NW. Pone en contacto rocas de la Sierra Nevada de Santa Marta con rocas más recientes de origen fluviolacustre de la Ciénaga Grande de Santa Marta; en este sector ese contacto se encuentra cubierto por los mismos sedimentos. Es una estructura regional, de tipo inverso con una componente de rumbo sinextral.[43] Esta falla delimita el borde oeste la SNSM, en su segmento próximo a la cuenca, cabalgando hacia el oeste, correspondiendo con la tendencia regional de esta estructura.

Figura 3.27. Expresión morfológica de la complejidad tectónica de la cuenca, en el sector de la Falla Cincinati. N: 1.720.552 E: 998.189.

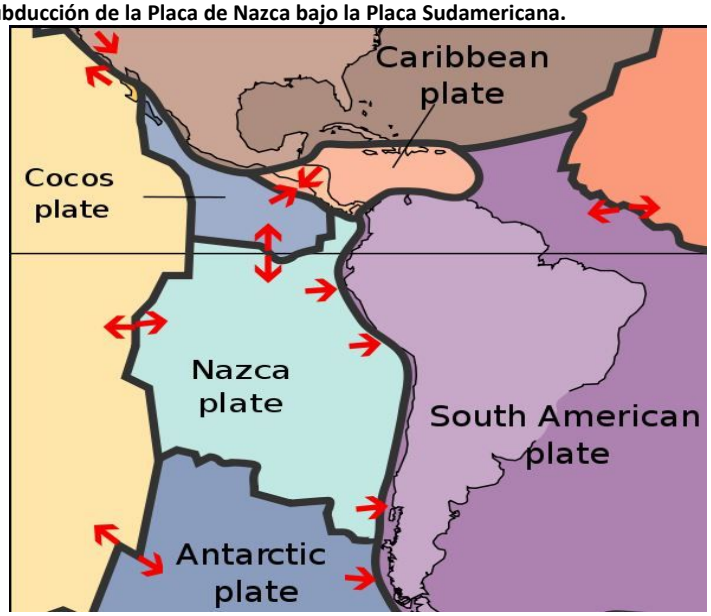


[42] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.-P.71
[43] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.

3.3.4. Sismicidad.

Geológicamente, el territorio colombiano está conformado en la confluencia de tres de las placas tectónicas: La Placa del Caribe, La placa de Nazca (o del Pacifico) y la Placa Suramericana, las cuales se encuentran en constante dinámica, así que las placas del Caribe y de Nazca se encuentran enfrentadas y chocan directamente, en tanto que la Placa de Suramérica se desplaza hacia el oeste y sus bordes se desplazan por sobre la placa de Nazca, lo que ha originado la Cordillera de los Andes. Este movimiento que en términos aproximados alcanzaría la velocidad de 1 cm anualmente, es el origen de los eventos sísmicos y la actividad volcánica[44]. Sismos de mediana intensidad, o temblores leves con valor de entre 4 y 6 puntos en la escala, son apenas perceptibles por las personas y constituyen el 40% del total; tan solo el 5% el de los sismos de magnitud alta, con valor superior a 6 puntos de la escala, son los que pueden llegar a generar daños y desastres como el del eje cafetero ocurrido en 1999. El punto de mayor intensidad del movimiento se denomina Epicentro y se entiende como la línea vertical imaginaria, sobre el sitio donde se causa la ruptura de la corteza terrestre el movimiento se transmite de manera ondulatoria por la superficie terrestre alrededor del epicentro, y es de mayor intensidad cuanta mayor profundidad tenga el epicentro[45].

Figura 3.28. **La subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.**



Fuente. http://atlasgeografico.net/sismicidad-en-colombia.html

Uno de los principales factores de la sismicidad colombiana corresponde con este fenómeno de subducción, además, de la zona de fricción de la Placa del Caribe con la Placa Sudamericana. La sismicidad es el efecto del movimiento resultante en la corteza terrestre al liberarse la energía acumulada en las áreas de choque y tensión entre las diferentes placas tectónicas que la conforman,

[44] http://atlasgeografico.net/sismicidad-en-colombia.html
[45] http://atlasgeografico.net/sismicidad-en-colombia.html

de tal forma que un temblor, sismo o terremoto, es la liberación de la energía acumulada durante la fricción entre las placas y fallas.

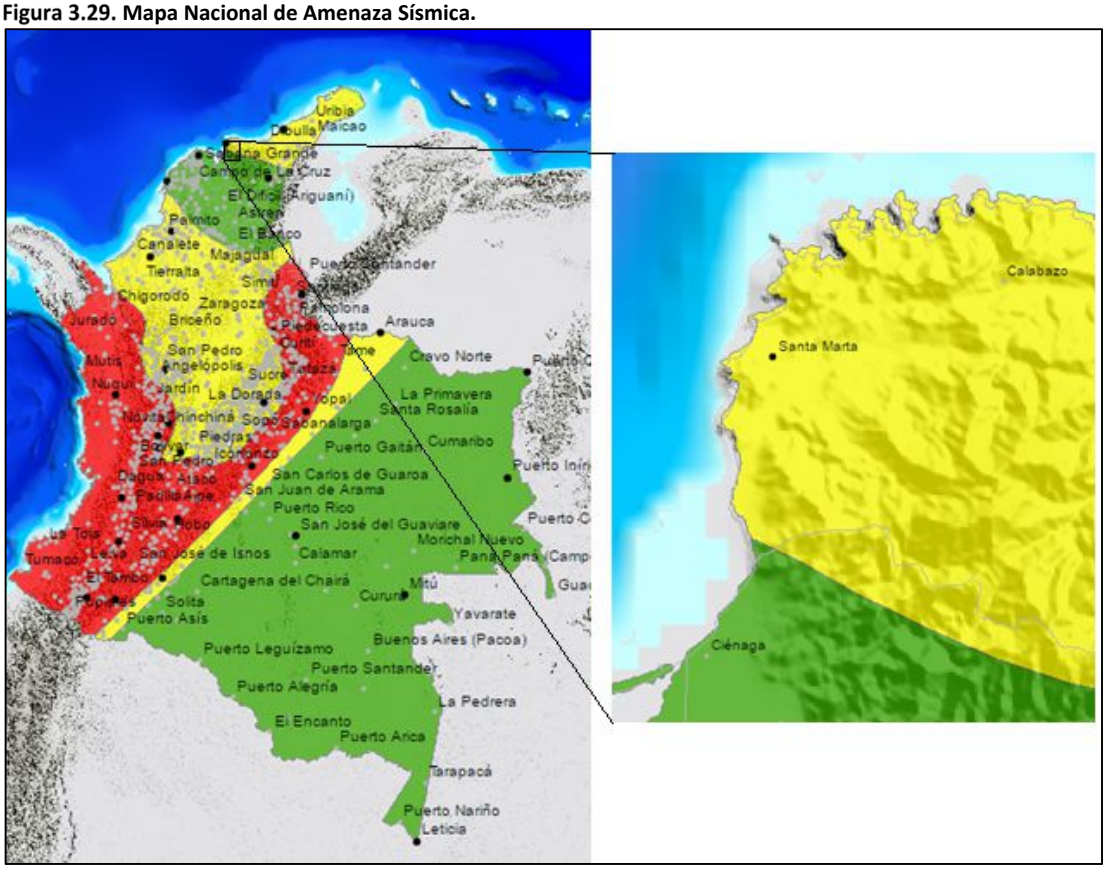
La zona de estudio, se encuentra dentro de una región históricamente catalogada como de baja a intermedia sismicidad, ya que en general en Colombia la sismicidad se restringe en su mayoría a la Región Andina y a la Costa Pacífica y en menor proporción hacia la parte Norte y la Región Caribe.

El Servicio Geológico Colombiano SGC, junto con el Instituto Geofísico de los Andes en Bogotá y el Observatorio Vulcanológico de Manizales son las entidades encargadas del estudio y vigilancia de la sismicidad y la actividad volcánica en el país. Otras entidades como la Universidad Nacional, también han adelantado estudios al respecto y trabajos conjuntos han producido el Mapa de Nacional de Amenaza Sísmica[46], este mapa representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia; el movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años, tiempo estimado de vida útil de una construcción corriente. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia (o período de retorno) de los sismos potencialmente destructores: de ocurrencia excepcional (período de retorno de 2475 años), frecuentes (período de retorno de 475 años) o muy frecuentes (período de retorno de 75 años).[47]

El tamaño de un sismo se puede calcular por su magnitud e intensidades. La Magnitud es un valor único relacionado con la cantidad de energía liberada, mientras que la Intensidad se relaciona con los efectos y daños generados en superficie, es una descripción cualitativa de la severidad de un sismo en un área determinada y difiere de la magnitud en que los efectos pueden variar de un punto a otro, mostrando valores de intensidad diferentes[48], en la Figura 3.29 se presenta el mapa nacional de amenaza sísmica.

[46] Ingeominas, Universidad Nacional De Colombia, Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. Periodo de retorno 475 años, escala 1: 1.500.000, 2010.
https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap
[47] Ibíd.
[48] Servicio Geológico Colombiano, Mapa de Intensidad instrumental. [Citado, Junio, 2016] Disponible en: http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/PDF/Mapasdeintensidadinstrumental.pdf

Figura 3.29. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano. http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/

La intensidad sísmica es consecuencia directa de los parámetros de movimiento fuerte en superficie, como aceleración, Aa, Aceleración Pico efectiva y velocidad máxima del suelo, Av, Aceleración pico efectiva relativa a la Velocidad; cuyas siglas en ingles son PGA y PGV respectivamente, valores que dependen de la magnitud del evento y de la atenuación sufrida por la energía sísmica en su trayectoria desde el hipocentro hasta un punto en superficie. A su vez, dichos valores están fuertemente condicionados por las características de la geología, depósitos de suelo, topografía, entre otros[49], por lo tanto, debido a que los valores Aa presentados en el mapa corresponden a los valores de referencia mínimos en roca, se espera que este referente sea multiplicado dependiendo del perfil del suelo.

La siguiente tabla muestra la información de aceleración específica para los municipios que hacen parte de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, los cuales se ubican dentro de la Zona de Amenaza sísmica baja (verde) a intermedia (amarillo).

[49] Ibíd.

Tabla 3.6. Valores Aceleración sismica cm/s².

NOMBRE MUNICIPIO	ACELERACIÓN cm/s²	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA
Santa Marta	50-150	Intermedia
Ciénaga	50-100	Baja

Fuente. https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=2836c44b6e8d429d9379276660e0eeae

La actividad sísmica en la zona de estudio, está relacionada con la actividad reciente de la Falla Santa Marta – Bucaramanga. No obstante, el registro histórico de sismos con magnitudes importantes y la actividad neo-tectónica en algunas de las fallas de la región, estos ameritan ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar la amenaza sísmica de la cuenca.

3.3.5. Geología económica

En el área dela Cuenca Hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se encuentran reportados recursos minerales de interés económico, estos reportes no son en sentido estricto un inventario actualizado de recursos, sino más bien una relación de los materiales existentes sobre los cuales se poder desarrollar algún nivel de prospección.

Tabla 3.7. Relacion de los materiales de interes economico en el área de estudio.

RECURSO MINERAL/reportado por	PRESENCIA DEL MINERAL	LOCALIDAD	UNIDAD GEOLÓGICA	ROCA ENCAJANTE
Mármol / (Tschanz et al., 1970)	Yacimiento actualmente en explotación.	5 Km al Este del casco Urbano de Ciénaga.	Mármoles de Ciénaga (K1mc)	Mármol, mármol dolomítico y meta sedimentos calcáreos y arenosos
Mármol / (Tschanz et al., 1970)	Yacimiento	Cuchilla Piedras Blancas, entre veredas Curval y Giro Casaca.	Batolito de Santa Marta- Plutón de Buritacá	Estratos de mármol arenoso impuro, separados por esquistos y granodioritas.
Talco y Tremolita (Hernández 2003)	Explotaciones artesanales.	Taganga, Bahía Concha.	Filita de Taganga	Lentes de talco y tremolita en rocas metamórficas.
Magnesio (Espinosa, 1987)	Yacimiento	Santa Marta		Esquistos verdes intruídas por serpentinas y talco, que aparentan diques tabulares con diques de magnesita relativamente pequeños.
Bauxita (Hernández, 2003)	Explotación	Cercanías de Mamatoco	Esquistos de Gaira	Esquistos ricos en bauxita.
Sal (Galvis, 1987)	Yacimientos	Ensenada Chengue, Santa marta,	de depósitos cuaternarios	Evaporitas, Salinas Marítimas

Modificado de Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.

La Figura 3.30 presenta el mapa de Geología Económica de la cuenca, que indica la ubicación de los yacimientos identificados como materiales de construcción y minerales industriales, de acuerdo con la clasificación del Ministerio de Minas[50], dentro de esta clasificación, los materiales que se encuentran en la Cuenca hidrográfica del río Piedras – río Manzanares corresponden a estos dos grupos así a:

- Materiales de construcción: Arenas, gravas, arcillas, calizas, esquistos y mármoles
- Minerales industriales: Talco, zeolita y feldespato – caolines.

[50] http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla_Mineria.pdf

Figura 3.30. Mapa de geología económica de la cuenca del río piedras-río Manzanares y otros directos al Caribe



3.4. Geología para Ingeniería. (Unidades geológicas Superficiales)

Se consolida a escala 1:25.000, las unidades geológicas superficiales de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, elaborada a partir del insumo de geología básica a escala 1:25.000, y la delimitación de las unidades litológicas regionales, caracterizándolas de acuerdo a sus propiedades geomecánicas, ingenieriles y de estabilidad para la evaluación de la amenaza para el componente de gestión del riesgo de la cuenca.

Hermelín (1987) denomina formación superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones

superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados. Las unidades geológicas superficiales se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre y son unidades cartografiables.

3.4.1. Objetivos.

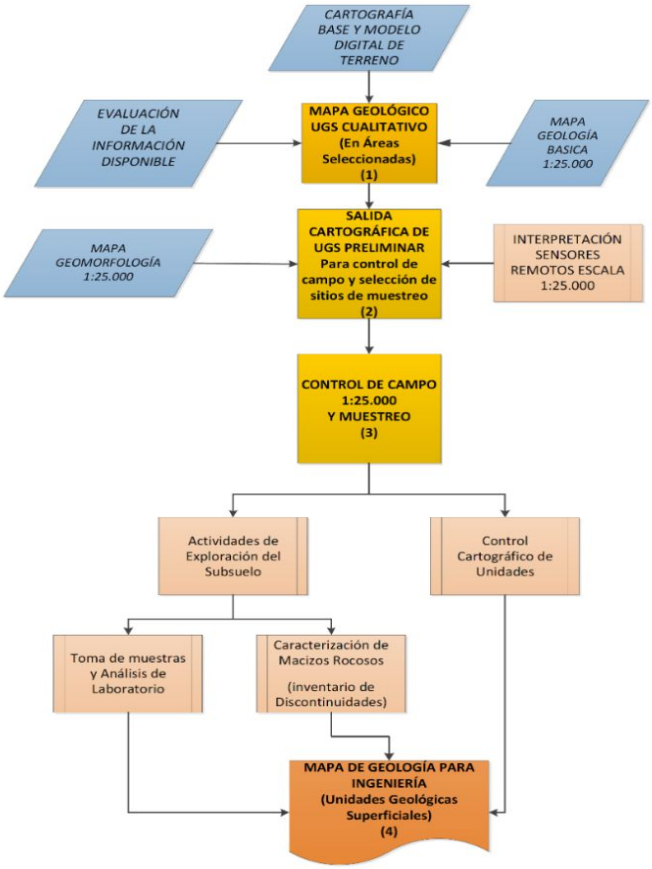
De acuerdo a los alcances técnicos establecidos para la formulación de los planes de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, a partir de la guía técnica de los POMCA y el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, el insumo de unidades geológicas superficiales plantea definir el conjunto de materiales superficiales identificados en el área de la cuenca y caracterizar su comportamiento geomecánico a partir de sus propiedades físicas, químicas e índices correlacionables generales de acuerdo a su composición, parámetros requeridos para la evaluación de amenazas naturales. De acuerdo a esto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Elaboración de salida cartográfica para unidades geológicas superficiales preliminar a escala 1:25.000 obtenido a partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales o fotografías aéreas, para establecer disposición de rocas, suelos (depósitos) y definir puntos de control de campo.
- Ejecutar fase de campo para el control cartográfico de los materiales superficiales identificados incluyendo observaciones, revisión de aspectos estructurales y caracterización ingenieril teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas
- Realizar un mapa de unidades geológicas superficiales (UGS) en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe encaminados al uso ingenieril, el cual se constituye como insumo básico para la determinación del riesgo por amenazas naturales

3.4.2. Metodología.

La metodología utilizada para la cartografía de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en el área de interés se siguió a partir de parámetros y procesos en forma sistemática, para determinar la caracterización y análisis de los materiales identificados. El procedimiento realizado se condensa en la Figura 3.31 actividades realizadas para cada paso explicados en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, el cual se resume en los siguientes pasos: 1. Cartografía básica y modelo digital del terreno, 2. Análisis de información secundaria y mapa de geología básica, 3. Interpretación de sensores remotos e integración del mapa geomorfológico a escala 1:25.000, 4. Verificación y control de campo, 5. Control cartográfico de unidades y caracterización de macizos rocosos y 6. Mapa de geología para ingeniería (UGS).

Figura 3.31. Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

3.4.2.1. *Análisis de Información*

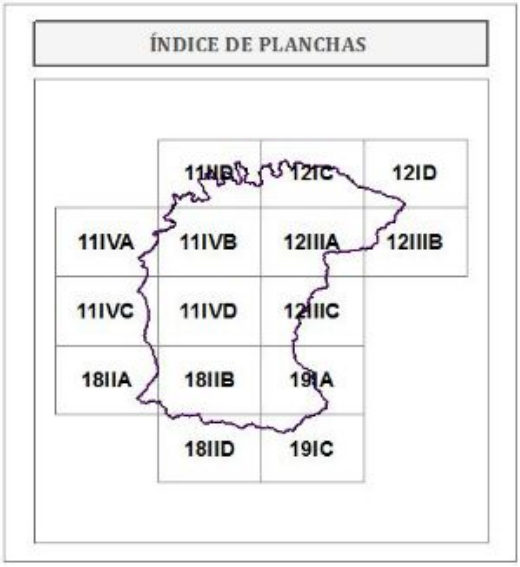
En Fase de Aprestamiento, la primera etapa de trabajo consiste en la recopilación, síntesis, análisis y validación de información existente teniendo en cuenta los estudios realizados anteriormente por entidades oficiales, zonificaciones previas en los planes de ordenamiento territorial e investigaciones geológicas previas realizadas para el área de la cuenca.

De acuerdo al análisis de anteriores investigaciones, se compila la información geológica bibliográfica disponible, georreferenciada, evaluada e interpretada, integrando ésta con la cartografía realizada a escala 1:25.000 para geología básica con fines de ordenación de cuencas y geomorfología para zonificación de amenazas naturales, realizando actividades de procesamiento se genera el mapa cualitativo a escala 1:25.000 de los materiales superficiales.

Partiendo de la base cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000 (Figura 3.32), para la interpretación de sensores remotos, se tiene en cuenta un modelo digital de elevación elaborado a partir de imágenes de radar adquirida de la plataforma Alos Palsar, donde se obtuvo un modelo de sombras del terreno, mapa de pendientes, variables que se integraron con

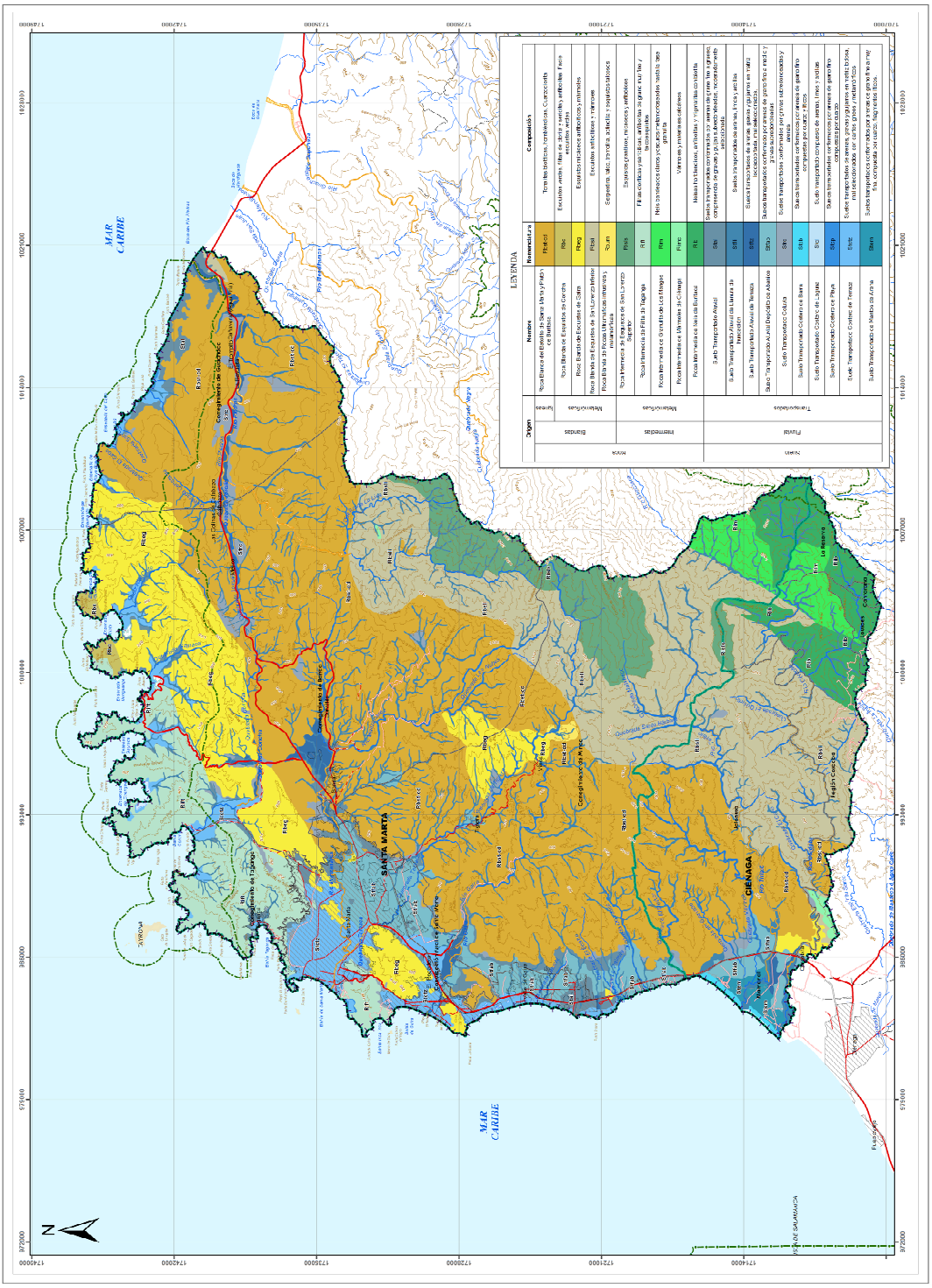
imágenes de satélite tipo Rapideye (2013 – 2014), realizando fotointerpretación que permite detallar con mayor precisión las unidades identificadas diferenciando macizos rocosos y suelos (depósitos) en cada unidad geológica, obteniendo como resultado la salida cartográfica preliminar (Figura 3.33) para unidades geológicas superficiales.

Figura 3.32. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000.



Planchas que componen el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. Fuente IGAC.

Figura 3.33. Salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 para Unidades Geológicas Superficiales


LEYENDA
MAR CARIBE
SANTA MARTA
CIÉNAGA
Convenciones
Cabeceras municipales
Centros poblados
Vías
Ríos principales
Quebradas
Cuerpos de agua
Límite Municipal
Límite Departamental
Límite POMCA
Límite Parque Nacional Natural
Límite Distrito de Manejo Integrado
Límite Reserva Forestal Protectora
Límite Reserva Forestal Protectora Nacional
Límite Reserva Natural de la Sociedad Civil
Límite Reserva Forestal
Límite Parque Natural Regional
Límite Área de Recreación
Límite Área Protegida
Límite Área Protegida Regional
Límite Área Protegida Nacional
Límite Área Protegida Distrital
Límite Área Protegida Municipal
Límite Área Protegida Local
Límite Área Protegida Privada
Límite Área Protegida Comunitaria
Límite Área Protegida Indígena
Límite Área Protegida Afrocolombiana
Límite Área Protegida Mixta
Límite Área Protegida Binacional
Límite Área Protegida Trinacional
Límite Área Protegida Multinacional
Límite Área Protegida Transfronteriza
Límite Área Protegida Transnacional
Límite Área Protegida Internacional
Límite Área Protegida Global

3.4.2.2. *Comprobación y Control de Campo.*

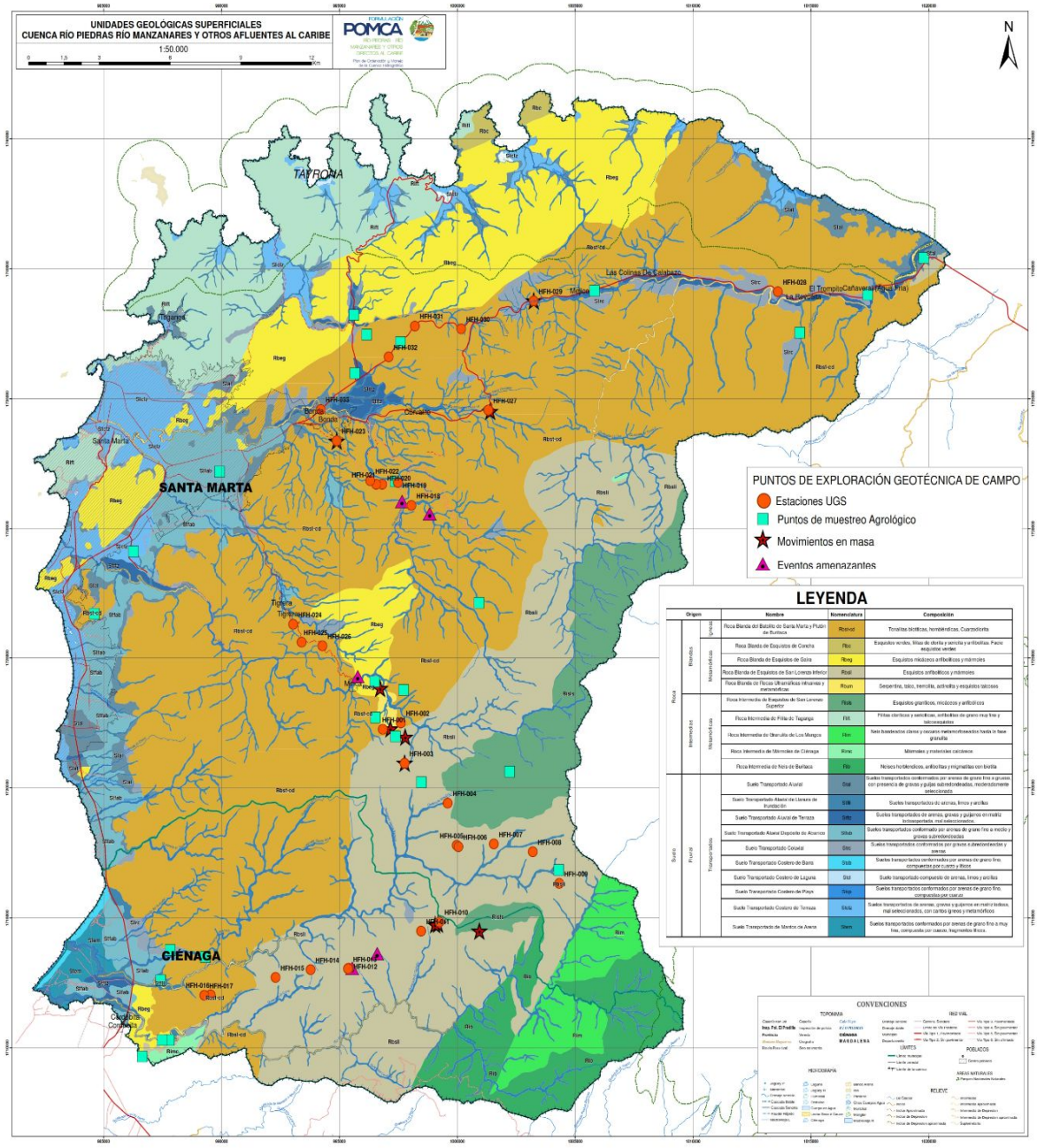
Corresponde a la toma de datos directamente en campo con el fin de efectuar un control cartográfico sobre los datos previamente interpretados, a partir de la recolección de información geológica donde se describe el tipo de material (roca o suelo) identificado, se diferencian los materiales de acuerdo al grado de meteorización, estado de discontinuidades, grados de fracturamiento y resistencia geológica, así mismo se diferenciaron los tipos de suelo (depósitos) de acuerdo a su origen, granulometría, consistencia y compacidad.

Esta clasificación de materiales en geología para ingeniería, se basa principalmente en la caracterización de las propiedades físicas y su estado actual, la identificación de factores como origen, diagénesis, tectónica y los procesos de meteorización (Físico, químico, biológico), determinan el comportamiento geo mecánico de estos. Se realizaron recorridos por los sectores necesarios para la comprobación en puntos específicos ya establecidos en la salida cartográfica preliminar, para la correcta identificación de materiales y la toma de parámetros ingenieriles necesarios para complementar y detallar la delimitación final de los materiales superficiales. Esta actividad se realizó en conjunto con el equipo social debido a la importancia que tiene la participación ciudadana, estableciendo actores sociales en la zona para el debido acompañamiento en los recorridos a realizar de acuerdo a las transectas programadas recogiendo la información y las problemáticas más preocupantes para la comunidad teniendo en cuenta la temática a desarrollar. El recorrido para la caracterización de unidades geológicas superficiales hace parte de la ruta de la tierra establecida por el equipo social, donde se desarrollaron charlas explicativas informales, actividades de campo con explicación de la información a recopilar y conceptos básicos de identificación de materiales superficiales y uso de los mapas donde se recolecta la información de los participantes en diarios de ruta establecidos.

De acuerdo al itinerario programado, se realizó el recorrido por el área de la cuenca, haciendo caracterización de unidades geológicas superficiales, identificación de eventos amenazantes como movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales y avenidas torrenciales, donde se efectuaron 33 levantamientos de caracterización de UGS, 10 movimientos en masa y 5 eventos amenazantes, información que se adjunta en el Anexo 03 correspondiente a la Cartera de campo que contiene número de estación, coordenadas y descripción de lo observado para UGS y se ilustra en el Anexo 04 que corresponde a las fotografías tomadas en cada estación, agrupadas en carpetas, las cuales relacionan el número de las estaciones de la cartera de campo.

Se tiene en cuenta el documento correspondiente al anexo que define los alcances técnicos de la consultoría para la elaboración del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501) en el numeral 2. Especificaciones técnicas para los mapas y salidas cartográficas, se determina la escala de producción a 1:25.000 teniendo en cuenta el insumo de geología a partir del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, en el cual se detallan las actividades de campo a tener en cuenta de acuerdo a las hectáreas de terreno que conforman la cuenca, indicando el análisis que se debe realizar para establecer transectas estratégicas con el fin de obtener el control cartográfico de unidades geológicas superficiales (Figura 3.34).

Figura 3.34. Salida Cartográfica con estaciones de control de campo para Unidades Geológicas Superficiales



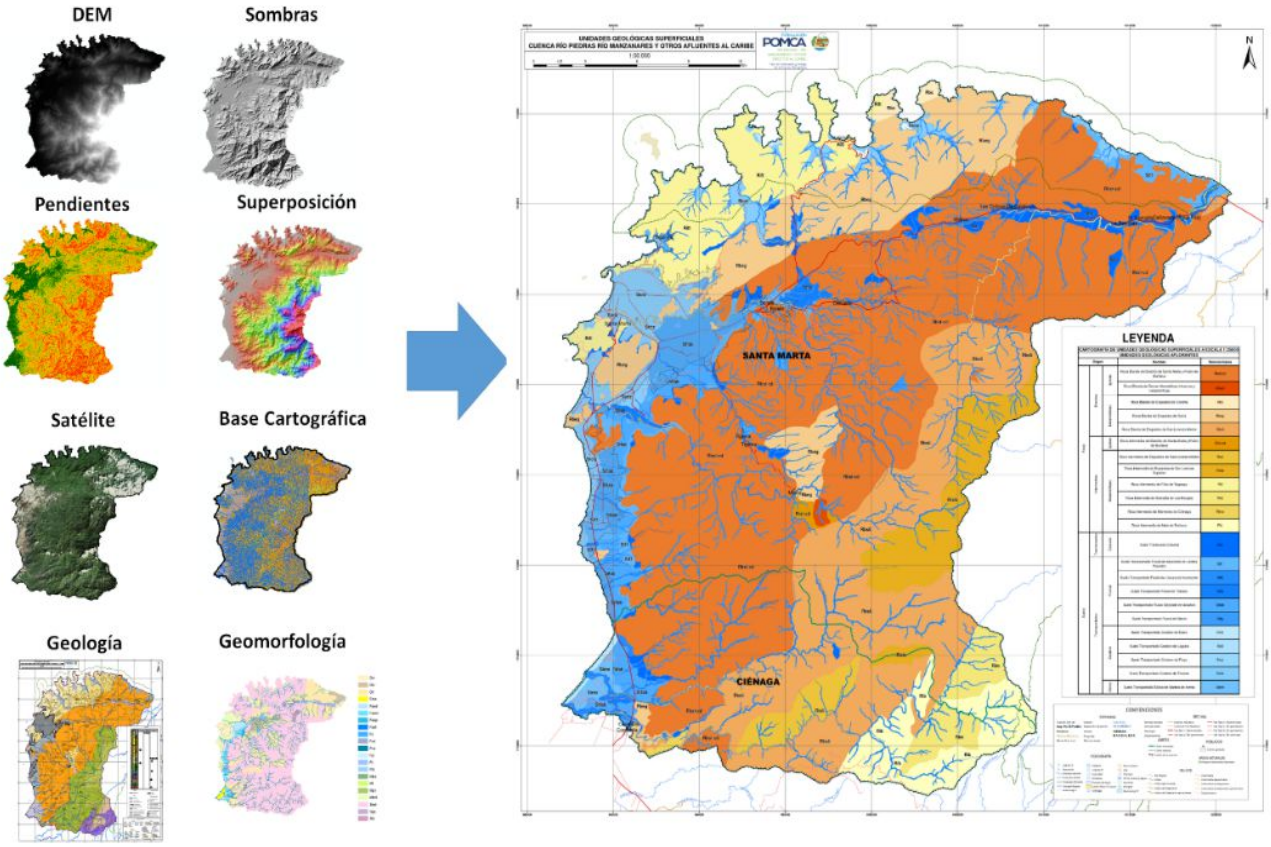
Para la georreferenciación de las estaciones de control en campo se utilizó un geoposicionador satelital Garmin eTrex vista HCX el cual presenta un margen de error aproximado de ± 5 m en la horizontal y de ± 7 m en la vertical.

3.4.2.3. *Resultados.*

Se ejecuta la digitalización de la información recopilada en campo, sistematizándola y aplicándola en la cartografía redefiniendo limites integrando los datos obtenidos en campo con la re-interpretación apoyado en las variables generadas a partir de modelo digital del terreno como el modelo de sombras, mapas de pendientes, y otros insumos como imágenes de satélite Rapideye, a partir de los materiales superficiales identificados como macizos rocosos aflorantes, suelos (Depósitos) identificados de acuerdo a su origen, elaborando los productos finales del insumo definidos en el anexo de alcances técnicos de la consultoría para la elaboración del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501), el cual contempla realización de los mapas que representan la información espacializada (Figura 3.35) y elaboración de la memoria técnica teniendo en cuenta los estándares definidos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) para la documentación de unidades geológicas superficiales.

Para elaborar la memora técnica, inicia de la recopilación y análisis de la información previa, integrada con el levantamiento de los datos en campo y se genera un modelo conceptual de la caracterización de unidades geológicas superficiales a escala 1:25.000 a partir del comportamiento geomecánico de los materiales para fines de ordenación de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe.

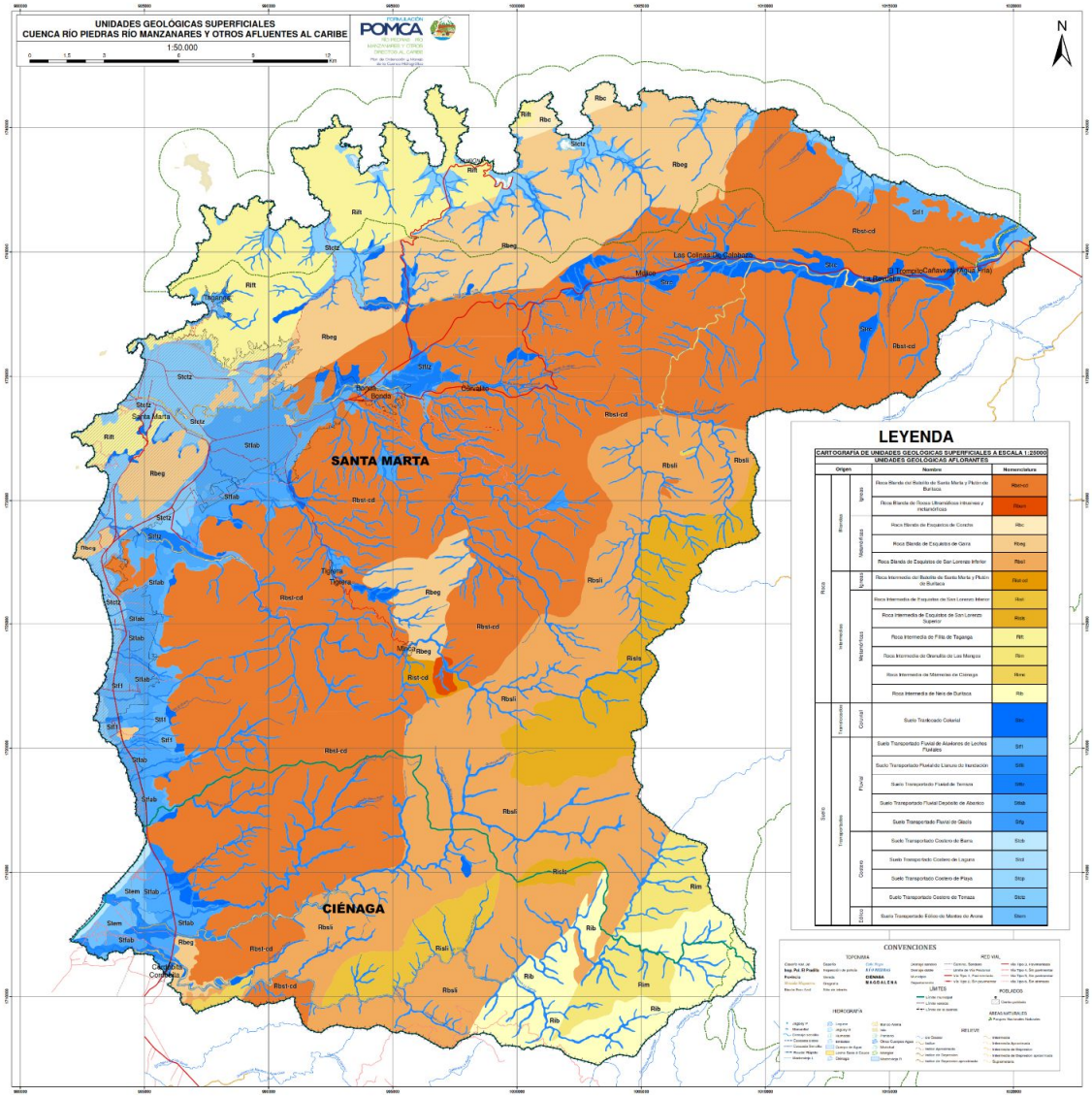
Figura 3.35. Insumos de apoyo utilizados para la interpretación de sensores remotos.



Integración de imágenes de satélite y variables geométricas generadas en el SIG para la interpretación y generación de la cartografía para Unidades Geológicas Superficiales

De acuerdo con el documento correspondiente al anexo que define los alcances técnicos de la consultoría para la elaboración del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe (1501) en el numeral 2. Especificaciones técnicas para los mapas y salidas cartográficas, se determina para el mapa que corresponde a unidades geológicas superficiales, la escala de presentación establecida es 1:25.000 obteniendo como resultado el mapa cartográfico de unidades geológicas superficiales (Figura 3.36) para el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Piedras – Manzanares y Otros Directos al Caribe

Figura 3.36. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe



Siguiendo la metodología se integró los puntos de muestreo de caracterización agrológica como se muestra en la Tabla 3.8 (Adjunta completa en el Anexo 5) con la información obtenida de macizos rocosos para las Unidades Geológicas Superficiales de acuerdo a los parámetros establecidos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

Tabla 3.8. Información extraída de los puntos de muestreo establecidos para caracterización agrológica integrado con la información de campo obtenida para la clasificación de Unidades Geológicas Superficiales.

TABLA DE MUESTREOS AGROLÓGICOS PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO PIEDRAS - MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE				
CÓDIGO MUESTRA	COORDENADAS (PLANAS ORIGEN BOGOTA)			OBSERVACIÓN DEL MATERIAL
	NORTE	ESTE	ALTURA	
P1	1710312	987791	77	Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica
P2	1710300	987481	47	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos
P3	1713504	989312	139	Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica
P4	1713767	987827	88	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas medias y finas
P50	1712606	987419	39	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos
P5	1735981	995655	88	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda
P7	1737470	996156	151	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda
P8	1738221	995613	40	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas
P51	1740420	1019795	7	Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)
P52	1739004	1017410	37	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas medias y finas
P53	1739159	1005819	179	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas
P55	1724089	996495	720	Esquistos micáceos anfibolíticos y mármoles
P9	1720217	998481	1328	Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)
P10	1721983	997382	1062	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita
P11	1722715	996529	827	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita
P12	1731817	997373	185	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda
P56	1720634	1002224	2223	Esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos con cuarcitas
P13	1716851	1004302	1570	Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)
P61	1709668	986640	82	Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica
SN-122	1723773	997728	1028	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita
SN-121	1726700	984602	53	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda
SN-99	1727124	1000927	968	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita
SN-120	1729135	986269	12	Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos

TABLA DE MUESTREOS AGROLÓGICOS PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO PIEDRAS - MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE				
CÓDIGO MUESTRA	**COORDENADAS (PLANAS ORIGEN BOGOTA)**			**OBSERVACIÓN DEL MATERIAL**
	NORTE	**ESTE**	**ALTURA**	
SN-116	1732204	989920	23	Depósitos de cantos y gravas subredondeados, arenas
MG-91	1737178	997593	179	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita
P-5	1737548	1014533	132	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos
MG-68	1739348	1006642	173	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita

3.4.3. Factores considerados para caracterizar las unidades de roca.

La caracterización de unidades de roca se basa en las propiedades físicas, que dependen de la combinación de aspectos como el origen, tectonismo, vulcanismo, los grados de metamorfismo y los procesos de meteorización, factores que determinan el comportamiento geomecánico de estos materiales en superficie (deformabilidad, resistencia, durabilidad y permeabilidad, entre otros). Para la identificación y caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales se determinan parámetros y comportamientos que inciden en los macizos rocosos causando variabilidad en la calidad de los mismos, aspectos como la litología, resistencia a la compresión simple (dureza), el grado de fracturamiento, condición y comportamiento de las discontinuidades, grado de meteorización, entre otras.

A continuación, se explican los parámetros establecidos para la determinación y caracterización de Unidades Geológicas Superficiales en el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe

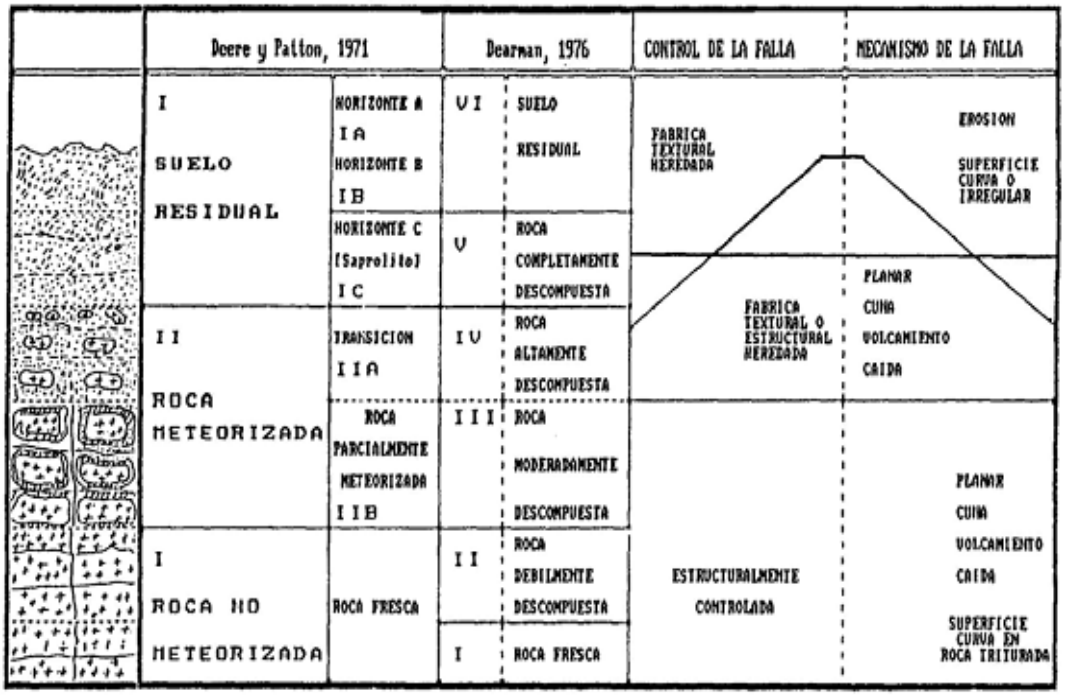
3.4.3.1. *Composición litológica*

La composición mineralógica de las rocas es un factor fundamental que determina el comportamiento ante los diferentes procesos físicos (clima, agua, viento), y la dinámica interna que incide en la composición y disposición de los minerales (esfuerzos compresivos y extensivos).

3.4.3.2. *Grado de meteorización*

Se define como el cambio y la descomposición química y física de las rocas “in situ” presentes en la superficie de la tierra, causando variaciones en su composición y propiedades geomecánicas de los materiales, lo cual nos ayuda a definir la formación en algunos sectores de suelos residuales, estabilidad de las laderas y que acción se tiene a causa de los procesos erosivos. Para la definición del grado de meteorización de las rocas se tiene en cuenta los perfiles generados por Deere- Patton (1971) y Dearman (1976) como se muestra en la Figura 3.37

Figura 3.37. Perfil de Meteorización Deere-Patton integrado con la clasificación de Dearman



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

3.4.3.3. *Grado de Fracturamiento o discontinuidades.*

Las discontinuidades se definen como planos o fracturas de origen geomecánico o sedimentario los cuales separan bloques de roca, para la clasificación del grado de fracturamiento en base al espaciamiento de las discontinuidades, se tiene en cuenta la establecida en la Tabla 3.9 a partir de lo propuesto por Bieniawsky (1979), Dearman (1991) y Medina (1991).

Para caracterizar discontinuidades en macizos rocosos, se integran otros parámetros geométricos como orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia en la pared, abertura, tipo de relleno, presencia de agua, número de familias de diaclasas y tamaños de los bloques, además se toma información del Índice de Fracturamiento (J_v), Índice de clasificación de la calidad del macizo rocoso (R.Q.D.) y el Índice Geológico de Resistencia (G.S.I.) en macizos rocosos, definidos también en este capítulo.

Tabla 3.9. Condición de fracturamiento de las rocas.

CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO DE ROCAS					
INVERVALO DE SEPARACIÓN (espaciamiento)	>2 m (Mayor de 200 cm)	60 - 200 cm	20 - 60 cm	6 - 20 cm	< 6 cm (Menor de 6 cm)
CLASIFICACIÓN (Grado de Fracturación)	MASIVA	POCO FRACTURADA	FRACTURADA	MUY FRACTURADA	FRAGMENTADA O TRITURADA
CARACTERISTICAS	Discontinuidades bastante espaciadas (mayor de 2 m)	Fracturas regularmente espaciadas a ampliamente espaciadas	Fracturas próximas o moderadamente espaciadas	Fracturas muy próximas o estrechamente espaciadas. Las rocas se separan en bloques tabulares	La roca se presenta triturada, astillosa y se separan en lajas con facilidad
*Según Bieniawsky (1979), Dearman (1991) y Medina (1991)					

3.4.3.4. *Índice de Fracturamiento (J_v)*

Calcula la intensidad de fracturamiento en un macizo rocoso definiéndolo a partir de la sumatoria de discontinuidades por familia, encontrados por metro cúbico, identificado en afloramiento. De manera práctica, para medir este valor, se suma las discontinuidades de la misma familia, encontradas por tramo o longitud variable entre 2 y 10 m, medidos de forma perpendicular en la dirección de cada familia

$$J_v = \Sigma \text{ (Numero de discontinuidades por familia/longitud (m))}$$

Mediante este valor encontrado y de acuerdo con lo sugerido por la ISRM (1981), se puede estimar el tamaño del bloque (Tabla 3.10)

Tabla 3.10. Descripción del tamaño del bloque en función del número de discontinuidades.

Clase	Descripción	J_v (discontinuidades / m³)
I	Bloques muy grandes	< 1
II	Bloques grandes	1 – 3
III	Bloques medianos	3 – 10
IV	Bloques pequeños	10 – 30
V	Bloques muy pequeños	> 30
VI	Macizo brechificado	> 60

Fuente: Tomado de ISRM (1981).

Teniendo en cuenta las correlaciones de campo, se determinaron rangos de calidad apreciativos para un macizo rocoso relacionándolo con el Índice de Fracturamiento-Jv (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Calidad del macizo rocoso según el índice de fracturamiento.

Roca Dura	J_v: <1 - 3 Fr/m^3
Roca Intermedia	J_v: 4 - 30 Fr/m^3
Roca Blanda	J_v: 31 - > 60 Fr/m^3

3.4.3.5. *Descripción de las discontinuidades*

Los tipos de discontinuidades que se diferencian en un macizo rocoso incluyen las diaclasas, planos de estratificación, laminación, foliación, fallas, diques y contactos litológicos entre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. La orientación de las familias de discontinuidades con respecto a la dirección que presentan los taludes, teniendo en cuenta parámetros como su persistencia, abertura, espaciamiento, rugosidad y resistencia de las paredes, permiten determinar en un macizo rocoso su comportamiento ante cargas, cortes o excavaciones (SGC, 2016).

3.4.3.6. *Densidad de Fracturamiento o Índice (RQD)*

El parámetro RQD (Rock Quality Designation) permite estimar el grado de fracturamiento del macizo rocoso por unidad de volumen. En la práctica el RQD depende indirectamente del número de fracturas y el grado de alteración del macizo rocoso (Tabla 3.12). El RQD se integra a partir de otras características anteriormente descritas como orientación, separación y tipo de relleno.

Para la determinación en campo del RQD, se calcula a partir del índice de fracturamiento J_v ya medido previamente.

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad \text{para } J_v > 4.5$$
$$RQD = 100 \quad \text{para } J_v \leq 4.5$$

Tabla 3.12. Rangos de RQD para clasificar la calidad del macizo rocoso.

Calidad del Macizo	Valor RQD (%)
Muy Buena	90 - 100
Buena	75 - 90
Media	50 - 75
Mala	25 - 50
Muy Mala	< 25

Fuente: Tomado de Gonzales y Vallejo, 2002.

3.4.3.7. *Parámetros de resistencia*

Mediante métodos cualitativos se estiman los parámetros de resistencia a la compresión simple, según índices de campo de la International Society of Rock Mechanics (ISRM) como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Índices de campo la determinación de la resistencia a la compresión simple.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a la compresión (MPa)
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25-1
R_1	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza, con la navaja se talla con dificultad	1-5
R_2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas, con la navaja se talla con dificultad	5-25
R_3	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse, con la navaja no puede tallarse	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes del martillo para fracturarla	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo solo saltan esquirlas	>250

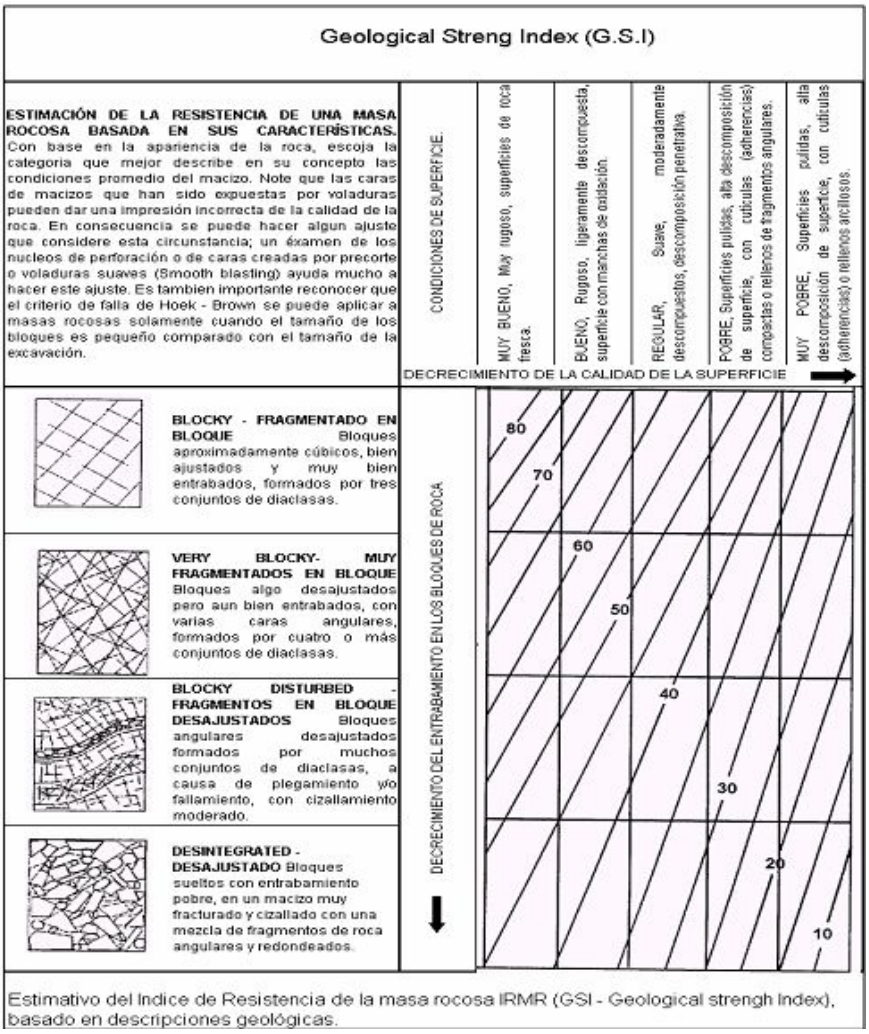
Fuente: Tomado de International Society of Rock Mechanics (ISRM), 1981.

3.4.3.8. *Índice geológico de Resistencia (GSI)*

Mediante la estimación de la resistencia en un macizo rocoso, evalúa la calidad del mismo en función del grado y características del fracturamiento, estructura geológica, mediante el tamaño de los bloques, alteración de discontinuidades y el grado de meteorización. La determinación del GSI permite la calificación del macizo rocoso entre 0 y 100, con base en observaciones visuales en afloramientos naturales o superficies de excavación tales como cortes de carreteras - túneles (Figura 3.38).

Estos parámetros se encuentran relacionados estrechamente con la dureza de los materiales, permitiendo conocer la resistencia que oponen las rocas a una acción puntual, valores que se tienen en cuenta y se integra con los parámetros anteriormente descritos para la definición de las Unidades Geológicas Superficiales y su respectiva correspondencia.

Figura 3.38. Factor GSI para macizos rocosos.



Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

3.4.3.9. *Clasificación del Macizo Rocoso - RMR (Rock Mass Rating)*

La clasificación RMR se utiliza para la caracterización de macizos rocosos desarrollado por Bieniawski (1989), correlacionando los parámetros que establecen la calidad de las rocas, a partir de características como la resistencia a la compresión simple, GSI, RQD, espaciamiento entre discontinuidades y condición de las mismas. Este sistema califica cada factor mencionado asignándole valores realizando una sumatoria, obteniendo un valor correspondiente a la calidad del macizo rocoso establecido en la Tabla 3.14

Tabla 3.14. Sistema de calificación del RMR para determinar la calidad de macizos rocosos de Bieniawski (1989).

Resistencia de la Roca (Mpa)	RQD (Calidad)	Espaciamiento de discontinuidades (mm-m)	Condición de las discontinuidades	Agua subterránea (Lit/Min)	Clases RMR
1-25 (0-2)	<25 Muy mala (3)	<60 mm (5)	Relleno blando >5 mm (0)	Flujo (0)	Roca muy pobre <20
25-50 (4)	25-50 Mala (8)	60-200 mm (8)	Superficies pulidas, gouge <5 mm (10)	Goteo (4)	Roca pobre (21-40)
50-100 (7)	50-75 Media (13)	200-600 mm (10)	Superficie ligeramente rugosa, altamente meteorizada, separación <1 mm (25)	Mojado (7)	Regular (41-60)
100-250 (12)	75-90 Buena (17)	0.6 m – 0.2 m (15)	Superficie ligeramente rugosa, ligeramente meteorizada, separación <1 mm (25)	Húmedo (10)	Buena (61-80)
<250 (15)	90-100 Muy buena (20)	>2 m (20)	Superficie muy rugosa, no continua, cerradas, no meteorizadas (30)	Seco (15)	Muy buena (81-100)

Para la obtención de parámetros como peso unitario seco kN/m^3, cohesión en MPa y ángulo de fricción se tuvo en cuenta la relación establecida en la Tabla 3.15, la porosidad se obtuvo a partir de la relación en la Tabla 3.16, características determinadas a partir de información secundaria.

Tabla 3.15. Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas.

Tipo de Roca	Peso Unitario Seco kN/m^3	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
Rocas Ígneas duras: granito, basalto	25 - 30	35 - 55	35 - 45
Rocas Metamórficas: cuarcita, gneis, pizarras	25 - 28	20 - 40	30 - 40
Rocas Sedimentarias duras: caliza, dolomita, arenisca	23 - 28	10 - 30	35 - 45
Rocas Sedimentarias blandas: arenisca, lutitas, limolitas	17 - 23	1 - 20	25 - 35

Fuente: Tomado de Suarez (1998), modificado de Hoek y Bray, 1981

Tabla 3.16. Valores generales para Porosidad Total y Porosidad Eficaz

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Rocas masivas	0,3 - 8	0,2 - 0,5
Rocas Volcánicas	2 - 30	1 - 20
Rocas Sedimentarias Consolidadas	5 - 20	1 - 10
Rocas Sedimentarias Sueltas	25 - 50	2 - 25

Fuente: Tomado Collazos y Montaño, 2012

3.4.4. Factores considerados para caracterizar las unidades de suelo.

Se definen como suelos aquellos materiales sueltos o inconsolidados, compuestos de una mezcla de materia orgánica, fragmentos de roca, arcilla y minerales, producto de la descomposición in sitú del material rocoso o de sedimentos transportados por diferentes medios, considerados como materiales fácilmente excavables, aún por métodos manuales. Se clasifican como suelos transportados (aluviales, glaciares, eólicos, entre otros) y suelos translocados (depósitos de gravedad-coluvial).

La descripción de estos materiales se realiza a partir de los parámetros establecidos por el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas teniendo en cuenta características como textura (Tabla 3.17), consistencia (Tabla 3.18), densidad relativa (Tabla 3.19), humedad natural (Tabla 3.20) y resistencia a la compresión simple para suelos (Tabla 3.21).

Tabla 3.17. Descripción de la textura de suelos – tamaño

Tamaño (mm)	Término
> 300	Bloques
300 - 75	Cantos
75 - 19 19 - 4,75	Gravas • Gruesas • Finas
4,75 - 2,0 2,0 - 0,425 0,425 - 0,075	Arenas • Gruesas • Medias • Finas
< 0,075	Finos (Limos y Arcillas)

Fuente: Tomado Collazos & Montaño, 2012

Tabla 3.18. Terminología para describir la consistencia de un suelo arcillosos

Término	Resistencia al corte no drenado (kN/m²)	Prueba de Campo
Muy Blanda	< 20	Se escurre entre los dedos al apretarse en la mano
Blanda	20 - 40	Se puede penetrar fácilmente con el dedo pulgar y se puede moldear mediante ligera presión de los dedos
Media	40 - 75	El pulgar penetra con esfuerzo y puede ser moldeado con una presión fuerte de los dedos
Alta	75 - 150	El pulgar deja solo una marca y no puede ser moldeado entre los dedos
Muy Alta	150 - 300	Se puede marcar con la uña del pulgar y el cuchillo penetra cerca de 15 mm
Dura	> 300	No puede ser marcado con la uña del pulgar

Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

Tabla 3.19. Terminología para describir la densidad relativa de los suelos arenosos

Término	Prueba de Campo
Suelta	Puede ser excavada con pala. Se puede introducir fácilmente con una puntilla de 50 mm. Fácilmente triturado entre los dedos
Densa	Se requiere pica para ser excavado. Una puntilla de 50 mm es introducida con dificultad. Se puede triturar entre los dedos con una presión fuerte
Muy Densa	Con la pica se remueven terrones que pueden ser desintegrados

Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

Tabla 3.20. Terminología para describir la humedad en el campo

Descripción de la Humedad por observación del material desplazado	
Seco	No hay humedad visible
Húmedo	Contiene algo de humedad, pero no se observa agua libre; el material se puede comportar plásticamente pero no fluye
Mojado	Contiene humedad suficiente para comportarse en parte como un líquido, pero éste no fluye
Muy Mojado	El agua fluye de la pasta de suelo

Fuente: Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

Tabla 3.21. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple de suelos cohesivos.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a la compresión simple (Mpa)
S_1	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios centímetros	<0.0025
S_2	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios centímetros	0.0025-0.05
S_3	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0.05-0.10
S_4	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.10-0.25
S_5	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25-0.50
S_6	Suelo duro	Se marca con facilidad al presionar la uña	>0.50

Fuente: Tomado de ISRM (1981).

3.4.5. Unidades Del Área De Influencia De La Cuenca Del Río Piedras – Manzanares Y Otros Directos Al Caribe

3.4.5.1. *Unidades de Roca*

Según la exploración geológica se identificaron unidades de macizos rocosos, los cuales se clasificaron en rocas blandas e intermedias según sus propiedades físico-mecánicas determinadas en campo.

De acuerdo con los factores considerados en la metodología para el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, estas unidades de roca las cuales son de origen ígneo y metamórfico se describen según el tipo de material, edad, grado de meteorización y origen.

3.4.5.1.1. *Roca Intermedia*

Se identifica en la cartografía con las letras Ri, rocas de dureza media, moderadamente fracturadas, con espaciamientos entre 20 y 60 cm de las discontinuidades, generalmente presentan grado de meteorización II – IV según la clasificación de Dearman (1976), índice de resistencia geológico entre 30 – 60%, con índice de fracturamiento J_v que varía entre 4 – 30 fr/m^3 correspondiente a tamaño de bloques que pueden variar de medianos a pequeños y la calidad del macizo rocoso (RMR) se clasifica entre regular y pobre.

❖ **Roca Intermedia del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (Rist-cd)**

Unidad de roca presente hacia la zona central de la cuenca, aflorante en la vereda El Campano del municipio de Santa Marta, comprendida por macizos rocosos moderadamente descompuestos, grado III en el perfil de meteorización de Dearman (1976), con resistencia a la compresión simple de 50 y 100 MPa, calidad de macizo rocoso medio (RQD = 50 - 75%), índice de fracturamiento entre 3 y 10 fr/m^3 correspondiente a bloques medianos, con un índice geológico de resistencia GSI entre 45 - 60, calidad de macizo rocoso de roca buena (Figura 3.39). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 35 - 55 Mpa, peso unitario seco de 25 - 30 kN/m^3, ángulo de fricción de 35° a 45°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Para Hernández M., corresponde a cuerpos de rocas ígneas intrusivas posiblemente del Paleógeno-Eoceno, de composición tonalítica y de rocas híbridas que afloran en la zona de contacto de esquistos; intruyendo las rocas metamórficas del Jurásico -Cretácico.

Figura 3.39. Afloramiento de roca intermedia del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá



Identificado en la vía que comunica Minca -La Tagua, margen derecho de la vía. Coordenadas: N 1722510, E 997607, Altura 1133 msnm.

❖ **Roca Intermedia de Esquistos de San Lorenzo Inferior (Risli)**

Unidad de roca aflorante hacia la zona sur de la cuenca, en la vereda Córdoba del municipio de Ciénaga, comprendida por macizos rocosos débilmente descompuestos a moderadamente descompuestos, grado II a III en el perfil de meteorización de Dearman (1976), con resistencia a la compresión simple de 50 a 100 MPa, calidad de macizo rocoso medio aunque en algunos sectores bueno (RQD = 60 – 80%), índice de fracturamiento entre 10 y 30 fr/m^3 correspondiente a bloques pequeños, con un índice geológico de resistencia GSI entre 50 y 65, calidad de macizo rocoso de roca buena (Figura 3.40). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Tschanz (1969), designa un conjunto de rocas metamórficas conformadas por esquistos grafitosos, esquistos cuarzo micáceo y cuarcitas.

Figura 3.40. Afloramiento de roca intermedia de Esquistos de San Lorenzo Inferior



Identificado en camino de herradura que conduce de la Vereda Agua Linda con El Vergel del municipio de Ciénaga. Coordenadas: N 1714850, E 999248, Altura 1546 msnm

❖ **Roca Intermedia de Esquistos de San Lorenzo Superior (Risls)**

Unidad geológica superficial localizadas en las veredas El Campano, La Tagua, San Isidro y El Boqueron del municipio de Santa Marta, donde se presentan macizos rocosos moderadamente descompuestos, en el grado III de acuerdo al perfil de meteorización de Dearman (1976), con resistencia a la compresión simple de 50 a 100 MPa, con calidad de roca medio (RQD = 50 - 75%), índice de fracturamiento correspondiente a bloques medianos - pequeños, con J_v entre 4 y 30 fr/m^3, presentando un índice de resistencia geológico GSI entre 45 y 55, calidad de macizo rocoso RMR de acuerdo a Bieniawski de roca regular. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 – 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Tschanz la define por esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos; con cuarcitas micáceas bien estratificadas de aspecto cristalino, compactas que preservan la estructura sedimentaria.

❖ **Roca Intermedia de Filita de Taganga (Rift)**

Unidad comprendida por macizos rocosos que aflora en el alto El Ziruma del municipio de Santa Marta, correspondiente a rocas débilmente descompuestas o de grado II según Dearman (1976), con resistencia a la compresión simple R4 de 50 a 100 MPa según ISRM (1981), asociada a calidad de roca media a partir del Rock Quality Designation (RQD = 50 – 75%), tamaño de bloques medianos de acuerdo al índice de fracturamiento J_v entre 3 y 10 fr/m^3, índice de resistencia geológico GSI entre 40 y 55, con calidad de macizo rocoso (RMR de Bieniawski, 1989) de roca regular. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28

kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 – 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Para Tschanz (1969), esta unidad está formada por filitas cloríticas y sericíticas de color verde claro con una foliación pizarrosa; dentro de esta unidad se encuentran en menor proporción otros tipos de rocas como anfibolitas de grano fino y talco esquistos, también unas rocas masivas, pero ligeramente esquistosas de grano medio a grueso.

❖ **Roca Intermedia de Granulita de Los Mangos (Rim)**

Unidad geológica superficial comprendida por macizos rocosos moderadamente descompuestos (grado III de meteorización a partir de la clasificación de Dearman, 1976), según el ISRM (1981) presenta una resistencia a la compresión simple de R4 entre 50 y 100 MPa, con calidad de roca media (RQD = 50 – 75%), con un índice de fracturamiento J_v entre 4 – 30 fr/m^3 correspondiente a tamaño de bloques medianos - pequeños, presenta un índice de resistencia geológico GSI de 40 – 50, la calidad de macizo rocoso en base al RMR de Bieniawski (1989) es de roca regular. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Para Tschanz (1969), esta unidad se compone de bandas paralelas alternantes de granulitas máficas a Ultramáficas densas, de tono oscuro, gránulos graníticos de tonos claros y composición intermedia. Se presentan delgadas de capas de mármol diópsido o rocas calcosilicatadas, con granulitas de grano medio a grueso, bien foliadas, de textura granoblástica.

❖ **Roca Intermedia de Mármoles de Ciénaga (Rimc)**

Unidad comprendida por macizos rocosos moderadamente descompuestos (Grado III en la clasificación de Dearman, 1976), con resistencia a la compresión simple de R4 (50 – 100 MPa) a R5 (100 – 250 MPa), calidad de roca media en base al Rock Quality Designation (RQD) de valor entre 50 y 75%, tamaño de bloques medianos – pequeños en base a un índice de fracturamiento J_v entre 4 – 30 fr/m^3, índice de resistencia geológico GSI de 45 – 60, de acuerdo a Bieniawski (1989) se clasifica como roca regular con valores entre 41 y 60. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Tschanz (1969) define composicionalmente la unidad por mármoles impuros arenosos y dolomitas; no contienen minerales metamórficos, lo que es difícil de explicar debido a que la temperatura de metamorfismo excede la trayectoria normal de reacción del cuarzo y la dolomita.

❖ **Roca Intermedia de Neis de Buritacá (Rib)**

Unidad geológica superficial comprendida por macizos rocosos moderadamente descompuestos (Grado III en la clasificación de Dearman, 1976), resistencia a la compresión simple entre 50 y 100 MPa (R4 según el ISRM de 1981), con calidad de roca media (RQD = 50 – 75%), índice de fracturamiento con valores de J_v entre 4 y 30 fr/m^3, con un índice de resistencia geológico variable de 40 a 55, y una calificación del Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1989) como roca Regular

con valores menores a 60, parámetros que definen la unidad como roca intermedia. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Composicionalmente Tschanz et al. (1969), agrupa todos los neises meta ígneos máficos y migmatíticos que contienen asociación mineral de las facies anfibolita almandino. Son neises de hornblenda – plagioclasa, anfibolitas y migmatitas que contienen principalmente hornblenda y plagioclasa con menor cantidad de cuarzo, biotita y epidota baja en hierro.

3.4.5.1.2. *Roca blanda*

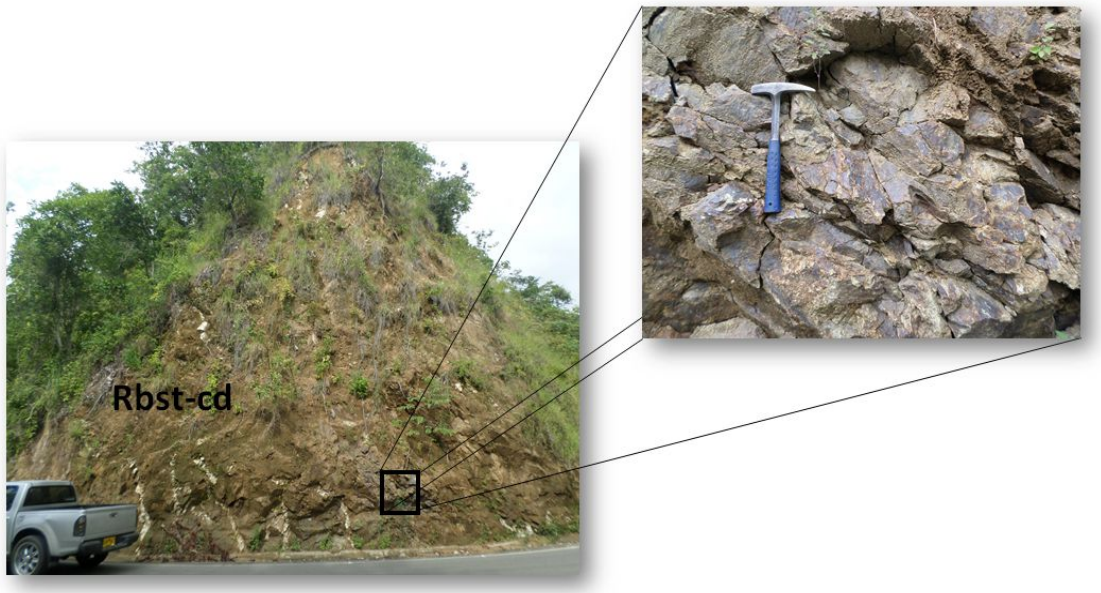
Esas unidades se identifican con las letras Rb, se caracterizan por presentar dureza que varía entre blanda y muy blanda, con meteorización moderada – alta (grado III a grado V), según la clasificación de Dearman (1976), índice de resistencia geológico GSI entre 20 – 60 %, tamaño de bloques pequeños a macizo brechificado presentando un J_v entre 31 y >60 fr/m^3 y calidad de macizo rocoso que varía de pobre a muy pobre en base al sistema de clasificación RMR.

❖ **Roca Blanda del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá (Rbst-cd)**

Unidad geológica superficial que corresponde a macizos rocosos moderadamente descompuestos (grado III de la clasificación de Dearman, 1976) con una resistencia a la compresión simple entre 5 y 25 MPa (R2 en la caracterización del ISRM, 1981), con calidad de roca mala con RQD = 25 – 50, índice de fracturamiento J_v entre 10 y 30 fr/m^3 que corresponde a bloques pequeños, con un índice de resistencia geológico (GSI) con valores variables entre 30 y 40, caracterizada a partir del RMR de Bieniawski (1989) en roca pobre (Figura 3.41). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 35 – 55 Mpa, peso unitario seco de 25 – 30 kN/m^3, ángulo de fricción de 35° a 45°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Para Hernández M., corresponde a cuerpos de rocas ígneas intrusivas posiblemente del Paleógeno-Eoceno, de composición tonalítica y de rocas híbridas que afloran en la zona de contacto de esquistos; intruyendo las rocas metamórficas del Jurásico -Cretácico.

Figura 3.41. Afloramiento de roca blanda del Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritacá



Identificado en la vía que comunica Santa Marta con Minca, en la vereda Mazinga, Coordenadas: N 1726304, E 993038, 232 msnm

❖ **Roca Blanda de Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas (Rbum)**

Unidad geológica superficial que aflora en la vía que comunica Minca con La Tagua (municipio de Santa Marta), comprendida por rocas moderadamante descompuestas equivalentes al grado III de clasificación de Dearman (1976), una resistencia a la compresión simple entre 5 y 25 (R2 según el ISRM, 1981), con calidad de roca mala (RQD = 25 – 50), tamaño de bloques pequeños de acuerdo al índice de fracturamiento Jv con valores entre 10 y 30 fr/m3, índice de resistencia geológico (GSI) entre 20 y 30, obteniendo a partir de estos parámetros una calidad de macizo rocoso según el Rock Mass Rating (RMR) de roca pobre. De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 35 – 55 Mpa, peso unitario seco de 25 – 30 kN/m3, ángulo de fricción de 35° a 45°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5% (Figura 3.42).

Tschanz et al. (1969) define que la unidad está compuesta por rocas talco tremolita, tremolita masiva posiblemente metamorfoseada, hornblenda, piroxenos, periodotitos y rocas de talco serpentina o rocas de clorita talco-serpentina-tremolita, rocas intrusivas ultramáficas (con olivino), mármoles ricos en magnesio, piroxenitas y serpentina.

Figura 3.42. Afloramiento de roca blanda de Rocas Ultramáficas intrusivas y metamórficas



Identificado en la vía que comunica Minca con La Tagua (municipio de Santa Marta), Coordenadas: N 1722262, E 996838, Altura 1049 msnm

❖ **Roca Blanda de Esquistos de Concha (Rbc)**

Unidad de roca presente en área perteneciente al Parque Natural Nacional Tayrona (Vereda Calabazo), comprendida por macizos rocosos moderadamente descompuesta en base a la clasificación de Dearman (1976), resistencia a la compresión simple R2 con valores entres 5 – 25 MPa, con tamaño de bloques muy pequeños con un índice de fracturamiento J_v entre 31 y 60 fr/m^3, índice geológico de resistencia con valores variables entre 20 y 30, calidad de roca muy mala de acuerdo al Rock Quality Designation (RQD = < 25%), clasificación del macizo rocoso RMR de roca pobre con valores entre 21 y 40 a partir de la caracterización de Bieniawski (1989). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 - 40 Mpa, peso unitario seco de 25 - 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Unidad denominada por MacDonald et al. (1971) y Doolan (1971) definiéndola composicionalmente por esquistos talcosos, en menor proporción filitas cloríticas y anfibolitas de actinolita.

❖ **Roca Blanda de Esquistos de Gaira (Rbeg)**

Unidad de roca comprendida por macizos rocosos con grado III de meteorización correspondiente a rocas moderadamente descompuestas a partir de la clasificación de Dearman (1976), resistencia a la compresión simple de 5 – 25 MPa (R2 según el ISRM, 1981), un índice de fracturamiento J_v entre

10 – 30 fr/m^3 que corresponde a bloques pequeños, calidad de roca mala (RQD = 25 – 50%), con índice de resistencia geológico GSI entre 30 y 40, se clasifica de acuerdo al RMR como roca pobre con valores menores a 40 según Bieniawski (1989). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 – 40 Mpa, peso unitario seco entre 25 – 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Para Tschanz et al. (1969), la unidad se compone de esquistos anfibólicos densos, negros y mica-esquistos, la parte inferior presenta algunas capas de filita clorita con foliación crinkled, con pequeños cristales de cloritoide y espesartita. Los mica-esquistos son principalmente esquistos biotíticos, pero algunos contienen también moscovita.

❖ **Roca Blanda de Esquistos de San Lorenzo Inferior (Rbsli)**

Unidad de roca localizada en las veredas Campano, La Tagua Vira Vira, y Boqueron del municipio de Santa Marta, y veredas Cordoba, Agualinda y El Reposo del municipio de Ciénaga, comprendida por macizos rocosos con grado III de meteorización correspondiente a rocas moderadamente descompuestas a partir de la clasificación de Dearman (1976), resistencia a la compresión simple de 5 – 25 MPa (R2 según el ISRM, 1981), un índice de fracturamiento J_v entre 10 – 30 fr/m^3 que corresponde a bloques pequeños, calidad de roca mala (RQD = 25 – 50%), con índice de resistencia geológico GSI entre 30 y 40, se clasifica de acuerdo al RMR como roca pobre con valores menores a 40 según Bieniawski (1989). De acuerdo a información secundaria, la cohesión que presenta es de 20 – 40 Mpa, peso unitario seco de 25 – 28 kN/m^3, ángulo de fricción de 30° a 40°, porosidad total entre 0,3 - 8%, y porosidad eficaz de 0,2 a 0,5%.

Tschanz (1969), designa un conjunto de rocas metamórficas conformadas por esquistos grafitosos, esquistos cuarzo micáceo y cuarcitas.

Figura 3.43. Afloramiento de roca blanda de Esquistos de San Lorenzo Inferior



Identificado en la vía que comunica Minca con La Tagua, en la vereda El Campano. Coordenadas: N 1717748, E 1000047, Altura 1603 msnm.

3.4.5.2. *Unidades de suelo.*

De acuerdo con los factores considerados en el numeral 3.5.4 de la metodología, considerada para el área de la Cuenca Hidrográfica Río Piedras – Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se presentan las diferentes unidades de suelos que son de tipo transportado (fluvial, lagunar, terrazas, glacis, eólico, costero) y translocado (coluviales activos).

3.4.5.2.1. *Suelo Transportado Fluvial de Aluviones de Lechos Fluviales (Stf1)*

Están conformados por depósitos recientes, los cuales han sido transportados y acumulados a lo largo de los cauces. Estos depósitos son heterogéneos y varían desde arenas, gravas, cantos y en algunos sectores bloques de composición variada, que incluyen areniscas, calizas, rocas volcánicas, entre otros. Se identifican ampliamente distribuidos en el área de la cuenca, principalmente en las zonas con pendientes bajas.

En general, los depósitos están pobremente sorteados, compuestos principalmente de arenas finas, medias y gruesas, cantos y bloques, con una textura limosa, arenosa y gravosa, y matriz areno-limosa. La humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seco, de compacidad media, y permeabilidad baja a moderada.

3.4.5.2.2. *Suelo Transportado Fluvial de Llanura de Inundación (Stflli)*
Depósitos de material arenoso de grano fino a medio, con niveles de gravas embebidos entre arenas gruesas y con clastos de rocas principalmente. El depósito, presenta una textura arenosa, de granos subredondeados a redondeados y esfericidad baja, la humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seco y la permeabilidad presente es alta, de compacidad media a baja, resistencia a la compresión simple de S3 con valores entre 0,05 y 0,10 MPa según el ISRM (1981).

3.4.5.2.3. *Suelo Transportado Fluvial de Terraza (Stftz)*
Unidad de suelo transportado constituido principalmente por limos, arcillas y arenas de grano muy fino, de color gris claro a pardo rojizo, a causa de un ambiente oxidante, consistencia blanda, hacia los escarpes laterales se identifica intercalaciones de materia orgánica, arcillas arenosas de color café oscuro, húmeda, densa, con resistencia a la compresión simple de 0,05 a 0,10 MPa (S3 Suelo Firme), con espesores que pueden variar de 0,5 a 1,0 metros.

3.4.5.2.4. *Suelo Transportado Fluvial Depósito de Abanico (Stfab)*
Esta unidad se constituye de sedimentos con granulometría variada, pobremente sorteadas, angulosas, constituida principalmente de conglomerados, con matriz limoarcillosa, originada por flujos integrados con depósitos de movimientos en masa, esfericidad baja, humedad natural o condición de humedad es variable de acuerdo al sector, con espesores de 1 a 3 m, consistencia Media – Alta, resistencia a la compresión simple de 0,05 a 0,10 de acuerdo a los valores establecidos por el ISRM (1981).

3.4.5.2.5. *Suelo Transportado Fluvial de Glacís (Stfg)*
Esta unidad se presenta cartográficamente en el municipio de Santa Marta, en la zona centro del área de la cuenca, se constituye por arenas de grano fino, limos y gravas, disgregable, moderadamente seleccionada, con bloques angulosos, espesores de 0,5 a 2 m.

Se caracteriza por su textura areno-limosa, granos subredondeados – subangulares, con esfericidad baja, su humedad natural o condición de humedad es seco y permeabilidad moderada, con bloques de origen volcánico y metamórfico angulosos en matriz arenosa.

3.4.5.2.6. *Suelo Transportado Costero de Barra (Stcb)*
Esta unidad se identifica en el área norte del municipio de Santa Marta en sectores del PNN Tayrona, y en la zona sur de la cuenca, en área del municipio de Ciénaga en la vereda Cordobita. Se constituye por arenas de grano fino a muy fino, con matríz limoarenosa, es disgregable, friable, con granos moderadamente seleccionados, espesores entre 1 y 2 m.

Se caracteriza por su textura limoarenosa de granos subangulares - subredondeados y esfericidad baja, su humedad natural o condición de humedad es seco a mojado y de permeabilidad moderada. En algunos sectores estos depósitos presentan aportes de origen aluvial depositando algunas gravas en los márgenes de los cauces antes de llegar al contacto con aportes de sedimentación marinos.

3.4.5.2.7. *Suelo Transportado Costero de Laguna (Stcl)*
Depósito caracterizado por presentar arcillas y limos en el tope, con arenas en algunos sectores gravas en matriz muy fina. Las arenas presentan coloraciones ocres a blancas-amarillas y retrabajadas debido al transporte. Su espesor puede variar entre 1 y 3 m.

El suelo se caracteriza por presentar una textura de tipo arcillosa, arenosa y limosa heterogénea, con granos subredondeados a redondeados en las arenas y de esfericidad baja, la condición de humedad o la humedad natural según Varnes (1978) es seca y la permeabilidad puede variar entre moderada y buena en algunos sectores, de acuerdo a su consistencia es blanda y de plasticidad alta en las arcillas.

3.4.5.2.8. *Suelo Transportado Costero de Playa (Stcp)*
Se presenta cartográficamente en el borde norte y oeste del área de la cuenca. Depósitos muy recientes formados a partir de la acción del mar en el margen de la línea de costa formando áreas de playa. El suelo se compone por arenas de grano fino a medio, mal seleccionadas, de color blanco amarillento, retrabajadas en algunos sectores por la variación en las corrientes marinas, mal calibradas y en algunos sectores se identifican conchas que componen el depósito, con espesores variables entre 0,5 y 1 m.

Se caracteriza por presentar una textura arenosa, en algunas partes limosa, con granos redondeados a subredondeados con esfericidad media, la condición de humedad o humedad natural se presenta mojado, permeabilidad variable y consistencia media.

3.4.5.2.9. *Suelo Transportado Costero de Terraza (Stctz)*
Son depósitos de arenas de grano fino, medio a grueso, localmente lodosas con fragmentos de coral (cerebroides porites halimedas), algas, conchas de bivalvos, gasterópodos, artrópodos de 0,5 - 4 cm además de foraminíferos, fitolitos y ostrácodos. Espesores menores a 3 m.

El suelo, se caracteriza por presentar una textura arenosa, con tamaño de las partículas de finas a gruesas, clastos subredondeados a redondeados y de esfericidad baja, la humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seco y la permeabilidad es alta, su compacidad es floja.

3.4.5.2.10. *Suelo Transportado Eólico de Mantos de Arena (Stem)*
Esta unidad se presenta en el suroeste de la cuenca, hacia el municipio de Ciénaga, en la vereda Cordobita. Se constituye por arenas de grano fino y limos, es disgregable, moderadamente seleccionada y con una matriz limoarenosa, de espesores variables entre 1 y 3 m. Se caracteriza por su textura arenosa-limosa de granos subangulares a subredondeados y esfericidad baja, su humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seca y de permeabilidad baja a moderada. De acuerdo al ISRM (1981) presenta una resistencia a la compresión simple rígida entre 0,10 – 0,25 MPa.

3.4.5.2.11. *Suelo Translocado Coluvial (Strc)*

Esta unidad se presenta en gran parte del área de la cuenca, originada a partir de la acumulación de materiales por fenómenos de reptación y erosión fluvial, se presentan bien seleccionadas, la composición de las partículas es moderadamente homogénea, donde se identifica fragmentos de gravas, cantos y bloques distribuidos en capas con bajos espesores, granosoportadas, subangulares a subredondeadas, consistencia media, moderadamente porosa, su humedad puede variar entre seca y húmeda, con resistencia a la compresión rígida que va desde 0,10 a 0,25 MPa de acuerdo al ISRM (1981).

3.5. Conclusiones

- Los estudios geológicos consultados y empleados como material de apoyo para la construcción de la geología de esta cuenca, evidencian que existen dudas sobre la estratigrafía oficial del área, ya que no se encuentra información completa ni concordante en todos los documentos, respecto a aspectos como litología, edades y nomenclatura, entre otros. Esto implica la necesidad de desarrollar trabajos cartográficos de detalle para obtener mayor certeza en la definición de contactos, relaciones estratigráficas, edades, nomenclatura de unidades y empalmes entre planchas geológicas.
- Las rocas aflorantes en esta cuenca, presentan variedad litológica ya que de acuerdo con la información analizada y lo observado en campo se presentan rocas de tipo Ígneo, metamórfico y sedimentarios; con un amplio rango de edades van desde el Proterozoico al Cuaternario.
- La unidad denominada como Batolito de Santa Marta, se encuentra afectado por varias secuencias metamórficas de diferentes grados y épocas, sin embargo, la literatura y cartografía geológica consultada para esta zona aun presenta incongruencias las cuales podrían ser resueltas con estudios geológicos, petrográficos y radiométricos de mayor detalle que permitan definir y cartografiar con más exactitud estos eventos.
- La cuenca se encuentra dentro de un rango de sismicidad de baja a intermedia, sin embargo, la inmediación de la Falla regional de Santa Marta – Bucaramanga y la actividad neo-tectónica en algunas otras fallas de la región hacia el Nor y Sur-Este pueden modificar esta clasificación.
- La presencia de algunos yacimientos minerales con potencialidad económica asociados a las rocas metamórficas, puede traer conflictos con el habitual uso del territorio como destino eco-turístico y recreacional.
- Morfológicamente el área presenta un nivel moderado – alto de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en la parte alta de la cuenca a partir de la identificación y caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales, teniendo en cuenta la caracterización de macizos rocosos blandos de forma espacializada. hacia las partes bajas no se presenta o nivel muy bajo de susceptibilidad a movimientos en masa.
- Los materiales superficiales identificados en el área de estudio se caracterizaron a partir de su comportamiento geo mecánico y clasificadas en unidades de roca y unidades de suelo. Las unidades de roca se lograron caracterizar en intermedias y blandas de acuerdo a sus propiedades físicas y composicionales. Los suelos se clasificaron a partir de un análisis del

origen y caracterización ingenieril, obteniéndolos como suelos transportados, costeros y translocados.

- Debido a la falta de información para caracterizar completamente la cuenca para las unidades geológicas superficiales, se requiere realizar estudios más detallados en las zonas con mayor porcentaje de inestabilidad para determinar la posible ocurrencia por movimientos en masa.

4. HIDROGEOLOGÍA.

La creciente crisis por el déficit en el suministro de agua en amplias regiones del país, debido al fenómeno de variación climática, (Fenómeno del Niño), que se presenta en la actualidad relacionado con el intenso verano, el debilitamiento de las lluvias en cantidad y frecuencia, un aumento notorio de la temperatura (en relación a valores promedio para cada época del año) sumado a la debilidad actual de las empresas prestadoras del servicio acueducto para tener una cobertura de prestación en ciudades intermedias y pequeños municipios y aún más en zonas rurales, ha llevado a la búsqueda y mayor aprovechamiento de fuentes alternas como las aguas subterráneas. Sin embargo, éste aprovechamiento es realizado generalmente en sitios en donde la afectación o impactos sobre el acuífero por estos aprovechamientos es en muchas ocasiones, irreparable estas afectaciones pueden relacionarse, con sequías de fuentes superficiales y de pozos someros, fenómenos de subsidencia del terreno, acentuación o inducción de procesos de contaminación natural o antrópica, entre otros. Esta situación demuestra la urgente necesidad de establecer acciones estratégicas orientadas a la preservación del recurso, de tal modo que se garantice a las futuras generaciones su permanencia, calidad y un uso con mínima afectación al medio ambiente.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, formuló y adoptó en marzo de 2010, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico- PNGIRH, dando cumplimiento al Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010, que incorporó en el capítulo: Una Gestión Ambiental y del Riesgo que Promueva el Desarrollo Sostenible, como una de sus líneas de acción, la denominada: gestión integral del recurso hídrico a través de los Planes de Ordenamiento de Cuencas “POMCAS”. Este componente planteaba el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso no solo superficial sino subterráneo, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos.

El objetivo principal del componente de hidrogeología es elaborar un diagnóstico físico y ambiental de los Acuíferos localizados en el área de los ríos Piedras Manzanares y otros directos al caribe, que sirva como herramienta de planeación para la adecuada gestión integral del recurso hídrico, teniendo en cuenta los usos actuales del agua, su disponibilidad, aspectos socioeconómicos relacionados con ella, con énfasis en las necesidades de abastecimiento de los pequeños municipios y sectores rurales de la zona aledaña en el corto, mediano y largo plazo.

Teniendo en mente el objetivo se definió un marco normativo de referencia para la elaboración de este componente presentado en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. Marco conceptual

DECRETO O GUIA REGLAMENTARIO
Decreto No. 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto No. 1541 de 1978: Por el cual se reglamenta la parte III del Libro II del decreto - ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la ley 23 de 1973.
Decreto No. 1594 de 1984: Por el cual se reglamenta los usos del agua y residuos líquidos.
Resolución No. 1096 de 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Titulo B Numeral B.5).
Decreto N° 1729 del Agosto 6 de 2002: por el cual se reglamenta el Plan de Ordenamiento de Cuencas POMCAS.
Decreto No. 155 de 2004: Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de agua.
Decreto No. 1324 de 2007: Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico.
Guía Metodológica para la formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.

4.1. Metodología.

El desarrollo de este capítulo, se realizó siguiendo la estructura definida por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en la Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas[51], la cual implica una Fase de Aprestamiento y una Fase de Diagnóstico; durante la Fase de Aprestamiento, las actividades principales fueron elaboración del Plan de trabajo y recopilación y análisis de la información existente. Mientras que, en la Fase de Diagnóstico, las actividades a desarrollar se enfocaron a la realización de salidas de campo, caracterización de los usos actuales del recurso hídrico subterráneo, compilación, análisis y consolidación de la información y elaboración de la cartografía hidrogeológica.

Los objetivos principales del componente de hidrogeología son:

- Mapa de hidrogeología para fines de ordenación de cuencas hidrográficas, en escala 1:25.000
- Mapa de zonas de importancia hidrogeológica en escala 1:25.000.
- Documento técnico con la descripción, caracterización y análisis de la información hidrogeológica.

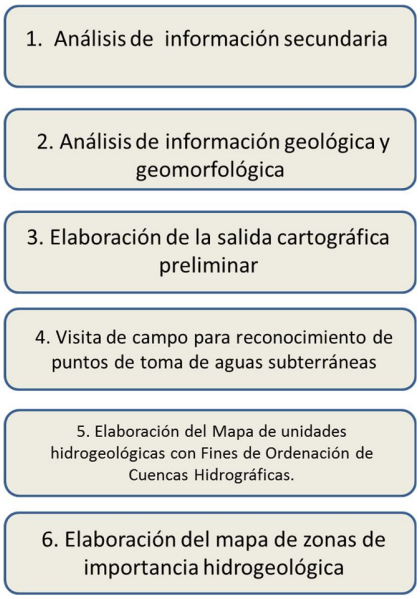
El alcance de estos productos es la identificación y localización de las diferentes unidades hidrogeológicas, su distribución, sus características generales asociadas al tipo o tipos de materiales en los que se encuentren, gracias a este análisis de las unidades hidrogeológicas, a la identificación de sus potencialidades y deficiencias es posible determinar la vulnerabilidad de los acuíferos presentes en la cuenca, permitiendo generar herramientas de juzgamiento para el correcto manejo y conservación de los acuíferos.

La Figura 4.1.muestra las actividades desarrolladas para la obtención de este producto, las cuales se resumen en cinco pasos: 1. Análisis de información secundaria, 2. Análisis de información geológica

[51] Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014.

y geomorfológica, 3. Elaboración de la salida cartográfica preliminar, 4. Visita de campo para reconocimiento de puntos de toma de aguas subterráneas y 5. Elaboración del Mapa de unidades hidrogeológicas con Fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas 6. Elaboración del mapa de zonas de importancia hidrogeológica.

Figura 4.1. Esquema de actividades



4.1.1. Actividades pre-campo

Corresponden a la Fase de Aprestamiento, en la que se realiza la compilación, análisis y validación de información existente, correspondiente a: Estudios geológicos oficiales, Planes de Ordenamiento Territorial, los estudios hidrogeológicos provenientes de instituciones educativas y miembros asociados y Otros estudios realizados principalmente por empresas consultoras.

De esta información, fue empleada como insumo principal la cartografía geológica elaborada para fines de ordenamiento de la cuenca (elaborada por el consultor) pues estas unidades se encontraban unificadas litológicamente, espacialmente y en su nomenclatura respecto a las planchas geológicas del SGC en escala 1:100.000: 11, 12, 18 y 19, así mismo se utilizó la información del componente de geomorfología elaborada por el consultor.

4.1.2. Actividades de campo

Esta actividad se desarrolló en conjunto con el equipo social dada la importancia de la obtención de información primaria de los pozos y usos actuales del recurso hídrico subterráneo, por esto el equipo social se encargó de la gestión activa de permisos para el ingreso a los predios y el desarrollo de pruebas de bombeo en algunos puntos que por las condiciones técnicas del pozo permitían la realización de estas.

Durante la visita de campo se realizó un inventario exhaustivo de los pozos profundos, aljibes y manantiales, encontrándose en total 162 puntos de captación de aguas subterráneas.

Los Manantiales se definen como afloramientos naturales de agua, sean permanentes o temporales, son originados por la infiltración de aguas en materiales porosos, y emergen en zonas de cambios de pendientes o cambios litológicos.

Específicamente para el área de la cuenca no se encontraron manantiales naturales de aguas subterráneas.

- *Pozos profundos:*

Definidos como pozo profundo a la perforación vertical en la tierra con una determinada profundidad y diámetro pequeño que busca aprovechar una reserva de agua subterránea, normalmente estas perforaciones se encamisan en PVC o acero inoxidable y comúnmente perforadas mecánicamente, el término profundo se refiere a la relación profundidad diámetro.

En la Tabla 4.2. se refiere la localización y titular del pozo, en la Tabla 4.3 se refiere el material, geometría y los usos, y finalmente en la Tabla 4.4. se presentan los parámetros físicos, químicos y el equipo de bombeo registrado en el pozo, toda esta información es de carácter primario y se concentra específicamente en los pozos profundos.

Tabla 4.2. Localización y titular del pozo

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 03TP	Ciénaga	11° 02' 46.67"	74° 11' 48.47"	61	Osmelia Hernández
Pz 07GP	Santa Marta	11° 11' 35.66"	74° 12' 12.07"	16	Omar
Pz 08GP	Santa Marta	11° 11' 15.64"	74° 13' 29.93"	8	Luis Herrera
Pz 09GP	Santa Marta	11° 11' 15.64"	74° 13' 29.93"	9	Juan Díaz
Pz 11GP	Santa Marta	11° 11' 10.24"	74° 13' 27.12"	10	Carlos Rueda
Pz 13GP	Santa Marta	11° 11' 32.82"	74° 12' 37.88"	14	Cristianos GNG
Pz 15MP	Santa Marta	11° 14' 33.51"	74° 06' 57.30"	73	Jardines Jerusalén
Pz 16MP	Santa Marta	11° 14' 43.25"	74° 06' 47.96"	80	Jardines Jerusalén
Pz 17MP	Santa Marta	11° 14' 34.00"	74° 06' 50.40"	78	Jardines Jerusalén
Pz 18MP	Santa Marta	11° 14' 40.95"	74° 06' 57.21"	72	Rodrigo Vives
Pz 20GP	Santa Marta	11° 10' 57.15"	74° 13' 03.66"	13	CAJAMAG
Pz 24GP	Santa Marta	11° 10' 31.85"	74° 12' 36.13"	19	Adalberto Carvajal
Pz 25GP	Santa Marta	11° 10' 46.10"	74° 12' 33.42"	17	Alejandro Mendieta
Pz 26GP	Santa Marta	11° 10' 50.04"	74° 12' 27.86"	19	Juan Carlos Ospina
Pz 40GP	Santa Marta	11° 09' 23.66"	74° 13' 16.31"	10	Walter Friebber
Pz 48GP	Santa Marta	11° 09' 41.85"	74° 13' 12.35"	12	Antonio Maldonado
Pz 53GP	Santa Marta	11° 09' 40.51"	74° 13' 01.51"	15	Emiro Gnecco
Pz 59GP	Santa Marta	11° 09' 49.74"	74° 12' 40.71"	32	Velásquez
Pz 69GP	Santa Marta	11° 12' 18.70"	74° 13' 29.30"	5	Cristina Vargas
Pz 70GP	Santa Marta	11° 12' 34.00"	74° 13' 36.80"	4	Álvaro Valderrama
Pz 71GP	Santa Marta	11° 12' 04.90"	74° 13' 30.70"	5	Wilfrido Sevilla
Pz 72GP	Santa Marta	11° 11' 49.30"	74° 13' 33.40"	3	Carlos Gamba
Pz 73GP	Santa Marta	11° 11' 38.50"	74° 13' 30.20"	3	María Isabel Cardona

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 77MP	Santa Marta	11° 12' 20.09"	74° 11' 38.68"	21	ALFERING
Pz 78GP	Santa Marta	11° 11' 51.91"	74° 12' 10.81"	18	Servifetec
Pz 79GP	Santa Marta	11° 11' 45.63"	74° 12' 15.43"	19	ARGOS
Pz 80GP	Santa Marta	11° 10' 54.70"	74° 11' 49.52"	23	SENA Agropecuaria
Pz 81GP	Santa Marta	11° 11' 34.83"	74° 11' 35.44"	16	Molinos Santa Marta
Pz 82GP	Santa Marta	11° 11' 41.05"	74° 11' 40.47"	19	Molinos Santa Marta
Pz 83MP	Santa Marta	11° 13' 10.67"	74° 10' 38.25"	25	Univ. Sergio Arboleda
Pz 84MP	Santa Marta	11° 13' 14.33"	74° 10' 37.56"	24	Héctor Viverus
Pz 85MP	Santa Marta	11° 13' 29.37"	74° 10' 15.28"	27	Universidad UCC
Pz 86MP	Santa Marta	11° 14' 26.63"	74° 12' 00.21"	14	Univ. Sergio Arboleda
Pz 87MP	Santa Marta	11° 14' 20.22"	74° 12' 16.09"	9	Carlos Correa
Pz 88MP	Santa Marta	11° 14' 06.81"	74° 12' 11.11"	12	Pirry Wash
Pz 89MP	Santa Marta	11° 13' 51.39"	74° 11' 58.64"	17	Oceanmall
Pz 90MP	Santa Marta	11° 13' 59.74"	74° 11' 59.15"	16	Rodrigo Castañeda
Pz 91MP	Santa Marta	11° 13' 37.74"	74° 12' 44.69"	6	Club de Suboficiales
Pz 92MP	Santa Marta	11° 13' 48.62"	74° 12' 26.51"	13	Lava Autos La 30
Pz 93MP	Santa Marta	11° 13' 23.32"	74° 11' 15.22"	17	Univ. del Magdalena
Pz 94MP	Santa Marta	11° 13' 28.54"	74° 12' 08.77"	13	DISTRACON
Pz 95PP	Santa Marta	11° 17' 32.02"	73° 53' 36.70"	4	Barlovento
Pz 96MP	Santa Marta	11° 12' 24.84"	74° 11' 05.33"	28	Construc. CPV Ltda
Pz 97MP	Santa Marta	11° 12 '59.86"	74° 10' 04.22"	29	BioCombustibles SC
Pz 98MP	Santa Marta	11° 11' 57.01"	74° 11' 59.41"	15	OPL Logística
Pz 99MP	Santa Marta	11° 11' 55.07"	74° 12' 02.20"	14	OPL Logística
Pz 100MP	Santa Marta	11° 14' 22.95"	74° 06' 06.68"	103	Urbanización Utica
Pz 101MP	Santa Marta	11° 13' 18.49"	74° 06' 43.98"	101	Ramón Flórez
Pz 102GP	Santa Marta	11° 08' 35.65"	74° 12' 59.18"	40	Urb. Portal de la Sierra
Pz 107GP	Santa Marta	11° 11' 44.52"	74°12' 03.93"	15	TECBACO S.A.
Pz 108MP	Santa Marta	11° 14' 25.28"	74° 12' 54.79"	3	Prabyc Ingenieros
Pz 109MP	Santa Marta	11° 13' 18.23"	74° 11' 37.53"	16	Serteba S.A.
Pz 110GP	Santa Marta	11° 11' 02.36"	74° 13' 10.36"	13	Luis Ernesto Gómez
Pz 111MP	Santa Marta	11° 15' 11.63"	74° 11' 54.21"	10	Lava autos Johnson
Pz 112MP	Santa Marta	11° 13' 09.01"	74° 11' 17.50"	19	Lavaut. El Trébol No. 1
Pz 113MP	Santa Marta	11° 13' 10.82"	74° 11' 23.78"	19	Lavaut. El Trébol No. 2
Pz 114MP	Santa Marta	11° 14' 40.29"	74° 12' 10.21"	9	Lavautos Donde Yesid
Pz 115MP	Santa Marta	11° 14' 36.49"	74° 11' 42.02"	14	Jesús Orozco Ruiz
Pz 116MP	Santa Marta	11°13'42.52"	74°11'9.45"	20	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 117MP	Santa Marta	11°13'14.05"	74°10'56.93"	22	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 118MP	Santa Marta	11°13'28.23"	74°11'0.08"	24	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 119MP	Santa Marta	11°13'11.71"	74°11'13.35"	20	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 120MP	Santa Marta	11°13'19.98"	74°11'32.09"	18	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 121MP	Santa Marta	11°13'32.02"	74°11'25.74"	17	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 122MP	Santa Marta	11°12'58.87"	74°10'57.79"	23	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 123MP	Santa Marta	11°13'41.14"	74° 9'6.30"	33	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 124MP	Santa Marta	11°13'19.44"	74°10'43.25"	26	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 125MP	Santa Marta	11°12'52.55"	74°11'8.29"	22	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 126MP	Santa Marta	11°12'42.50"	74°10'33.61"	30	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 127MP	Santa Marta	11°13'29.36"	74°11'52.33"	16	Metroagua S.A., E.SP.

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 128MP	Santa Marta	11°12'48.25"	74°10'49.46"	27	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 129GP	Santa Marta	11°10'51.07"	74°12'34.51"	15	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 130GP	Santa Marta	11°10'51.87"	74°12'58.56"	13	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 131GP	Santa Marta	11°11'5.34"	74°12'57.07"	13	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 132GP	Santa Marta	11° 11' 08.54"	74° 12' 43.17"	14	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 133GP	Santa Marta	11°11'15.99"	74°12'7.37"	15	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 134MP	Santa Marta	11°13'28.93"	74°10'28.57"	26	Alcaldía Distrital
Pz 135MP	Santa Marta	11°13'51.71"	74°10'44.28"	22	Alcaldía Distrital
Pz 136MP	Santa Marta	11°13'44.62"	74°10'7.40"	31	Alcaldía Distrital
Pz 137MP	Santa Marta	11°13'15.69"	74°10'31.42"	26	Alcaldía Distrital
Pz 138MP	Santa Marta	11°13'45.65"	74° 9'50.66"	30	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 139MP	Santa Marta	11°13'32.15"	74°11'37.26"	15	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 140GP	Santa Marta	11°11'12.60"	74°12'24.90"	16	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 141GP	Santa Marta	11°11'23.67"	74°12'28.90"	13	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 142MP	Santa Marta	11°12'46.29"	74°10'18.23"	31	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 143MP	Santa Marta	11°13'49.59"	74° 8'55.81"	34	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 144MP	Santa Marta	11°12'56.79"	74°10'21.90"	29	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 145MP	Santa Marta	11°13'32.99"	74°10'0.98"	30	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 146MP	Santa Marta	11°13'17.56"	74°10'14.56"	27	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 147MP	Santa Marta	11°13'18.02"	74°11'46.32"	16	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 148MP	Santa Marta	11°13'29.95"	74°12'5.66"	13	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 149MP	Santa Marta	11°13'0.27"	74°10'40.49"	26	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 150MP	Santa Marta	11°14'14.29"	74°11'32.26"	16	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 151MP	Santa Marta	11°13'30.86"	74°10'14.74"	27	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 152MP	Santa Marta	11°13'42.09"	74°10'18.98"	29	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 153MP	Santa Marta	11°13'43.00"	74°11'30.21"	16	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 154GP	Santa Marta	11°10'58.16"	74°12'3.53"	19	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 155MP	Santa Marta	11°13'38.49"	74°11'54.71"	13	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 156GP	Santa Marta	11°11'24.67"	74°12'16.41"	16	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 157MP	Santa Marta	11°13'43.72"	74°12'10.60"	11	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 158MP	Santa Marta	11°13'50.56"	74°10'30.21"	27	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 159MP	Santa Marta	11° 12' 39.21"	74° 10' 00.22"	36	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 160MP	Santa Marta	11° 12' 33.90"	74° 10' 06.47"	38	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 161MP	Santa Marta	11° 12' 33.90"	74° 10' 06.47"	43	Metroagua S.A., E.SP.
Pz 162MP	Santa Marta	11°12'43.63"	74° 9'55.29"	34	Metroagua S.A., E.SP.

Tabla 4.3. Material, geometría y usos

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 03TP	Vereda Jolonura	Profundo	PVC	8”	12,0 m	Doméstico
Pz 07GP	Vereda Puerto Mosquito	Profundo	PVC	4”	24,0 m	Doméstico
Pz 08GP	Predio La Guajira	Profundo	PVC	6”	7,5 m	Doméstico
Pz 09GP	Lavadero donde Toloy	Profundo	PVC	4”	18,0 m	Doméstico
Pz 11GP	Predio Ipapare	Profundo	PVC	6”	13,0 m	Doméstico
Pz 13GP	Predio Iglesia GNC	Profundo	PVC	6”	28,0 m	Doméstico
Pz 15MP	Sabanas de Bonda	Profundo	PVC	6”	30,0 m	Comercial
Pz 16MP	Sabanas de Bonda	Profundo	PVC	6”	29,0 m	Comercial
Pz 17MP	Sabanas de Bonda	Profundo	PVC	6”	30,0 m	Agrícola

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 18MP	Finca Santa Mónica	Profundo	PVC	6”	30,0 m	Agrícola
Pz 20GP	Club Teyuna	Profundo	PVC	6”	40 m	Recreacional
Pz 24GP	Finca El escondido	Profundo	PVC	6”	28,0 m	Agrícola
Pz 25GP	Sector Ojo de Agua	Profundo	PVC	4”	20,0 m	Agrícola
Pz 26GP	Finca Providencia	Profundo	PVC	6”	9,0 m	Doméstico
Pz 40GP	Finca Monterrey	Profundo	PVC	6”	14,62 m	Doméstico
Pz 48GP	Sector Manantial	Profundo	PVC	2”	11,0 m	Doméstico
Pz 53GP	Predio Los Monchos	Profundo	PVC	8”	16,8 m	Doméstico
Pz 59GP	Sector Manantial	Profundo	PVC	6”	17,4 m	Doméstico
Pz 69GP	Rodadero - IMEVA	Profundo	PVC	6”	6,0 m	Doméstico
Pz 70GP	Rodadero – La Perla	Profundo	PVC	4”	12,0 m	Comercial
Pz 71GP	Rodadero - CAR WASH	Profundo	PVC	6”	8,0 m	Comercial
Pz 72GP	Rod. - Taller El Maestro	Profundo	PVC	4”	8,0 m	Comercial
Pz 73GP	Gaira - Calle 4 cra 16	Profundo	PVC	6”	13,0 m	Doméstico
Pz 77MP	Troncal Km-2 vía Gaira	Profundo	PVC	6”	30,0 m	Industrial
Pz 78GP	Troncal Km-5 vía Gaira	Profundo	PVC	4”	17,0 m	Comercial
Pz 79GP	Troncal Km-6 vía Gaira	Profundo	PVC	6”	25,0 m	Industrial
Pz 80GP	SENA - Gaira	Profundo	Acero In.	10”	36,0 m	Agrícola
Pz 81GP	Bureche – Vía Alterna	Profundo	PVC	6”	20,0 m	Industrial
Pz 82GP	Bureche – Vía Alterna	Profundo	PVC	6”	-	Industrial
Pz 83MP	Calle 41a con cra 31	Profundo	PVC	6”	60,0 m	Agrícola
Pz 84MP	Calle 41a con cra 34	Profundo	PVC	6”	40,0 m	Comercial
Pz 85MP	Barrio Bolivariana	Profundo	PVC	6”	45,0 m	Agrícola
Pz 86MP	Barrio Cundí	Profundo	PVC	4”	12,0 m	Agrícola
Pz 87MP	Lavautos Master Wash	Profundo	PVC	6”	12,0 m	Comercial
Pz 88MP	Av. Ferrocarril calle 26a	Profundo	PVC	6”	12,0 m	Comercial
Pz 89MP	Av. Ferrocarril calle 29d	Profundo	PVC	6”	54,0 m	Comercial
Pz 90MP	Calle 28ª cra 17	Profundo	PVC	6”	25,0 m	Comercial
Pz 91MP	Los Trupillos	Profundo	PVC	6”	17,0 m	Recreacional
Pz 92MP	Calle 30 cra 8a	Profundo	PVC	4”	13 m	Comercial
Pz 93MP	San Pedro Alejandrino	Profundo	Acero In.	10”	75,0 m	Agrícola
Pz 94MP	Calle 30 cra 17b	Profundo	PVC	6”	12,0 m	Comercial
Pz 95PP	Sector Los Cocos	Profundo	PVC	6”	14,0 m	Domestico
Pz 96MP	Urb. Altos de Mallorca	Profundo	Acero In.	10”	42,0 m	Acueducto
Pz 97MP	Z. I. San Francisco	Profundo	PVC	6”	30,0 m	Industrial
Pz 98MP	Troncal Km-3 vía Gaira	Profundo	PVC	6”	20,4 m	Industrial
Pz 99MP	Troncal Km-3 vía Gaira	Profundo	PVC	6”	17,5 m	Industrial
Pz 100MP	Sabanas de Bonda	Profundo	PVC	6”	15,3 m	Acueducto
Pz 101MP	Finca La Madona	Profundo	PVC	8”	17,0 m	Agrícola
Pz 102GP	Sector Vista Hermosa	Profundo	PVC	8”	30 m	Acueducto
Pz 107GP	Troncal Km-3 vía Gaira	Profundo	Acero In.	12”	42,0 m	Industrial
Pz 108MP	Edificio Grand Marina	Profundo	PVC	6”	15 m	Acueducto
Pz 109MP	Av. Ferrocarril calle 29K	Profundo	PVC	6”	30 m	Industrial
Pz 110GP	finca La Victoria	Profundo	PVC	6”	27 m	Agrícola
Pz 111MP	Calle 2 No. 16 - 80	Profundo	PVC	6”	14 m	Comercial
Pz 112MP	Calle 30 No. 21c - 31	Profundo	PVC	6”	26 m	Comercial

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 113MP	Calle 29L con cra 21a	Profundo	PVC	6”	17 m	Comercial
Pz 114MP	Carrera 12 No. 12-15	Profundo	PVC	4”	18 m	Comercial
Pz 115MP	Carrera 18B No 11C-40	Profundo	PVC	6”	18 m	Comercial
Pz 116MP	Univ. del Magdalena U1	Profundo	Acero In.	10”	61,5 m	Acueducto
Pz 117MP	Univ. del Magdalena U2	Profundo	Acero In.	10”	68 m	Acueducto
Pz 118MP	Univ. del Magdalena U3	Profundo	Acero In.	10”	65 m	Acueducto
Pz 119MP	Univ. del Magdalena U4	Profundo	Acero In.	10”	66 m	Acueducto
Pz 120MP	Urb. Cañaverales	Profundo	Acero In.	10”	69 m	Acueducto
Pz 121MP	Bulevar Las Rosas	Profundo	Acero In.	10”	70 m	Acueducto
Pz 122MP	Barrio Concepción	Profundo	Acero In.	10”	67 m	Acueducto
Pz 123MP	Barrio Cantilito	Profundo	PVC	10”	29,5 m	Acueducto
Pz 124MP	Polideportivo Sur	Profundo	Acero In.	10”	68,2 m	Acueducto
Pz 125MP	Barrio Santa Clara	Profundo	Acero In.	10”	52,0 m	Acueducto
Pz 126MP	Barrio Líbano	Profundo	Acero In.	10”	43,0 m	Acueducto
Pz 127MP	Barrio Ciudadela	Profundo	Acero In.	10”	68,0 m	Acueducto
Pz 128MP	Barrio ciudad del Sol	Profundo	Acero In.	10”	60,0 m	Acueducto
Pz 129GP	Sector Ojo de Agua	Profundo	Acero In.	12”	36,5 m	Acueducto
Pz 130GP	Predio Gaira Golf	Profundo	Acero In.	10”	49,0 m	Acueducto
Pz 131GP	Club Teyuna CAJAMAG	Profundo	Acero In.	10”	46,0 m	Acueducto
Pz 132GP	Licorera, río Gaira	Profundo	Acero In.	10”	55,0 m	Acueducto
Pz 133GP	SENA Agropecuario	Profundo	Acero In.	10”	47,0 m	Acueducto
Pz 134MP	Colegio Juan Maiguel	Profundo	Acero In.	10”	-	Acueducto
Pz 135MP	San Pedro Alejandrino	Profundo	Acero In.	10”	-	Acueducto
Pz 136MP	Barrio Mamatoco	Profundo	Acero In.	10”	61,0 m	Acueducto
Pz 137MP	Motel Troncal Pz No. 5	Profundo	Acero In.	10”	63,0 m	Acueducto
Pz 138MP	Barrio Bulevar del Río	Profundo	Acero In.	10”	42,0 m	Acueducto
Pz 139MP	Boulevard las Rosas	Profundo	Acero In.	10”	54,0 m	Acueducto
Pz 140GP	SENA Agropec. Pz No. 4	Profundo	Acero In.	10”	61,0 m	Acueducto
Pz 141GP	SENA Agrop. Pz No. 11	Profundo	Acero In.	10”	-	Acueducto
Pz 142MP	Tejares del Libertador	Profundo	Acero In.	10”	38,0 m	Acueducto
Pz 143MP	Barrio Garagoa	Profundo	Acero In.	10”	27,0 m	Acueducto
Pz 144MP	Barrio Asocon	Profundo	Acero In.	10”	53,0 m	Acueducto
Pz 145MP	Lote Daabon	Profundo	Acero In.	10”	59,5 m	Acueducto
Pz 146MP	Barrio Nevada	Profundo	Acero In.	10”	49,0 m	Acueducto
Pz 147MP	Barr. Ciudadela Tamacá	Profundo	Acero In.	10”	53,0 m	Acueducto
Pz 148MP	Bar. Villas de Alejandría	Profundo	Acero In.	10”	66,0 m	Acueducto
Pz 149MP	Barrio Los Pinos	Profundo	Acero In.	10”	62,0 m	Acueducto
Pz 150MP	Polideportivo Jardín	Profundo	Acero In.	10”	53,0 m	Acueducto
Pz 151MP	Colegio Inem	Profundo	Acero In.	10”	51,0 m	Acueducto
Pz 152MP	Inem Parque Trupillos	Profundo	Acero In.	10”	52,5 m	Acueducto
Pz 153MP	Barrio Las Vegas	Profundo	Acero In.	10”	51,0 m	Acueducto
Pz 154GP	Sena Agropecuario T4	Profundo	Acero In.	10”	35,0 m	Acueducto
Pz 155MP	Sector El Mayor	Profundo	Acero In.	10”	60,0 m	Acueducto
Pz 156GP	Sena Agropecuario T2	Profundo	Acero In.	10”	55,0 m	Acueducto
Pz 157MP	Bar. Villas de Alejandría	Profundo	Acero In.	10”	56,0 m	Acueducto
Pz 158MP	Frente a CORPAMAG	Profundo	Acero In.	10”	36,0 m	Acueducto

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 159MP	Ciudad Equidad P-A	Profundo	Acero In.	10”	31,0 m	Acueducto
Pz 160MP	Ciudad Equidad P-B	Profundo	Acero In.	10”	50,0 m	Acueducto
Pz 161MP	Ciudad Equidad P-X	Profundo	Acero In.	10”	44,0 m	Acueducto
Pz 162MP	Urbanización Bolívar	Profundo	Acero In.	10”	34,5 m	Acueducto

Tabla 4.4. Nivel piezométrico parámetro físico químicos y equipo de bombeo

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (°C)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz 03TP	Boca de pozo	0,53	6,86	30,5	206,6	0,0	Turbina 1 ½ hp
Pz 07GP	Boca de pozo	6,60	6,93	30,2	330	0,0	-
Pz 08GP	Boca de pozo	5,39	5,39	32,3	1127	0,3	Turbina 1 hp
Pz 09GP	Boca de pozo	5,47	5,47	32,0	2,050	0,7	Turbina 1 hp
Pz 11GP	Boca de pozo	4,30	7,07	32,8	1142	0,3	Turbina 1 ½ hp
Pz 13GP	Boca de pozo	6,81	6,33	29,6	1345	0,4	Turbina 1 hp
Pz 15MP	Boca de pozo	16,31	6,81	30,4	977	0,3	Turbina ½ hp
Pz 16MP	Boca de pozo	17,85	7,16	30,6	985	0,3	Sumergible
Pz 17MP	Boca de pozo	17,01	7,04	31,0	902	0,3	Sumergible
Pz 18MP	Boca de Pozo	6,90	7,36	31,3	694	0,2	Sumergible
Pz 20GP	Boca de Pozo	6,44	6,49	32,0	319	0,0	Sumergible
Pz 24GP	Boca de Pozo	-	7,63	30,1	695	0,2	Sumergible 2 hp
Pz 25GP	Boca de Pozo	9,04	7,08	31,7	226	0,1	Sumergible 1 hp
Pz 26GP	Boca de Pozo	7,98	6,82	33,6	426	0,1	Turbina ½ hp
Pz 40GP	Boca de pozo	5,53	7,30	31,4	2052	0,7	Sumergible 1 hp
Pz 48GP	Boca de pozo	6,63	7,27	31,8	1233	0,4	Sumergible ½ hp
Pz 53GP	Boca de pozo	11,86	7,17	32,7	308	0,0	Sumergible 2 hp
Pz 59GP	Boca de pozo	Seco	-	-	-	-	-
Pz 69GP	Boca de pozo	2,90	7,57	27,9	1682	0,5	Turbina 1 ½ hp
Pz 70GP	Boca de pozo	2,35	7,91	30,2	2910	0,9	Turbina 1 hp
Pz 71GP	Boca de pozo	3,48	7,61	30,5	1498	0,4	-
Pz 72GP	Tanque	3,24	7,44	32,2	2197	0,7	Turbina ½ hp
Pz 73GP	Boca de pozo	3,49	7,40	32,8	1133	0,4	Turbina ¾ hp
Pz 77MP	Tanque	11,94	7,16	33,1	2733	0,8	Sumergible 1 hp
Pz 78GP	Tanque	6,78	7,32	32,1	2063	0,7	Turbina 1 hp
Pz 79GP	Tanque	8,02	7,42	29,8	2669	0,8	Sumergible
Pz 80GP	Boca de pozo	6,11	7,12	28,7	445	0,1	Sumergible
Pz 81GP	Boca de pozo	7,37	6,87	32,1	1073	0,4	Sumergible
Pz 82GP	Boca de pozo	7,37	7,84	32,8	569	0,1	Sumergible
Pz 83MP	Boca de pozo	-	6,81	32,2	753	0,2	Sumergible
Pz 84MP	Boca de pozo	-	7,26	32,8	822	0,2	Sumergible
Pz 85MP	Tanque	21,97	7,04	30,8	925	0,3	Sumergible
Pz 86MP	Boca de pozo	5,54	6,84	30,6	1353	0,4	Turbina 1 ½ hp
Pz 87MP	Tanque	5,80	7,80	31,2	1251	0,4	Turbina 1 hp
Pz 88MP	Boca de pozo	7,41	7,12	31,2	918	0,3	Turbina 1 hp
Pz 89MP	Boca de pozo	11,05	7,89	31,2	737	0,2	Sumergible
Pz 90MP	Boca de pozo	9,60	7,57	30,2	761	0,2	Sumergible
Pz 91MP	Tanque	2,62	7,45	32,5	4890	1,6	Turbina 5 hp

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (ºC)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz 92MP	Boca de pozo	6,98	7,02	32,7	1505	0,5	Turbina ¾ hp
Pz 93MP	Boca de pozo	16,87	7,02	31,6	1386	0,4	Sumergible
Pz 94MP	Tanque	7,98	7,51	32,3	1286	0,4	Turbina 3 hp
Pz 95PP	Boca de pozo	1,12	7,33	29,3	855	0,3	Turbina 2 hp
Pz 96MP	Boca de pozo	13,55	6,88	28,7	399	0,0	Sumergible 15 hp
Pz 97MP	Boca de pozo	12,77	-	-	-	-	Sumergible 5 hp
Pz 98MP	Boca de pozo	0,85	7,48	28,4	1013	0,3	Turbina 2 hp
Pz 99MP	Boca de pozo	1,27	7,18	29,1	1522	0,5	Turbina 2 hp
Pz 100MP	Boca de pozo	7,13	7,35	28,8	872	0,2	Sumergible
Pz 101MP	Boca de pozo	4,45	7,13	27,8	412	0,0	Sumergible
Pz 102GP	Boca de pozo	17,63	7,38	30,3	913	0,3	Sumergible
Pz 107GP	Boca de pozo	6,36	7,42	28,6	988	0,3	Eje Vertical
Pz 108MP	Boca de pozo	1,95	-	-	-	-	-
Pz 109MP	Boca de pozo	13,02	7,32	29,3	913	0,3	Sumergible
Pz 110GP	Boca de pozo	7,14	6,91	29,1	733	0,2	Turbina 1 hp
Pz 111MP	Boca de pozo	2,01	-	-	-	-	Turbina 3 hp
Pz 112MP	Boca de pozo	10,48	-	-	-	-	Turbina 1 hp
Pz 113MP	Boca de pozo	8,83	-	-	-	-	Turbina 2 hp
Pz 114MP	Boca de pozo	2,88	-	-	-	-	Turbina 2 hp
Pz 115MP	Boca de pozo	3,82	7,10	30,6	1246	0,4	Turbina 2 hp
Pz 116MP	Boca de pozo	15,69	7,01	29,8	872	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 117MP	Boca de pozo	19,10	7,07	30,3	672	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 118MP	Boca de pozo	19,85	6,98	28,9	1002	0,3	Sumergible 40 hp
Pz 119MP	Boca de pozo	19,04	7,11	29.3	479	0,1	Sumergible 40 hp
Pz 120MP	Boca de pozo	19,13	7,02	30,6	535	0,1	Eje Vertical 50 hp
Pz 121MP	Boca de pozo	16,78	6,99	30,2	679	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 122MP	Boca de pozo	24,24	6,79	29,5	397	0,0	Sumergible 40 hp
Pz 123MP	Boca de pozo	20,86	7,40	29,8	728	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 124MP	Boca de pozo	15,10	6,88	28,4	663	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 125MP	Boca de pozo	18,7	6,98	29,1	489	0,1	Sumergible 40 hp
Pz 126MP	Boca de pozo	21,54	7,01	28,7	421	0,1	Sumergible 40 hp
Pz 127MP	Boca de pozo	12,66	6,89	30,2	829	0,2	Sumergible 40 hp
Pz 128MP	Boca de pozo	-	6,88	30,0	399	0,0	Sumergible 40 hp
Pz 129GP	Boca de pozo	7,45	6,97	29,5	288	0,0	Sumergible 40 hp
Pz 130GP	Boca de pozo	6,71	6,98	29,8	545	0,1	Sumergible 40 hp
Pz 131GP	Boca de pozo	11,15	7,35	28,8	633	0,2	Sumergible 35 hp
Pz 132GP	Boca de pozo	8,40	7,02	29,2	521	0,1	Sumergible 15 hp
Pz 133GP	Boca de pozo	5,24	6,98	29,9	517	0,1	Sumerg. 27,5 hp
Pz 134MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 135MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 136MP	Boca de pozo	17,28	-	-	-	-	-
Pz 137MP	Boca de pozo	19,32	-	-	-	-	-
Pz 138MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 139MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 140GP	Boca de pozo	11,07	-	-	-	-	-

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (ºC)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz 141GP	Boca de pozo	8,22	-	-	-	-	-
Pz 142MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 143MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 144MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 145MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 146MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 147MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 148MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 149MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 150MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 151MP	Boca de pozo	-	7,28	29,2	658	0,1	
Pz 152MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 153MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 154GP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 155MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 156GP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 157MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 158MP	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 159MP	Boca de pozo	18,22	6,58	29,2	615	0,1	-
Pz 160MP	Boca de pozo	19,75	7,07	28,3	405	0,0	-
Pz 161MP	Boca de pozo	20,35	6,71	26,6	455	0,0	-
Pz 162MP	Boca de pozo	16,65	-	-	-	-	-

Los valores marcados en rojo se refieren a niveles dinámicos registrados en el pozo.

- *Aljibes:*

Dentro de la salida de campo adelantada se identificaron los puntos de captación referidos como aljibes, estos caracterizados por una construcción generalmente artesanal en donde la relación profundidad diámetro no es muy alta. Suele ser cilíndrico y para evitar que se derrumbe sus paredes, suelen recubrirse con piedras, madera o cemento, específicamente para la cuenca objeto de ordenación fueron inventariados 57 pozos profundos cuya nomenclatura o código se debe interpretar de la siguiente manera las letras Pz como pozo, el número corresponde al orden en que fue visitado en campo y las letras GA como Gaira (Cuenca del Río Gaira) Aljibe (Pozo Tipo Aljibe), PA como Piedras (Cuenca del Río Piedras) Aljibe (Pozo Tipo Aljibe), MA como Manzanares (Cuenca del Río Manzanares) Aljibe (Pozo Tipo Aljibe), CA como Córdoba (Cuenca del Río Córdoba) Aljibe (Pozo Tipo Aljibe) y DJA como Don Jaca (Cuenca dela quebrada Don Jaca) Aljibe (Pozo Tipo Aljibe).

En la Tabla 4.5 se refiere la localización y titular del pozo, en la Tabla 4.6 se refiere el material, geometría y los usos, y finalmente en la Tabla 4.7 se presentan los parámetros físicos, químicos y el equipo de bombeo registrado en el pozo, toda esta información es de carácter primario y se concentra específicamente en los Aljibes.

Tabla 4.5. Localización y titular del aljibe

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 01CA	Ciénaga	11° 01' 30.23"	74° 12' 34.72"	47	José Aurela

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 02TA	Ciénaga	11° 02' 42.09"	74° 11' 49.79"	61	Antonio Luna
Pz 04GA	Santa Marta	11° 10' 35.61"	74° 11' 24.87"	39	Ernesto Ramírez
Pz 05GA	Santa Marta	11° 10' 53.08"	74° 11' 39.71"	29	-
Pz 06GA	Santa Marta	11° 10' 45.79"	74° 11' 44.82"	24	-
Pz 10GA	Santa Marta	11° 11' 10.29"	74° 13' 28.00"	10	-
Pz 12GA	Santa Marta	11° 11' 12.74"	74° 13' 28.19"	9	-
Pz 14GA	Santa Marta	11° 10' 36.67"	74° 11' 08.55"	48	Manuel Pacheco
Pz 19GA	Santa Marta	11° 10' 59.33"	74° 13' 03.24"	12	CAJAMAG
Pz 21GA	Santa Marta	11° 10' 55.69"	74° 13' 04.72"	14	-
Pz 22GA	Santa Marta	11° 10' 52.48"	74° 12' 46.59"	14	Ciro Sanguino
Pz 23GA	Santa Marta	11° 10' 48.68"	74° 12' 43.47"	16	European School
Pz 27GA	Santa Marta	11° 10' 35.26"	74° 12' 10.23"	21	Edison Gonzales
Pz 28GA	Santa Marta	11° 10' 37.77"	74° 12' 09.68"	17	Iván Pupo
Pz 29GA	Santa Marta	11° 10' 35.23"	74° 12' 05.17"	19	Jhon Ternera
Pz 30GA	Santa Marta	11° 10' 34.68"	74° 12' 06.32"	20	Jhon Ternera
Pz 31GA	Santa Marta	11° 09' 03.09"	74° 13' 18.09"	13	Rafael Borja
Pz 32GA	Santa Marta	11° 09' 11.06"	74° 13' 19.42"	11	Héctor Cuesta
Pz 33GA	Santa Marta	11° 09' 11.50"	74° 13' 19.33"	10	Héctor Cuesta
Pz 34GA	Santa Marta	11° 09' 11.04"	74° 13' 17.43"	13	Héctor Cuesta
Pz 35GA	Santa Marta	11° 09' 17.60"	74° 13' 04.06"	20	Walter Friebber
Pz 36GA	Santa Marta	11° 09' 16.32"	74° 13' 05.66"	18	Walter Friebber
Pz 37GA	Santa Marta	11° 09' 12.72"	74° 13' 05.75"	19	Walter Friebber
Pz 38GA	Santa Marta	11° 09' 16.11"	74° 13' 77.17"	17	Walter Friebber
Pz 39GA	Santa Marta	11° 09' 17.69"	74° 13' 07.04"	17	Walter Friebber
Pz 41GA	Santa Marta	11° 09' 22.72"	74° 13' 20.25"	11	Walter Friebber
Pz 42GA	Santa Marta	11° 09' 23.51"	74° 13' 21.41"	11	Israel Martínez
Pz 43GA	Santa Marta	11° 09' 21.94"	74° 13' 21.93"	11	Mónica Mozo
Pz 44GA	Santa Marta	11° 09' 40.54"	74° 13' 14.33"	9	Jorge Hernández
Pz 45GA	Santa Marta	11° 09' 40.50"	74° 13' 14.76"	8	-
Pz 46GA	Santa Marta	11° 09' 40.78"	74° 13' 14.78"	8	-
Pz 47GA	Santa Marta	11° 09' 40.40"	74° 13' 10.92"	12	Milton Díaz
Pz 49GA	Santa Marta	11° 09' 40.45"	74° 13' 12.27"	11	Antonio Maldonado
Pz 50GA	Santa Marta	11° 09' 26.49"	74° 13' 20.92"	9	Hotel Sánha Plus
Pz 51GA	Santa Marta	11° 09' 40.33"	74° 13' 07.04"	13	Pilar Díaz Gradados
Pz 52GA	Santa Marta	11° 09' 40.04"	74° 13' 06.57"	13	Andrés Agamez
Pz 54GA	Santa Marta	11° 09' 52.63"	74° 12' 57.98"	24	Félix Boto
Pz 55GA	Santa Marta	11° 09' 52.79"	74° 12' 58.05"	24	Félix Boto
Pz 56GA	Santa Marta	11° 09' 51.51"	74° 12' 54.20"	23	Félix Boto
Pz 57GA	Santa Marta	11° 09' 49.44"	74° 12' 53.45"	22	Félix Boto
Pz 58GA	Santa Marta	11° 09' 54.37"	74° 12' 37.28"	33	Álvaro Terán
Pz 60DJA	Santa Marta	11° 05' 52.53"	74° 13' 04.67"	18	Jaime López
Pz 61DJA	Santa Marta	11° 05' 49.66"	74° 13' 12.10"	10	Enrique Cárdenas
Pz 62DJA	Santa Marta	11° 05' 52.08"	74° 13' 12.36"	10	Enrique Cárdenas
Pz 63DJA	Santa Marta	11° 05' 50.24"	74° 13' 15.45"	1	-
Pz 64DJA	Santa Marta	11° 05' 47.27"	74° 13' 14.15"	3	Oscar Rico
Pz 65DJA	Santa Marta	11° 05' 43.80"	74° 13' 10.50"	7	María López
Pz 66DJA	Santa Marta	11° 05' 51.60"	74° 13' 16.10"	2	Comunitario

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz 67GA	Santa Marta	11° 08' 59.80"	74° 13' 00.70"	28	-
Pz 68GA	Santa Marta	11° 09' 04.90"	74° 13' 00.70"	27	-
Pz 74GA	Santa Marta	11° 11' 34.30"	74° 13' 34.30"	4	Yesid Diazgranados
Pz 75GA	Santa Marta	11° 11' 01.70"	74° 13' 04.90"	13	CAJAMAG
Pz 76GA	Santa Marta	11° 10' 56.61"	74° 13' 01.82"	11	CAJAMAG
Pz 103GA	Santa Marta	11° 07' 35.37"	74° 12' 50.42"	51	Mograteron
Pz 104GA	Santa Marta	11° 07' 28.41"	74° 12' 53.19"	54	EDS Biomax
Pz 105GA	Santa Marta	11° 07' 35.95"	74° 12' 52.13"	50	Sr. Mano
Pz 106GA	Santa Marta	11° 07' 35.94"	74° 12' 50.12"	52	Parqueadero

Tabla 4.6. Material, Geometría y usos

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 01CA	Vereda Cordobita	Aljibe	Natural	5,0 m	1,69 m	Doméstico
Pz 02TA	Vereda Jolonura	Aljibe	Concreto	2,0 m	18,0 m	Doméstico
Pz 04GA	Vereda Puerto Mosquito	Aljibe	Concreto	1,50 m	12,0 m	Doméstico
Pz 05GA	Vereda Puerto Mosquito	Aljibe	Concreto	1,40	11,0 m	Doméstico
Pz 06GA	Vereda Puerto Mosquito	Aljibe	Concreto	1,50	19,0 m	Doméstico
Pz 10GA	Gaira Cra 14 con Cll 20	Aljibe	Concreto	-	-	Doméstico
Pz 12GA	Gaira Cra 14 con Cll 19	Aljibe	Concreto	1,50 m	13,0 m	Doméstico
Pz 14GA	Vereda Puerto Mosquito	Aljibe	Concreto	1,00 m	14,7 m	Doméstico
Pz 19GA	Club Teyuna	Aljibe	Concreto	1,00 m	7,15 m	Recreacional
Pz 21GA	Finca El Recreo	Aljibe	Concreto	1,10 m	14,0 m	Doméstico
Pz 22GA	Sector Ojo de Agua	Aljibe	Concreto	1,10 m	16,0 m	Doméstico
Pz 23GA	Sector Ojo de Agua	Aljibe	Concreto	0,90 m	13,06 m	Doméstico
Pz 27GA	Finca La Miridia	Aljibe	Concreto	0,94 m	16,30 m	Comercial
Pz 28GA	Sector ojo de agua	Aljibe	Concreto	0,85 m	11,0 m	Comercial
Pz 29GA	Sector ojo de agua	Aljibe	Concreto	1,05 m	9,05 m	Comercial
Pz 30GA	Sector ojo de agua	Aljibe	Concreto	1,10 m	9,3 m	Comercial
Pz 31GA	Camping	Aljibe	Concreto	1,20 m	6,15 m	Doméstico
Pz 32GA	Condominio Sorrento	Aljibe	Concreto	1,50 m	5,20 m	Doméstico
Pz 33GA	Condominio Sorrento	Aljibe	Concreto	1,50 m	4,65 m	Doméstico
Pz 34GA	Condominio Sorrento	Aljibe	Concreto	1,50 m	5,03 m	Doméstico
Pz 35GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	1,60 m	11,5 m	Doméstico
Pz 36GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	2,00 m	8,2 m	Doméstico
Pz 37GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	1,86 m	9,25 m	Doméstico
Pz 38GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	1,70 m	9,07 m	Doméstico
Pz 39GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	1,70 m	10,27 m	Doméstico
Pz 41GA	Finca Monterrey	Aljibe	Concreto	2,10 m	4,46 m	Doméstico
Pz 42GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	1,30 m	3,20 m	Doméstico
Pz 43GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	2,10 m	5,15 m	Doméstico
Pz 44GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	1,80 m	6,60 m	Doméstico
Pz 45GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	1,20 m	6,00 m	Doméstico
Pz 46GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	1,20 m	8,95 m	Doméstico
Pz 47GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	1,00 m	9,85 m	Doméstico
Pz 49GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	2,80 m	6,60 m	Doméstico
Pz 50GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	2,30 m	5,87 m	Doméstico

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz 51GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	0,92 m	8,0 m	Doméstico
Pz 52GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	1,60 m	7,85 m	Doméstico
Pz 54GA	Sector Manantial	Aljibe	Sin Rec	-	5,05	Doméstico
Pz 55GA	Sector Manantial	Aljibe	Sin Rec	-	3,30	Doméstico
Pz 56GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	1,70	17,23	Doméstico
Pz 57GA	Sector Manantial	Aljibe	Ladrillo	1,70	12,49	Doméstico
Pz 58GA	Sector Manantial	Aljibe	Concreto	1,80 m	28,7 m	Doméstico
Pz 60DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Ladrillo	4,90 m	18,12 m	Doméstico
Pz 61DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Ladrillo	4,00 m	15,0 m	Doméstico
Pz 62DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Concreto	0,90 m	13,4 m	Doméstico
Pz 63DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Concreto	0,90 m	2,50 m	Doméstico
Pz 64DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Concreto	36”	6,50 m	Doméstico
Pz 65DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Ladrillo	40”	10,50 m	Doméstico
Pz 66DJA	Sector Don Jaca	Aljibe	Cemento	36”	5,40 m	Doméstico
Pz 67GA	Predio La Bonga	Aljibe	Ladrillo	40”	8,50 m	Doméstico
Pz 68GA	Sector La Paz	Aljibe	Ladrillo	36”	8,0 m	Doméstico
Pz 74GA	Rod. - Calle 18a cra 16	Aljibe	Ladrillo	40”	6,0 m	Doméstico
Pz 75GA	Club Teyuna	Aljibe	Concreto	40”	10,55 m	Recreacional
Pz 76GA	Club Teyuna	Aljibe	Concreto	40”	11,10 m	Recreacional
Pz 103GA	Parque Industrial PLIS	Aljibe	Concreto	1,00 m	10,81	Industrial
Pz 104GA	EDS Biomax – Via Alt.	Aljibe	Concreto	1,6 m	24 m	Doméstico
Pz 105GA	Vereda El Limón	Aljibe	Concreto	1,5 m	14,7 m	Doméstico
Pz 106GA	Vereda El Limón	Aljibe	Concreto	1,6 m	-	Doméstico

Tabla 4.7. Nivel Piezométrico, parámetros físicos y químicos, equipo de bombeo

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (°C)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz 01CA	Boca de pozo	0,66	7,07	28,1	144,1	0,0	Turbina 3 hp
Pz 02TA	Boca de pozo	14,85	7,73	31,1	433	0,1	Turbina 1 hp
Pz 04GA	Boca de pozo	10,04	7,17	29,2	646	0,2	-
Pz 05GA	Boca de pozo	8,46	7,85	29,5	759	0,2	-
Pz 06GA	Boca de pozo	7,43	7,75	29,5	191	0,0	Sumergible
Pz 10GA	Boca de pozo	4,83	7,12	30,9	1250	0,4	-
Pz 12GA	Boca de pozo	4,94	7,02	30,4	2030	0,6	-
Pz 14GA	Boca de pozo	9,15	6,82	29,3	493	0,1	Turbina 2 hp
Pz 19GA	Boca de Pozo	5,95	7,01	32,0	446	0,1	Sumergible
Pz 21GA	Boca de Pozo	8,87	6,69	32,6	418	0,1	Sumergible
Pz 22GA	Boca de Pozo	8,78	6,94	32,5	274	0,0	Turbina 3 hp
Pz 23GA	Boca de Pozo	6,43	7,04	30,1	407	0,1	Turbina ½ hp
Pz 27GA	Boca de Pozo	7,96	7,36	29,6	292	0,0	Turbina 5 hp
Pz 28GA	Boca de pozo	7,26	6,92	30,4	244	0,0	Turbina 5 hp
Pz 29GA	Boca de pozo	5,68	6,87	31,0	316	0,0	Turbina 12 hp
Pz 30GA	Boca de pozo	6,30	7,24	28,5	217	0,0	Turbina 10 hp
Pz 31GA	Boca de pozo	3,75	7,33	31,0	1681	0,5	Turbina 1 hp
Pz 32GA	Boca de pozo	4,43	7,49	31,2	1631	0,5	Turbina 2 hp
Pz 33GA	Boca de pozo	4,43	7,41	31,3	1717	0,5	-

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (ºC)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz 34GA	Boca de pozo	4,42	7,37	31,1	1599	0,5	-
Pz 35GA	Boca de pozo	10,2	7,43	31,5	1799	0,5	-
Pz 36GA	Boca de pozo	Seco	-	-	-	-	-
Pz 37GA	Boca de pozo	6,90	7,78	31,3	1354	0,4	-
Pz 38GA	Boca de pozo	8,08	7,70	32,0	2009	0,6	Turbina 2 hp
Pz 39GA	Boca de pozo	8,45	7,61	30,6	1531	0,5	-
Pz 41GA	Boca de pozo	3,53	7,58	32,1	1171	0,4	Turbina 3 hp
Pz 42GA	Boca de pozo	2,40	7,47	30,2	1136	0,4	Turbina ½ hp
Pz 43GA	Boca de pozo	2,65	7,41	31,2	1295	0,4	Turbina ½ hp
Pz 44GA	Boca de pozo	6,21	7,33	32,5	336	0,0	Turbina ½ y 1 hp
Pz 45GA	Boca de pozo	5,40	7,39	33,5	412	0,1	-
Pz 46GA	Boca de pozo	5,53	7,30	32,7	1302	0,4	-
Pz 47GA	Boca de pozo	7,55	7,42	33,2	590	0,1	-
Pz 49GA	Boca de pozo	6,10	7,31	30,5	720	0,2	-
Pz 50GA	Boca de pozo	4,15	7,42	32,6	1690	0,5	Turbina ¼ hp
Pz 51GA	Boca de pozo	7,60	7,22	30,6	288	0,0	Turbina 1 hp
Pz 52GA	Boca de pozo	7,85	7,34	30,7	239	0,0	Turbina ½ hp
Pz 54GA	Boca de pozo	-	-	-	-	-	-
Pz 55GA	Boca de pozo	-	--	-	-	-	-
Pz 56GA	Boca de pozo	14,48	7,23	32,1	295	0,0	Turbina 1 hp
Pz 57GA	Boca de pozo	11,63	7,18	32,3	206	0,0	Turbina 1 hp
Pz 58GA	Boca de pozo	24,05	7,27	33,0	334	0,0	Turbina ½ hp
Pz 60DJA	Boca de pozo	17,82	7,12	29,3	644	0,2	Turbina 2 hp
Pz 61DJA	Boca de pozo	14,53	7,26	29,5	595	0,2	Turbina ½ hp
Pz 62DJA	Boca de pozo	13,17	-	-	-	-	-
Pz 63DJA	Boca de pozo	1,95	-	-	-	-	-
Pz 64DJA	Boca de pozo	6,10	6,10	6,95	934	0,3	Turbina ½ hp
Pz 65DJA	Boca de pozo	10,05	7,36	29,8	845	0,3	Turbina ¾ hp
Pz 66DJA	Boca de pozo	4,90	7,32	30,7	1618	0,5	-
Pz 67GA	Boca de pozo	4,91	7,34	30,8	1896	0,6	Turbina 1 ½ hp
Pz 68GA	Boca de pozo	3,05	7,11	30,9	1813	0,5	-
Pz 74GA	Boca de pozo	3,20	8,10	31,9	745	0,2	Turbina ½ hp
Pz 75GA	Boca de pozo	6,35	6,91	30,1	515	0,1	Turbina 1 ½ hp
Pz 76GA	Boca de pozo	8,75	6,86	32,0	402	0,1	Turbina 2 hp
Pz 103GA	Boca de pozo	8,78	7,52	32,3	751	0,2	Turbina 2 hp
Pz 104GA	Boca de pozo	18,5	6,76	31,8	1395	0,5	Turbina 1 hp
Pz 105GA	Boca de pozo	14,7	6,90	32,0	253	0,0	Turbina ½ hp
Pz 106GA	Boca de pozo	-	7,04	31,3	668	0,1 %	Turbina 1 hp

El valor en color rojo indica nivel dinámico

En la Tabla 4.8 se presenta un pequeño registro fotográfico de algunos pozos muestreados en la salida de campo.

Tabla 4.8. Registro fotográfico del inventario de pozos realizado en campo

Descripción	Imagen

Inventario de pozos en la Cuenca del Río Piedras	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Córdoba (Ciénaga)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Córdoba (Ciénaga)	

Inventario de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Particulares)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Particulares)	
Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Industriales)	
Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Industriales)	

Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Acueducto)	
Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Acueducto)	
Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Agrícola)	

Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Gaira (Agrícola)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Particulares)	

Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Particulares)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Industriales)	

Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Industriales)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Acueducto)	
Inventario de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Acueducto)	

Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Comercial)	
Inventario de pozos de pozos en la Cuenca del Río Manzanares (Comercial)	

Adicionalmente al inventario de puntos, fue adelantada una campaña de prospección geofísica, en la cual se busca conocer las condiciones geológicas e hidrogeológicas del subsuelo, con este objetivo en mente fue utilizada la geo tomografía eléctrica, dada la alta calidad de información obtenida a partir de esta.

4.1.2.1. *Metodo tomografía de resistividad eléctrica*

El estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography, es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente.

Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes.

Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multi electrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio.

Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo.

Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo.

Este método geofísico fue desarrollado para la investigación de áreas de geología compleja (Griffiths, 1993). Su aplicación es diversa, como en la exploración de recursos naturales y actualmente en numerosas aplicaciones ambientales, hidrogeológicas, arqueológicas y geotécnicas.

4.1.2.2. *Marco teótico de la T. R. E. 2D*

El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electrónico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [P1 y P2]. La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo. Para el caso de prospección eléctrica se considera un campo estacionario, por tanto, las derivadas temporales se anulan, quedando expresada la ecuación de resistividad así:

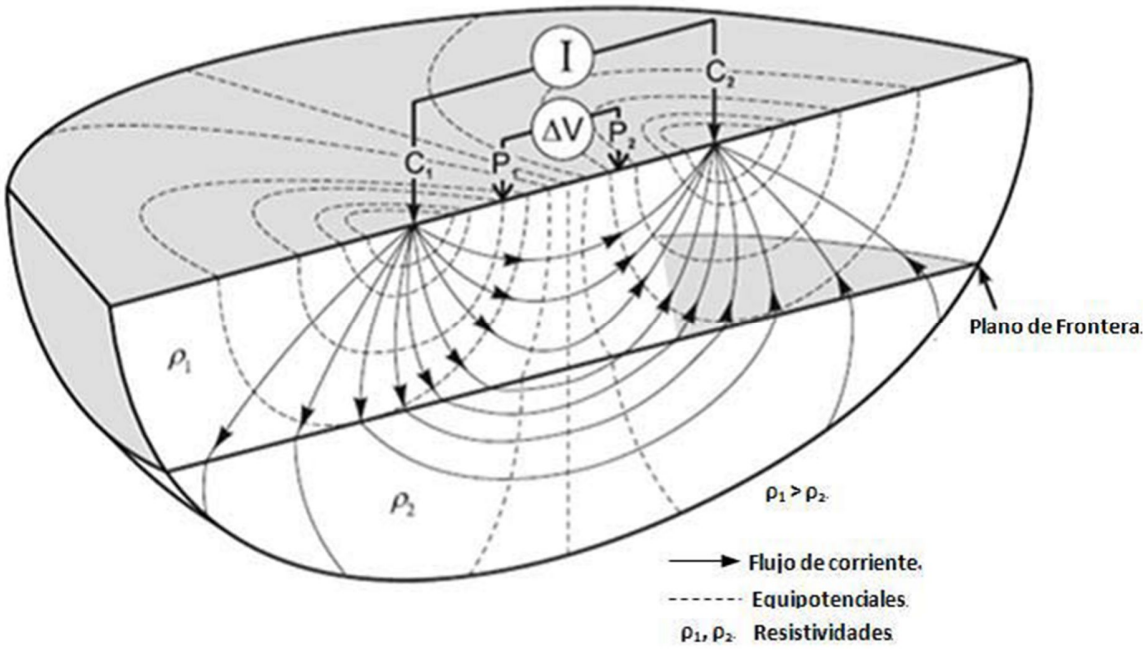
$$R = K * \frac{V}{I}$$

Dónde:
V: Voltaje Medido
I: Corriente Medida
K: Constante que depende de la configuración de los electrodos (A, B, M, N)
R: Resistividad del terreno a la profundidad (AB/2)

En la práctica se utilizan al menos dos electrodos en la superficie, uno positivo que inyecta corriente al subsuelo y a su vez uno negativo que colecta la corriente de regreso. Además, los valores de potencial tienen un patrón simétrico con respecto al punto medio entre los electrodos.
Sin embargo, prácticamente todos los estudios se realizan con un arreglo geométrico de cuatro o más electrodos, como la tomografía eléctrica que se caracteriza por ser multi electrónica, que finalmente están basados en el mismo principio.

El arreglo geométrico consta de dos electrodos por donde se inyecta la corriente llamados C_1, C_2 y dos electrodos P_1, P_2 que miden el potencial. La configuración geométrica puede variar dependiendo del objetivo del estudio.

Figura 4.2. Esquema de un arreglo geométrico típico



4.1.2.3. *Variación vertical de la resistividad*

Los registros de la resistividad aparente se ven afectados fuertemente por la resistividad de los materiales del subsuelo que está cerca del arreglo electrónico (distancia menor a P1-P2) y se afecta en menor grado por la resistividad de los materiales que están a distancias grandes (mayores a C1-C2), tanto lateralmente como en profundidad.

Por lo tanto, para investigar las variaciones de la resistividad con la profundidad en un sitio, se varía la separación de los electrodos de la configuración electrónicas (P1-P2, C1-C2) y registrar las caídas de potencia.

Fundamento teórico de la medida de resistividad eléctrica del subsuelo

(Tomado textualmente de Manual de Interpretación de Perfiles de Resistividad en el Subsuelo del Departamento de Ingeniería de La Escuela Politécnica de Cataluña – Capitulo II – Resistividad Eléctrica del Subsuelo)

“Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada.

La resistividad eléctrica R de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad S como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material. La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor.

La unidad de conductividad en el Sistema Internacional es el siemens (S). La resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión.

Estrictamente hablando todos los cuerpos son eléctricamente conductores dado que permiten, en mayor o menor medida, el paso de portadores de cargas eléctricas. Estos portadores pueden ser electrones o iones, hecho que permite distinguir entre dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. Los cuerpos con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores. Los cuerpos con conductividad iónica se conocen como electrolitos si no presentan forma gaseosa.

El mecanismo de la conductividad de los metales puede imaginarse como debido a que los electrones de valencia de sus átomos pueden moverse libremente entre la red cristalina que éstos forman, sin vinculación a ninguno determinado. La facilidad de movimiento de los electrones y su gran número redundan en una conductividad muy elevada. Su resistencia aumenta con la temperatura y con el contenido de impurezas. La resistividad de los metales a temperatura normal varía entre 10-8 y 10-7 Ωm. Son pocos y muy escasos los componentes de la corteza terrestre que posean conductividad metálica. Entre ellos se cuentan los metales nativos (oro, plata, cobre, estaño) y quizá algún mineral poco abundante como la ullmanita (NiSbS).

Los minerales semiconductores son muchos y de gran importancia práctica. Su resistividad depende de su contenido en impurezas, a veces en grado extremo. Además, su conductividad aumenta con la temperatura. Por ello, no cabe esperar que la resistividad de una especie mineralógica determinada pueda representarse por un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios. En general los teluros y los arseniuros son conductores muy buenos. Los sulfuros suelen entrar también entre los conductores buenos, con excepciones como la blenda y el cinabrio. Los óxidos, y los compuestos de antimonio suelen ser malos conductores, con la excepción de la magnetita. Ahora bien, estos minerales no suelen aparecer en la naturaleza de forma individual, sino en asociaciones, y junto con una ganga frecuentemente aislante (cuarzo, calcita, etc.), por lo que la resistividad conjunta del filón puede variar mucho de unos casos a otros.

En los cuerpos dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados a la longitud. Esto puede deberse a que existan enlaces covalentes o iónicos. En este último caso la red cristalina forma un electrólito sólido. La mayoría de los minerales pertenecen a este grupo. A temperaturas normales las resistividades son muy altas, generalmente superiores a 107 Ωm. Son minerales dieléctricos el azufre, la blenda, la calcita, el cinabrio, el cuarzo, las micas y el petróleo entre otros. Entre estos minerales, además, figuran los más importantes constituyentes de las rocas, las cuales se comportarían como aisladoras si no fuera por la presencia de electrolitos.

El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos 105 Ωm por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, sin embargo, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. Así las aguas de lagos y arroyos de alta montaña varían entre 103 Ωm y 3x103 Ωm, las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a 20 Ωm, y las aguas marinas tienen una resistividad de unos 0,2 Ωm.

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar en margen amplísimo en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros. La anterior figura presenta un gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales. La fisuración, impregnación en agua salada, etc., pueden extender estos límites.

El objetivo de este trabajo no es, sin embargo, dar una interpretación de los materiales constituyentes a partir de las resistividades aparentes medidas, sino obtener imágenes tridimensionales de la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo."

Observaciones adicionales de la variación vertical de la resistividad

Con base en los principios teóricos mencionados en anteriormente, las resistividades altas en materiales secos o formaciones rocosas tales como calcita, feldespato o cuarzo son comunes en la naturaleza debido a su condición dieléctrica, de esta manera la presencia de agua en el subsuelo que por lo general tiene sales disueltas disminuyen la resistividad; por lo tanto se debe entender que zonas con resistividades muy altas (asociadas a acuifugos o acuicierres), no presentan condiciones hidrogeológicas favorables desde el punto de vista de aprovechamiento de recursos hídricos subterráneos, bien sea por su alta dureza que dificulta la perforación o la baja presencia de agua, lo cual para efectos interpretativos se descarta sin que sea necesario conocer los materiales que lo constituyen (ver último párrafo del fundamento teórico), aun así en nuestra interpretación presentamos características generales de materiales que presenta esta condición asociado a arenas no saturadas (superficialmente), conglomerados arenosos (zonas con cantos a profundidades medias) y a mayor profundidad se interpreta como basamento rocoso (no fracturado).

Se es reiterativo en relación aclarar que el objetivo de los estudios presentados para el POMCA es hidrogeológico (identificación de presencia de acuíferos) y no geológico (descripción estratigráfica) para lo cual sería necesario contar con información complementaria (perforaciones o registros).

El rango para considerar que el estrato contiene agua suficiente para ser viable su explotación hídrica oscila entre 100 y 150 ohm-m, aunque en algunos casos dichos valores resistividad pueden

ser mayores, si se plantea la posibilidad de captar formaciones con porosidades secundarias, tales como zonas saprolitizadas de las granitos o formaciones Kársticas, cuyo rango asignado dependerá del criterio del hidrogeólogo, basado en el conocimiento de las características geológicas de la zona y su comportamiento hidráulico con información de perforaciones realizadas.

Al comparar los rangos de resistividad obtenidos del perfil Geotomográfico en relación a los datos arrojados por la Geoeléctrica S.E.V., de debe recordar que los valores aparentes de resistividad del segundo método son compuestos pues toma información del comportamiento de la corriente de todas las capas que abarca el registro y que finalmente el valor asignado de resistividad depende del número de capas asignada por el geofísico y de la comparación de la distribución de la curva de campo, con las curvas preestablecidas de la configuración Schlumberger desarrolladas por la universidad de Ámsterdam y actualizada en 1983 por el Dr. C. J. Hemker, lo que hace que el método sea subjetivo.

En el caso de la Geotomografía el método trabaja con distintos algoritmos matemáticos que el software del equipo toma en forma automática dependiendo de las condiciones del terreno y la configuración escogida, lo cual disminuye sustancialmente el componente subjetivo del método anterior, dando objetividad a los resultados, por lo general nuestra empresa siempre trabaja con tres métodos en relación a la configuración, que para este proyecto fueron escogidos Wenner (mayor resolución en la vertical), Schlumberger (Tradicional y logra mayor profundidad) y Gradient (combina los dos métodos anteriores).

Si bien los softwares Terrameter LS y RES2DINV permiten ajustar los rangos de resistividad y suprimir picos, durante la toma de datos o durante la interpretación de los mismos, esta acción no es recomendable pues de cierta forma sesga la sensibilidad del equipo o del método interpretativo y puede ocultar características del subsuelo.

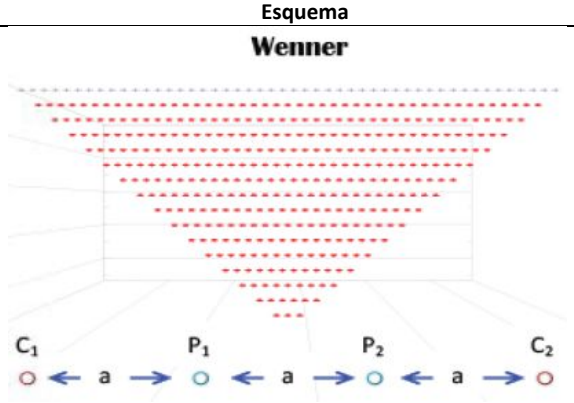
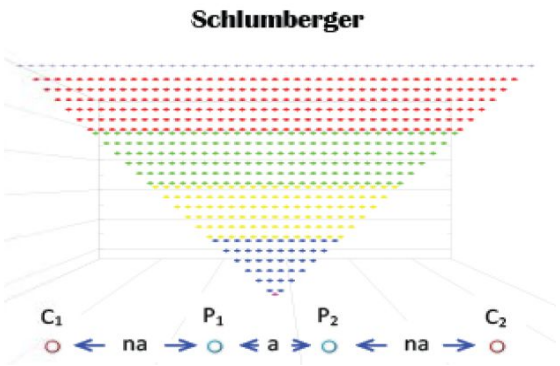
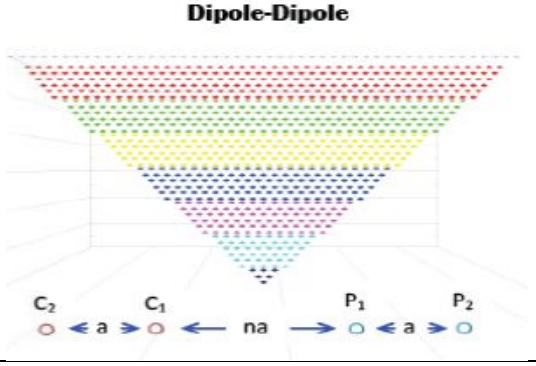
4.1.2.4. *Metodología*

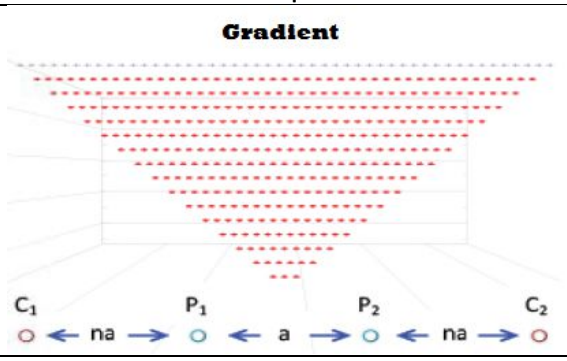
El principio de los cuatro electrodos se denomina cuadripolo o tetrapolo. En principio los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie del terreno.

De las diferentes configuraciones posibles que ofrece la T.R.E. se han elegido dos, Wenner y Dipolo-Dipolo, por sus diferentes características y cuyo común denominador es el espaciamiento entre electrodos.

En función del espaciado entre electrodos puede establecerse un compromiso entre profundidad de investigación y resolución. A mayor espaciado de electrodos, la profundidad alcanzada es mayor, pero la resolución disminuye, en la Tabla 4.9 se describen los tipos de arreglos posibles para la realización de la T.R.E.

Tabla 4.9. Tipos de arreglos

Tipo y descripción del arreglo	Esquema
Wenner El arreglo Wenner "normal" o también llamado Wenner alpha, fue utilizado por primera vez por el grupo pionero de investigación de la Universidad de Birmingham. Los electrodos se mantienen equidistantes, con una longitud de dipolo de "a", se mueven sobre una línea con la disposición de C1-P1-P2-C2, aumentando el espaciamiento "n x a", donde "n" es el factor de separación del dipolo o comúnmente llamado nivel de estudio. Con este método se logra mejor resolución entre las capas, pero menor profundidad en el subsuelo	
Schlumberger En este arreglo la distancia de los electrodos P1 - P2 se mantiene constante, ampliando solo la distancia C2 - C1. A separaciones mayores en donde se hace necesario ampliar los electrodos P1- P2, es necesario realizar una medida de empalme o punto doble donde se busca hacer una recuperación de la medida de potencial para valores de P1-P2 mucho mayores a C2-C1. Con este método logra mayor profundidad que con el método Wenner pero su resolución horizontal es menor.	
Dipolo- dipolo Este arreglo es usado en estudios de resistividad y de Polarización Inducida (IP), gracias al bajo acoplamiento entre los circuitos de corriente y potencial. La geometría es C2-C1-P1 -P2, en principio la distancia es equidistante entre los electrodos "a", pero incrementa en "n x a" en C2-C1 y P1 -P2. Con este método logra mayor profundidad pero su resolución en la vertical es menor. Con este método logra mayor profundidad que con el método Dipolo-Dipolo pero su resolución horizontal es menor.	

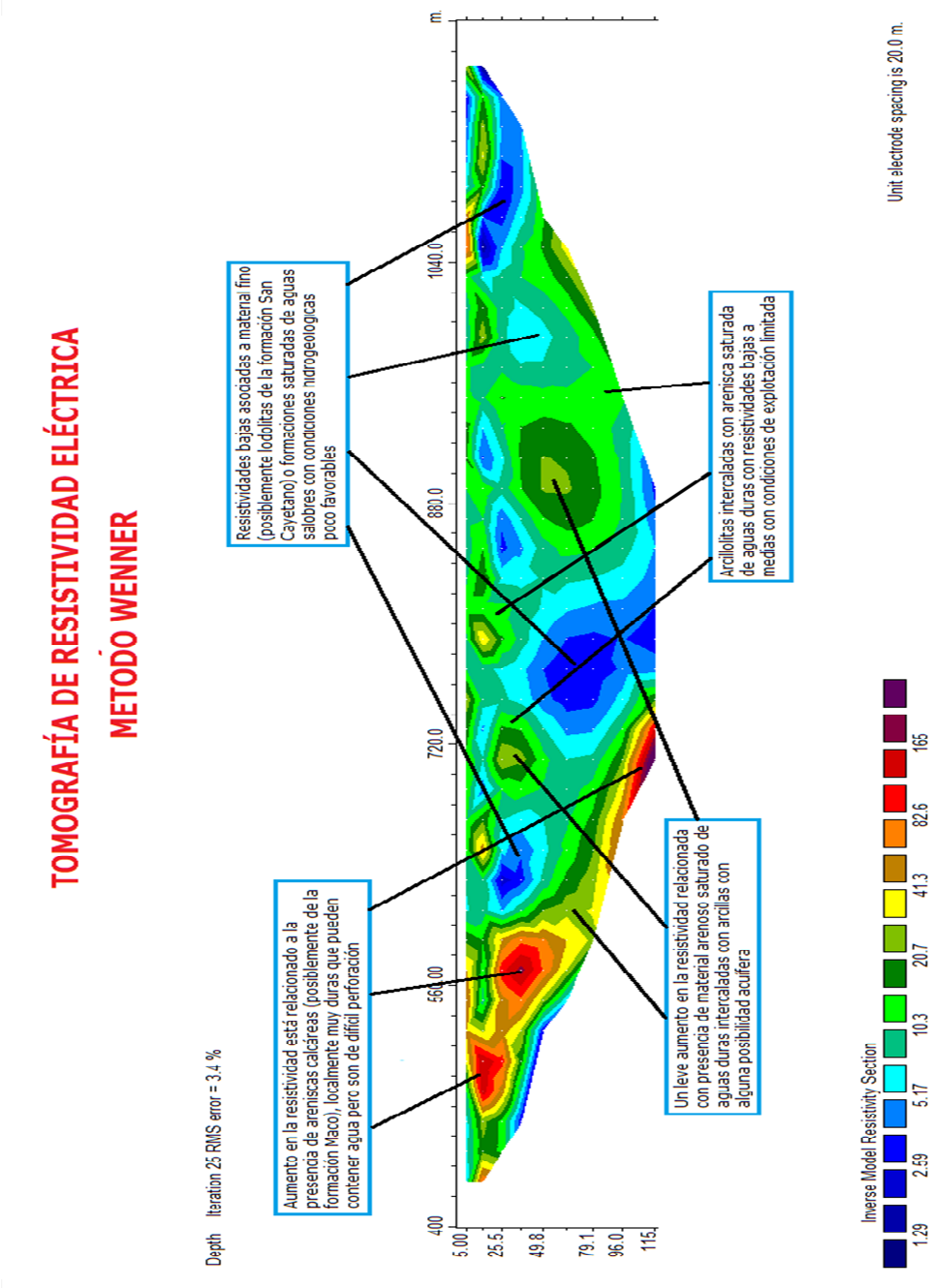
Tipo y descripción del arreglo	Esquema
Gradient En este arreglo la distancia de los electrodos P1 - P2 se mantiene constante, ampliando solo la distancia C2 - C1. A separaciones mayores en donde se hace necesario ampliar los electrodos P1- P2, es necesario realizar una medida de empalme o punto doble donde se busca hacer una recuperación de la medida de potencial para valores de P1-P2 muchos mayores a C2-C1.	

4.1.2.5. *Interpretación*

La finalidad de un registro de Geo tomografía Eléctrica en aguas subterráneas es determinar la situación hidrogeológica del subsuelo en la zona de estudio; para tal fin, se interpreta el sondeo en dos etapas:

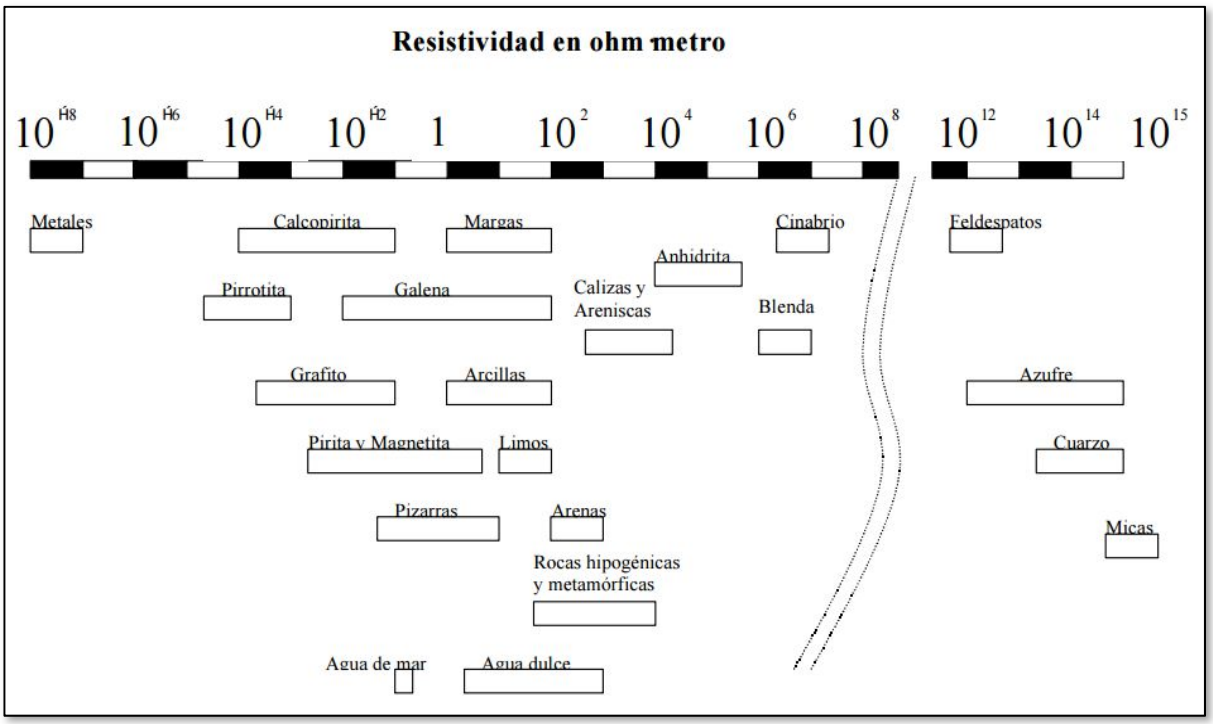
Con la primera se obtiene una estratificación geológica y las resistividades verdaderas de cada capa, partiendo de las leyes físico-matemáticas. Con la segunda se busca el significado hidrogeológico de esas capas y resistividades, correlacionando los resultados con los datos disponibles del subsuelo.

Figura 4.3. Esquema de la tomografía de resistividad eléctrica por el método Wenner



Esta técnica permite determinar el valor de la resistividad eléctrica real y su distribución en el subsuelo a partir de las mediciones realizadas en superficie. Posteriormente los datos son procesados con algoritmos mediante herramientas informáticas que tras un proceso de iteraciones aproximan la sección medida a un modelo teórico real. El resultado final es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad eléctrica real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos, en la Figura 4.4 se presenta una imagen resumen de las resistencias para distintas rocas, minerales y químicos.

Figura 4.4. Resistencias típicas en ohm para distintas rocas, minerales y químicos



La aplicación hidrogeológica constituye la segunda etapa de la interpretación, con esta se deduce el significado geológico e hidrogeológico de las resistividades y los espesores obtenidos. En esta etapa se integran todos los datos disponibles de modo que la interpretación sea la más ajustada a la realidad, esto implica que entre más datos se tengan sobre el agua subterránea, su calidad y la estratigrafía del acuífero obtenida de perforaciones, más precisos serán los resultados obtenidos mediante la investigación.

4.1.2.6. *Ventajas y limitaciones del método*

En geofísica siempre existe un grado de incertidumbre debido a que se está midiendo una característica física del subsuelo en este caso la resistividad la cual se correlaciona con la estratigrafía geológica de la zona, de esta forma el método se debe siempre complementar con otras técnicas para lograr una interpretación más exacta de las propiedades y la disposición geométrica

de los sustratos; como por ejemplo perforaciones de prueba y registros eléctricos, tal como se recomienda en el informe.

Aun así, la confiabilidad (calidad de la información tomada en campo aplicada a la interpretación) del método Geotromográfico es mayor que cualquier otro método geofísico, como por ejemplo la sísmica que para agua subterránea su confiabilidad es de apenas el 30 %, la geoeléctrica entre el 50 al 60 % y la Geotomografía (que es una geoeléctrica avanzada) por encima del 80 % en algunos casos por encima de 90 %, lo que ha permitido que esta técnica tenga existo donde otros métodos han fracasado.

En conclusión, la geofísica y en este caso la Geotomografía de Resistividad Eléctrica, es método económico y rápido para analizar las estructuras del subsuelo, en donde se puede obtener perfiles de resistividad de las formaciones, que se relacionan con ciertas características de las rocas, pudiéndose identificar algunas tendencias. Por esta razón siempre es necesario corroborar la información obtenida en campo con perforaciones exploratorias y correlacionarlas con los perfiles para que, de esta manera, se pueda tener información más exacta de la geología subterránea del área de interés.

Las ventajas que presenta este método son las siguientes:

El proceso de captura de los datos está totalmente automatizado, pudiéndose realizar un gran número de medidas, de forma que se obtiene secciones 2-D de excepcional resolución tanto en profundidad como lateralmente.

Gracias a esta visión bidimensional de alta resolución, el método de Tomografía eléctrica nos permitirá:

1. Detectar zonas susceptibles de presentar focos de filtración, así como caracterizar geométricamente el problema (estimar la profundidad del flujo).
2. Abordar de forma eficaz problemas en terrenos con elevada complejidad estructural.
3. Ubicar con gran eficiencia otro tipo de procedimientos (sondeos o piezómetros), dado que nos marca lugar y profundidad a la que se encuentra la anomalía.

Ventajas:

- El procesado de los datos se puede realizar en el propio campo, mediante la ayuda de un portátil y en un tiempo muy reducido. Esta manera de actuar, casi a tiempo real, le confiere al método una gran versatilidad a la hora de resolver posibles problemas surgidos durante todo el proceso de campo, o decidir la ejecución de nuevos perfiles que inicialmente no estaban proyectados
- Se puede controlar la profundidad máxima de estudio.
- Es un método no destructivo.

Limitaciones:

- A diferencia de otros métodos, la Tomografía eléctrica precisa de un equipo bastante costoso y un procedimiento de campo demorado.

- Como pasa en todos los métodos de resistividad eléctrica, la presencia de material muy resistivo en superficie imposibilita un buen funcionamiento del método, siendo necesario la utilización de otras técnicas.

4.1.3. **Resultados**

Para la evaluación hidrogeológica del área de estudio se realizaron ocho (8) registros de Geo tomografía de Resistividad Eléctrica los cuales se denominaron así:

- Registro No. 1: Realizado en la cuenca del río Córdoba, en el sector de Cordobita, en el separador de la vía Troncal del caribe.
- Registro No. 2: Realizado en la cuenca del río Gaira, en el sector de Rodadero Sur, barrio Vista Hermosa.
- Registro No. 3: Realizado en la cuenca del río Gaira, en el sector de Manantial, en la finca Monterrey.
- Registro No. 4: Realizado en la cuenca del río Gaira, en la vía de acceso al SENA Agropecuario, entre la cabaña administrativa y la sede educativa.
- Registro No. 5: Realizado en la cuenca del río Manzanares, en el sector de Santa Cruz de Curinca, al sur del barrio Tejares del Libertador.
- Registro No. 6: Realizado en la cuenca del río Manzanares, en el predio del Polideportivo del barrio Jardín, a lo largo del costado oriental por la calle 20.
- Registro No. 7: Realizado en la cuenca del río Manzanares, en el barrio Santa Ana, por la vía paralela al río Manzanares.
- Registro No. 8: Realizado en la cuenca del río Manzanares, en El Parque Cementerio Jardines de Jerusalén, en el sector Sabanas de Bonda.

En la Tabla 4.10 se presenta la tabla resumen con las coordenadas por tomografía, y en la Figura 4.5 la ubicación espacial de las tomografías realizadas

Tabla 4.10. Coordenadas de las Geotomografías

CODIGO	COORD. N	COORD. W	ALTURA GPS
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 1 - Cordobita			
Electrodo No. 1	11° 01' 28.12"	74° 12 '26.46"	32
Electrodo No. 26	11° 01' 42.47"	74° 12 '18.82"	28
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 2 – Rodadero sur			
Electrodo No. 1	11° 08' 35.59"	74° 13' 4.49"	35
Electrodo No. 20	11° 08' 34.30"	74° 12' 51.55"	55
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 3 - Manantial			
Electrodo No. 1	11° 09' 12.59"	74° 13' 14.08"	12

CODIGO	COORD. N	COORD. W	ALTURA GPS
Electrodo No. 21	11° 09' 08.86"	74° 13' 02.23"	24
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 4 – SENA Agropecuario			
Electrodo No. 1	11° 11' 10.69"	74° 12' 16.92"	17
Electrodo No. 41	11° 10' 55.02"	74° 11' 56.24"	19
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 5 – Santa Cruz de Curinca			
Electrodo No. 1	11° 12' 50.57"	74° 10' 7.84"	33
Electrodo No. 21	11° 12' 45.48"	74 °10' 19.79"	31
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 6 – Polideportivo Jardín			
Electrodo No. 1	11° 14' 23.83"	74° 11' 32.64"	16
Electrodo No. 23	11° 14' 10.10"	74° 11' 31.75"	17
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 7 – Barrio Santa Ana			
Electrodo No. 1	11° 13' 47.29"	74° 11' 00.99"	20
Electrodo No. 30	11° 13' 50.25"	74° 10' 52.00"	22
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 8 – Concordia			
Electrodo No. 1	11° 14' 34.21"	74° 06' 47.89"	80
Electrodo No. 15	11° 14' 33.37"	74° 06' 57.65"	73

Figura 4.5. Ubicación espacial de las tomografías realizadas

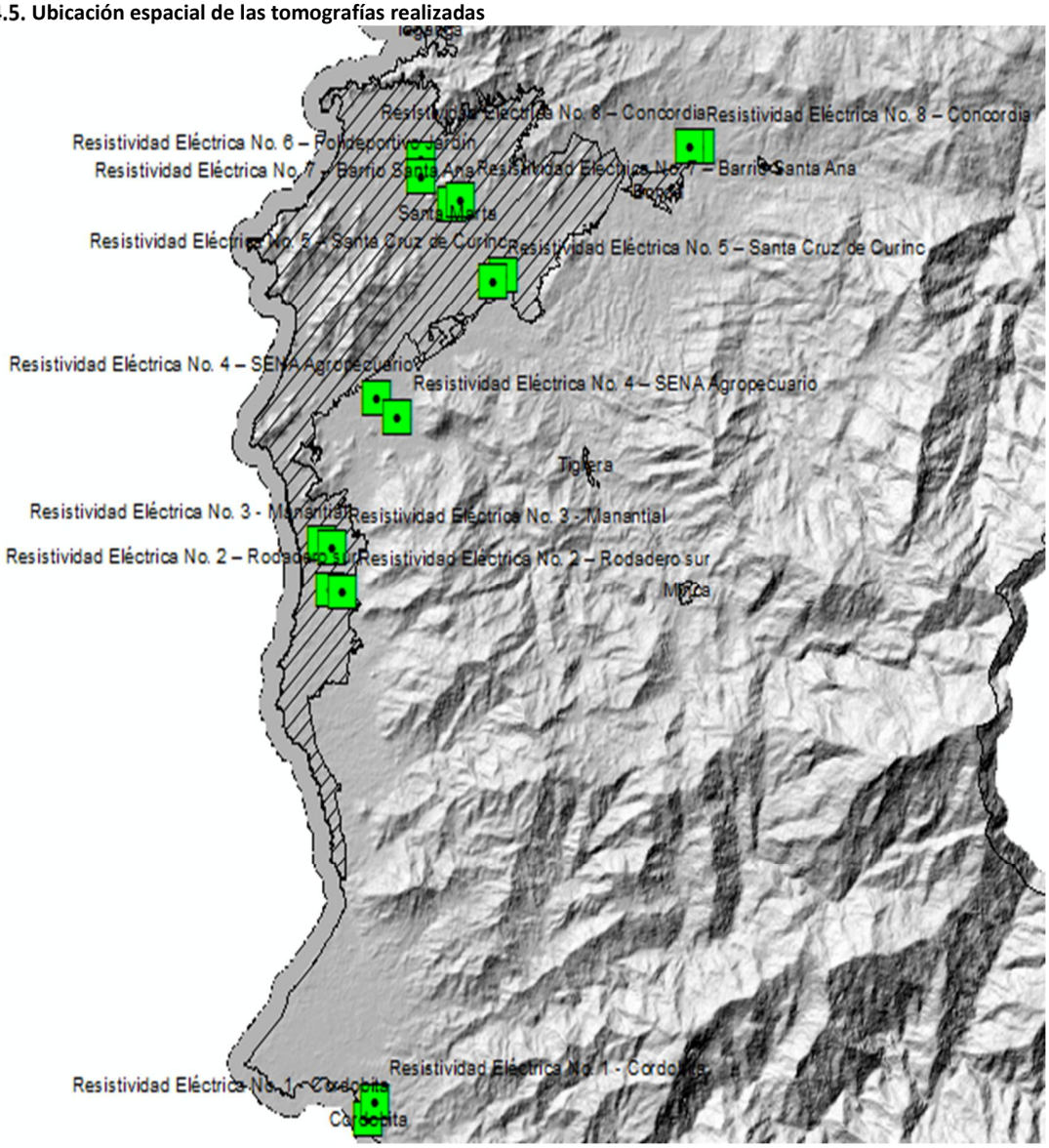


Figura 4.6. Ubicación en Google Earth de la Geotomografía 1 realizada en Cordobita



Figura 4.7. Localización de la Línea de Geo tomografía 2 realizada en el Barrio Vista Hermosa



Figura 4.8. Localización de la Línea de Geo tomografía 3 realizada en el sector del Manantial



Figura 4.9. Localización de la Línea de Geo tomografía 4 realizada en el SENA Agropecuario



Figura 4.10. Localización de la Línea de Geo tomografía 5 realizada en el sector de Curinca



Figura 4.11. Localización de la Línea de Geo tomografía 6 realizada en el Polideportivo Jardín



Figura 4.12. Localización de la Línea de Geotomografía 7 realizada en el barrio Santa Ana



Figura 4.13. Localización de la Línea de Geotomografía 8 realizada en Sabanas de Bonda



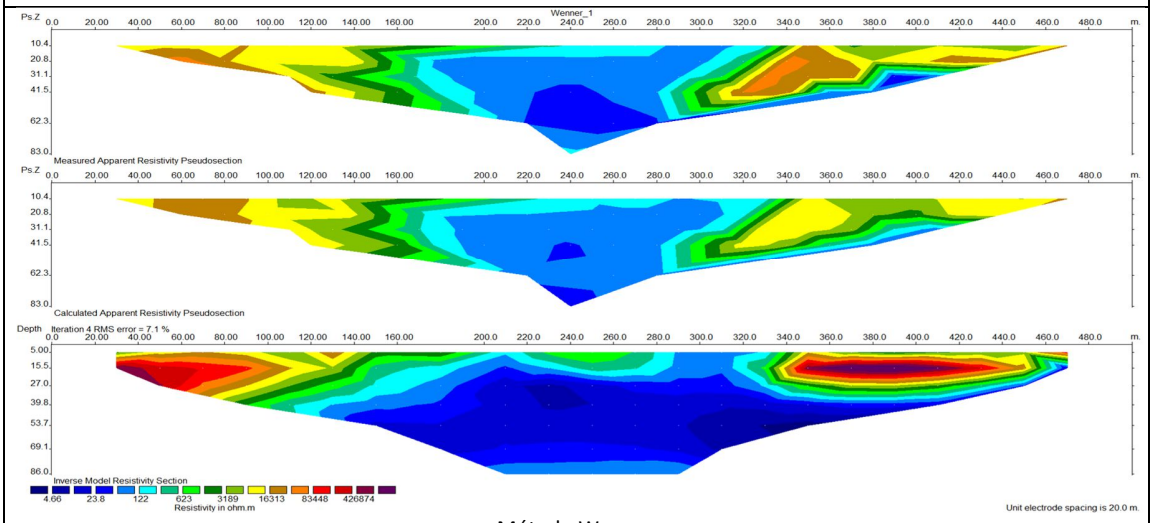
En la Tabla 4.11 son expuestos los perfiles obtenidos en las tomografías, los cuales fueron tomados con los métodos Wenner, Schlumberger, Polo-Polo o Gradient, así mismo el sustento fotográfico de la realización de la campaña de. geofísica.

Tabla 4.11. Resumen de los modelos de tomografía tomados en campo

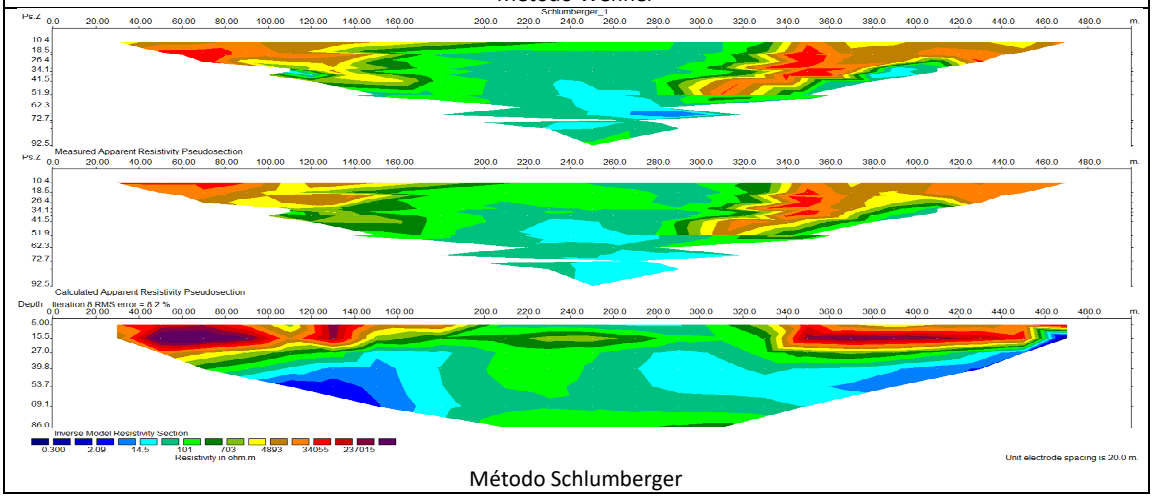
Geo tomografía 1 realizada en el corregimiento Cordobita



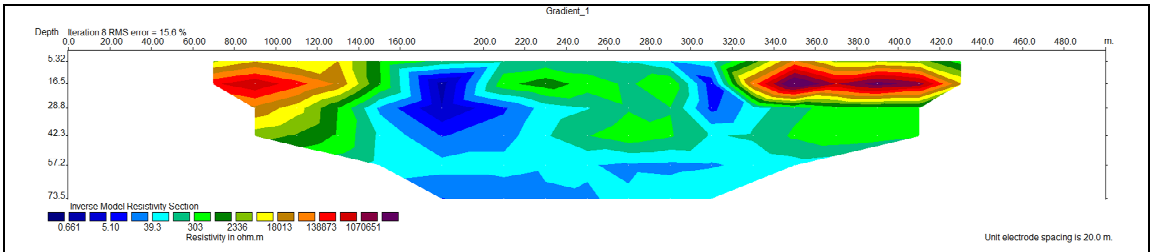




Método Wenner



Método Schlumberger

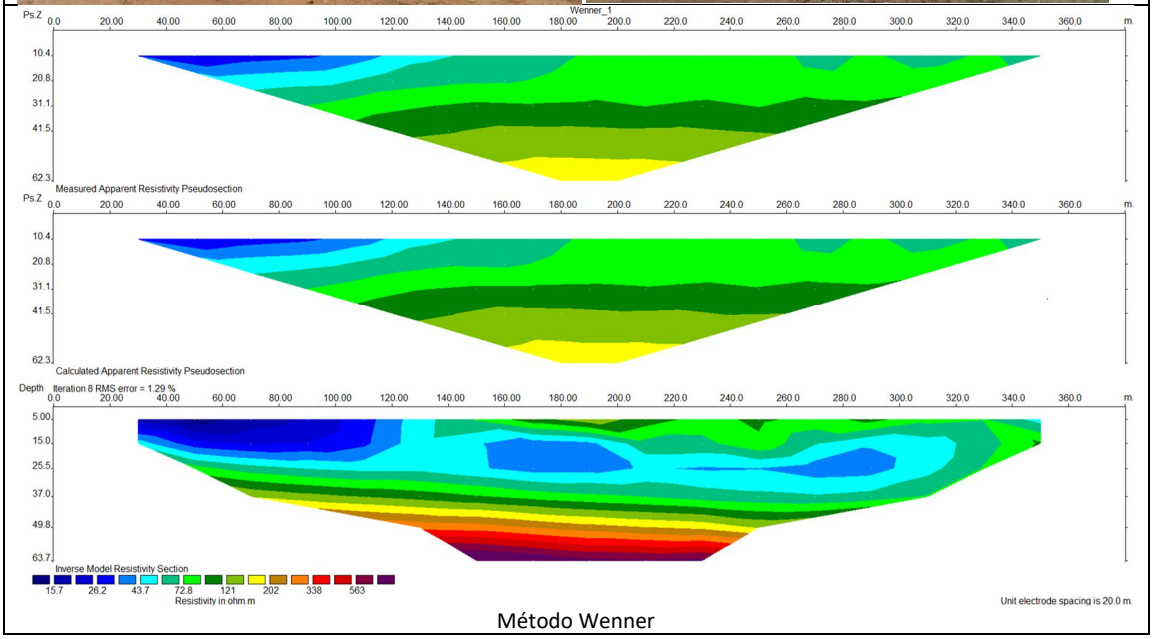


Método Gradient

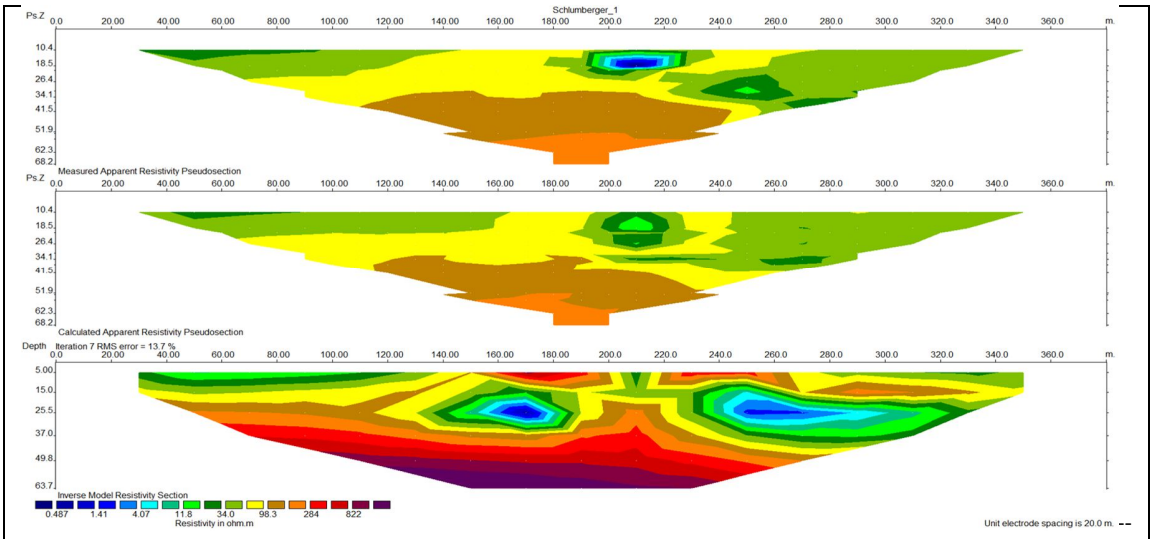
Geo tomografía 2 realizada en el barrio Vista Hermosa



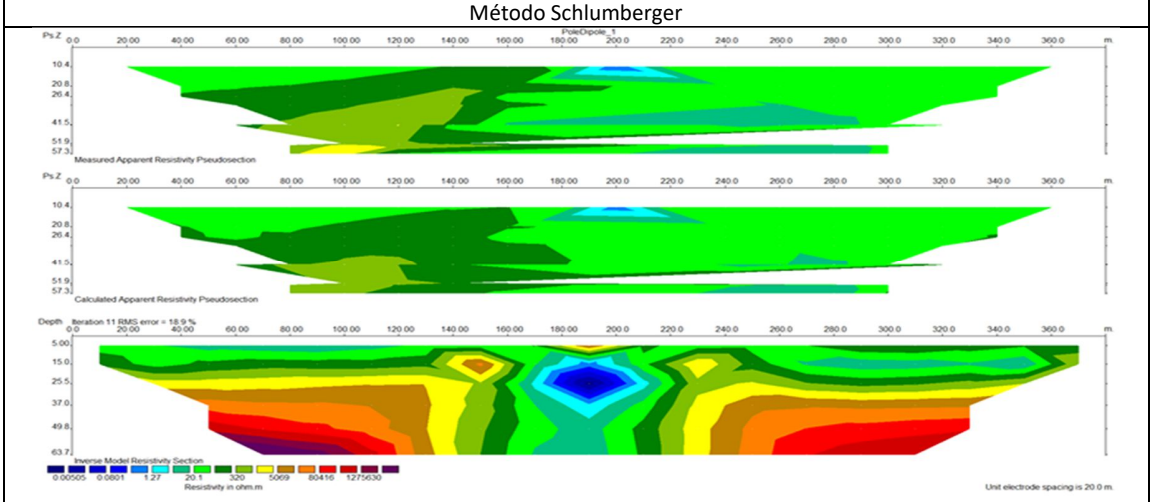




Método Wenner



Método Schlumberger

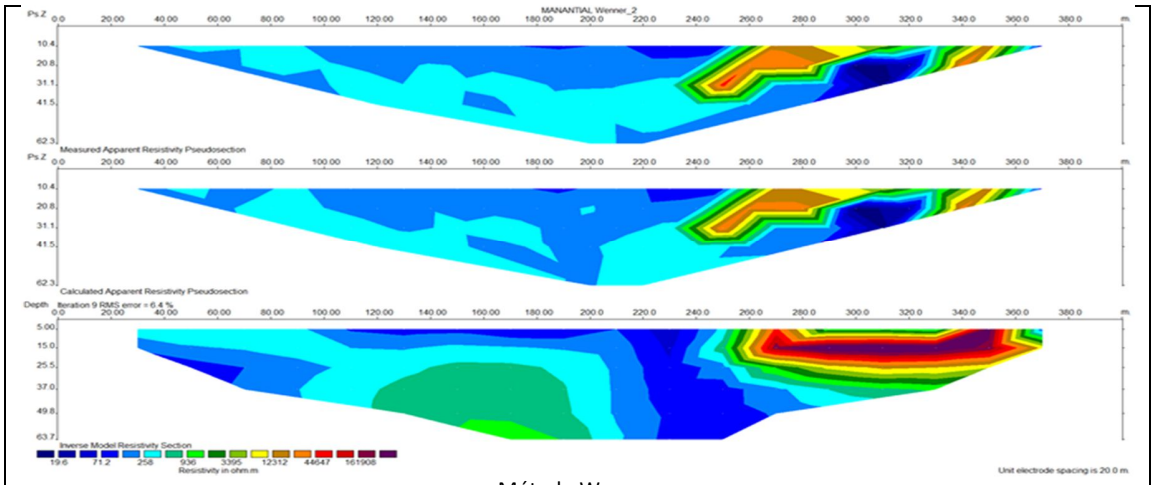


Método dipolo-dipolo

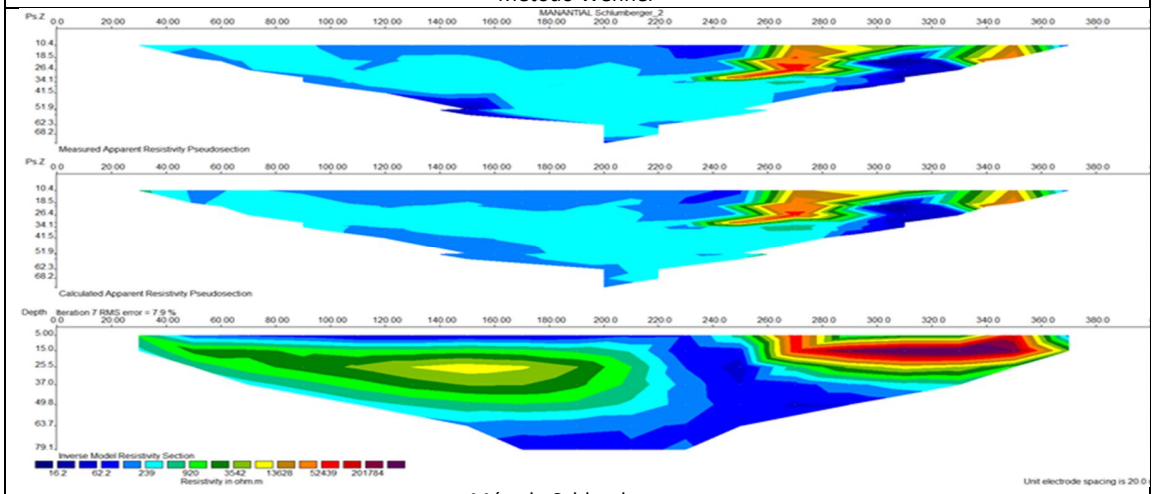
Geo tomografía 3 realizada en el sector del Manantial



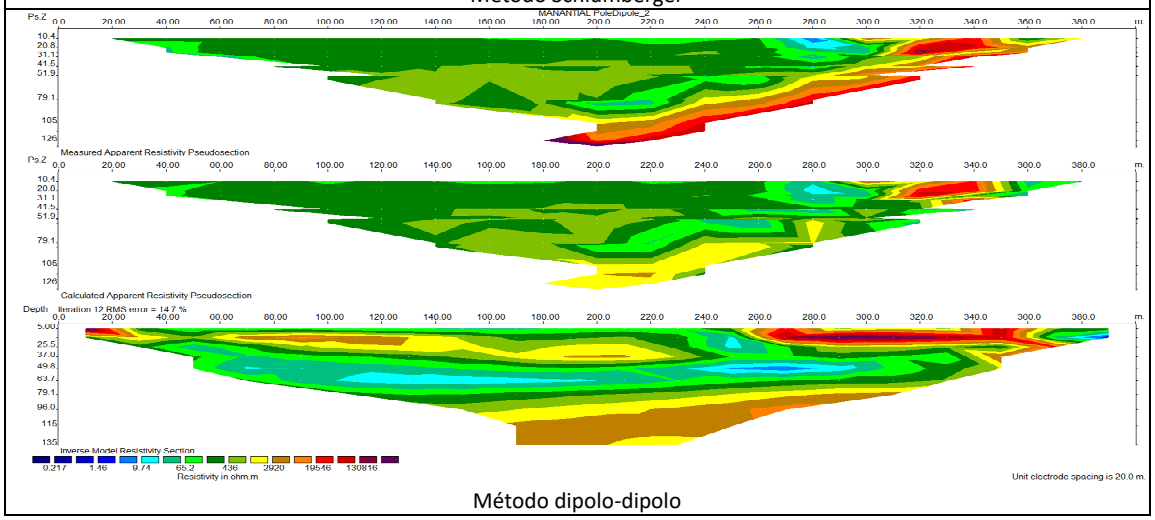




Método Wenner



Método Schlumberger

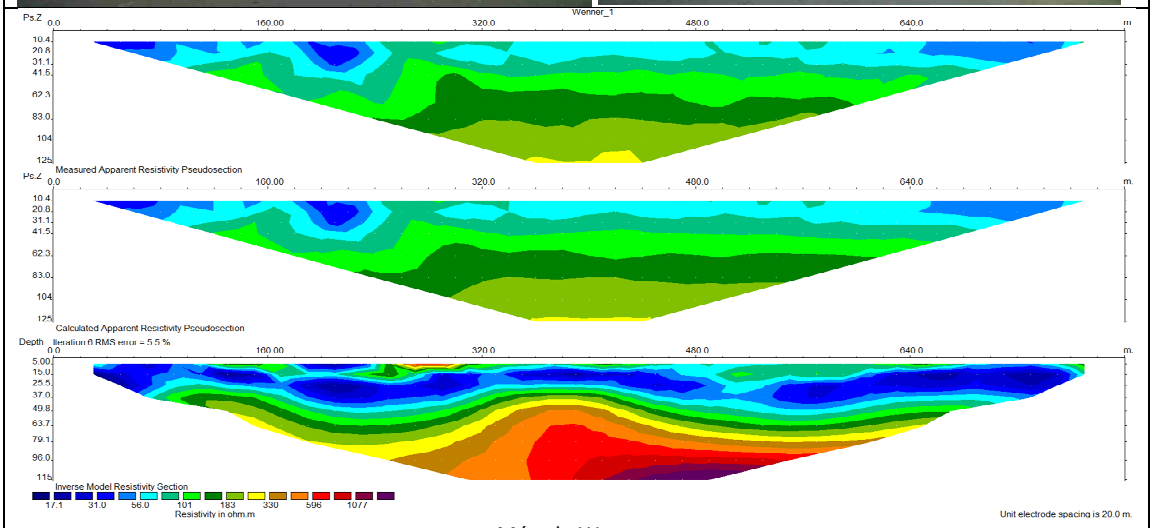


Método dipolo-dipolo

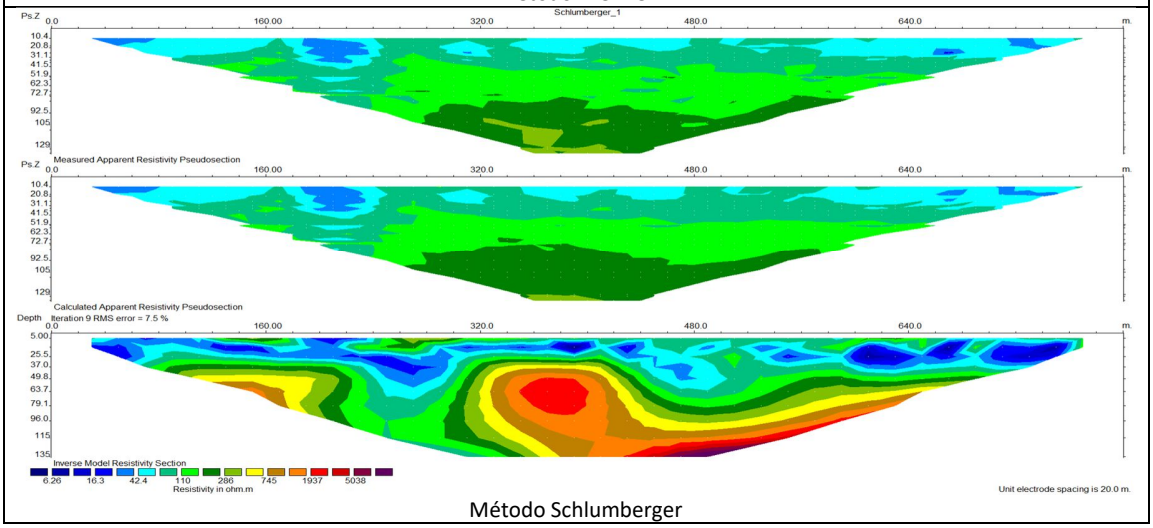
Geo tomografía 4 realizada en vía al SENA Agropecuario



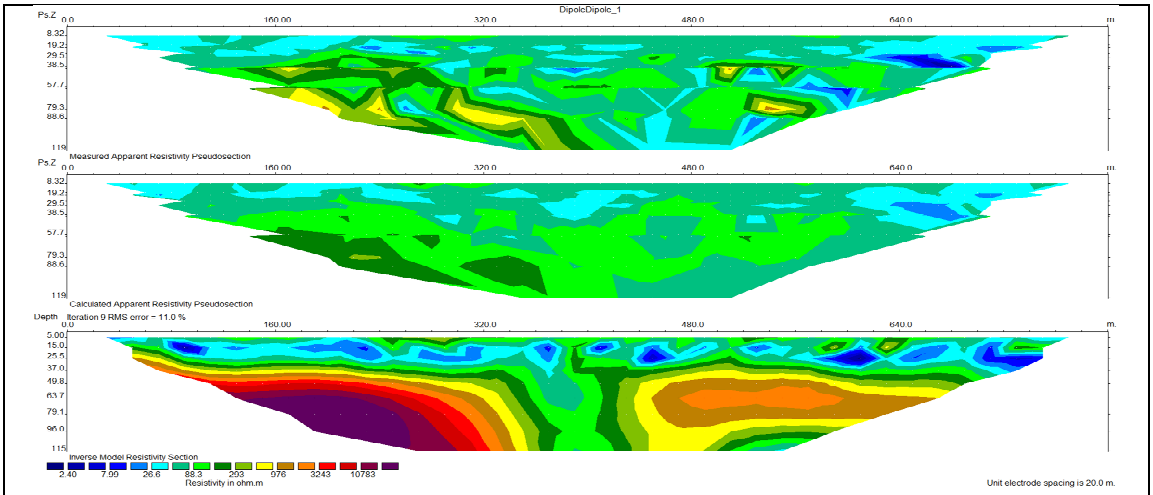




Método Wenner



Método Schlumberger

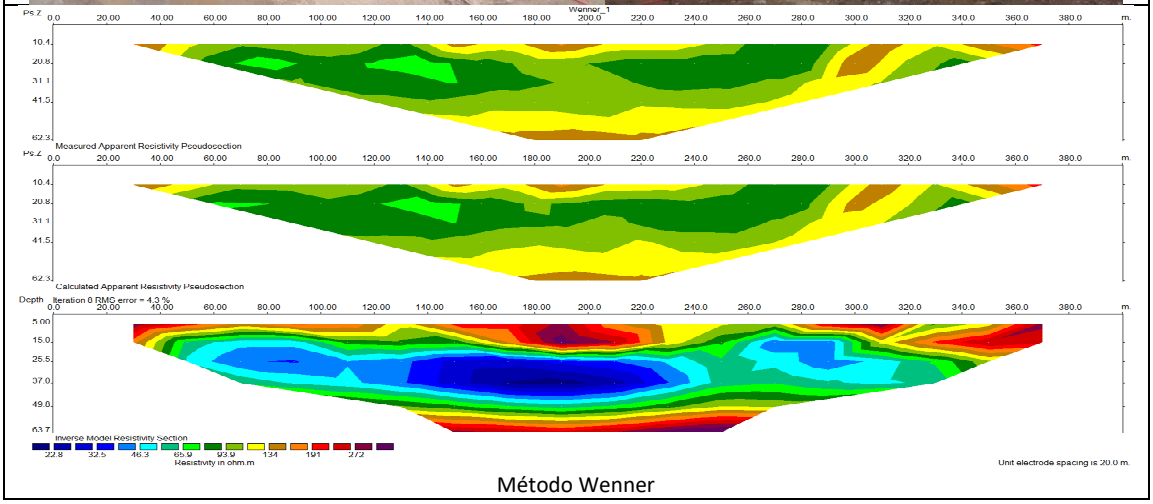


Método dipolo-dipolo

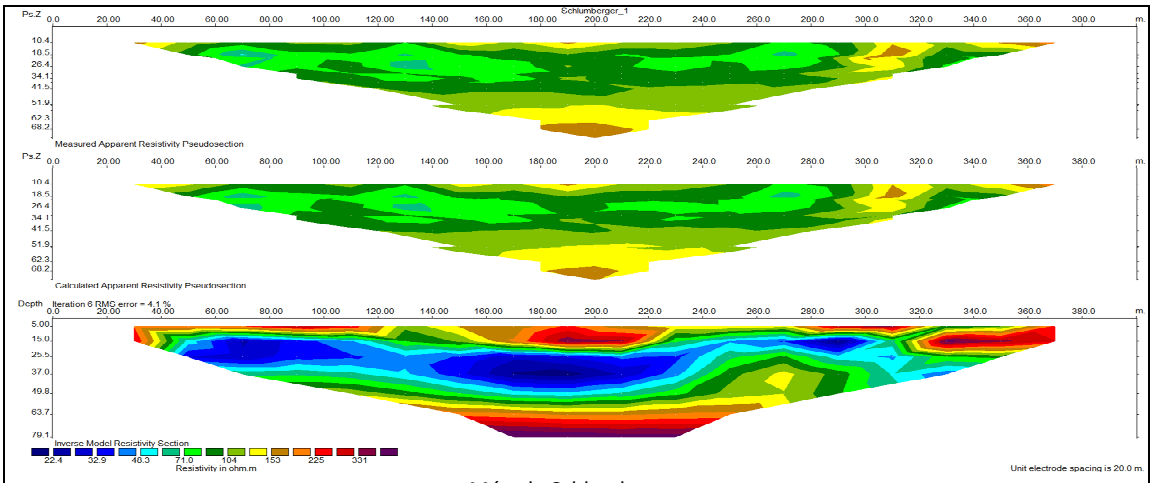
Geo tomografía 5 realizada en el sector de Curinca



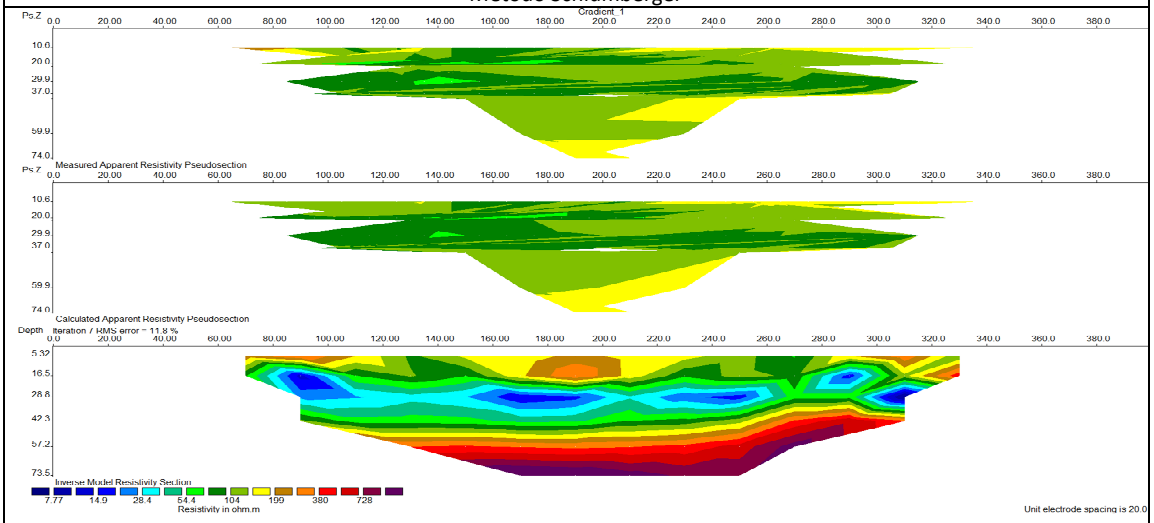




Método Wenner



Método Schlumberger

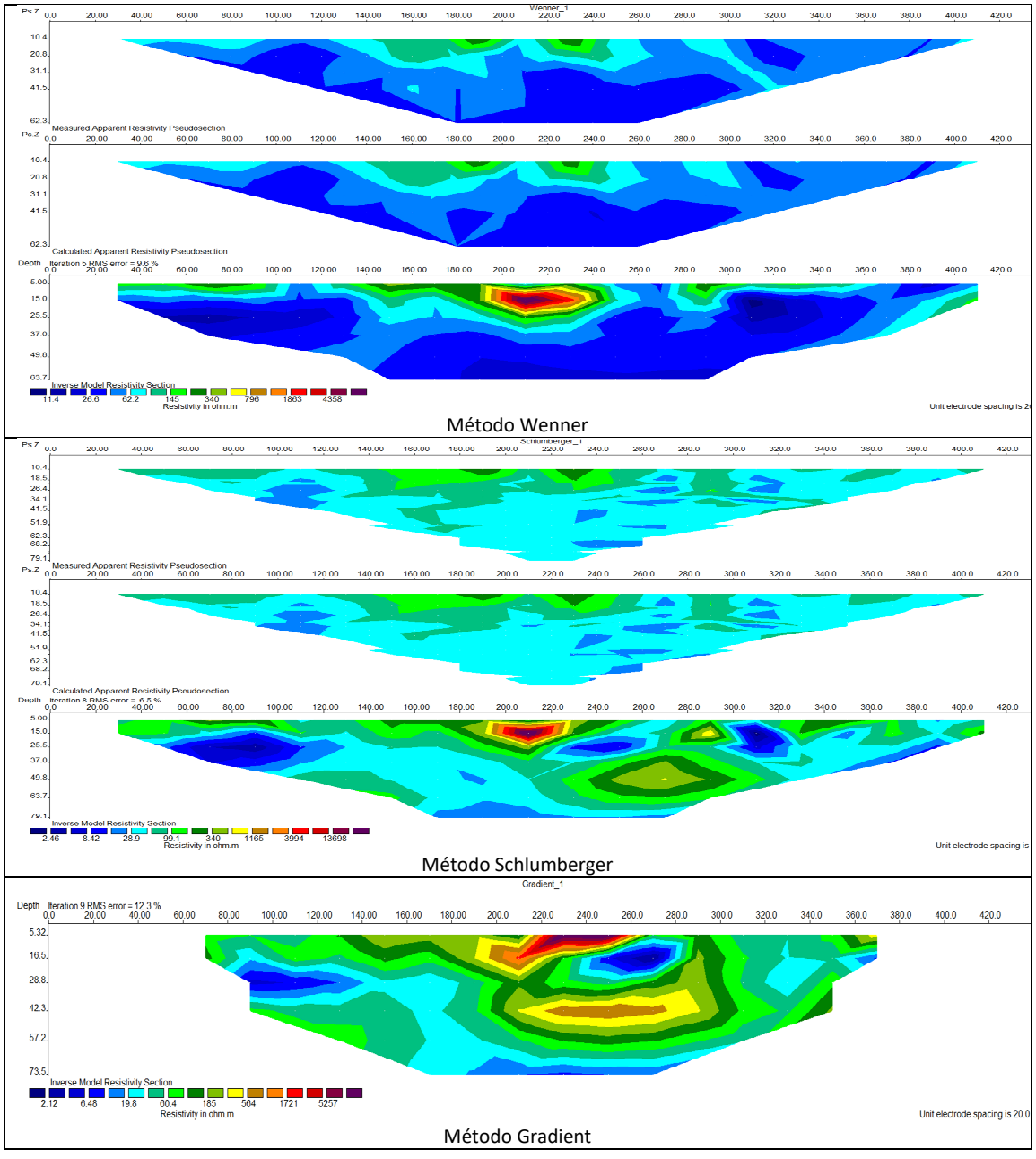


Método Gradient

Geo tomografía 6 realizada en el polideportivo Jardín







Método Wenner

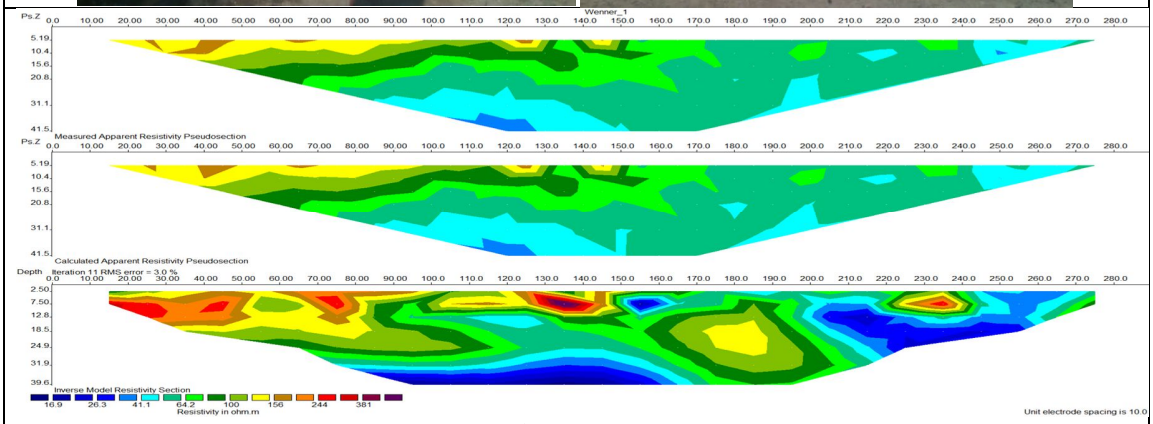
Método Schlumberger

Método Gradient

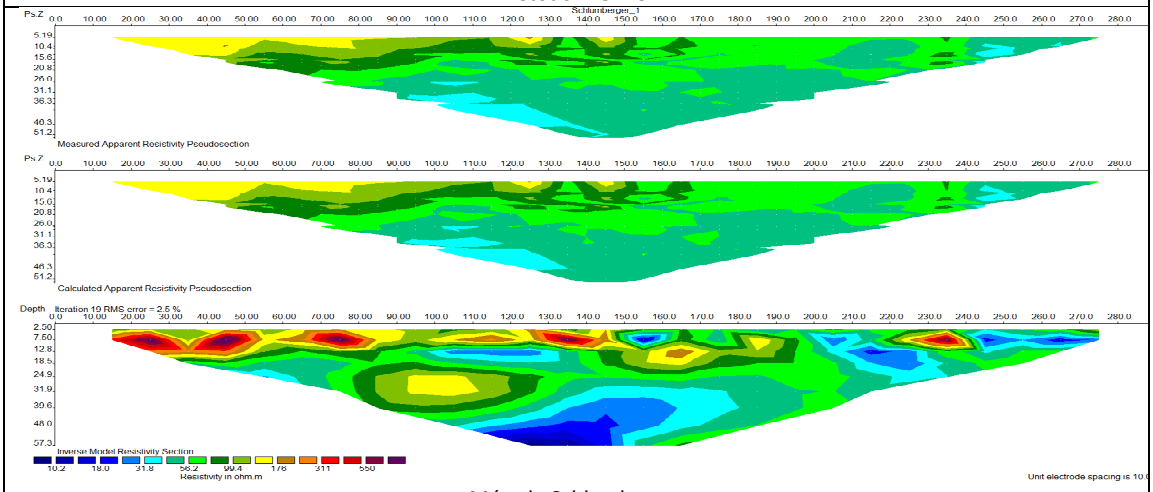
Geo tomografía 7 realizada en el barrio Santa Ana



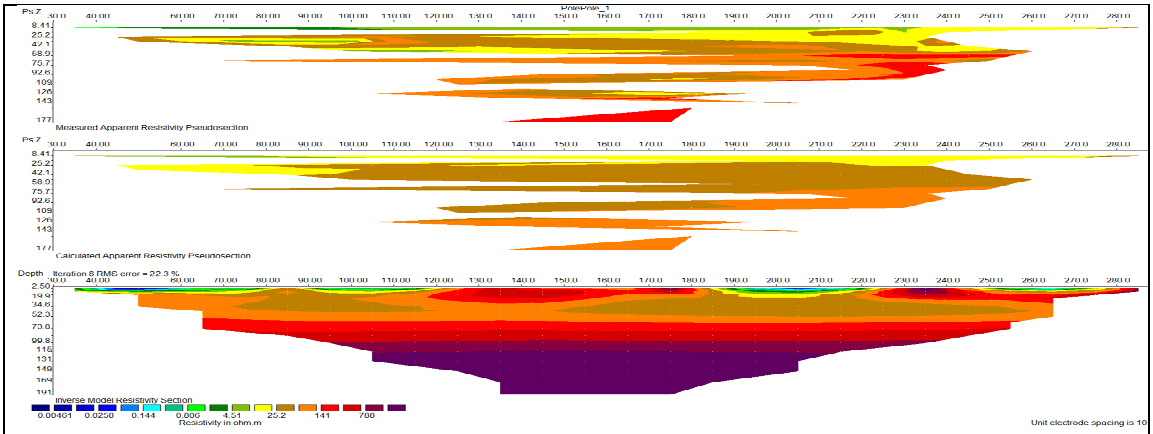




Método Wenner



Método Schlumberger

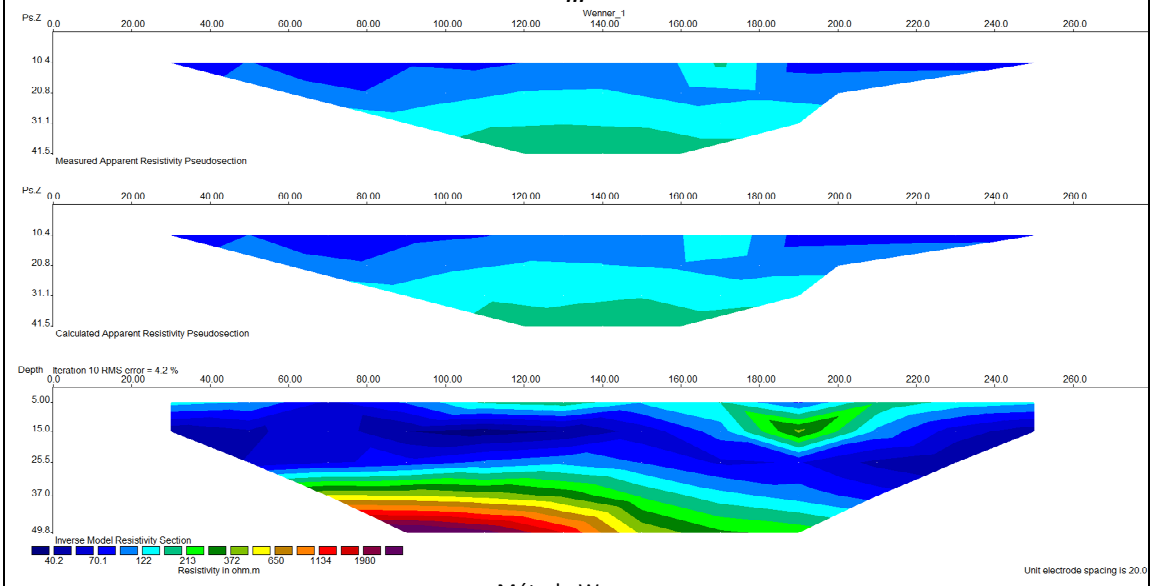


Método Dipolo-Dipolo

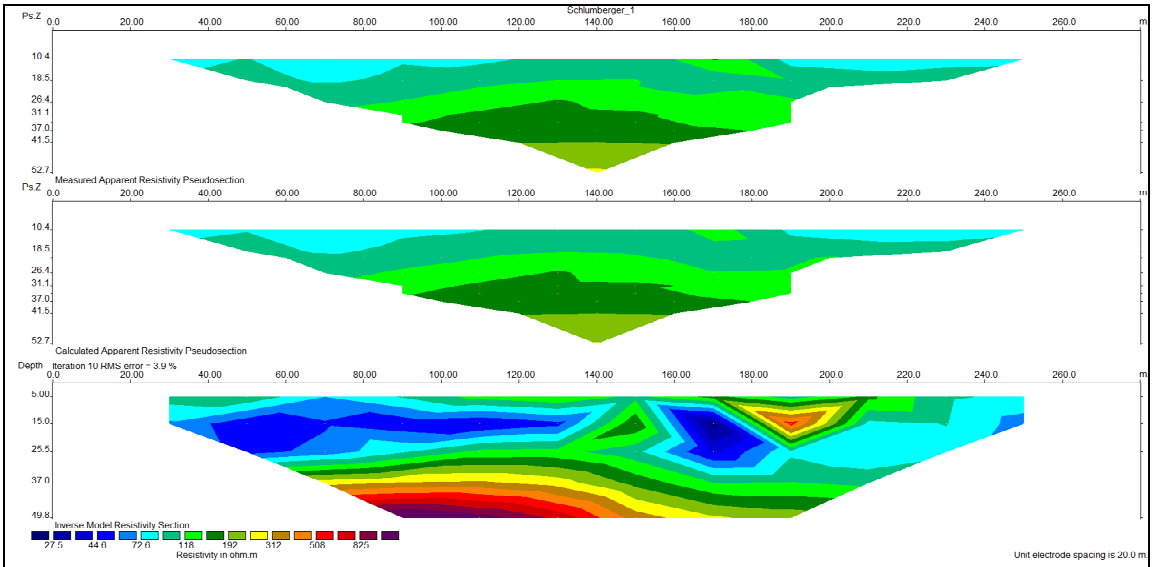
Geo tomografía 8 realizada en el sector de Sabanas de Bonda



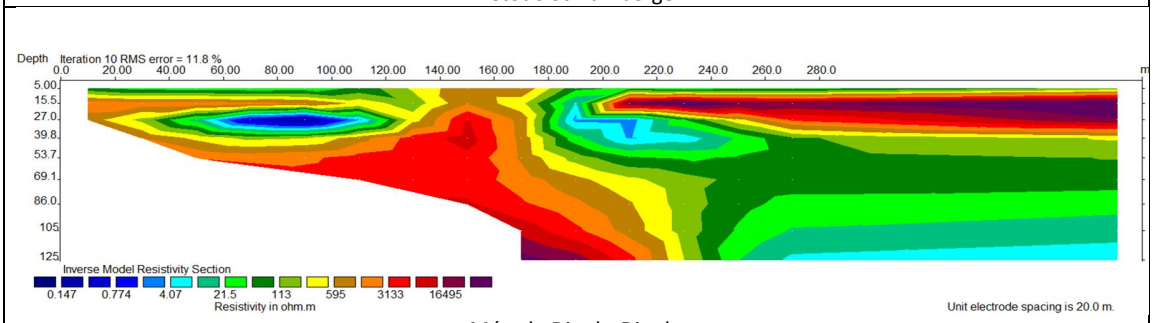
m



Método Wenner



Método Schlumberger



Método Dipolo-Dipolo

Equipo con el que fueron realizadas las Geo tomografías.



Equipo ABEM modelo TERRAMETER LS

4.1.4. **Fase de post campo**

Para la interpretación final de las unidades hidrogeológicas se utilizará el método que ofrezca mejor resolución y menor error estadístico.

Para la interpretación de las tomografías, se definió utilizar dos métodos complementarios, el primero basado en las resistividades obtenidas del perfil geotomográfico, y el segundo asociando las unidades lito estratigráficas reportadas por el componente Geológico con las unidades encontradas en el perfil.

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Se genera el modelo de resistividad para el subsuelo con base en los datos obtenidos en campo utilizando el Software RES2DINV; de esta forma se diferencian las zonas en la gráfica según su potencial hidrogeológico basado en los rangos de resistividad los cuales se definen así:

Resistividades bajas con valores que oscilan entre 0 a 10 Ohm-m, que se interpretan como zonas arcillosas o arenas saturadas de agua salada o salobre, con condiciones hidrogeológicas poco favorables para la extracción.

Resistividades bajas a medias con valores que varían entre 10 a 25 Ohm-m, que se interpretan como material fino intercalado con mantos arenosos saturados de aguas duras, con algún interés desde el punto de vista hidrogeológico.

Resistividades medias a altas con valores que varían entre 25 a 120 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras intercaladas con arcillas, de especial interés para la explotación.

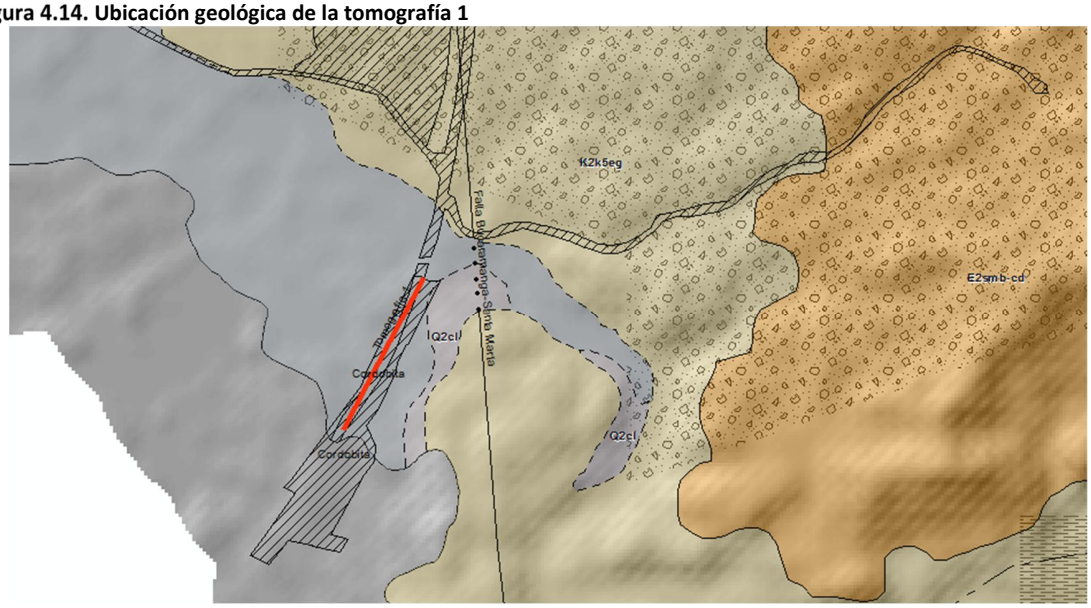
Resistividades altas a muy altas con valores 120 Ohm-m en adelante, que se interpretan como sectores con predominio de arenas no saturadas (superficialmente), conglomerados arenosos (zonas con cantos a profundidades medias) y a mayor profundidad se interpreta como basamento rocoso.

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Igualmente se realiza una interpretación por unidades estratigráficas teniendo en cuenta la disposición de las capas de resistividad en el perfil y las unidades geológicas cercanas al área de estudio, apoyados con la información consignada en el Mapa de Geologia desarrollado en el componente de geología.

4.1.4.1. *Análisis de la Tomografía 1.*

Figura 4.14. Ubicación geológica de la tomografía 1

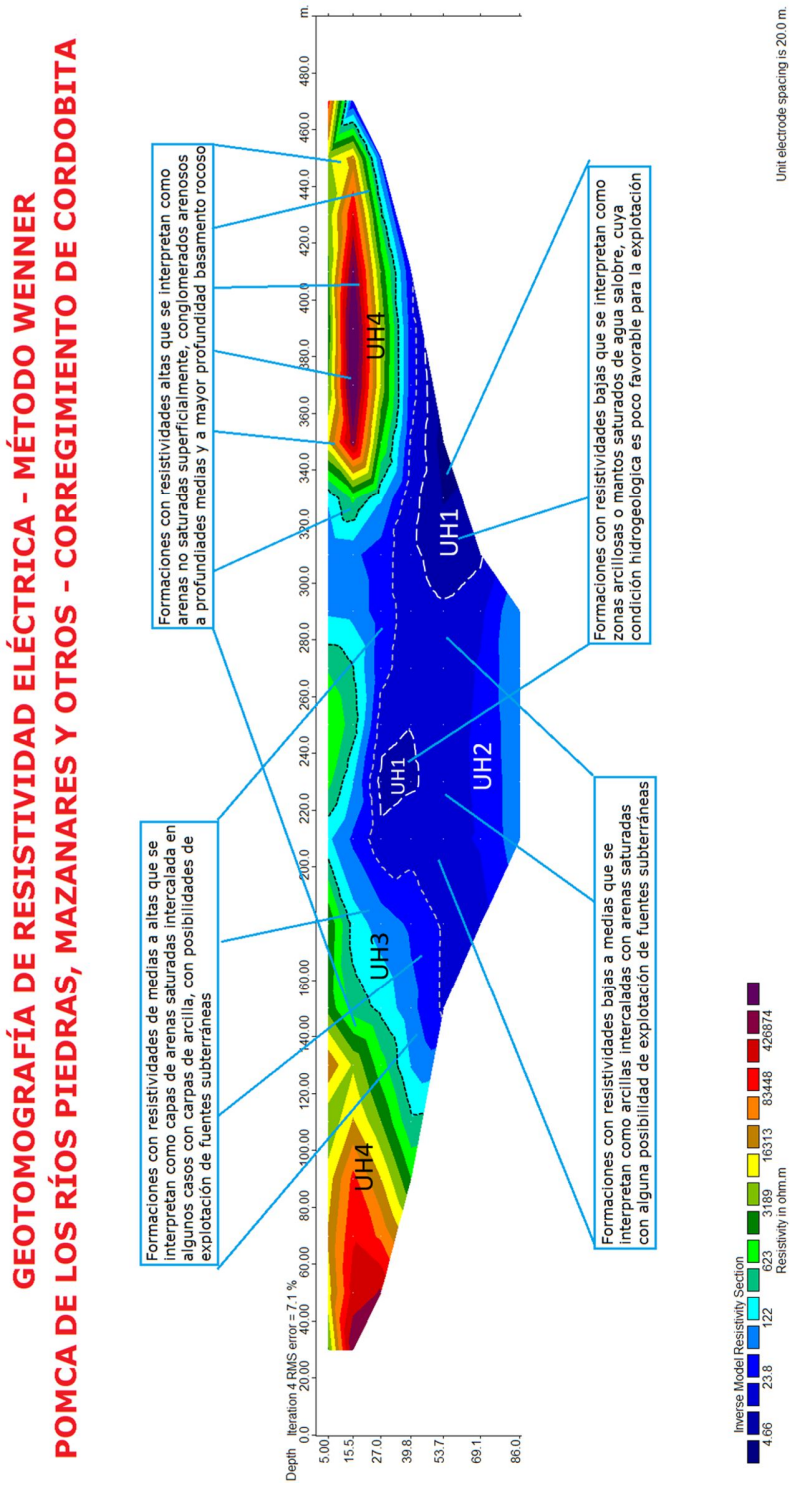


La condición geológica del área muestra que la población de Cordobita se ubica sobre rellenos Cuaternario Aluvial (Q2al), depositados sobre formaciones ígneas (Batolito de Santa Marta) o metamórficas (Esquistos de Gaira).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 1, realizado en la Cuenca del Río Córdoba, en el sector de Cordobita, en el separador de la vía Troncal del Caribe, tuvo una longitud de 500 m y una dirección N27E y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

Figura 4.15. Tomografía 1, Interpretada



INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: Se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas que oscilan entre los 2,5 a los 11 Ohm-m, que se interpretan como material fino o formaciones saturadas de agua salobre, cualesquiera de las dos interpretaciones indican condiciones hidrogeológicas poco favorables, esta característica se extiende en el perfil en forma aislada a profundidades medias (color azul oscuro).

UH2: resistividad con valores de 10 a 23,8 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido a lo largo de todo el perfil en forma masiva, principalmente en la parte central (color azul mate oscuro).

UH3: depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 23,8 a los 122 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras, intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil, tanto superficialmente y como a profundidades medias en forma de capas de espesor medio (color azul mate claro a azul cielo).

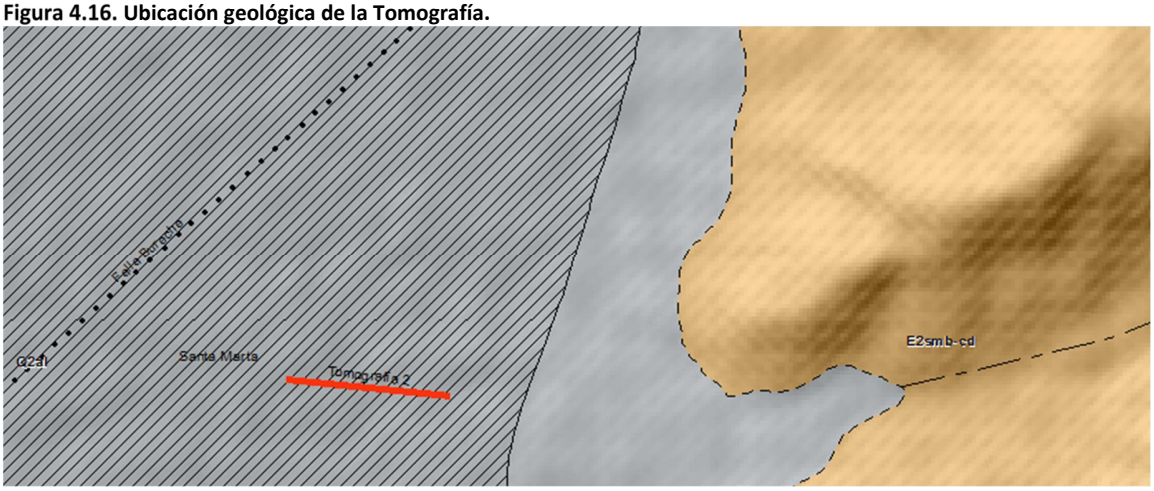
UH4: formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 122 a 60000 Ohm-m, que se interpreta como basamento posiblemente metamórfico (Esquistos de Gaira), en los dos últimos casos estos estratos pueden tener algún interés de explotación, pero son difíciles de perforar debido a su dureza (color verde oscuro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Se observa superficialmente en los extremos del perfil, altas resistividades, posiblemente asociadas a esquistos anfibólicos, micáceos y/o filitas, que componen la unidad Esquistos de Gaira.
Hacia el centro del perfil se presentan resistividades medias que se asocian a materiales gruesos no saturados, a mayor profundidad (>30m)se identifican materiales más finos, observándose un aumento gradual de la resistividad relacionando los valores más bajos con la meteorización in situ que podría tener la unidad Esquistos de Gaira

4.1.4.2. *Análisis de la Tomografía 2*

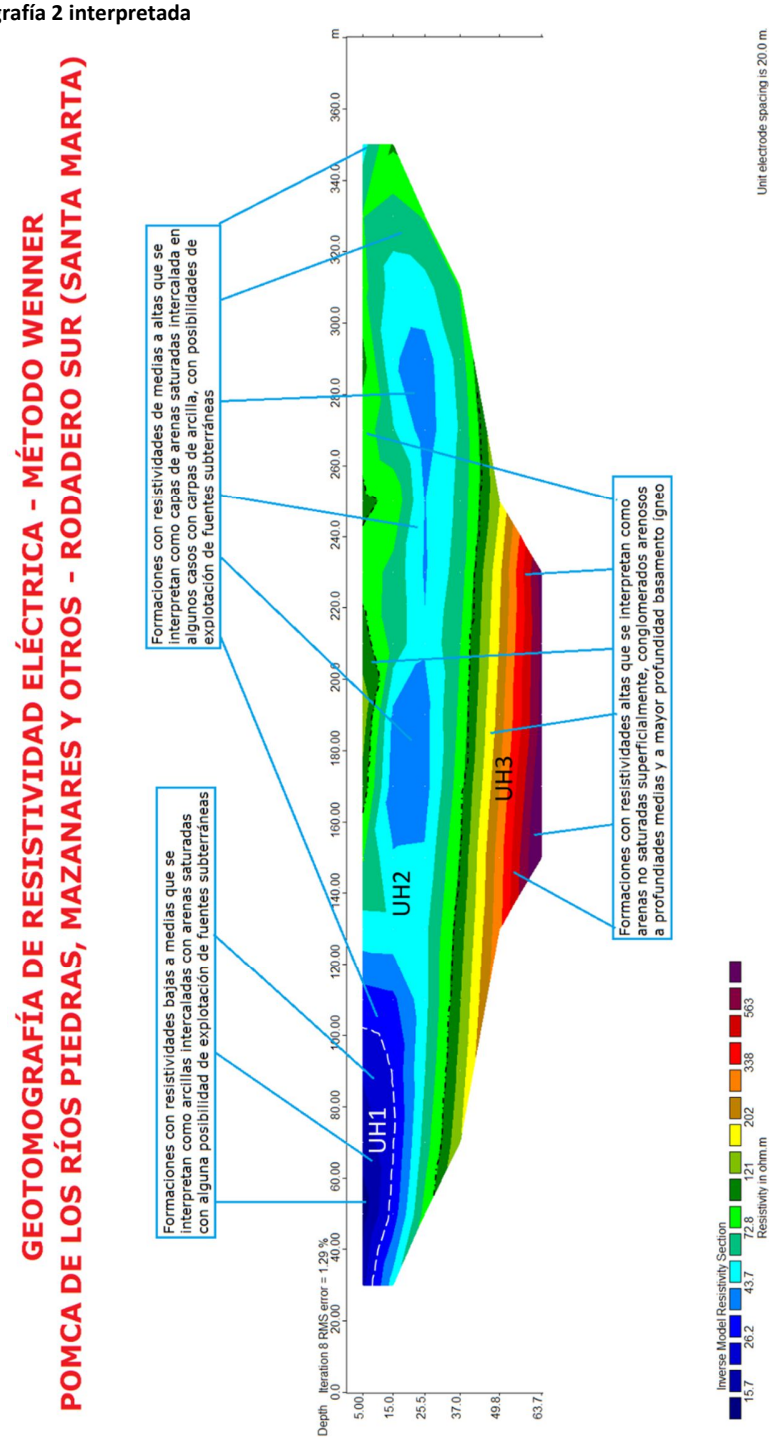
Figura 4.16. Ubicación geológica de la Tomografía.



En el sector de Rodadero Sur la condición geológica del área muestra rellenos Cuaternario Aluvial (Q2al), depositados sobre formaciones ígneas (Batolito de Santa Marta) y metamórficas (Esquistos de Gaira).

Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

Figura 4.17. Tomografía 2 interpretada



El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 2, realizado en la Cuenca del Río Gaira, en el sector de Rodadero Sur, barrio Vista Hermosa, tuvo una longitud de 380 m y una dirección S84E y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: Se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas a medias que oscilan entre los 8 a los 26.2 Ohm-m, que se interpretan como material fino intercalado con mantos arenosos saturados de aguas duras, con algún interés desde el punto de vista hidrogeológico, distribuido a profundidades medias y superficialmente, el cual predomina en el extremo occidental del perfil (azul oscuro).

UH2: se observa depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 26.2 a los 72.8 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras intercaladas con arcillas, de especial interés para la explotación. También se incluye dentro de este rango la zona saprolitizada de la roca (resistividades entre 72.8 a 95 Ohm-m) (color verde brillante), en donde se puede encontrar porosidades secundarias con alguna posibilidad de explotación, esta formación se extiende a lo largo de todo el perfil a profundidades medias (color azul mate oscuro a verde marino).

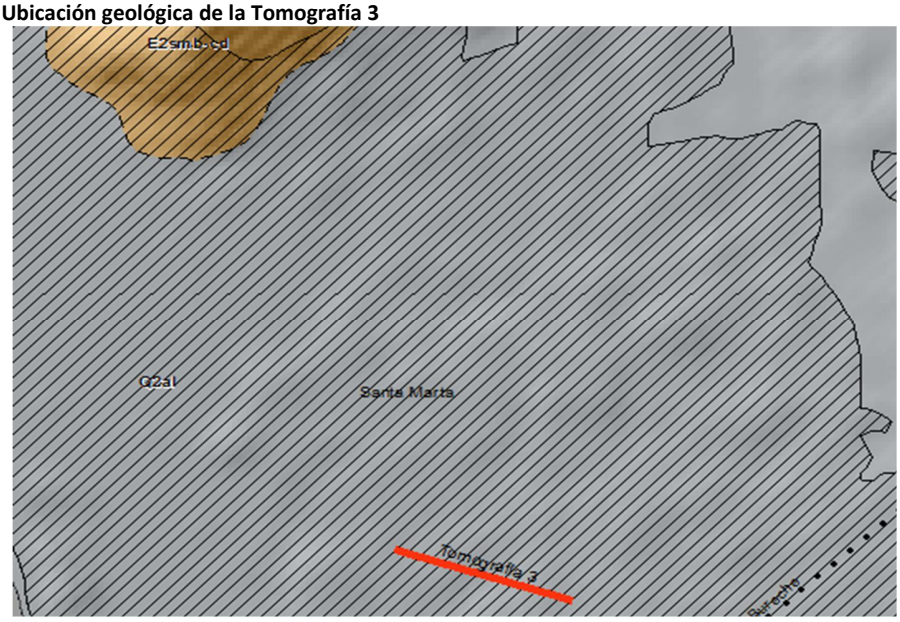
UH3: Finalmente se observa formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 95 a 700 Ohm-m, que se interpretan como basamento ígneo (color verde oscuro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Se observa superficialmente formaciones cuaternarias con materiales arenosos intercalados con arcilla en los primeros 30 m, con un mayor porcentaje de finos al occidente del corte y material un poco más grueso al oriente del este, después de los 30 m (aproximadamente) empieza a observase un aumento gradual de la resistividad relacionada con el basamento Ígneo, observándose inicialmente una capa saprolitizada con algo de porosidad secundaria (resistividad ata) y finalmente roca más sana (resistividad muy alta).

4.1.4.3. *Análisis de la Tomografía 3*

Figura 4.18. Ubicación geológica de la Tomografía 3

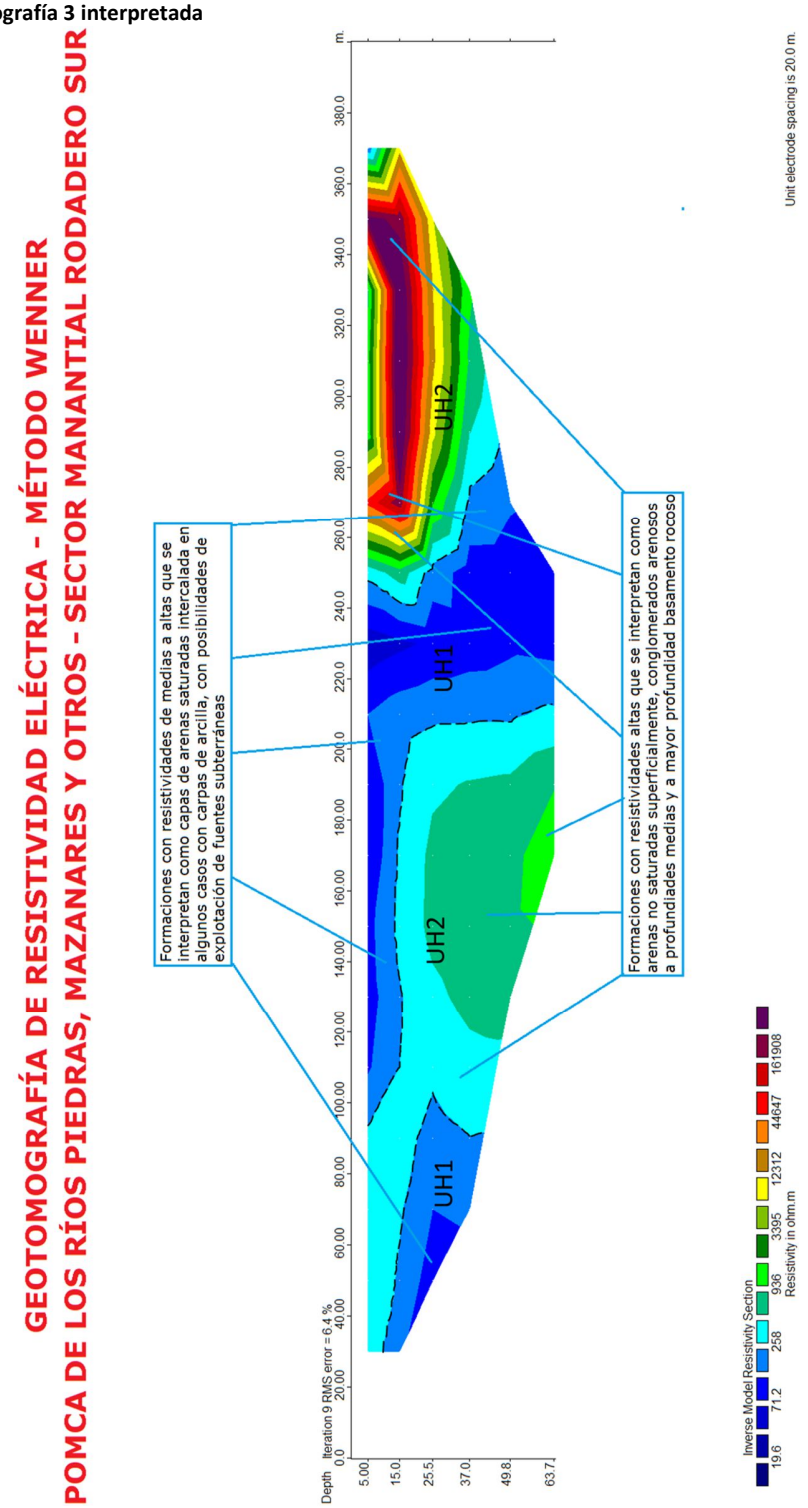


La condición geológica del área muestra que el predio Monterrey ubicado en el sector del Manantial, esta sobre relleno Cuaternario Aluvial Reciente (Q2al), depositado sobre basamento ígneo (Batolito de Santa Marta).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 3, realizado en la Cuenca del Río Gaira, en el sector de Manantial, en la finca Monterrey, tuvo una longitud de 400 m y una dirección S73E y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

Figura 4.19. Tomografía 3 interpretada



INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: Inicialmente se observan depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 16 a los 90 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras intercaladas con arcillas, de especial interés para la explotación. También se incluye dentro de este rango la zona saprolitizada de la roca (resistividades entre 90 a 150 Ohm-m) (color azul cielo), en donde se puede encontrar porosidades secundarias con alguna posibilidad de explotación, aunque su perforación se dificulta por su alta dureza. Esta formación se extiende a lo largo de todo el perfil a profundidades medias (color azul oscuro a azul cielo).

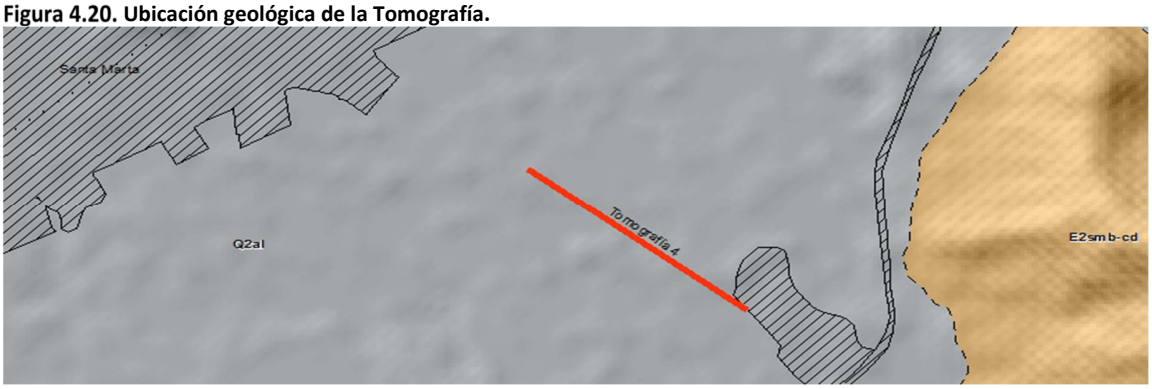
UH2: Finalmente se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 150 a 170000 Ohm-m, que se interpretan como basamento rocoso igneo (Batolito de Santa Marta, color azul cielo a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Se puede observar en este corte zonas cuaternarias de espesor medio de resistividades medias a altas (entre los 16 a los 90 Ohm-m) y formaciones ígneas aflorantes con resistividades más altas (entre 150 a 170000 Ohm-m) concentradas en la parte este del perfil, igualmente se aprecia en la parte central un sector con resistividades relativamente bajas que se interpreta como zonas arenosas, asociada a un posible o un paleocause de la quebrada La Paz.

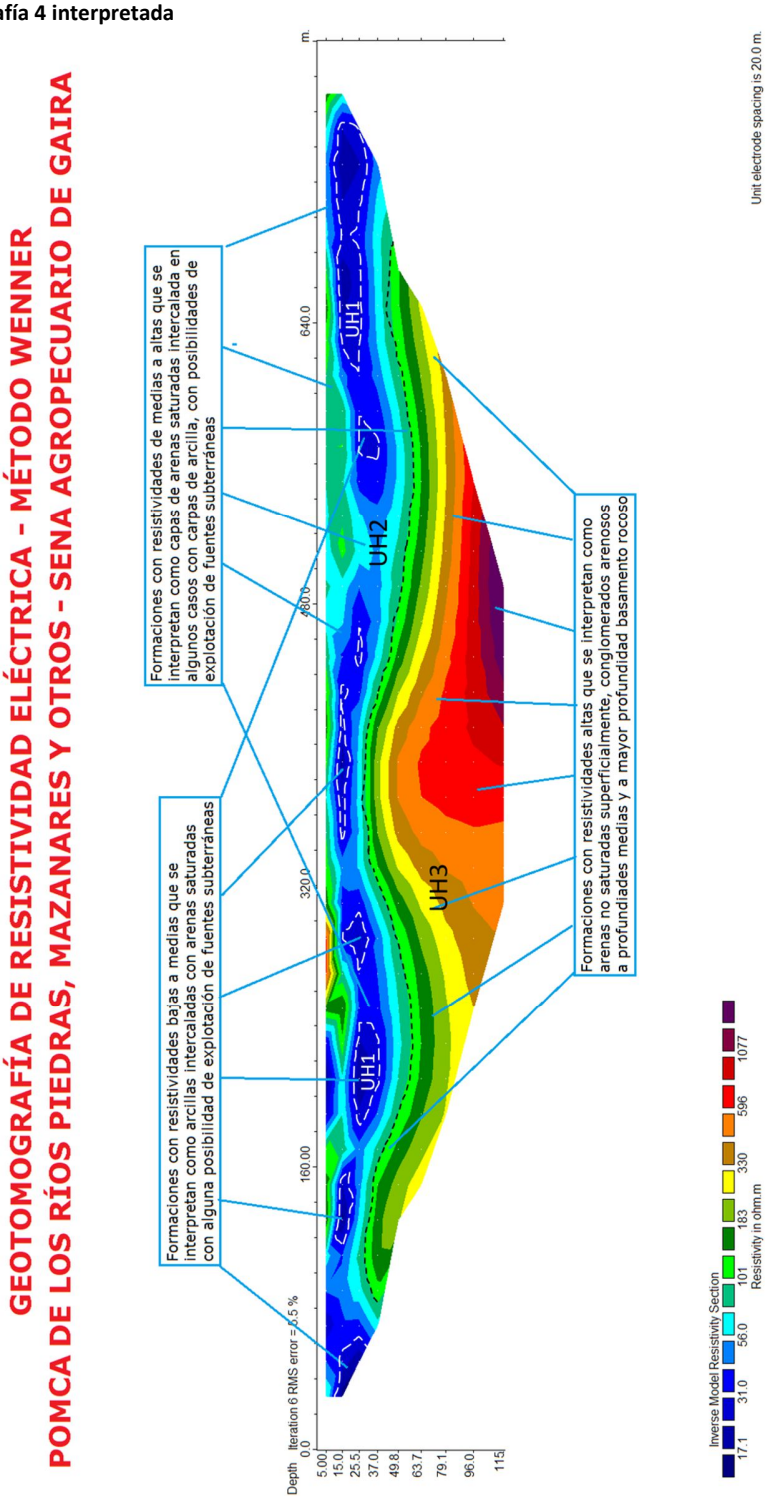
4.1.4.4. *Análisis de la Tomografía 4*

Figura 4.20. Ubicación geológica de la Tomografía.



La geología superficial de la zona en donde se localiza el Sena Agropecuario muestra relleno Cuaternario Aluvial Reciente (Q2al), depositado sobre basamento ígneo (Batolito de Santa Marta) y metamórfico (Esquistos de Gaira).

Figura 4.21. Tomografía 4 interpretada



El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 4, realizado en la Cuenca del Río Gaira, en la vía de acceso al SENA Agropecuario, entre la cabaña administrativa y la sede educativa; tuvo una longitud de 800 m y una dirección N54W y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: Se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas a medias que oscilan entre los 12 a los 31,0 Ohm-m, que se interpretan material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido en capas aisladas a lo largo de todo el perfil, en forma de capas aisladas de espesor medio a profundidades medias y superficialmente (color azul oscuro a azul mate oscuro).

UH2: se observan depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 31,0 a los 101 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas (en algunos casos de aguas duras), intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil en forma de capas continuas de espesor medio, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color azul mate claro a verde marino).

UH3: se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 101 a 1300 Ohm-m, que se interpretan como sectores con predominio de arenas no saturadas (superficialmente) o conglomerados finos arenosos (zonas con gravas y arenas a profundidades medias) y a mayor profundidad se interpreta como basamento rocoso ígneo, esta unidad puede tener algún interés de explotación por porosidad secundaria (color verde brillante a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

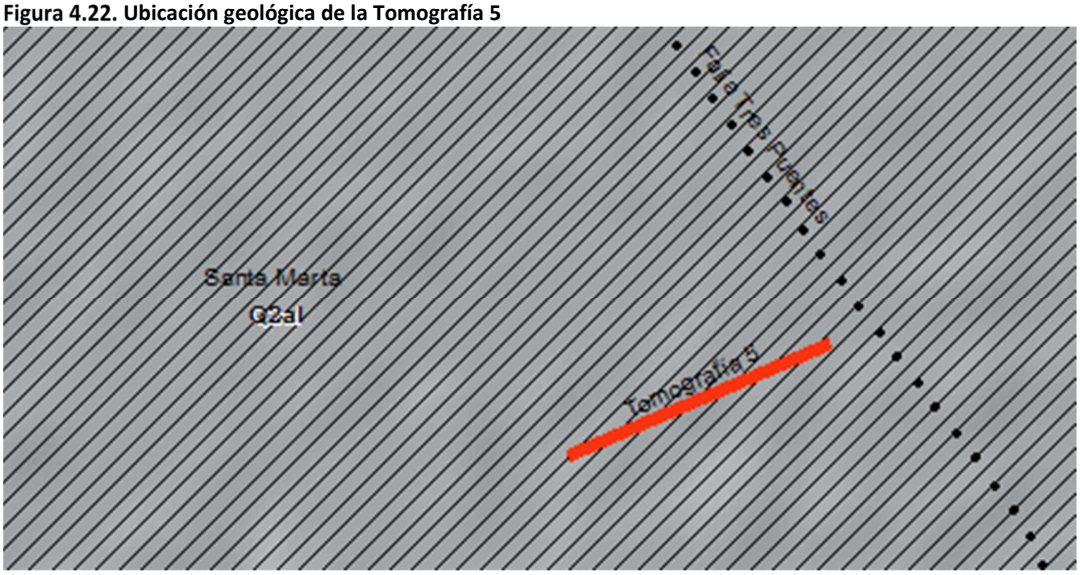
En este perfil se observa con claridad la distribución de formaciones cuaternarias de menor resistividad (entre 12 a 101 Ohm-m), que se interpretan como arenas saturadas intercaladas con pequeñas capas de arcillas (con profundidades que oscilan entre 45 a 65 m), depositadas sobre el basamento rocoso (ígneo o metamórfico) de resistividades más altas (entre 101 a 1300 Ohm-m).

4.1.4.5. *Análisis de la Tomografía 5*

La geología en el sector de Santa Cruz de Curinca se describe como relleno Cuaternario Aluvial Reciente (Q2al), depositado sobre basamento ígneo (Batolito de Santa Marta) o metamórfico (Esquistos de Gaira).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 5, realizado en la cuenca del río Manzanares, en el sector de Santa Cruz de Curinca, al sur del barrio Tejares del Libertador; tuvo una longitud de 400 m y una dirección S87W y se tomó para efectos de análisis la configuración Schlumberger, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Figura 4.22. Ubicación geológica de la Tomografía 5



Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro

Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.

En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades de 15 a 22,4 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino (limos y arcillas) intercalado con mantos arenosos saturados posiblemente de aguas duras, con posibilidades acuíferas limitadas, distribuido en el perfil en forma aislada (color azul oscuro).

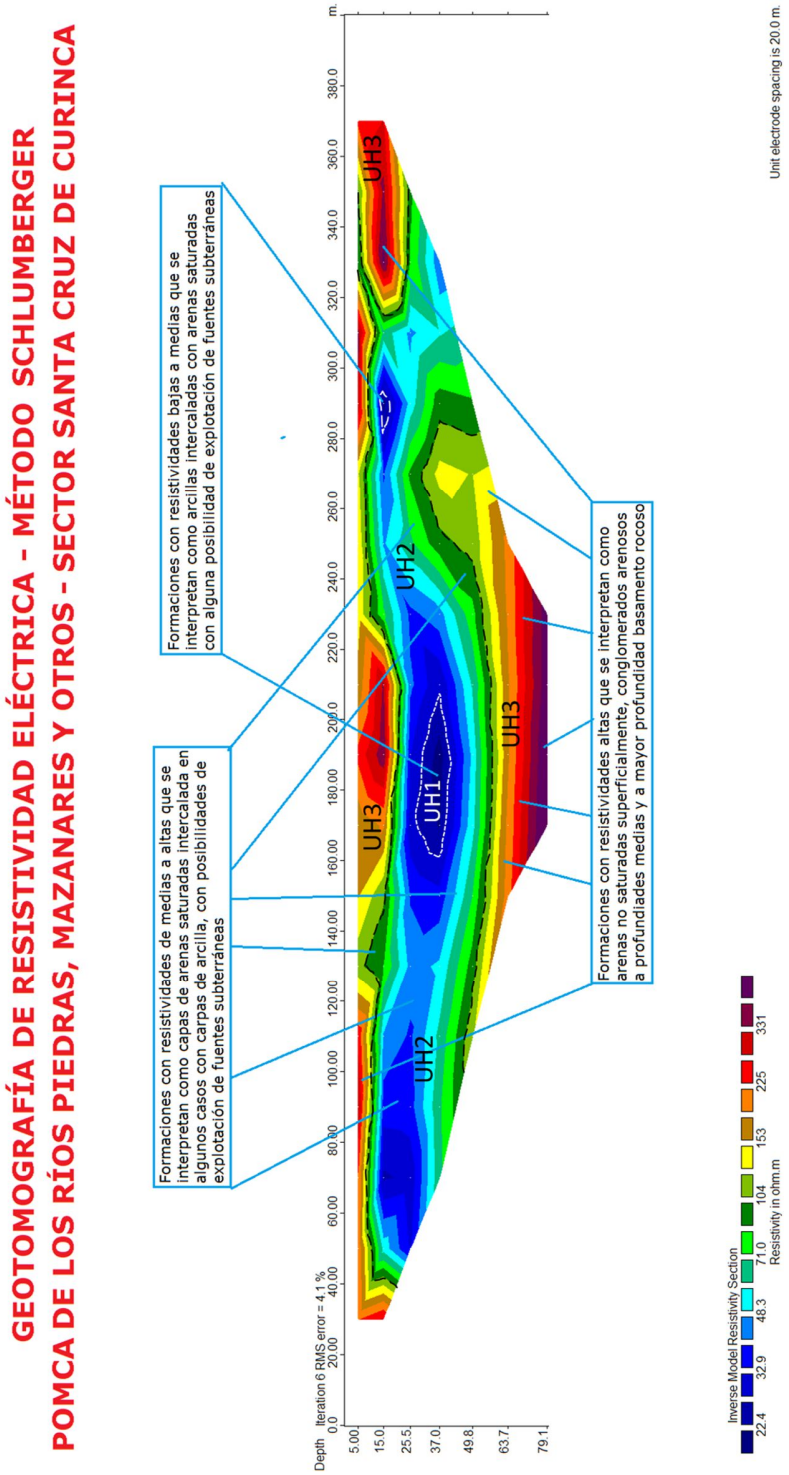
UH2: se observan depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 22,4 a los 104 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas (en algunos casos de aguas duras), intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color azul mate a verde claro).

UH3: Finalmente se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 104 a 500 Ohm-m, que se interpretan como basamento rocoso (posiblemente ígneo), color verde marino a morado.

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

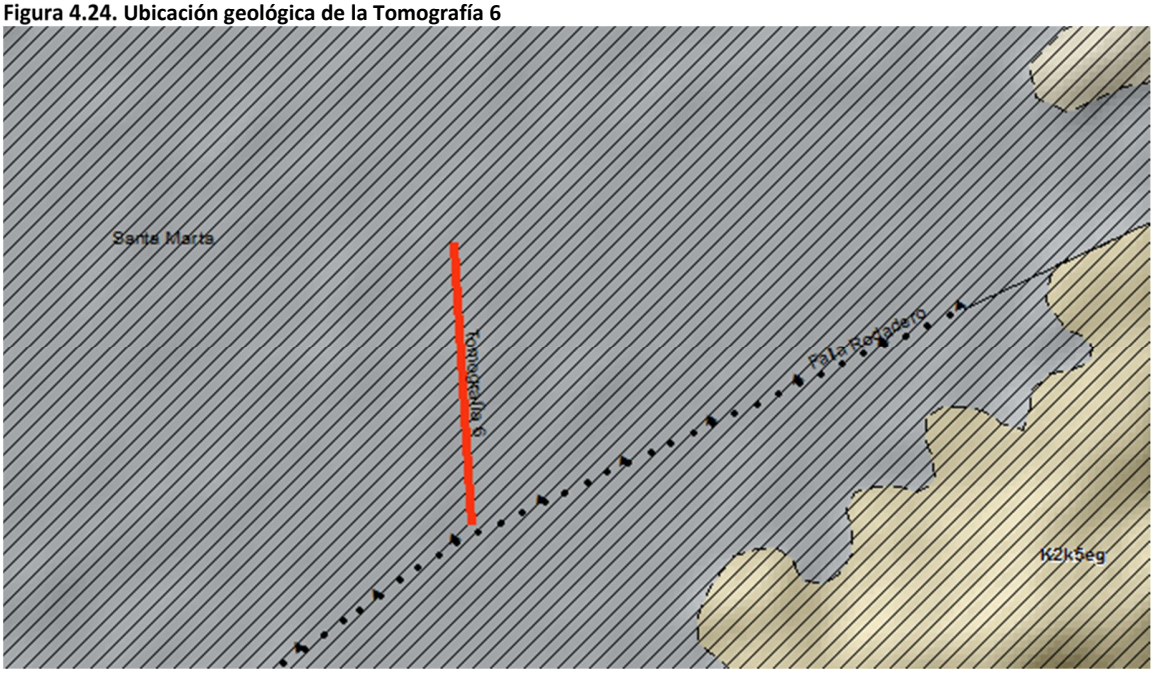
En el registro se pueden apreciar dos zonas de alta resistividad (entre 104 a 500 Ohm-m) en la parte superficial y en la parte más profunda del corte, la primera relacionado a arenas secas (zona no saturada), las cuales se extienden hasta el nivel freático y la segunda relacionada al basamento rocoso (posiblemente ígneo del Batolito de Santa Marta), en la parte media se observan cuaternarios arenosos saturados intercalados con arcillas con resistividades medias a altas (entre los 15 a 104 Ohm-m), de gran interés hidrogeológicos

Figura 4.23. Tomografía 5 interpretada



4.1.4.6. *Análisis de la Tomografía 6*

Figura 4.24. Ubicación geológica de la Tomografía 6



La geología en inmediaciones del Polideportivo del barrio Jardín, está conformada principalmente por rellenos sedimentarios arenosos y arcillosos del cuaternario (superficial) (Depósitos Aluviales Recientes (Q2al), depositado sobre basamento metamórfico (Esquistos de Gaira).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 6, realizado en la cuenca del río Manzanares, en el predio del Polideportivo del barrio Jardín, a lo largo del costado oriental por la calle 20, tuvo una longitud de 440 m y una dirección S4E y se tomó para efectos de análisis la configuración Schlumberger, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.

En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1:se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas que oscilan entre los 2,0 a los 8,4 Ohm-m, que se interpretan como material fino o formaciones saturadas de agua salobre, cualesquiera de las dos interpretaciones indican condiciones hidrogeológicas poco favorables, esta característica se observa a lo largo del perfil en forma de capas aisladas de espesor medio (color azul oscuro a azul mate oscuro).

UH2: se observa un leve aumento de la resistividad con valores de 8,4 a 28,9 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido a lo largo de todo el perfil especialmente en la parte central, en forma de capas de espesor medio (color azul mate claro a azul cielo).

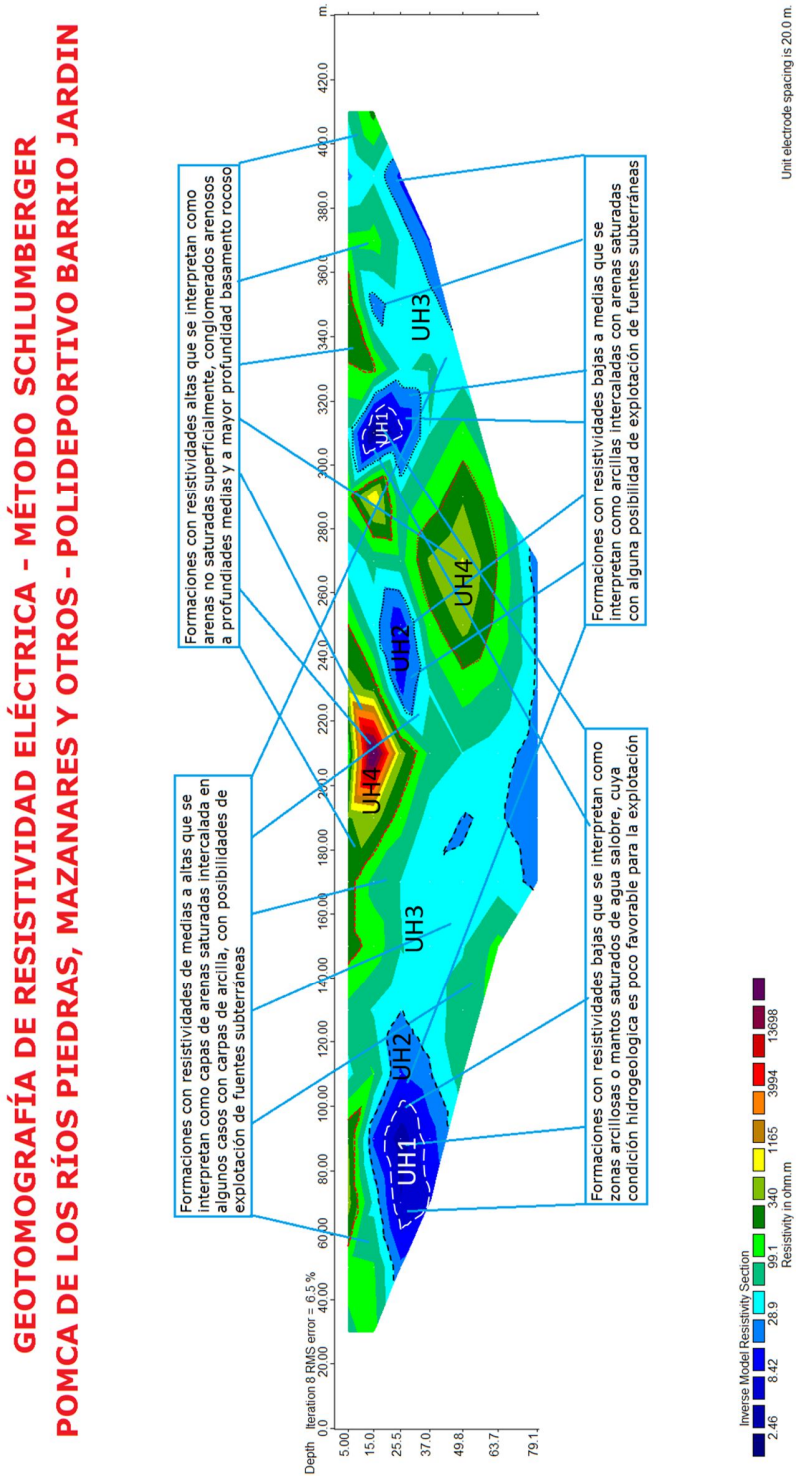
UH3: se observa depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 28,9 a los 99,1 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas (en algunos casos de aguas duras), intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil en forma de capas de espesor medio, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color azul marino a verde marino).

UH4: Finalmente se observa formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 99,1 a 25000 Ohm-m, que se interpretan como relictos del basamento rocoso (posiblemente metamórfico, color verde brillante a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

En el sector en donde se realizó la Geotomografía concuerda con la parte más profunda del acuífero o formación cuaternaria, por esta razón no se detecta basamento rocoso en el perfil, aun así, si se diferencian zonas con distinta composición granulométrica, con materiales más gruesos de mayor resistividad o mayor porcentaje de finos que hacen disminuir esta resistividad.

Figura 4.25. Tomografía 6 interpretada

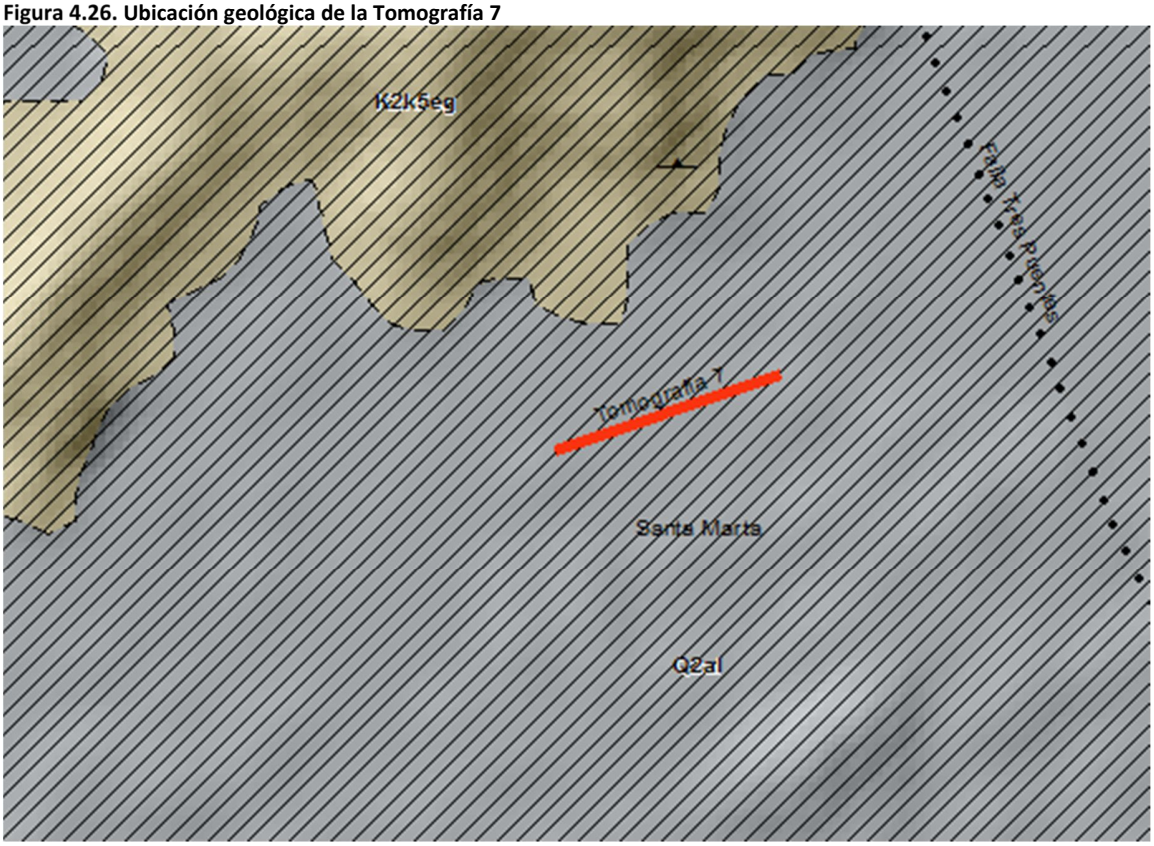


4.1.4.7. *Análisis de la Tomografía 7*

Las características geológicas del área cercana al río Manzanares a la altura del barrio Santa Ana, nos muestra rellenos de sedimentos cuaternarios Aluviales Recientes (Q2al), depositado sobre basamento metamórfico (Esquistos de Gaira).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 7, realizado en la Cuenca del Río Manzanares, en el barrio Santa Ana, por la vía paralela al río Manzanares, tuvo una longitud de 290 m y una dirección N71E y se tomó para efectos de análisis la configuración Schlumberger, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Figura 4.26. Ubicación geológica de la Tomografía 7



Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro

Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación

realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: se detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas que oscilan entre los 6.0 a los 10.2 Ohm-m, que se interpretan como material fino o formaciones saturadas de agua salobre, cualesquiera de las dos interpretaciones indican condiciones hidrogeológicas poco favorables, esta característica se extiende en la parte central de perfil en forma aislada (color azul oscuro).

UH2: se observa un leve aumento de la resistividad con valores de 10.2 a 31.8 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido igualmente en forma aislada en el perfil (color azul mate a azul cielo).

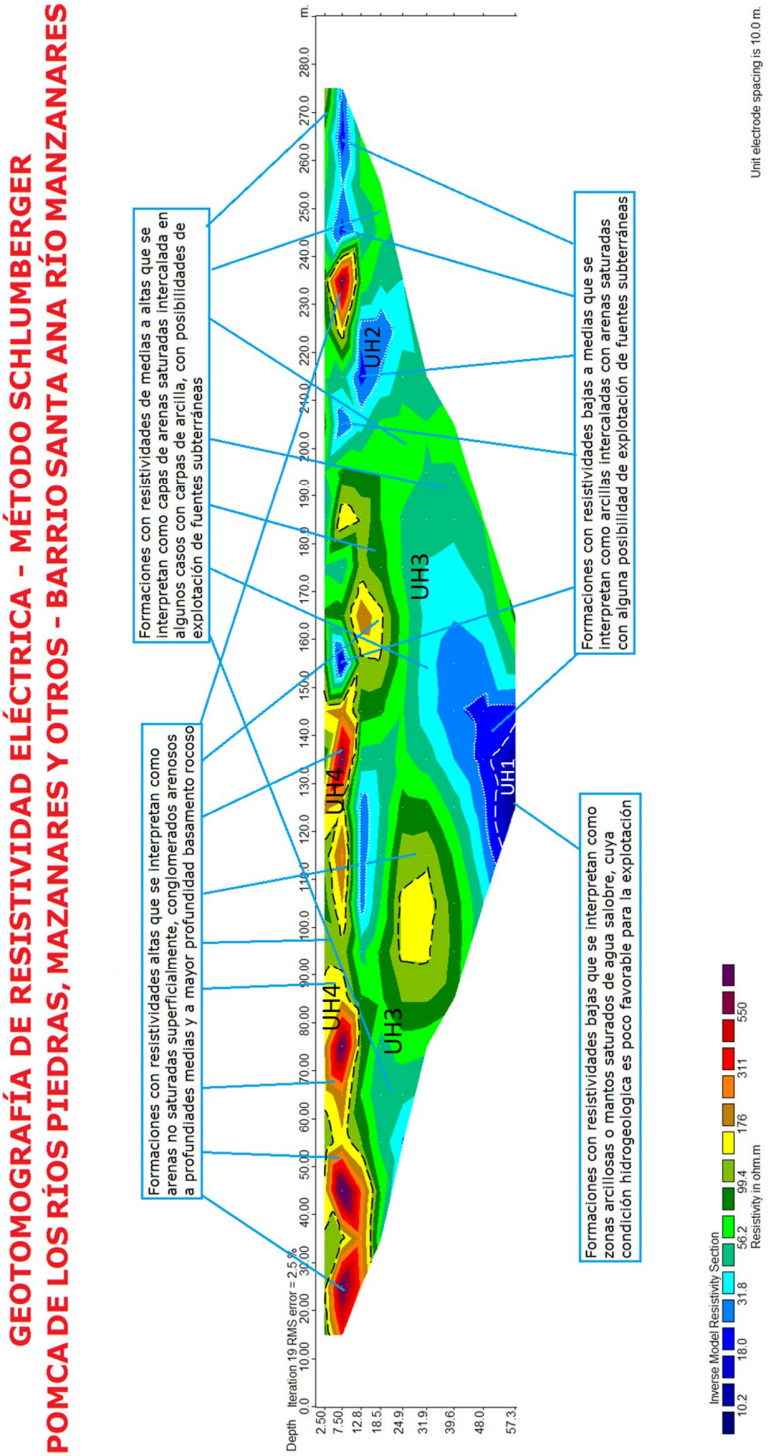
UH3: se observa depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 31.8 a los 99.4 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas (en algunos casos de aguas duras), intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color azul marino a verde oscuro).

UH4: Finalmente se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 99.4 a 800 Ohm-m, que se interpretan como relictos del basamento rocoso (posiblemente metamórfico, color verde claro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

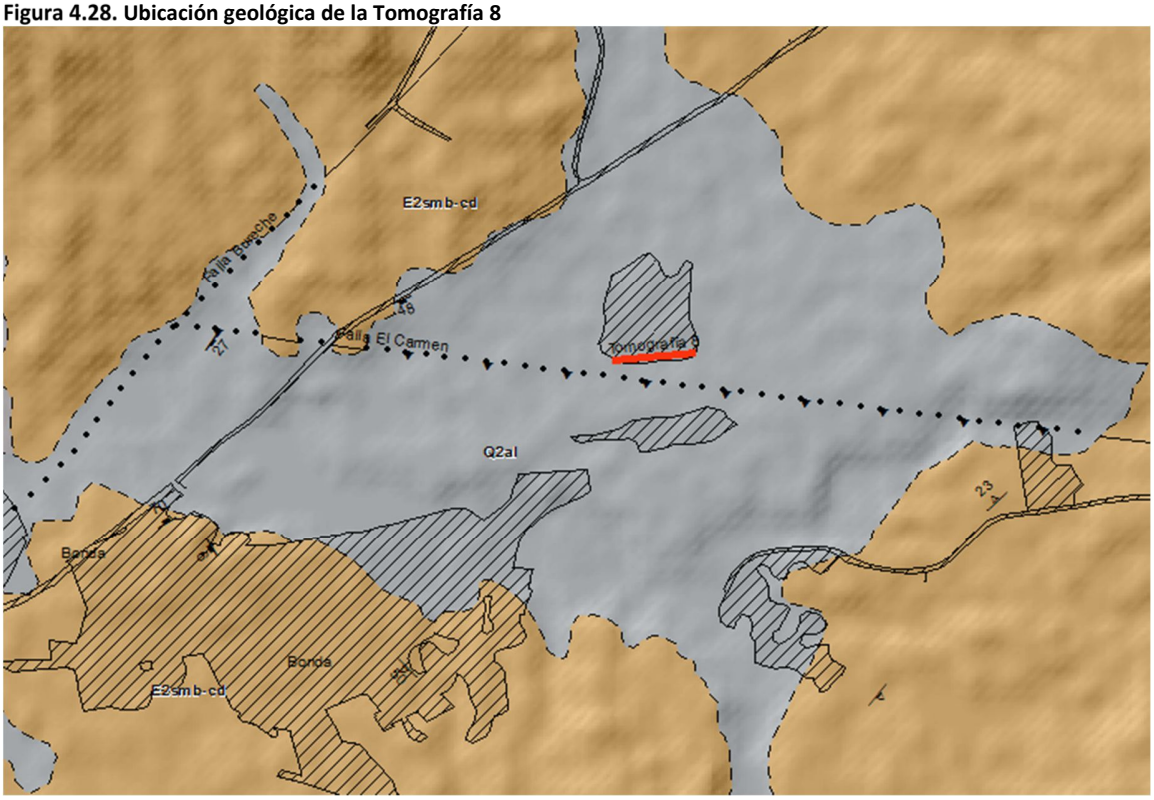
Al igual que en la Geotomografía anterior el sector en donde se realizó este corte presentan profundidades del sedimentos cuaternarios relativamente altos, además de estar cerca al río Manzanares el cual es la escorrentía superficial más importante de la zona, por lo tanto solo se detectan relictos del basamento rocoso en el perfil (posiblemente metamórfico de los esquistos de Gaira), por lo tanto se observa depósitos de sedimentos con distintas granulometrías que por lo general muestras materiales más gruesos en la parte superficial y media del corte y presencia de finos en la parte más profunda.

Figura 4.27. Tomografía 7 interpretada



4.1.4.8. *Análisis de la Tomografía 8*

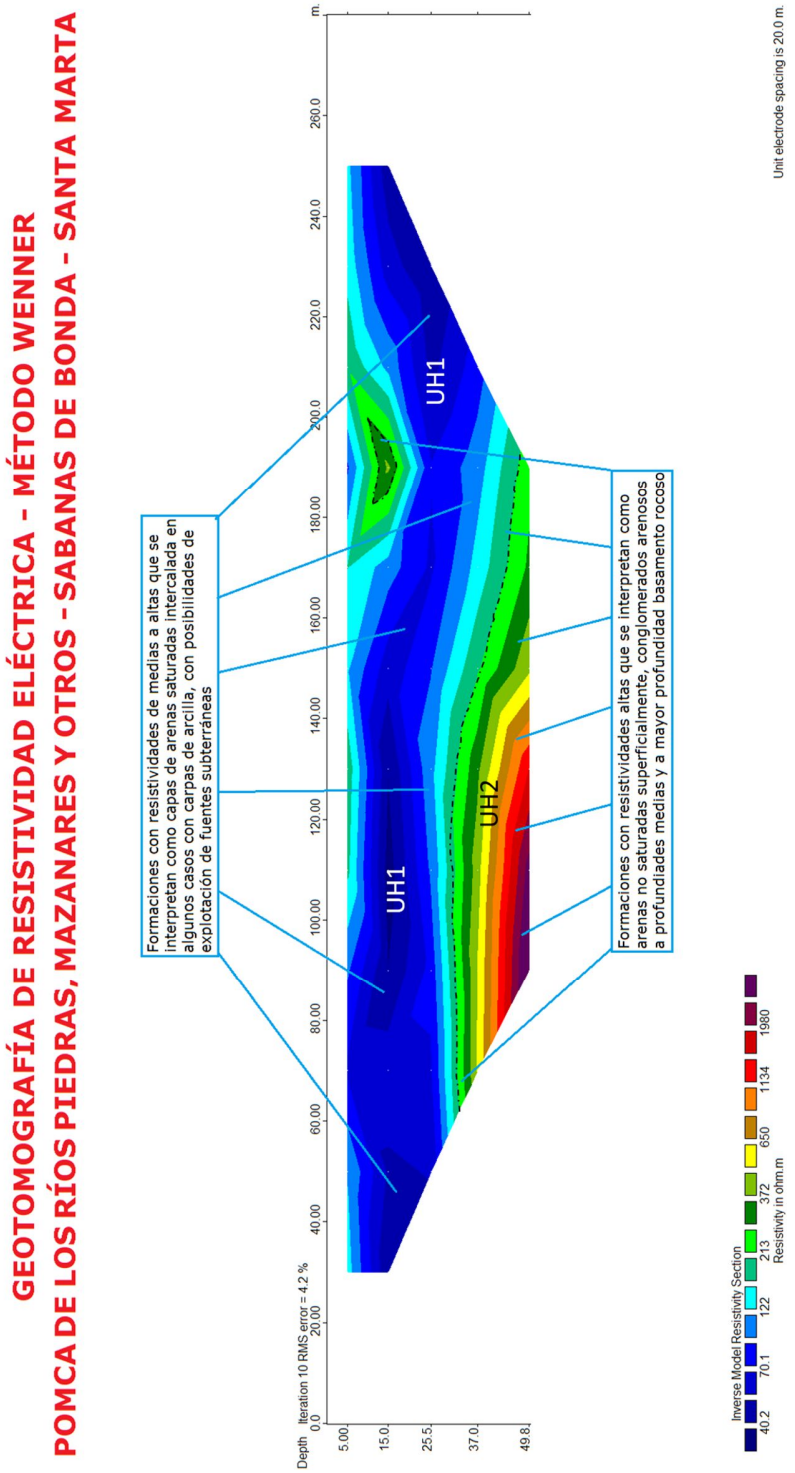
Figura 4.28. Ubicación geológica de la Tomografía 8



Las características geológicas en el sector de Sabanas de Bonda, en cercanías del parque cementerio Jardines de Jerusalén, nos muestra rellenos de sedimentos Cuaternarios aluviales (Q2al), depositados sobre basamento ígneo (Batolito de Santa Marta).

El perfil de Geo tomografía de Resistividad Eléctrica No. 8, realizado en la cuenca del río Manzanares, en El Parque Cementerio Jardines de Jerusalén, en el sector Sabanas de Bonda, tuvo una longitud de 280 m y una dirección S85W y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner, pues de los arreglos realizados es el que mejor resolución y menor error estadístico registró.

Figura 4.29. Tomografía 8 interpretada



Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen distribución logarítmica (base 10), generando un incremento notable de los valores en el registro
Teniendo en cuenta esto, el software de interpretación permite acotar los rangos de resistividad de los perfiles interpretados, pero al realizar esta acción se reduce el grado de sensibilidad (induciendo errores) del equipo pudiendo suprimir características del terreno; por ende para la interpretación realizada se configuró el rango de resistividad en el infinito (sin límite establecido), lo cual permite generar valores de resistividad puntuales y al mismo tiempo datos más confiables.
En caso de requerir mayor detalle respecto a causas del aumento de la resistividad, estas se encuentran descritas en el Marco Teórico del método

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: se observa a lo largo del registro depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 30 a los 122 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas algunas veces saturadas de aguas duras intercaladas con arcillas, de especial interés para la explotación. También se incluye dentro de este rango (entre 122 a 170 Ohm-m) la zona saprolitizada de la roca (color azul marino), en donde se puede encontrar porosidades secundarias con alguna posibilidad de explotación, aunque su perforación se dificulta por su alta dureza. Esta formación se extiende a lo largo de todo el perfil superficialmente y a profundidades medias (color azul oscuro a azul marino).

UH2: Finalmente se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores de resistividad que oscilan entre 170 a 2500 Ohm-m, que se interpretan basamento igneo (Batolito de Santa Marta, color verde marino a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

En el registro se puede apreciar dos zonas estratigráficas, la primera distribuida en la parte superficial y media con capas de resistividades medias a altas (entre 30 a 170 Ohm-m) que se interpretan como sedimentos cuaternarios de gran interés hidrogeológicos con profundidades de 25 a 45 m y el segundo con resistividades de altas a muy altas (entre 170 a 2500 Ohm-m), relacionada al basamento rocoso (posiblemente ígneo del Batolito de Santa Marta)

4.1.4.9. *Consideraciones adicionales y conclusiones generales de las tomografías realizadas*
En las Geotomografías analizadas un predominio de formaciones sedimentarias de resistividades medias a altas relacionadas con presencia de arenas saturadas de agua a veces duras intercaladas con capas de arcillas, con condiciones hidrogeológicas favorables para la explotación de aguas subterráneas, estos sedimentos cuaternarios están depositados sobre basamento ígneo (Batolito de Santa Marta) o metamórfico (Esquistos de Gaira), que se comportan como acuifugo y acuicierres.

En el caso en que se detecte en el perfil una reducción en la resistividad, esto indica un aumento en la presencia de finos (limos o arcillas) o presencia de estratos saturados de aguas duras o salobres, teniendo en cuenta que la resistividad es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica; cualquiera de los casos indica una reducción en las condiciones hidrogeológicas del acuífero.

Para conocer la calidad del agua subterránea es necesario tomar una muestra en el sitio de interés bien sea en un pozo cercano o en el pozo una vez construido; algunos parámetros básicos pueden ser analizados ínsito, pero la mayoría de parámetros en especial los cationes y aniones deben ser realizado en laboratorios certificados.

En conclusión, la geofísica y en este caso la Geotomografía de Resistividad Eléctrica, es un método económico y rápido para analizar las estructuras del subsuelo, en donde se puede obtener perfiles de resistividad de las formaciones, que se relacionan con ciertas características de las rocas, pudiéndose identificar algunas tendencias. Por esta razón siempre es necesario corroborar la información obtenida en campo con perforaciones.

4.2. Identificación y Caracterización de Unidades Geológicas que pueden conformar Sistemas Acuíferos.

Las unidades hidrogeológicas mostradas a continuación se clasifican siguiendo los lineamientos planteados por la IAH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), de acuerdo con el tipo de porosidad del material (primaria o intergranular y secundaria o por fracturas) y a su potencial acuífero, reflejado en el valor de la capacidad específica. En los siguientes numerales se clasifican las formaciones hidrogeológicas más relevantes en el área de estudio.

4.2.1. **A. Sedimentos con flujo esencialmente intergranular**

A esta clasificación pertenecen las unidades identificadas como Acuíferos de Santa Marta, Gaira, Toribio y Córdoba (se descarta Piedras por su poca extensión y poca información existente), todos de edad Cuaternaria.

Estos acuíferos son considerados importantes en la dinámica hidrogeológica dado su almacenamiento de agua y la extracción que se realiza de esta para diversos fines; los anteriores cuerpos son recargados principalmente por las corrientes superficiales y en menor proporción por la precipitación.

Además, se incluye también el Acuífero Depósito de Playa, de granulometría fina que almacena agua salobre a salada (concentración media y alta de sal, respectivamente); este depósito no posee demasiada importancia hidrogeológica.

Los cuerpos con las características mencionadas e información adicional son descritos a continuación

4.2.2. **Acuíferos de Santa Marta Gaira y de los ríos Toribio y Córdoba (A-AlAcLi-Se)**

Está limitado en la parte Septentrional y Meridional por rocas metamórficas constituidas respectivamente por las Filitas de Taganga y los Esquistos de Gaira, al occidente por Depósitos de

Playa del Mar Caribe y al oriente por rocas ígneas de composición granodiorítica que hacen parte del Batolito de Santa Marta.

Estos acuíferos se encuentran constituidos de techo a base por cantos y gravas de filitas, esquistos y rocas ígneas de diversa composición y tamaño, embebidos en una matriz de arenas cuarzosas de grano fino a grueso con delgadas intercalaciones arcillosas que aparecen cubriendo a capas de arenas cuarzosas de grano muy grueso. Finalmente se encuentra una gruesa capa de arcilla depositada sobre una secuencia de arenas cuarzosas de grano fino a grueso en contacto con un delgado saprolito constituido por la alteración de rocas metamórficas e ígneas. Estos sedimentos son depositados fundamentalmente por los ríos Manzanares, Gaira, Toribío y Córdoba y las quebradas Tamacá, Bureche y en menor proporción por las quebradas Don Jaca y el Doctor sobre una paleo topografía irregular. El anterior fenómeno de depositación permitió la formación de conos aluviales y terrazas que en algunos sectores se interdigitan y forman una cadena continua de abanicos, razón por la cual desarrolla un espesor que oscila entre 40 y 80 m.

Hidrogeológicamente este acuífero se considera de tipo multicapa, continuo y de extensión regional con desarrollo de una porosidad primaria; la parte superior se comporta como libre y es explotada generalmente por aljibes mientras que la capa inferior se comporta como confinada y actualmente es explotada por numerosos pozos profundos.

El nivel estático del agua subterránea fluctúa entre 2,7 y 20.3 m de profundidad con un promedio de 12,5 m, observándose que para el año 1992 la profundidad de éste nivel se hallaba en promedio a 7.0 m. Lo anterior indica que regionalmente el nivel ha descendido cerca de 5.50 m como respuesta a la intensa explotación en los sectores de Santa Marta y Gaira y a la reducción de la recarga superficial por el desarrollo urbano y las temporadas secas, que son cada vez más intensas. La dirección general del flujo subterráneo desciende desde los piedemontes hacia los ríos Manzanares y Gaira (drenajes principales); sin embargo, sobre los depósitos del río y en sus proximidades el flujo se torna paralelo a ésta corriente dirigiéndose hacia la línea costera con un gradiente casi horizontal. De acuerdo con el análisis de la información recopilada, el espesor saturado del acuífero oscila desde 15 hasta 78 m con un promedio de 40 m, con agua dulce clasificada hidrogeoquimicamente como bicarbonatada clorurada cálcica, existiendo hacia el sector noroccidental aguas de tipo clorurada cálcica que reflejan indicios de salinización.

Los principales parámetros hidráulicos calculados de acuerdo a la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad son los siguientes: Transmisividad entre 32,18 y 690,14 m^2/d con promedio de 341,5 m^2/d. Capacidad Especifica de 1,28 a 9,09 lps/m con un promedio de 3,67 lps/m y una Conductividad hidráulica que varía desde 2,62 hasta 74,18 m/d con un promedio de 22,01 m/d.

4.2.3. **Acuíferos de depósitos coluviales (A-CAcLi-Se)**

Están formados por gravas sub redondeadas y bloques de hasta de 1 m o más de diámetro, derivados de rocas ígneas y metamórficas, con escasa matriz arenosa.

Son acuíferos discontinuos de extensión local de mediana a baja productividad conformados de material granular de tamaño variable y material fino como matriz (este último se comporta como acuitardo), se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de buena calidad fisicoquímica, características hidráulicas regulares a bajas, con espesores promedio de 10 metros.

El agua de esta formación se describe, como de conductividad eléctrica media lo cual nos indica un contenido de sales moderadas y un pH básico lo cual marca una posible presencia de sales carbonatadas, un poco más alto que el mostrado en otras formaciones cuaternarias.

Los parámetros hidráulicos de esta formación calculados de acuerdo a la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad nos muestran una capacidad especifica de 1,61 lps/m, una transmisividad de 218,56 (m^2/día) y una permeabilidad de 10,22 (m/día), que se consideran como bueno.

4.2.4. **Acuíferos de llanura de inundación (A-LIAcLi-Se)**

Dentro del área de estudio, este tipo de depósito se identifica en la esquina Sur-Oeste, en las proximidades del casco urbano del municipio de Ciénaga, correspondiendo con la zona baja y de desembocadura del río Córdoba y las quebradas Guayabo y Marinca. Presenta zonas anegadas y algunos pantanos que están siendo desecados con rellenos. Los materiales que los componen corresponden a limos y arcillas.

Son acuíferos continuos de extensión local de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios gruesas con intercalaciones esporádicas de finos, se clasifica como acuíferos libres y semiconfinados, con agua de buena calidad, características hidráulicas excelentes, con espesores promedio de 45 m, aunque en algunos puntos presentan espesores de más de 70 m.

Las características hidrogeológicas de esta formación se describen como de conductividad eléctrica de baja a media lo cual nos indica un contenido de sales de baja a moderadas y un pH básico lo cual maraca una posible presencia de sales carbonatadas, con mayor influencia en el acuífero del Río Manzanares, posiblemente por la influencia de la magnesita y calcita en las formaciones metamórficas.

Los parámetros hidráulicos calculados de acuerdo a la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad nos muestran una capacidad especifica de 3,34 lps/m, una transmisividad de 312,34 (m^2/día) y una permeabilidad de 117,51 (m/día), que se consideran como bueno.

4.2.5. **Acuífero depósito de playa (A-PlAcLi-Se)**

Ocupa una angosta franja a lo largo de la línea de costa; está formado por arenas de playa de grano fino a medio constituidas por cuarzo, plagioclasa, líticos, opacos y máficos con estratificación plana paralela a semiparalela, observándose en algunos sectores intercalaciones de niveles arenosos y lodosos.

Es un acuífero de tipo libre, continuo y de extensión regional depositado por la acción de las olas del mar alcanzando un espesor no mayor de 7.0 m. Se considera de baja productividad con Los parámetros hidráulicos calculados de acuerdo a la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad nos muestran una capacidad especifica de 0,34 lps/m, una transmisividad de 18,70 (m^2/día) y una permeabilidad de 1,45 (m/día), que se consideran como aceptables.

4.2.6. **C. Sedimentos y rocas, con limitado a ningún recurso de agua subterránea.**
En esta clasificación se incluyen los acuícludo conformados por rocas metamórficas representadas por las Filitas de Taganga y los Esquistos de Gaira, así como las rocas ígneas de composición granodiorítica del Batolito de Santa Marta. Se caracterizan por presentar una muy baja porosidad secundaria al contener fracturas y diaclasas angostas, de poca longitud y rellenas generalmente con material milonitizado; estas rocas conforman el basamento hidrogeológico del área investigada.

4.2.7. **Acuífugo filitas de Taganga (esquistos de concha) (C-FtAcf)**
Son rocas metamórficas que afloran a lo largo de la línea de costa entre la ensenada de Neguanje y los sectores de Gaira y El Rodadero, conformado por una secuencia de esquistos verdes, negros y cuarcitas producto de un metamorfismo de baja presión acaecido durante el Paleozoico Inferior haciendo parte del basamento hidrogeológico del área.

En estas rocas el grado de fracturamiento es intenso. Las fracturas y diaclasas son angostas y poco profundas, lo cual no permite un almacenamiento de agua subterránea importante, mientras que la cuarcita presenta mejor porosidad secundaria y a causa de su masividad permite el desarrollo de fracturas amplias y profundas pero generalmente rellenas con material de diferente composición que disminuye sus posibilidades de almacenamiento de agua, razón por la cual a ésta unidad se le clasifica como Acuífugo, es decir no almacena ni transmite el agua subterránea. Su Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, se estima como menor de 0.01 L/s/m.

4.2.8. **Acuífugo batolito de Santa Marta (C-BsAcf)**
Éste cuerpo ígneo intrusivo de composición granodiorítica aflora hacia el sector suroriental del área de estudio, constituyendo colinas redondeadas de poca altura, apareciendo en contacto fallado con las rocas metamórficas. Es una roca maciza, muy dura y compacta con alto grado de fracturamiento y diaclasamiento; la porosidad secundaria de esta roca es baja dado que los espacios son angostos y poco profundos, rellenos con material producto de su meteorización, comportándose por tal razón como impermeable. También hace parte del basamento hidrogeológico del área y su Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, se estima como menor de 0.01 L/s/m.

4.2.9. **Acuífugo esquistos de Gaira (C-EgAcf)**
Aflora en los sectores de Gaira, El Rodadero y Santa Marta como también en la vía a Minca. En general consiste de esquistos micáceos, cuarzofeldespáticos, anfibólicos y grafíticos, caracterizados

por su fina granulometría, como también rocas ultramáficas y probablemente mármoles. Son esquistos densos con marcada foliación, presentando fracturas y diaclasas angostas, de poca extensión y rellenas con material milonitazado, originando una roca prácticamente impermeable. Se considera continuo de extensión regional con Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, menor de 0.01 L/s/m y hace parte del basamento hidrogeológico del área. El concepto de acuicludo implica también el acuicierre del acuífero.

En la Figura 4.30 se ilustran las unidades hidrogeológicas determinadas para la cuenca, y en la Figura 4.31 la leyenda respectiva del mapa, se recomienda revisar los anexos para obtener una visualización más detallada de la información.

Figura 4.30. Mapa de Unidades Hidrogeológica

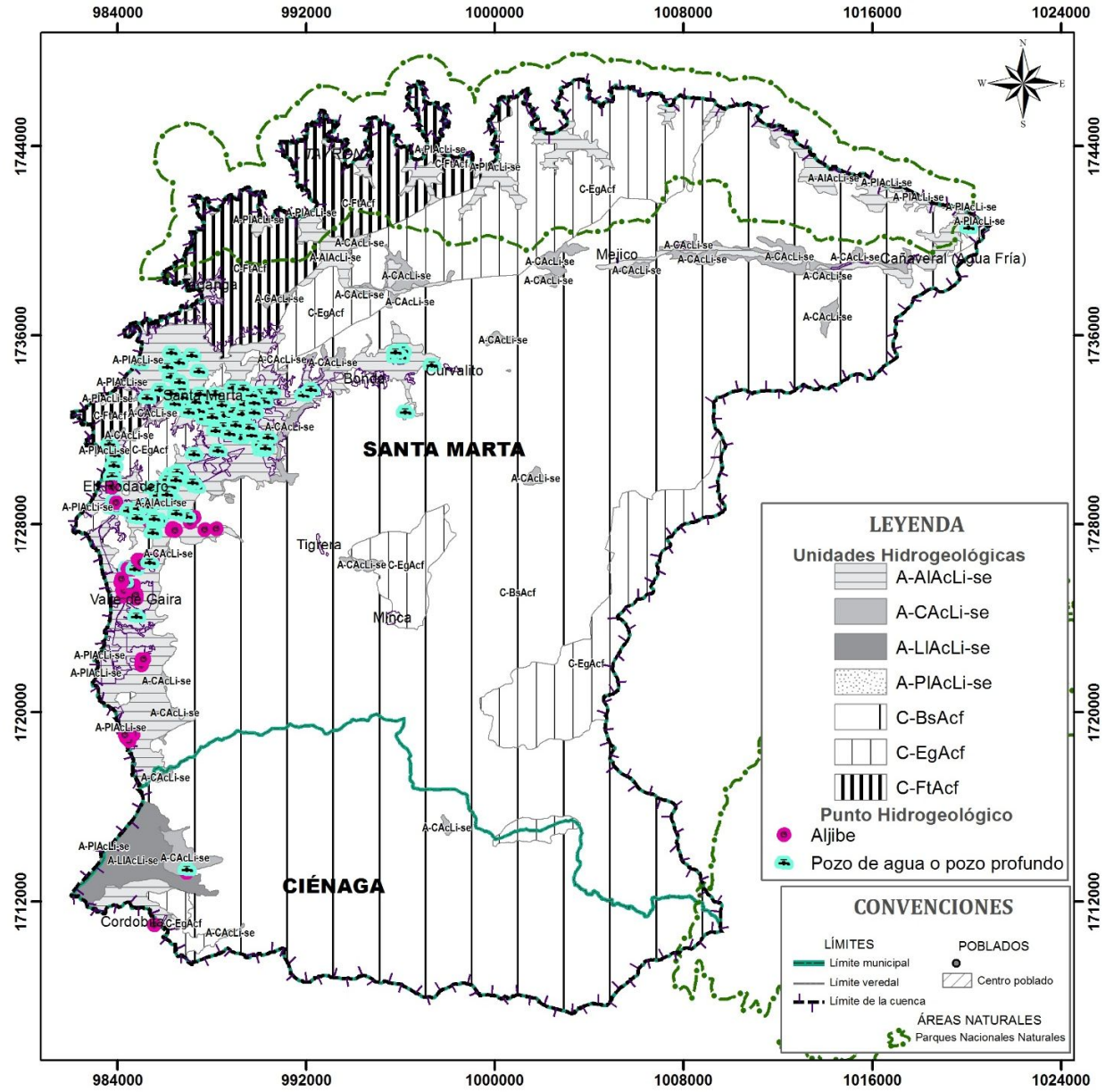


Figura 4.31. Leyenda mapa de unidades hidrogeológicas

LEYENDA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS				
SÍMBOLO	**NOMENCLATURA**	**NOMBRE**	**CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS DE LA UNIDAD**	**DESCRIPCIÓN**
	A-AlAcLi-se	Acuífero de depósitos aluviales	Conductividad hidráulica: 22,01, Transmisividad: 341,5, Capacidad Especifica: A4,7	Agua dulce clasificada como bicarbonatada clorurada cálcica, existiendo hacia el sector noroccidental aguas de tipo clorurada cálcica que reflejan indicios de salinización Hidrogeológicamente estos acuíferos se consideran de tipo multicapa de alta productividad, continuo y de extensión regional con desarrollo de una porosidad primaria; la parte superior se comporta como libre y es explotada generalmente por aljibes mientras que la capa inferior se comporta como confinada y actualmente es explotada por numerosos pozos profundos; con agua de buena calidad, características hidráulicas excelentes, con espesores promedio de 35 m y vulnerabilidad moderada.
	A-CAcLi-se	Acuífero de depósitos coluviales	Conductividad hidráulica: 10,22, Transmisividad: 218,15, Capacidad Especifica: A1,61.	Conductividad eléctrica media lo cual nos indica un contenido de sales moderadas y un pH básico lo que indica una posible presencia de sales carbonatadas, un poco más alto que el mostrados en las formaciones cuaternarias de menor pendiente. Acuíferos discontinuos de extensión local de mediana a baja productividad conformados de material granular de tamaño variable y material fino como matriz (este último se comporta como acuitardo), se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de buena calidad fisicoquímica, características hidráulicas regulares a bajas, con espesores promedio de 10 m y vulnerabilidad moderada.
	A-LlAcLi-se	Acuífero de depósitos de llanura de inundación	Conductividad hidráulica: 117,51, Transmisividad: 312,34, Capacidad Especifica: A3,34.	Conductividad eléctrica de baja a media lo que indica un contenido de sales de baja a moderadas y un pH básico marcando una posible presencia de sales carbonatadas, con mayor influencia en el acuífero del rio Manzanares, acuíferos continuos de extensión local de alta productividad, conformados por sedimentos gruesas con intercalaciones esporádicas de finos, se clasifica como acuíferos libres y semiconfinados, con agua de buena calidad, características hidráulicas excelentes, con espesores promedio de 45 m.
	A-PlAcLi-se	Acuífero de depósitos de playa	Conductividad hidráulica: 1,45, Transmisividad: 18,76, Capacidad Especifica: A0,34.	Conductividad eléctrica de media a alta lo que indica un contenido de sales moderado a alto, influenciadas por la cercanía de la costa (cuña marina) con pH levemente básico lo cual marca una posible presencia de sales carbonatadas Es un acuífero de tipo libre, continuo y de extensión regional depositado por la acción de las olas del mar alcanzando un espesor no mayor de 7.0 m es de tipo libre. Se considera de baja productividad con Capacidad Específica menor de 0.05 l/s/m; almacena agua salobre a salada no apta para consumo humano
	C-BsAcf	Acuífugo Batolito de Santa Marta	Conductividad hidráulica: 0, Transmisividad: 0, Capacidad Especifica: C<0,05.	La conductividad eléctrica refleja para la unidad, aguas con un contenido moderado de sales y un pH básico Acuífugos conformados por rocas metamórficas representadas por las Filitas de Taganga y los Esquistos de Gaira, así como las rocas ígneas de composición granodiorítica del Batolito de Santa Marta con muy baja productividad. Se caracterizan por presentar una muy baja porosidad secundaria al contener fracturas y diaclasas angostas, de poca longitud y rellenas generalmente con material

LEYENDA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS				
SÍMBOLO	**NOMENCLATURA**	**NOMBRE**	**CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS DE LA UNIDAD**	**DESCRIPCIÓN**
	C-EgAcf	Acuífugo Esquistos de Gaira	Conductividad hidráulica: 0, Transmisividad: 0, Capacidad Especifica: C<0,05.	milonitizado con agua de buena a mala calidad y características hidráulicas bajas a muy bajas; estas rocas conforman el basamento hidrogeológico del área investigada.
	C-FtAcf	Acuífugo Filita de Taganga	Conductividad hidráulica: 0, Transmisividad: 0, Capacidad Especifica: C<0,05.	

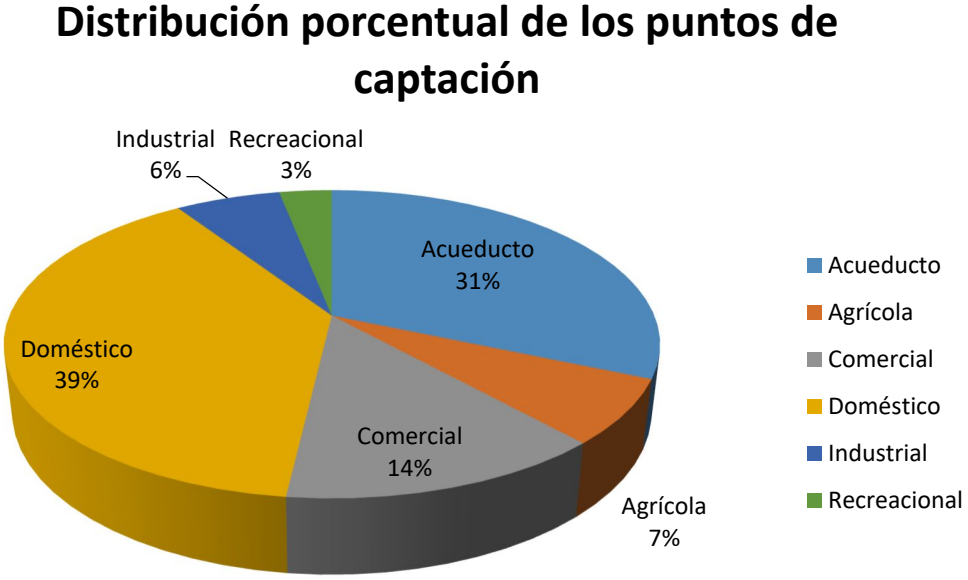
4.3. Usos Actuales y Potenciales del Recurso Hídrico Subterráneo.

Teniendo en cuenta la exhaustiva campaña de recolección de información primaria adelantada en la fase de campo, se presenta en la Tabla 4.12 el resumen porcentual y de cantidad de pozos relacionados al uso que actualmente les da la comunidad.

Tabla 4.12. Puntos de captación

Puntos de Captación		
Uso	**Cantidad**	**Porcentaje %**
Acueducto	51	31,5 %
Agrícola	11	6,8 %
Comercial	22	13,6 %
Doméstico	63	38,9 %
Industrial	10	6,2 %
Recreacional	5	3,1 %
Total	162	100,0 %

Figura 4.32. Distribución porcentual de los puntos de captación



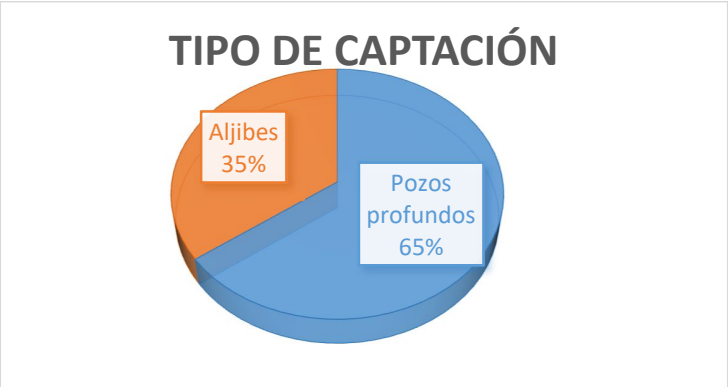
De la Figura 4.32 Podemos concluir que el setenta por ciento del porcentaje de pozos se concentran en el uso doméstico y de acueducto, como es apenas lógico, dada la ubicación del acuífero, tenemos otros usos industriales, comerciales, recreacionales y agrícolas asociados a la importancia de la ciudad a la que abastece. Aunque la principal orientación de los pozos profundos es al abastecimiento para consumo diario, resulta preocupante dada la cantidad de personas de que dependen de las aguas subterráneas, más adelante será abordado este ítem para el municipio de Santa Marta.

Con miras a realizar una descripción más clara y en contexto del uso actual del recurso hídrico subterráneo de la cuenca en la Tabla 4.13 se presenta la distribución porcentual del tipo de captación presente en la cuenca, y en la Tabla 4.14 se presenta el uso actual del recurso obtenido en pozos profundos, y en la Tabla 4.15 se presentará el uso actual discriminado para los aljibes

Tabla 4.13. Tipo de captación

Tipo de captación	#de pozos	Porcentaje
Pozos profundos	105	65%
Aljibes	57	35%
Total	162	100%

Figura 4.33. Tipo de captación

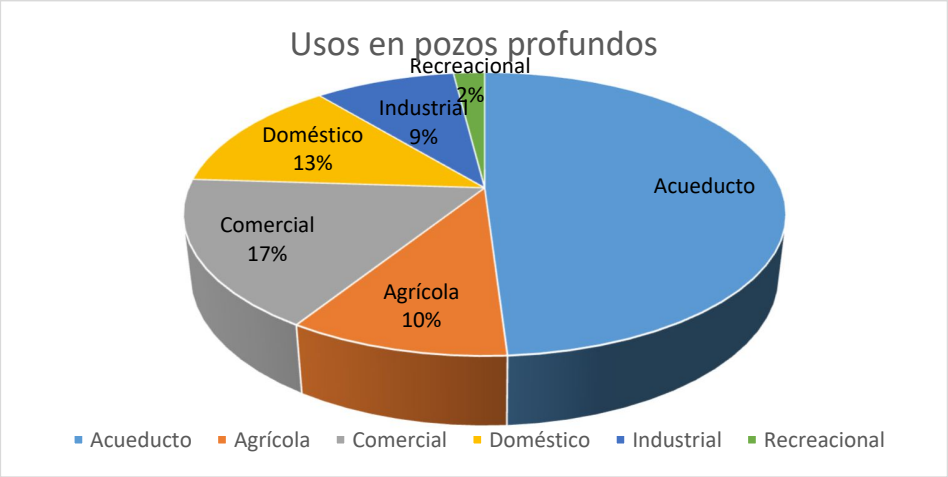


Al observar la Tabla 4.13 y la Figura 4.33 derivado de la tabla concluimos que existe una tendencia favorable a la utilización de pozos profundos respecto a los aljibes, a continuación, serán graficadas y descritas las relaciones entre los tipos de uso y el porcentaje de estos por tipo de captación.

Tabla 4.14. Distribución porcentual del uso en pozos profundos.

Pozo profundo		
Uso	**Cantidad**	**Porcentaje**
Acueducto	51	49
Agrícola	11	10
Comercial	18	17
Doméstico	14	13
Industrial	9	9
Recreacional	2	2
Total	105	100

Figura 4.34. Distribución porcentual de usos en pozos profundos

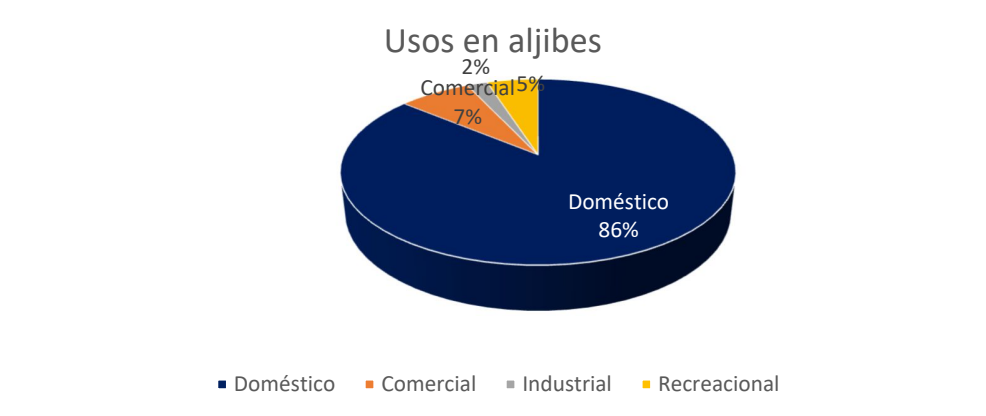


De la Tabla 4.14 y la Figura 4.34 construido a partir de esta, observamos una amplia distribución del uso de los pozos profundos en la cuenca, siendo la vocación a acueductos el ítem con mayor porcentaje, pero no con esto el de mayor importancia, pues el volumen de agua que se extrae para otros usos es incluso mayor.

Tabla 4.15. Distribución porcentual del uso en aljibes

Aljibe		
Uso	Cantidad	Porcentaje
Doméstico	49	86
Comercial	4	7
Industrial	1	2
Recreacional	3	5
Total	57	100

Figura 4.35. Distribución porcentual del uso en aljibes



Al observar la Tabla 4.15 y Figura 4.35 derivado de esta concluimos que para el caso de los aljibes la explotación del acuífero muestra un comportamiento claramente doméstico lo que por características propias del pozo, es posible asegurar que se trata de una vocación artesanal orientada al abastecimiento mínimo diario de los hogares, este tipo de explotación por su condición, representa un menor riesgo en el balance recarga/descarga de los acuíferos.

durante la fase de campo y en base de información secundaria fue posible constatar que cerca del 90% de los habitantes del municipio de Santa Marta se abastecen por medio de aguas subterráneas según datos del estudio social adelantado por el consultor, el municipio cuenta con cuatrocientos ochenta mil setecientos veintitrés habitantes (480723) y según el REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000, la dotación neta mínima dada la complejidad media alta del sistema es de 135 litros por habitante al día lo que nos arroja un valor diario de consumo de 58.407.845 L/día, o unos 58408m^3/día aproximadamente, para el municipio de Santa Marta, este consumo mínimo estimado restringe mucho la capacidad de producción del acuífero, más aun teniendo en cuenta que este valor no contempla el consumo para producción agropecuaria, industrial, recreacional, entre otros.

Del capítulo ESTIMACION DE LA OFERTA HIDRICA. obtuvimos valores de recarga por subcuencas, lo que nos permite calcular la recarga potencial en el área del municipio de Santa Marta, tomado como base, este proceso arroja un valor neto de 29.578.312,3 m^3/año lo que al comparar con el consumo anual estimado en (58408 m^3/*365dias) 21.318.920 m^3/año, resulta alarmante, teniendo en cuenta que este cálculo no tiene en cuenta el valor de consumo de la población flotante y apenas refleja el consumo orientado a un uso doméstico.

4.4. Estimación de la Oferta Hídrica Subterránea y Parámetros Hidráulicos de Acuíferos Confinados.

4.4.1. **Determinación de la Recarga Potencial**

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Formulación de POMCA (MADS, 2013), la oferta hídrica subterránea viene expresada por la recarga potencial de los acuíferos; valor de alta importancia para conocer el verdadero potencial de explotación de las aguas subterráneas presentes en la Cuenca. La recarga de cada acuífero puede provenir directamente de la precipitación, de flujos laterales y verticales de las aguas superficiales -ríos, lagos, ciénagas-, o por medios artificiales como la irrigación del suelo y fugas en sistemas de conducción o estructuras de almacenamiento y/o regulación hídrica (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner et ál., 1990; Samper, 1997 citados por MADS, 2014)

La determinación de la recarga potencial puede realizarse por diferentes métodos que incluyen desde expresiones empíricas hasta medidas directas y modelos numéricos de las ecuaciones diferenciales que rigen el transporte a través de la zona no saturada del suelo hasta el acuífero. La desventaja del empleo de relaciones empíricas radica en que están basadas en supuestos o en datos de una región específica, lo cual puede introducir altos porcentajes de error si se emplean bajo condiciones que no sean similares a aquellas con las que fueron deducidas.

Para el presente análisis se empleó una modificación de la metodología de Balance Hídrico de Suelos propuesta por Schosinsky (2006) la cual toma en consideración diferentes variables que inciden en la capacidad de recarga de acuíferos de una cuenca, como lo son la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. A continuación, se resume la secuencia metodológica empleada para la obtención de la recarga potencial.

4.4.1.1. *Determinación de la retención pluvial (Ret)*

La presencia de cobertura vegetal genera por sí misma una retención del agua que recibe la cuenca como precipitación. Se estima que la retención que realiza el follaje de las plantas equivale en promedio a un 12% de la precipitación mensual, aunque este valor se eleva a un 20% en bosques densos. De igual manera, si la precipitación está por debajo de los 5 mm mensuales no se genera infiltración. (Schosinsky, 2006). A partir de la cobertura definida para cada subcuenca, se descuenta de la precipitación el valor retenido por las plantas de manera directa sin que llegue al suelo, Ret.

4.4.1.2. *Determinación de la precipitación infiltrada, P_{in}*

La metodología de Schosinsky plantea que, conociendo la infiltración básica del suelo (obtenida en campo), la cobertura vegetal y la pendiente, se estima la precipitación que infiltra a través del suelo; para posteriormente con ella determinar la escorrentía mensual mediante un balance hídrico en la superficie del suelo. Sin embargo, como se conoce la escorrentía superficial para cada subcuenca a partir del análisis hidrológico, se empleó el balance hídrico en la superficie para estimar la cantidad de precipitación infiltrada. Adicionalmente, dadas las condiciones de la cuenca, fue necesario corregir el balance para tomar en consideración los aportes subsuperficiales que vendrían dados por zonas de surgencia del agua que se transporta a través del área no saturada. Este aporte subsuperficial se determina como el déficit de precipitación que permite obtener un nivel de escorrentía determinado, haciendo que la infiltración sea cero. Así, el balance queda de la siguiente manera:

$$P_{in} = P - Ret - ESC + L$$

donde P es la precipitación media mensual, ESC la escorrentía obtenida de la hidrología (en mm/mes), y L los aportes subsuperficiales (iguales a cero si P - Ret > ESC).

4.4.1.3. *Balance del suelo*

El primer dato necesario para proceder al balance del suelo es la infiltración que ya se obtuvo del numeral anterior. Luego, es preciso conocer la capacidad de campo promedio (CC) y el punto de marchitez (PM) del suelo en cada subcuenca, así como la profundidad radicular para convertir la capacidad de campo de unidades de porcentaje a lámina de agua. Sin embargo, haciendo la comparación de este cálculo con lo descrito por Bradbury *et al.* (2000), el resultado corresponde a la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, que está relacionada hidrológicamente con las abstracciones iniciales de los modelos de lluvia-escorrentía por medio del umbral de escorrentía. De esta manera, se emplearon las relaciones del modelo de lluvia-escorrentía del SCS para determinar la capacidad de almacenamiento del suelo y se igualó a la capacidad de campo. Teniendo en cuenta

la ausencia de mediciones, se emplearon tablas para estimar el punto de marchitez permanente a partir de la capacidad de campo calculada.

Con la anterior información y la evapotranspiración potencial (ETP) mensual obtenida del método de Thornthwaite se estima la evapotranspiración real (ETR) que se ocasionaría tomando en cuenta el cierre de las estomas de las plantas en la superficie y los cambios en la humedad del suelo producidos por la precipitación infiltrada. Si dicho valor supera la humedad disponible, se considerará esta como la evapotranspiración real factible en la unidad de suelo.

Finalmente, se determina la humedad del suelo al final del mes a partir de la humedad disponible y la evapotranspiración real calculada, tomando en cuenta que no puede superar la capacidad de campo.

4.4.1.4. *Cálculo de la recarga potencial (R_p)*
La recarga potencial mensual, en mm/mes, que se produce en cada subcuenca vendrá dada por:

$$R_p = P_i - \Delta HS - ETR$$

donde ΔHS representa el cambio de humedad del suelo durante el mes.

4.4.1.5. *Cálculo de las necesidades de riego (NR)*
La necesidad de riego (NR) se refiere a la cantidad de agua, mediante irrigación, que habría que agregar al suelo durante cada mes, para mantener el suelo siempre a capacidad de campo, la cual representa el punto óptimo para el crecimiento de la vegetación, y por ende de cultivos. Con esta irrigación, la planta puede evapotranspirar sin necesidad de cerrar sus estomas y evitaría marchitarse. La expresión para calcular la necesidad de riego es:

$$NR = CC - HS_f - ETR + ETP$$

donde HS_f es la humedad del suelo (en mm) al final del mes.

El procedimiento descrito se realizó a través de una hoja de cálculo en Excel, y los resultados para cada subcuenca se muestran en detalle en el capítulo correspondiente al componente de clima sin embargo en la Tabla 4.16 se presenta el resumen de recargas por sub cuencas

Tabla 4.16. Resumen de recargas por sub cuencas

Nombre	**NSS**	**Recargas**	**Área**	**Recarga mm/año**	**Recarga neta por subcuenca en m³/año**
Río Córdoba-Sector Cordobita	1501-0101	357,575196	22070152,2	7891738992	7891738,99
Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	1501-0102	50,4974419	17303196,2	873767146	873767,146
Quebrada La Sierrita	1501-0103	43,2357505	15500763,1	670187124	670187,124
Río Córdoba-Sector Agualinda	1501-0104	105,303484	52117860,4	5488192284	5488192,28

Nombre	**NSS**	**Recargas**	**Área**	**Recarga mm/año**	**Recarga neta por subcuenca en m³/año**
Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	1501-0105	116,574465	18352672,7	2139452995	2139453
Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	1501-0201	162,265433	17948031,8	2912345160	2912345,16
Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	1501-0202	110,029564	56946669,8	6265817280	6265817,28
Quebrada Marinca	1501-0203	85,4137443	25255948,5	2157205126	2157205,13
Quebrada El Guayabo	1501-0204	352,044429	12262278,1	4316866675	4316866,68
Quebrad El Doctor	1501-0301	352,359977	12093033,7	4261101066	4261101,07
Quebrada Don Jaca	1501-0302	309,637499	13278413,2	4111494644	4111494,64
Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	1501-0303	64,9446824	31637068,2	2054659344	2054659,34
Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	1501-0401	200,068346	40882695	8179333157	8179333,16
Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	1501-0402	123,047424	43664140,2	5372759992	5372759,99
Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	1501-0403	339,495281	29248312,1	9929663932	9929663,93
Río Manzanares en Santa Marta	1501-0501	143,020142	45788097,7	6548620225	6548620,22
Quebrada Tamaca	1501-0502	67,1493338	42681520,2	2866035646	2866035,65
Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	1501-0503	101,587419	84470082,4	8581097659	8581097,66
Quebrada Matogiro (Donama)	1501-0504	61,5652694	29245362,5	1800498622	1800498,62
Quebrada Concha	1501-0600	0	53573441,3	0	0
Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701	0	36330678,1	0	0
Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	1501-0702	0	24526117,9	0	0
Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	1501-0703	321,355712	41948522,2	1,348E+10	13480397,2
Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1501-0801	355,576373	81580346,2	2,9008E+10	29008043,6
Quebrada Jordan	1501-0802	27,7283379	29728495,5	824321768	824321,768
Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	1501-0803	57,8159152	34796301,4	2011780010	2011780,01
Quebrada La Lisa	1501-0804	21,0299848	14764283,2	310492652	310492,652
	Total				132055872

4.4.2. **Pruebas de Bombeo**

Para la estimación de los parámetros hidráulicos de acuíferos confinados se realizaron tres pruebas de bombeo durante la etapa de campo, debido a que durante esta fase la región presentaba tiempo seco y la realización de estas pruebas conlleva un importante desperdicio de agua, no era factible realizar muchas pruebas.

4.4.2.1. *Descripción y metodología*

Las pruebas de bombeo se realizan en los pozos de agua profundos y aljibes con objeto de conocer parámetros hidráulicos como: caudal específico transmisividad y en algunos casos la conductividad hidráulica, parámetros que permiten caracterizar los acuíferos en que estos pozos se encuentran emplazados.

Existe una limitante en la cantidad de pruebas, debido a que al realizar las pruebas de bombeo se tiene que extraer agua del pozo entre 24 y 48 horas continuas, para poder calcular el abatimiento lo que origina que hasta que el nivel dinámico se estabilice se pierda todo el volumen extraído.

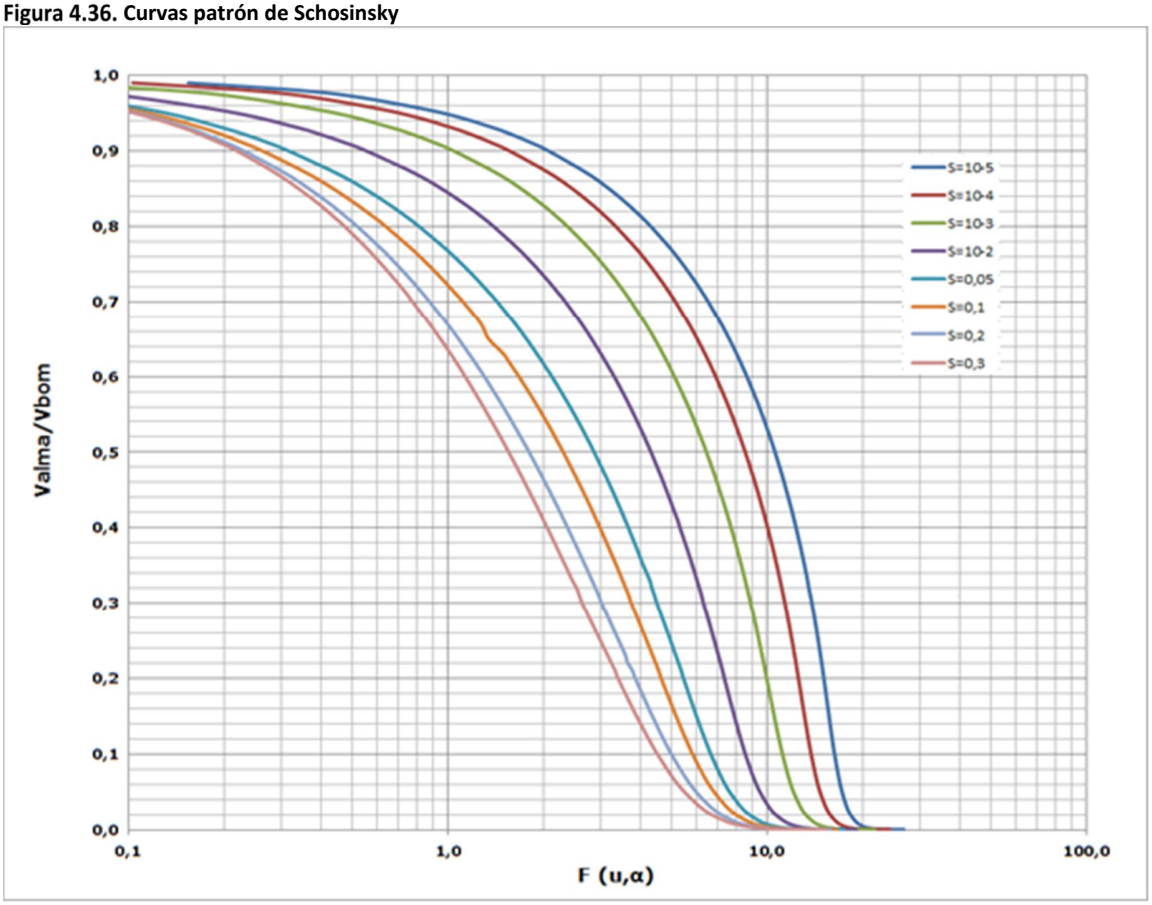
En el área de la cuenca objeto de ordenación fueron realizadas siete pruebas de bombeo en pozos con miras a definir el caudal de bombeo y calcular los parámetros del acuífero (Nivel Estático, Nivel Dinámico, Capacidad Especifica, Permeabilidad y Transmisividad). Esta prueba se realiza bombeando el pozo hasta que se estabilice su nivel dinámico, la relación entre el caudal de explotación y el nivel descendido durante la prueba se conoce con el nombre de capacidad específica.

Ab = abatimiento = la diferencia entre el nivel estático y el dinámico = NE - ND
Ce = Q/Ab = Capacidad Especifica
Donde Q es el caudal de explotación

4.4.2.2. *Pruebas de bombeo en pozos tipo Aljibe*

En el caso de pozos de gran diámetro en donde el caudal bombeado tiene un componente por almacenamiento, para estos casos se utilizará la expresión de Schosinsky (se basa en el método de Papadopulos), que consiste en graficar en papel semi logarítmico el abatimiento observado durante la prueba de bombeo en el eje horizontal contra la relación entre el volumen almacenado y el volumen bombeado los cuales se obtienen de los datos obtenidos la prueba de bombeo. Posteriormente se sobrepone esta gráfica sobre las curvas patrón la cual se calcula con base en la relación de Valm/Vbom contra una función que depende del coeficiente de almacenamiento y la Transmisibilidad, en la Figura 4.36 se presentan las curvas patrón de Schosinsky.

Figura 4.36. Curvas patrón de Schosinsky



$$F(\alpha,u) = \frac{4\pi T s}{Q}$$

$$\frac{F(\alpha,u)u}{S} = \frac{s\pi r_w^2}{Qt} = \frac{\text{Volumen almacenado}}{\text{Volumen bombeado}}$$

$$S = \frac{\alpha r_c^2}{r_w^2}$$

Cuando el radio del pozo es constante S (E = coeficiente de almacenamiento) es igual a α cuyo valor se obtiene de la gráfica patrón. La transmisibilidad se calcula utilizando también la curva patrón y aplicando la siguiente expresión.

$$T = \frac{F(u;\alpha)\,Q}{4\pi s}$$

Las curvas patrón se obtienen de graficar la relación Valm/Vbom y la función F(α,u), para varios valores de α el cual equivale al coeficiente de almacenamiento cuando el radio del pozo es constante.

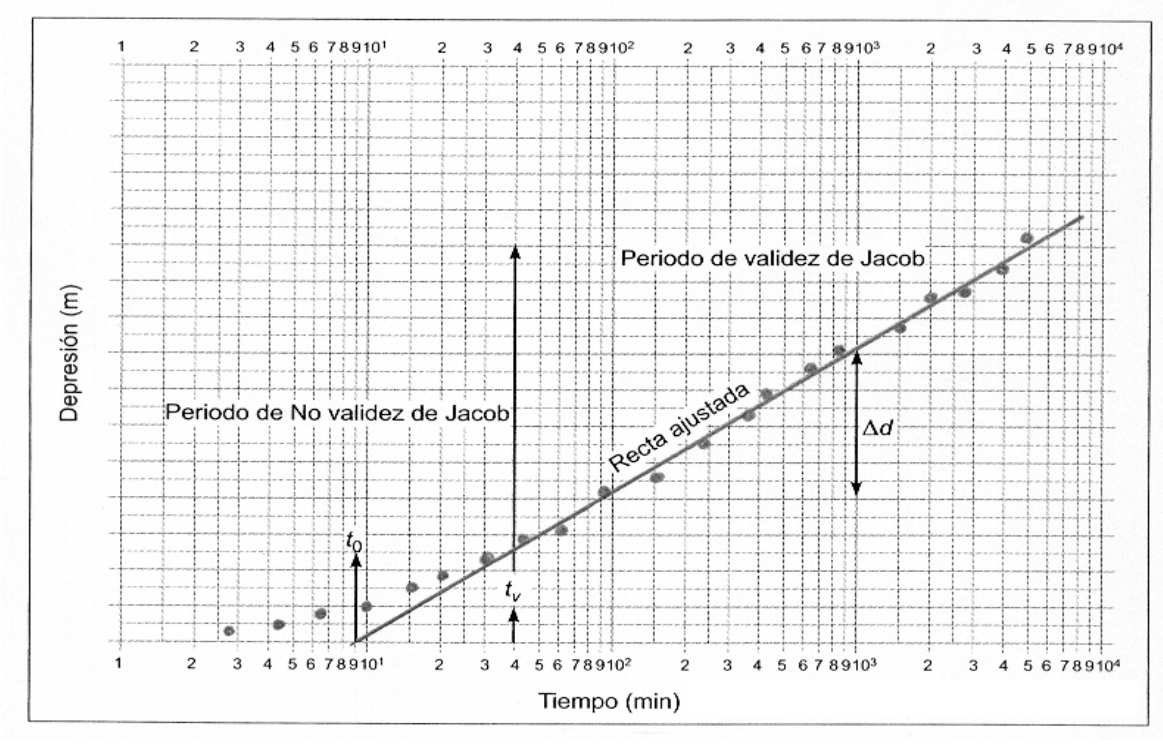
4.4.2.3. *Pruebas de bombeo en Pozos Profundos.*
El método utilizado para el cálculo de los parámetros hidráulicos en pozos de pequeño diámetro es el de Jacob Simplificado, el cual se basa en la ecuación de Thiem, cuya solución se da graficando en forma semi logarítmica el abatimiento contra el tiempo, este método se deduce de las siguientes expresiones:

En un punto cualquiera el nivel piezométrico variará durante el bombeo según la expresión de Thiem:

$$h_0 - h = \frac{Q}{2.\pi.T} \ln \frac{R}{r}$$

La resolución matemática de la ecuación de flujo lleva a la fórmula de THEIS y, para la mayoría de las situaciones, a la simplificación de JACOB (Jacob-Cooper).

Figura 4.37. Gráfica del periodo de validez de Jacob



En un punto cualquiera el nivel piezométrico variará durante el bombeo según la expresión:

$$h_0 - h = s = 0{,}183 \frac{Q}{T} \ln \frac{2{,}25 . T . t}{r^2 . S}$$

Dónde:
s = descenso en el tiempo t (desde el comienzo del bombeo) en el punto de medida situado a la distancia r del eje del pozo de bombeo.
Q = caudal de bombeo
T = transmisibilidad
S= coeficiente de almacenamiento

Con una pequeña transformación matemática en se llega a la expresión equivalente siguiente:

$$\underbrace{s}_{y} = \underbrace{0{,}183 \frac{Q}{T}}_{m} \underbrace{\log t}_{x} + \underbrace{\left(-0{,}183 \frac{Q}{T} \log t_0\right)}_{n}$$

Es decir, se trata de una recta de la forma y = m.x + n. Por tanto, basta dibujar x (log t) en papel semi logarítmico frente a y (s) para calcular el valor de la pendiente m. Una vez conocida m, como el caudal Q se conoce, se calcula T:

T = 0,183 Q/m
T = 0,1832 Q/Δs y K = T / m
Dónde:
T = Transmisividad
Q = Caudal de Bombeo
Δs = La pendiente de la tendencia lineal de la gráfica del abatimiento & el logaritmo del Tiempo de duración de la prueba de bombeo.
m = espesor del acuífero

Por solicitud del contratante se complementará los conceptos de los parámetros hidráulicos calculados.

4.4.2.4. *Definición de los parámetros hidráulicos calculados*

4.4.2.4.1. *Permeabilidad O Condutividad Hidrailica (K):*
Se conoce como conductividad hidráulica o permeabilidad (K) a la cantidad de agua, que bajo condiciones físicas específicas, circula a través de una sección de área unitaria normal al sentido de flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario.

La permeabilidad es una característica asociada a la porosidad es la permeabilidad o facilidad que tiene el suelo para dejarse penetrar por los fluidos. No solo los valores absolutos de porosidad bastan para estimar la permeabilidad del suelo sino algunos otros factores como la geometría del sistema poroso. Así una estructura hojosa deja una gran porosidad, pero dificulta notablemente la circulación del agua, al igual que sucede cuando no existe una buena interconexión entre los componentes de la macro porosidad.

La conductividad hidráulica es una propiedad que depende de las características del fluido y de la permeabilidad del medio poroso a través del cual circula y de la fuerza de gravedad (g). De tal forma, que algunas propiedades del fluido como peso específico, viscosidad dinámica y temperatura, influyen en el valor de K, al igual que el tamaño medió de los espacios abiertos (d), estratificación, empacamiento, disposición de los granos, distribución de tamaños, considerados a través del factor de forma (C) y la porosidad. Así por ejemplo, en lo que respecta a variaciones en las propiedades físicas del agua resulta que el agua salada circula con mayor velocidad que la dulce, por ser más densa y el agua caliente fluye más rápido que la fría, por ser menos viscosa, en la Tabla 4.17 se presenta un resumen de la permeabilidad por tipo de material

Tabla 4.17. Permeabilidad por tipo de material.

TIPO DE ROCA	K (m/d)
Arcilla	0.001 - 0.5
Arena	0.5 – 40
Grava	10 – 1.000
Areniscas con fisura	50 o más
Piedra caliza	25
Mezcla grava – arena	
40-50 %	K arena
60 %	2K arena
70 %	3K arena

4.4.2.4.2. *Transmisividad*

La transmisividad se define como la cantidad de agua que circula a través de una sección vertical de un metro de anchura y de altura igual al espesor saturado del acuífero, afectado por un gradiente hidráulico cuyo valor es igual a uno. La transmisividad tiene dimensiones de longitud al cuadrado sobre tiempo y se expresa en m^2 /día o m^2/s.

El valor de la transmisividad es uno de los resultados de las pruebas de bombeo, del cual puede estimarse una conductividad hidráulica media del acuífero. Sin embargo, el concepto de transmisividad aporta información limitada sobre valores "promedio" de conductividad hidráulica y porosidad (en el caso de acuíferos confinados) necesarios para tratar problemas de contaminación de agua subterránea. Si la información geológica básica no se conoce, los valores de transmisividad

representan un significado acotado y restringido para un manejo eficiente de los recursos hidráulicos subterráneos a mediano y largo plazos.

4.4.2.5. *Resumen de ubicación de las pruebas de bombeo y registro fotográfico*

Tabla 4.18. Ubicación de las pruebas de bombeo realizadas.

CODIGO	LOCALIZACIÓN	COORD. N	COORD. W	ALTURA GPS
Pz PB No. 1	Cordobita	11° 02' 46.67"	74° 11' 48.47"	61
Pz PB No. 2	Rodadero Sur	11° 08' 35.65"	74° 12' 59.18"	40
Pz PB No. 3	Manantial	11° 09' 23.66"	74° 13' 16.31"	10
Pz PB No. 4	Gaira Pozo No. 4	11° 11' 12.60"	74° 12' 24.90"	16
Pz PB No. 5	Manzanares	11° 13' 29.37"	74° 10' 15.28"	28
Pz PB No. 6	Sabanas de Bonda	11° 14' 40.95"	74° 06' 57.21"	72
Pz PB No. 7	Barlovento Piedras	11° 17' 32.02"	73° 53' 36.70"	4

Figura 4.38. Ubicación geográfica de las pruebas de bombeo

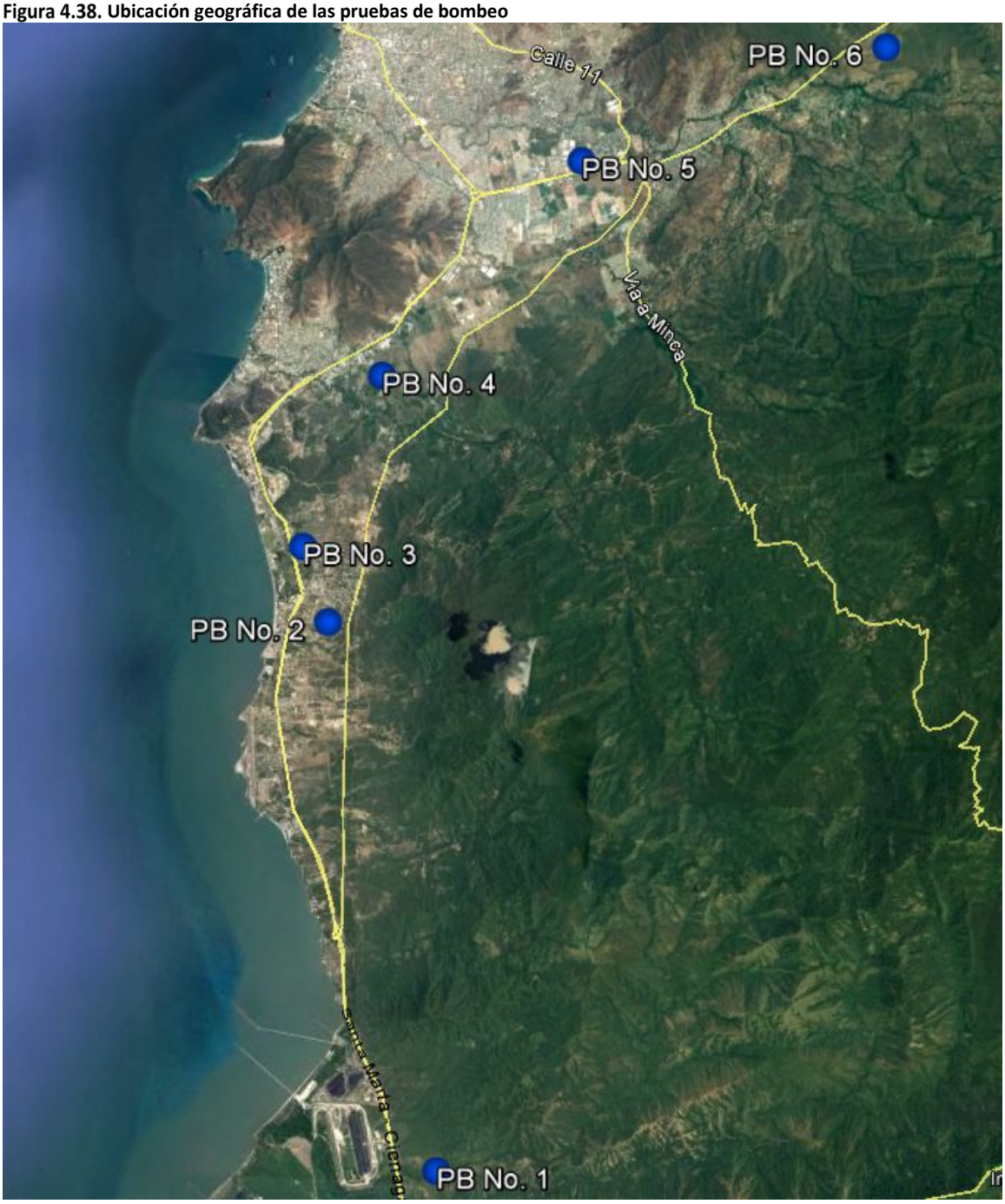


Tabla 4.19. Registro fotográfico

Pz-pb-1	
 	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba del pozo cerca del corregimiento de Cordobita
Pz-pb-2	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo del pozo en el sector de Rodadero Sur, barrio Vista Hermosa

	
Pz-pb-3	
 	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo del pozo en el sector de Manantial, finca Monterrey
Pz-pb-4	

 	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el pozo No. 4 de Gaira, localizado en el SENA Agropecuario

Pz-pb-5	
 	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el pozo localizado en la Universidad Cooperativa de Colombia
Pz-pb-6	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el pozo localizado en el sector de Sabanas de Bonda cerca de Jardines de Jerusalén

	
Pz-pb-No7	
 	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el pozo localizado en el sector Barlovento

4.4.2.6. *Resultados Prueba 1 realizada en el sector Cordobita*

Tabla 4.20. Resultados Prueba 1

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 12 m Diámetro: 8" en PVC Nivel Estático: 0,53 m Bomba: Tipo turbina de 1 ½ HP Tubería de succión: 2" en PVC Tubería de impulsión: 1,5" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 0,14 lps/ 0,62 m = 0,23 lps/m	NE: 0,53 m Qprom: 1,37 lps. Q: 118,37 (m^3/día) Esp. Saturado: 1,49 m △S: 0,3359 T = 0,1832 Q/△S = 0,1832 x 118,37 / 0,3359 = 34,13 m^2/día K = T / m = 34,13 / 11,47 = 2,98 m/día = 3,44 × 10^{-5} m/s

Figura 4.39. Formato Prueba de bombeo

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Jolonura **Ubicación:** Corregimiento de Cordobita

Fecha: 24/06/2016 **Hora Inicio** 09:40 a.m.

Nivel Estático 0,53 **Realizada por:** Jorge Camargo

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	09:40	0,53	1,37
00:02	09:42	0,74	1,37
00:05	09:45	0,85	1,37
00:10	09:50	0,91	1,37
00:15	09:55	0,98	1,37
00:20	10:00	1,04	1,37
00:25	10:05	1,08	1,37
00:30	10:10	1,12	1,37
00:40	10:20	1,16	1,37
00:50	10:30	1,19	1,37
01:00	10:40	1,22	1,37
01:15	10:55	1,25	1,37
01:30	11:10	1,28	1,37
01:45	11:25	1,30	1,37
02:00	11:40	1,32	1,37
02:20	12:00	1,34	1,37
02:40	12:20	1,36	1,37
03:00	12:40	1,38	1,37
03:30	13:10	1,39	1,37

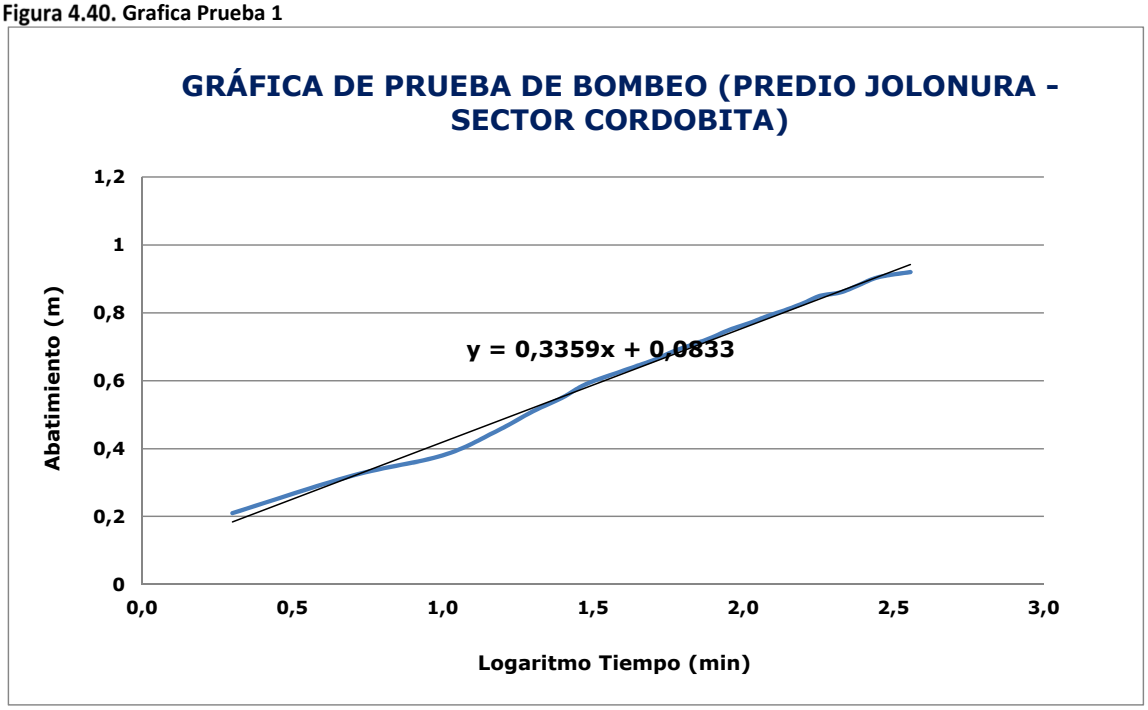
Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	13:40	1,41	1,37
04:30	14:10	1,43	1,37
05:00	14:40	1,44	1,37
05:30	15:10	1,45	1,37
06:00	15:40	1,45	1,37
07:00			
08:00			
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 12 metros, diámetro 8" PVC

Bomba tipo turbina de 1,5 HP - Tuberia de Succión e impulsión 1.5 pulg

Figura 4.40. Grafica Prueba 1



De la prueba de bombeo realizada en el pozo construido en inmediaciones del corregimiento de Cordobita municipio de Ciénaga, se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados muestran acuíferos con características hidrogeológicas aceptables, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua, con un caudal moderado.

4.4.2.7. *Resultados Prueba 2 realizada en el barrio Vista Hermosa*

Tabla 4.21. Resultados Prueba 2

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 30,0 m Diámetro: 8“ en PVC Nivel Estático: 17,73m Bomba: Sumergible de 1 HP Tubería de succión: 2” en PVC Tubería de impulsión: 2” en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 1,25 lps/ 9,09 m = 0,14 lps/m	NE: 17,73 m Qprom:1,25lps. Q: 108,0 (m^3/día) Esp.Saturado:12,27m △S: 0,3739 T = 0,1832 Q/△S = 0,1832 x 108 / 0,3739 = 32,18 m^2/día K = T / m = 32,18 / 12,27 = 2,62 m/día = 3,04 × 10^{-5} m/s

Figura 4.41. Formato Prueba 2

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Pozo Portal de la Sierra **Ubicación:** Rodadero Sur - Vista Hermosa

Fecha: 08/07/2016 **Hora Inicio** 06:00 a.m.

Nivel Estático 17,73 **Realizada por:** Andres Camargo P.

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	06:00	17,73	1,25
00:02	06:02	24,28	1,25
00:05	06:05	26,62	1,25
00:10	06:10	26,78	1,25
00:15	06:15	26,80	1,25
00:20	06:20	26,80	1,25
00:25	06:25	26,80	1,25
00:30	06:30	26,80	1,25
00:40	06:40	26,80	1,25
00:50	06:50	26,80	1,25
01:00	07:00	26,80	1,25
01:15	07:15	26,81	1,25
01:30	07:30	26,81	1,25
01:45	07:45	26,81	1,25
02:00	08:00	26,81	1,25
02:20	08:20	26,81	1,25
02:40	08:40	26,81	1,25
03:00	09:00	26,81	1,25
03:30	09:30	26,81	1,25

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	10:00	26,81	1,25
04:30	10:30	26,81	1,25
05:00	11:00	26,81	1,25
05:30	11:30	26,81	1,25
06:00	12:00	26,81	1,25
07:00	13:00	26,81	1,25
08:00	14:00	26,82	1,25
09:00	15:00	26,82	1,25
10:00	16:00	26,82	1,25
11:00	17:00	26,82	1,25
12:00	18:00	26,82	1,25
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

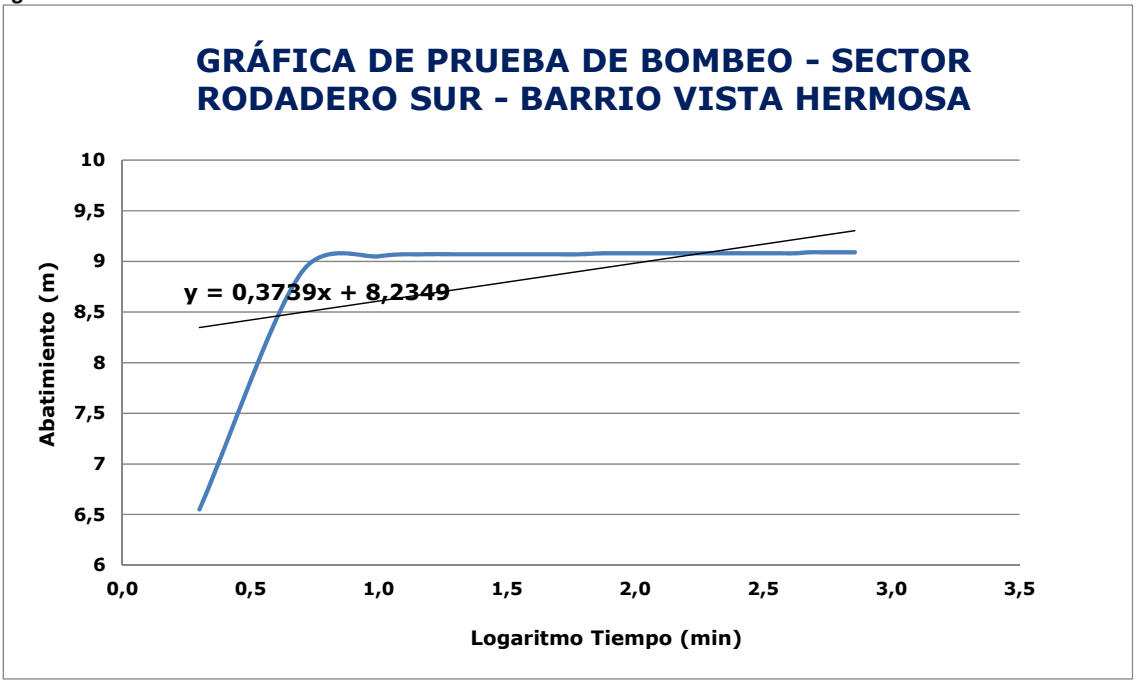
OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 30 metros, diámetro 8" en PVC RDE-21

Bomba Sumergible marca MANN, Motor Franklin Electric de 1.0 HP/3600 RPM

Tuberia de Succión e impulsión en 2 pulgadas

Figura 4.42. Grafica Prueba 2



De la prueba de bombeo realizada en el pozo construido en inmediaciones del corregimiento de Cordobita municipio de Ciénaga, se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados muestran acuíferos con características hidrogeológicas aceptables, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua, con un caudal moderado.

4.4.2.8. *Resultados Prueba 3 realizada en el sector Manantial*

Tabla 4.22. Resultados Prueba 3

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 15 m Diámetro: 6" en PVC Nivel Estático: 5,69 m Motobomba: Sumergible Tubería de impulsión: 1 ½" en Acero Galvanizado	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 1,69 lps / 0,29 m = 5,83 lps/m	NE: 5,69 m Qprom: 1,69 lps. Q: 146,02 (m^3/día) Esp. Saturado: 9,31 m △S: 0,0387 T = 0,1832 x 146,02 / 0,0387 = 690,64 m^2/día K = 690,64 / 9,31 = 74,18 m/día = 8,59 × 10^{-4} m/s

Figura 4.43. Formato Prueba 3

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Predio Monterrey **Ubicación:** Sector Manantial

Fecha: 09/07/2016 **Hora Inicio** 08:30 a.m.

Nivel Estático 5,69 **Realizada por:** Luis Camargo Polo

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	08:30	5,69	1,69
00:02	08:32	5,86	1,69
00:05	08:35	5,92	1,69
00:10	08:40	5,93	1,69
00:15	08:45	5,94	1,69
00:20	08:50	5,94	1,69
00:25	08:55	5,94	1,69
00:30	09:00	5,94	1,69
00:40	09:10	5,94	1,69
00:50	09:20	5,95	1,69
01:00	09:30	5,95	1,69
01:15	09:45	5,95	1,69
01:30	10:00	5,95	1,69
01:45	10:15	5,96	1,69
02:00	10:30	5,96	1,69
02:20	10:50	5,96	1,69
02:40	11:10	5,96	1,69
03:00	11:30	5,97	1,69
03:30	12:00	5,97	1,69

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	12:30	5,97	1,69
04:30	13:00	5,97	1,69
05:00	13:30	5,98	1,69
05:30	14:00	5,98	1,69
06:00	14:30	5,98	1,69
07:00	15:30	5,98	1,69
08:00	16:30	5,98	1,69
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

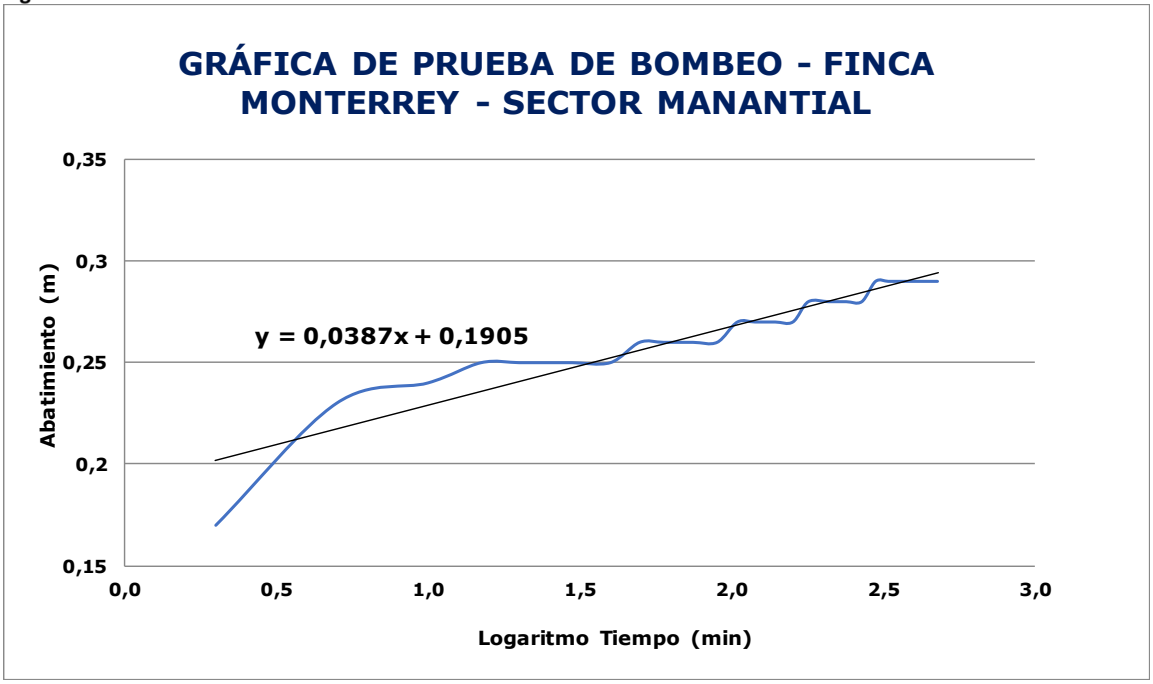
OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 15 metros, diámetro 6" en PVC

Bomba sumergible

Tuberia de impulsión en 1,5 pulgadas en Acero Galvanizado

Figura 4.44. Grafica Prueba 3



De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados en el sector del Manantial, muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua.

4.4.2.9. *Resultados Prueba 4 realizada en el Sena agropecuario*

Tabla 4.23. Resultados Prueba 4

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 61,0 m Diámetro: 10" en Acero Inoxidable Nivel Estático: 13,17m Bomba: Bomba Sumergible marca Briggs & Stratton de 30 HP/3600 RPM Tubería de impulsión: 6" en acero galvanizado	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 27,0 lps / 21,04 m = 1,28 lps/m	NE: 8,40 m Qprom: 27,0 lps. Q: 2332,80 (m^3/día) Esp. Saturado: 52,60 m △S: 2,8706

Figura 4.45. Formato Prueba 4

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO
CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Pozo Gaira No. 4 **Ubicación:** Sector SENA Agropecuario

Fecha: 04/07/2016 **Hora Inicio** 07:00 a.m.

Nivel Estático 8,40 **Realizada por:** Fabio Tibaquicha

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	07:00	8,40	27,00
00:02	07:02	16,34	27,00
00:05	07:05	22,21	27,00
00:10	07:10	25,53	27,00
00:15	07:15	26,69	27,00
00:20	07:20	27,47	27,00
00:25	07:25	27,83	27,00
00:30	07:30	28,11	27,00
00:40	07:40	28,28	27,00
00:50	07:50	28,45	27,00
01:00	08:00	28,55	27,00
01:15	08:15	28,75	27,00
01:30	08:30	28,87	27,00
01:45	08:45	28,95	27,00
02:00	09:00	29,05	27,00
02:20	09:20	29,11	27,00
02:40	09:40	29,17	27,00
03:00	10:00	29,22	27,00
03:30	10:30	29,27	27,00

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	11:00	29,33	27,00
04:30	11:30	29,38	27,00
05:00	12:00	29,44	27,00
05:30	12:30	29,47	27,00
06:00	13:00	29,51	27,00
07:00	14:00	29,54	27,00
08:00	15:00	29,56	27,00
09:00	16:00	29,58	27,00
10:00	17:00	29,60	27,00
11:00	18:00	29,61	27,00
12:00	19:00	29,62	27,00
14:00	21:00	29,63	27,00
16:00	23:00	29,63	27,00
18:00	01:00	29,64	27,00
21:00	04:00	29,64	27,00
24:00	07:00	29,64	27,00
30:00			
36:00			
48:00			

OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 61 m etros, diámetro 10" en AC Inox

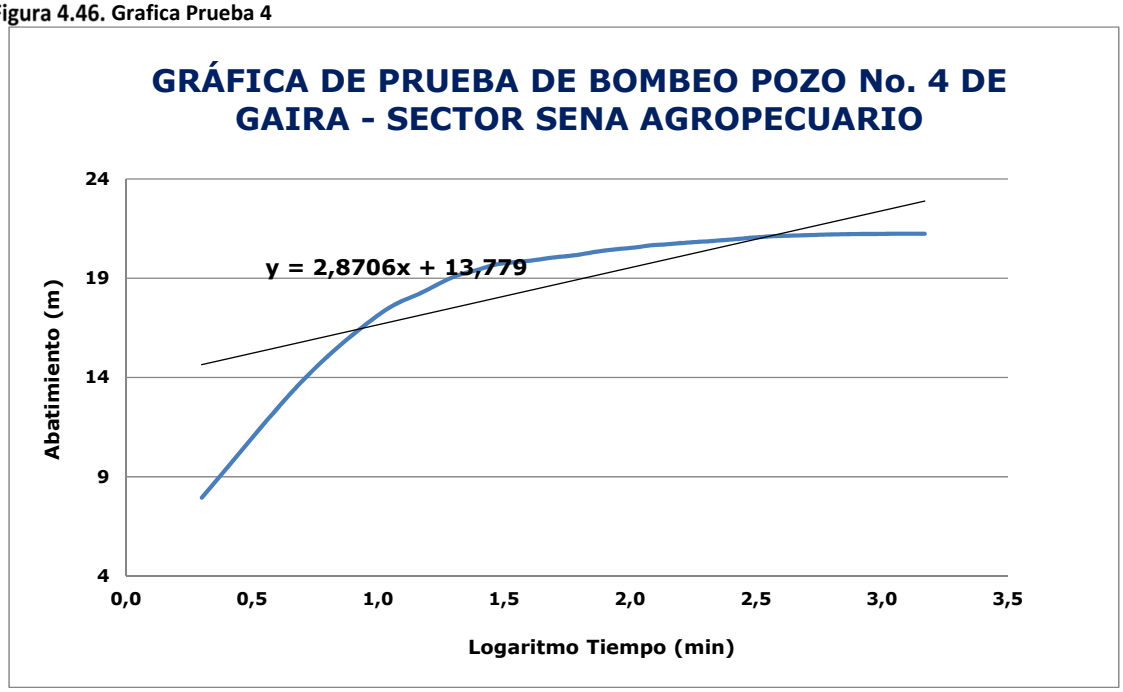
Bomba Sumergible marca Briggs & Stratton de 30 HP/3600 RPM

Tuberia de Succión e impulsión en 6 pulgadas

$T = 0,1832 \times 2332,80 / 2,8706 = 148,88\ m^2/día$

$K = 148,88 / 52,60 = 2,83\ m/día = 3,28 \times 10^{-5}\ m/s$

Figura 4.46. Grafica Prueba 4



De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados en el sector del SENA Agropecuario, muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua.

4.4.2.10. *Resultados Prueba 5 realizada en la Universidad Cooperativa de Colombia*

Tabla 4.24. Resultados Prueba 5

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 45 m Diámetro: 6“ en PVC RDE-21 Nivel Estático: 21,88 m Bomba: Sumergible Motor: Motor Eléctrico Franklin de 3 HP Tubería de impulsión: 2”	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 3,87 lps/ 1,47 m = 2,63 lps/m	NE: 21,88 m Qprom: 3,87 lps. Q: 334,37 (m^3/día) Esp. Saturado: 23,12 m △S: 0,0828 T = 0,1832 Q/△S = 0,1832 x 334,37 / 0,0828 = 740,13 m^2/día K = T / m = 740,13 / 23,12 = 32,01 m/día = 3,71 × 10^{-4} m/s

Figura 4.47. Formato Prueba 5

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Pozo UCC **Ubicación:** Univ. Cooperativa de Colombia

Fecha: 12/07/2016 **Hora Inicio** 07:00 a.m.

Nivel Estático 21,88 **Realizada por:** Luis Camargo Mercado

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	07:00	21,88	3,87
00:02	07:02	23,15	3,87
00:05	07:05	23,20	3,87
00:10	07:10	23,23	3,87
00:15	07:15	23,25	3,87
00:20	07:20	23,26	3,87
00:25	07:25	23,27	3,87
00:30	07:30	23,27	3,87
00:40	07:40	23,28	3,87
00:50	07:50	23,29	3,87
01:00	08:00	23,30	3,87
01:15	08:15	23,31	3,87
01:30	08:30	23,32	3,87
01:45	08:45	23,33	3,87
02:00	09:00	23,34	3,87
02:20	09:20	23,35	3,87
02:40	09:40	23,35	3,87
03:00	10:00	23,35	3,87
03:30	10:30	23,35	3,87

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	11:00	23,35	3,87
04:30	11:30	23,35	3,87
05:00	12:00	23,35	3,87
05:30	12:30	23,35	3,87
06:00	13:00	23,36	3,87
07:00	14:00	23,36	3,87
08:00	15:00	23,36	3,87
09:00	16:00	23,36	3,87
10:00	17:00	23,37	3,87
11:00	18:00	23,37	3,87
12:00	19:00	23,37	3,87
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

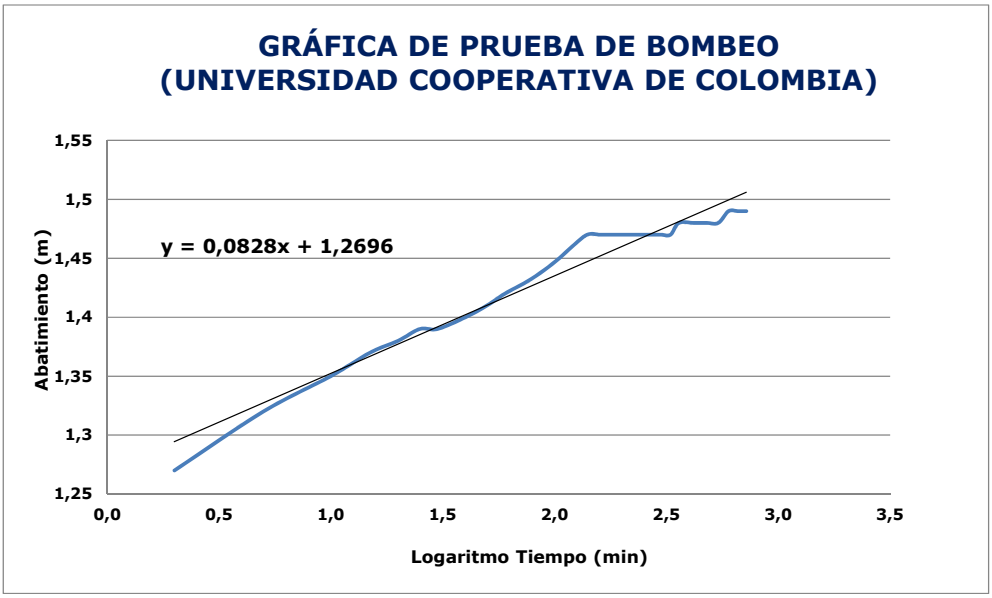
OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 45 metros, diámetro 6" en PVC RDE-21

Bomba Sumergible , Motor Franklin Electric de 3.0 HP/3600 RPM

Tuberia de Succión e impulsión en 2 pulgadas

Figura 4.48. Grafica Prueba 5



De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados en el sector del SENA Agropecuario, muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua.

4.4.2.11. *Resultados Prueba 6 realizada en el sector Sabanas de Bonda*

Tabla 4.25. Resultados Prueba 6

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 30 m Diámetro: 6" en PVC RDE-21 Nivel Estático: 6,90 m Bomba: Sumergible Marca Geo-Flo Motor: Franklin Electric Tubería de impulsión: 2"	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 3,22 lps/ 1,86 m = 1,73 lps/m	NE: 6,90 m Qprom: 3,22 lps. Q: 278,25 (m^3/día) Esp. Saturado: 23,10 m △S: 0,1191

Figura 4.49. Formato Prueba 6

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO
CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Finca Santa Mónica **Ubicación:** Sector Sabanas de Bonda

Fecha: 05/07/2016 **Hora Inicio** 07:30 a.m.

Nivel Estático 6,90 **Realizada por:** Andres Camargo Polo

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	07:30	6,90	3,22
00:02	07:32	8,47	3,22
00:05	07:35	8,56	3,22
00:10	07:40	8,62	3,22
00:15	07:45	8,65	3,22
00:20	07:50	8,67	3,22
00:25	07:55	8,69	3,22
00:30	08:00	8,70	3,22
00:40	08:10	8,71	3,22
00:50	08:20	8,72	3,22
01:00	08:30	8,73	3,22
01:15	08:45	8,73	3,22
01:30	09:00	8,74	3,22
01:45	09:15	8,74	3,22
02:00	09:30	8,74	3,22
02:20	09:50	8,75	3,22
02:40	10:10	8,75	3,22
03:00	10:30	8,75	3,22
03:30	11:00	8,76	3,22

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	11:30	8,76	3,22
04:30	12:00	8,76	3,22
05:00	12:30	8,76	3,22
05:30			
06:00			
07:00			
08:00			
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 30 m , diámetro 6 pulgadas en PVC

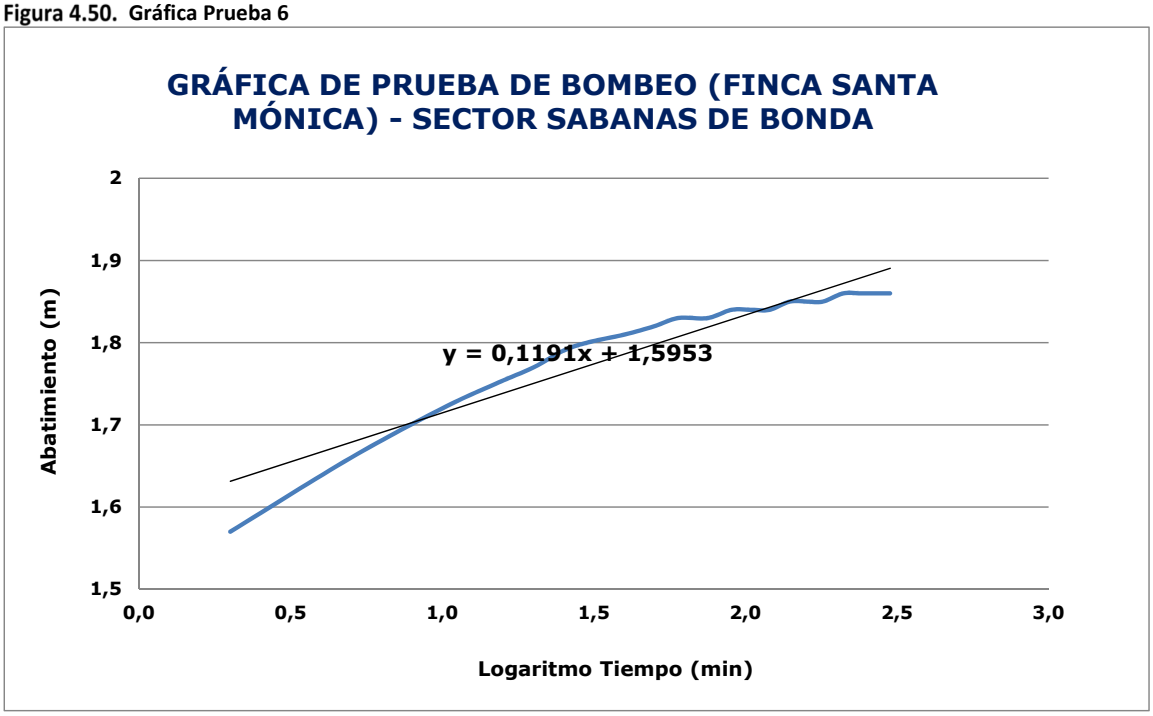
Bomba Sumergible Marca Geo-Flo y Motor Franklin Electric

Tuberia de Succión en 2 pulg en Acero Galvanizado e impulsión 2 pulg en PVC

$T = 0,1832\ Q/\triangle S = 0,1832 \times 278,25 / 0,1191 = 492,99\ m^2/día$

$K = T / m = 492,99 / 23,10 = 17,45\ m/día = 2,02 \times 10^{-4}\ m/s$

Figura 4.50. Gráfica Prueba 6



De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados en el sector de Sabanas de Bonda, muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua.

4.4.2.12. *Resultados Prueba 7 realizada en el sector Barlovento*

Tabla 4.26. Resultados Prueba 7

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 14 m Diámetro: 6" en PVC RDE-21 Nivel Estático: 1,12 m Bomba: Tipo turbina de 2 HP Tubería de succión e impulsión:21" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 1.16 lps/ 3.43 m = 0.34 lps/m	NE: 1.12 m Qprom: 1.16 lps. Q: 100.22 (m^3/día) Esp. Saturado: 12.88 m △S: 0.8934 T = 0.1832 Q/△S = 0.1832 x 100.22 / 0.8934 = 18.70 m^2/día K = T / m = 18.70 / 12.88 = 1.45 m/día = 1.68 × 10-5 m/s

Figura 4.51. Formato Prueba 7

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre: Pozo Piedras de Barlovento **Ubicación:** Sector Los Cocos

Fecha: 21/07/2016 **Hora Inicio** 08:40 a.m.

Nivel Estático 1,12 **Realizada por:** Jorge Camargo

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	08:40	1,12	1,16
00:02	08:42	2,18	1,16
00:05	08:45	2,85	1,16
00:10	08:50	3,46	1,16
00:15	08:55	4,15	1,16
00:20	09:00	4,35	1,16
00:25	09:05	4,42	1,16
00:30	09:10	4,45	1,16
00:40	09:20	4,47	1,16
00:50	09:30	4,49	1,16
01:00	09:40	4,51	1,16
01:15	09:55	4,51	1,16
01:30	10:10	4,52	1,16
01:45	10:25	4,52	1,16
02:00	10:40	4,53	1,16
02:20	11:00	4,53	1,16
02:40	11:20	4,53	1,16
03:00	11:40	4,54	1,16
03:30	12:10	4,54	1,16

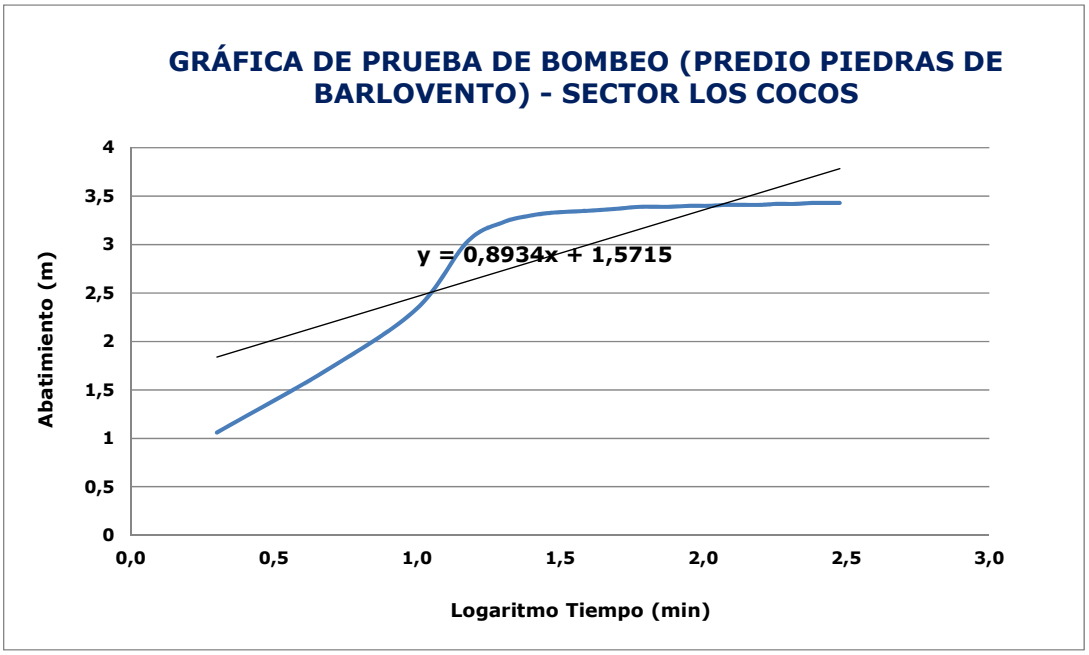
Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	12:40	4,55	1,16
04:30	13:10	4,55	1,16
05:00	13:40	4,55	1,16
05:30			
06:00			
07:00			
08:00			
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 14, diámetro 6 pulgadas en PVC

Bomba tipo turbina de 2 HP - Tuberia de Succión en 1 pulg e impulsión 1 pulg

Figura 4.52. Gráfica Prueba 7



De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados en el sector de Los Cocos cerca a la desembocadura del río Piedras, muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua.

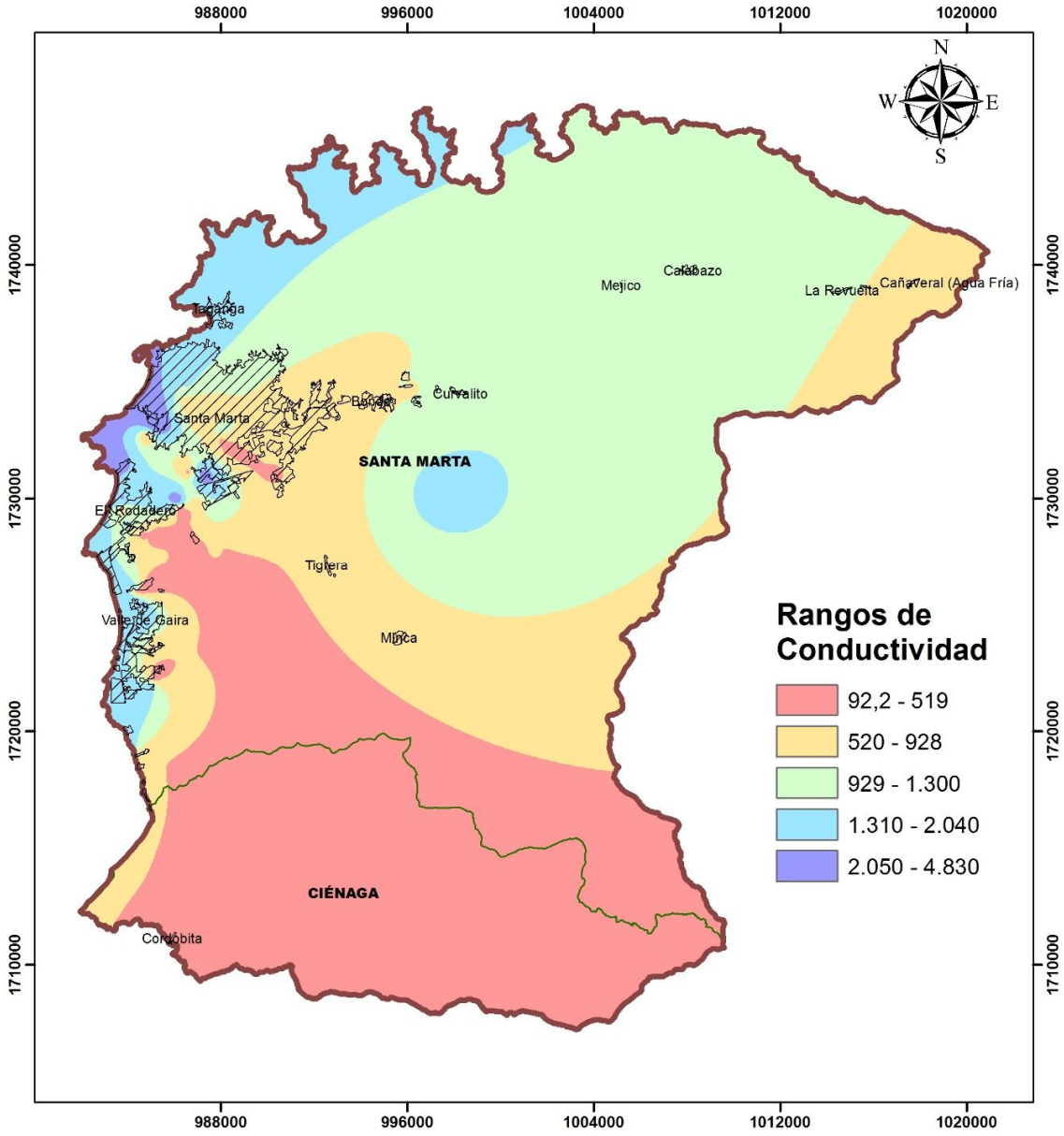
4.5. Calidad Del Agua Subterránea

Para evaluar la calidad de agua subterránea se midieron parámetros como conductividad eléctrica (CE), salinidad (s) potencial de hidrógeno (pH), y Temperatura (T); para esto, el equipo del Consorcio realizó toma de muestras para ciento cinco (105) pozos activos ubicados a lo largo de la Cuenca. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron interpolados con ayuda de software cartográfico (Arcgis) para obtener los mapas de isocontornos de cada uno de los parámetros medidos.

Si se evalúa la conductividad, en la Figura 4.53 se muestran los resultados de este parámetro para las muestras analizadas en la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. De acuerdo con esta figura, los valores de conductividad se encuentran entre los 92,24 µS/cm y los 4827,35 µS/cm; debido a esto en la cuenca se presentan también rangos muy variados de salinidad. Estas aguas se consideran no aptas para el consumo humano cuando superan los 1000 µS/cm; para la cuenca, los valores de conductividad más altos se presentan hacia la zona noroccidental de la cuenca.

En la Cuenca de los Ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se cuenta con una única unidad hidrogeológica, el acuífero de depósitos de playa, de forma que el comportamiento de la conductividad en el mismo es el descrito anteriormente.

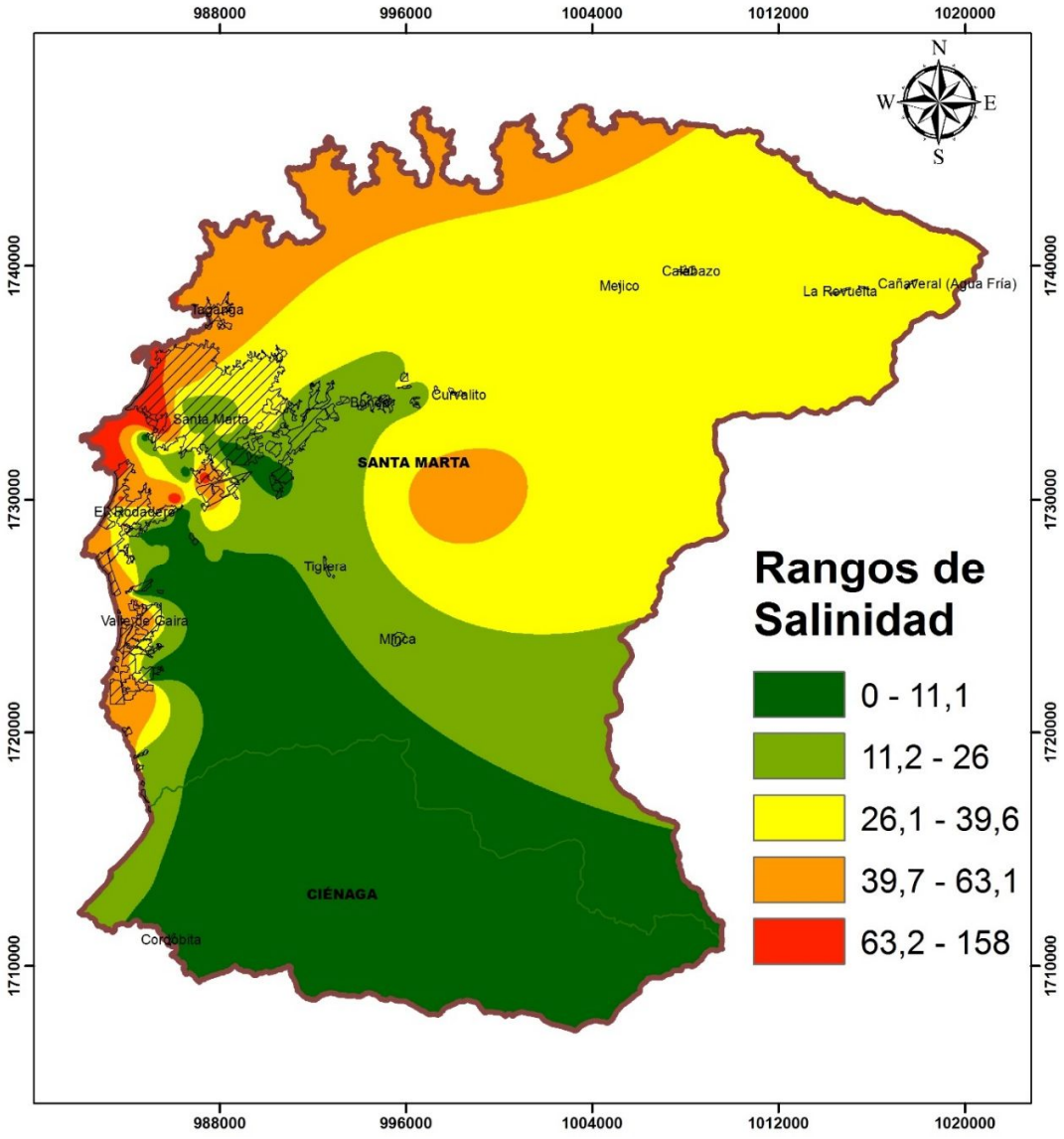
Figura 4.53. Mapa de isoconductividad para el agua subterránea en la Cuenca de los Ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe



La Figura 4.54 muestra el mapa de isosalinidad para las muestras analizadas en la Cuenca. De acuerdo con esta figura y tal como se esperaba en relación a la conductividad, los valores más altos de salinidad se encuentran ubicados en la zona noroccidental de la cuenca y de la unidad hidrogeológica del acuífero de depósitos de playa. Hacia la zona sur del mismo, se presenta una salinidad baja (S < 250 mg/L) de modo que puede considerarse apta para consumo humano y para

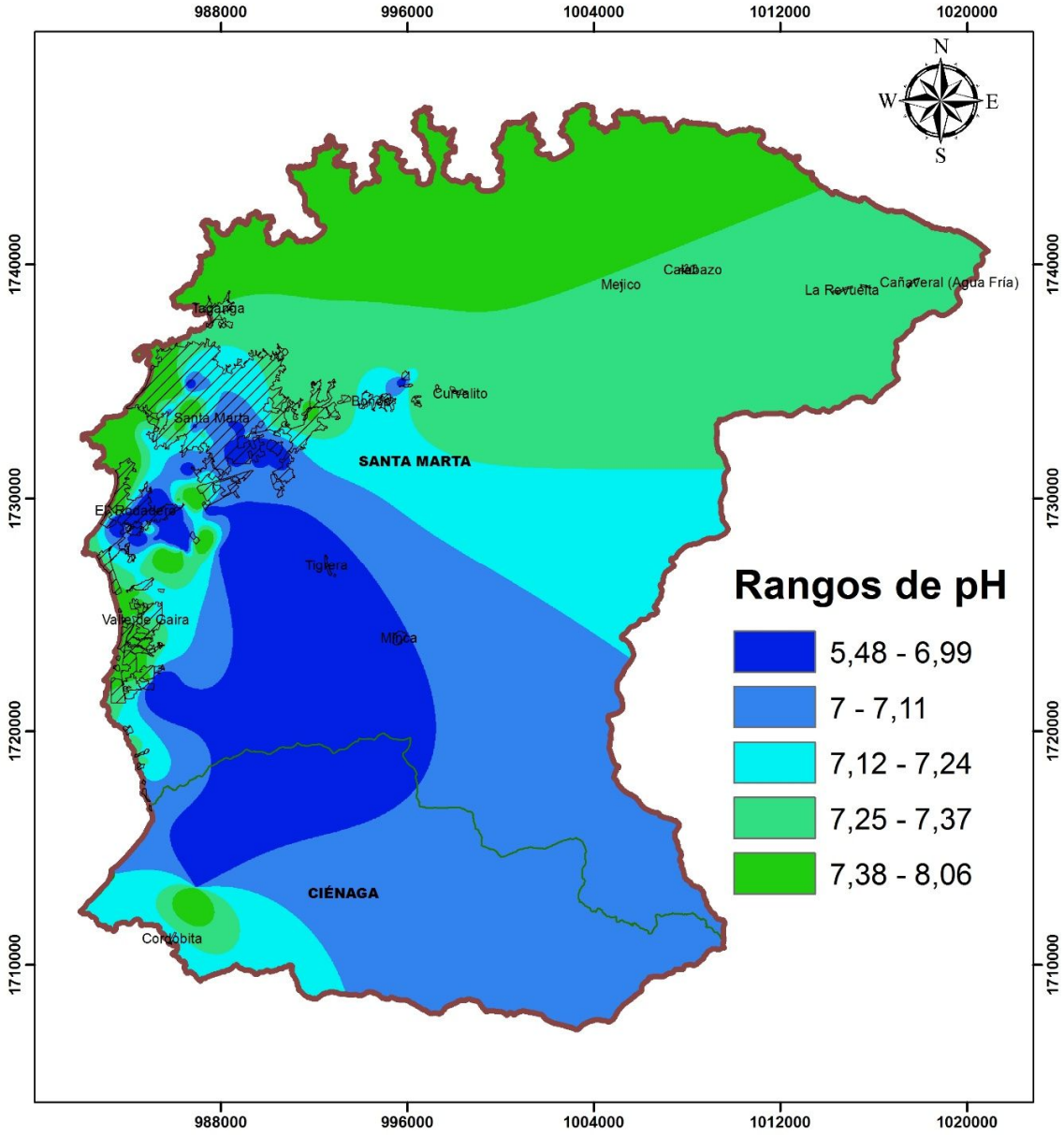
riego en la mayor parte de los cultivos y suelos, con poca probabilidad de desarrollar salinidad; se requiere algún lavado, pero éste ocurre en condiciones normales de irrigación. Hacia el nororiente de la cuenca, los valores aumentan, pero aun así se consideran aguas de salinidad media (250 < S < 750 mg/L) que pueden usarse si existe un lavado moderado del suelo y que se consideran aptas para el consumo humano.

Figura 4.54. Mapa de isosalinidad para el agua subterránea en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe (expresada como g/L)



Por su parte, el mapa de isolíneas de pH para la cuenca y la unidad hidrogeológica (Figura 4.55), indica que las aguas presentan un rango con valores comprendidos entre 5,48 y 8,06. Esto indicaría que la zona suroccidental en donde el pH sea inferior a 6,5 presenta aguas ácidas (corrosivas) que no se consideran aptas para el consumo humano; mientras que en el resto de la cuenca los valores se encuentran dentro del rango para considerarse aptas para el consumo humano.

Figura 4.55. Mapa de isopotencial de hidrógeno (iso-pH) para el agua subterránea en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe

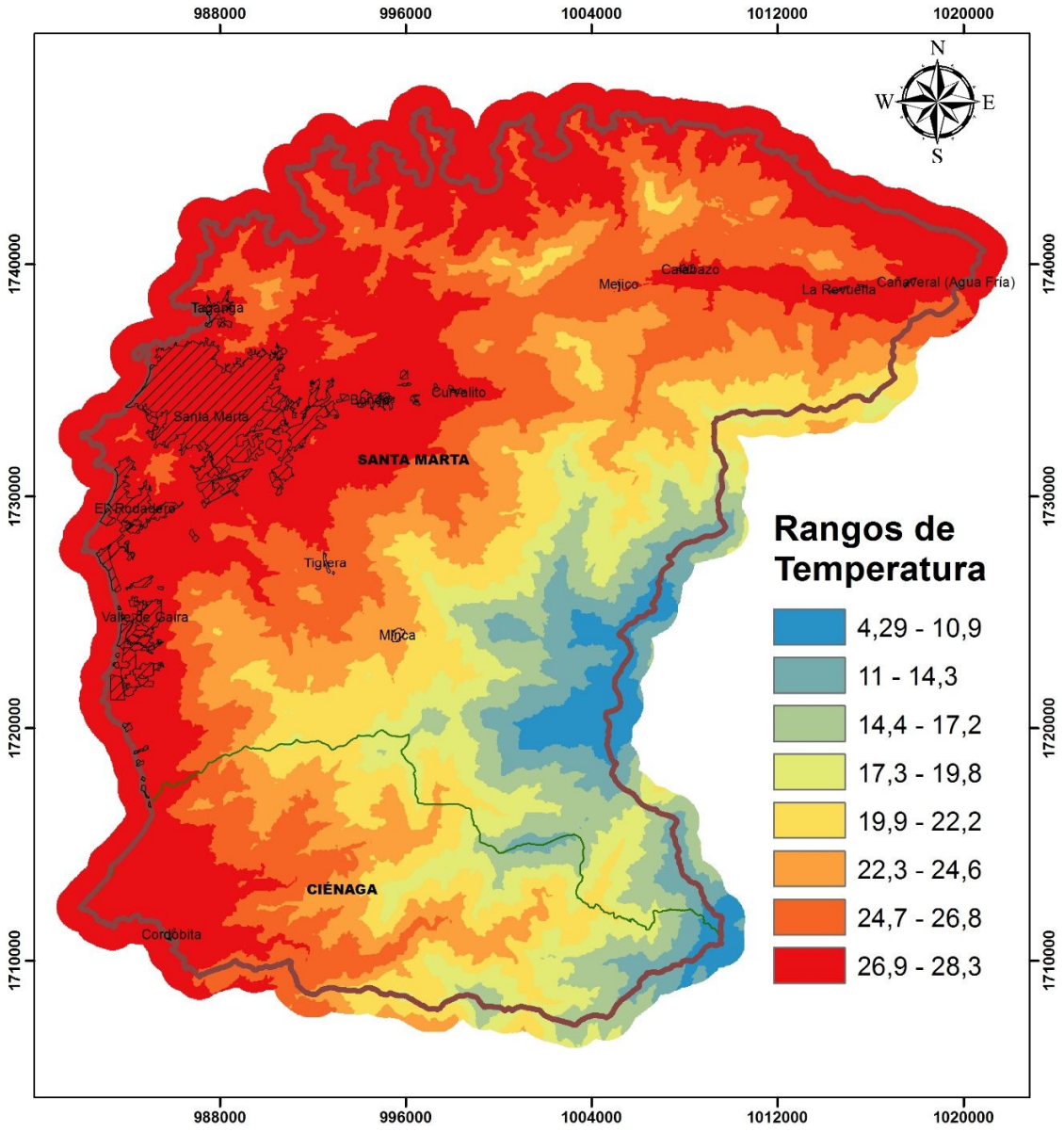


Si se desea evaluar los valores de pH para posibles usos del recurso teniendo como base lo establecido en el decreto 1594 de 1984, el agua de la cuenca se consideraría apropiada para destinación a uso humano y doméstico (5,0< pH <9,0), también para destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primero pues al igual que la destinación a uso humano y doméstico exige un valor mínimo de 5 unidades; podría tener un uso agrícola pues exige un pH de mínimo 4,5 unidades; y finalmente también podría destinarse a la preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas pues se requiere un pH mínimo de 4,5 unidades.

Finalmente, con respecto a la variación de la temperatura del agua subterránea en la cuenca el rango va desde los 28,3°C hasta los 33,89°C; (Figura 4.56) esta temperatura está determinada por muchos factores como lo son el terreno que drena, la naturaleza de las rocas, periodo de la secuencia cíclica en el que se encuentren, profundidad de surgencia o fenómenos magmáticos.

En la cuenca, y por ende en el acuífero de depósitos de playa, las temperaturas más altas se presentan hacia la zona suroccidental, mientras que las más bajas se encuentran la zona nororiental. A pesar de esto no se considera que la variación de temperatura sea significativa como para sugerir posibles factores que puedan estar contaminando o alterando los parámetros en la cuenca.

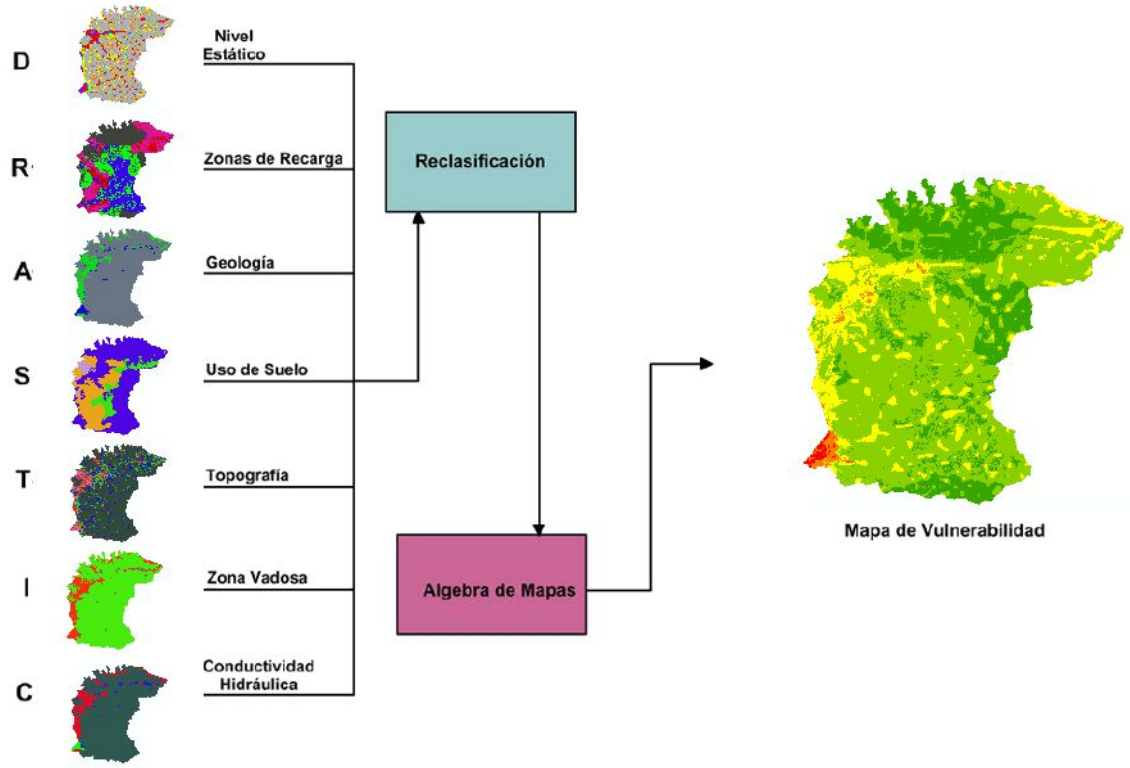
Figura 4.56. Rangos de Temperaturas en la cuenca



4.6. Vulnerabilidad De Los Acuíferos A La Contaminación.

Para el calculo de vulnerabilidad de los acuíferos en la cuenca, fue utilizada la metodología DRASTIC, la cual fue desarrollada por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de América. Dicha metodología es un sistema paramétrico de evaluación e incluye siete características fundamentales, a las que asigna valores, y un multiplicador (peso según su importancia).

Figura 4.57. Modelo de procesamiento DRASTIC



D: Profundidad del agua subterránea. Indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traen consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero.
R: Recarga neta. Es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero. La recarga resulta primariamente de la fracción de precipitación que no se evapotranspiración y de la escorrentía superficial. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes.
A: Litología y estructura del medio acuífero. Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes.
S: Tipo de suelo. Representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica. En conjunto, con el parámetro A, determinan la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática.

T: Topografía. Representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y sub-superficial.
I: Naturaleza de la zona no saturada. Representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical.
C: Conductividad hidráulica del acuífero. Determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad.

D, Profundidad: Se toma en cuenta la profundidad al agua, medida desde la superficie de la tierra, correspondiendo el valor mayor mientras más pequeña es la profundidad; o sea que mientras menos sensible sea el acuífero a contaminarse así disminuirá el valor de los puntos asignados.

Factores de Valoración	
Profundidad	Valoración Dr
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
> 30,5	1

R, Recarga neta: Es la mayor cantidad de agua que atraviesa la zona no saturada y que alimenta al acuífero. Usualmente se expresa en mm/año. La cantidad y calidad del agua recargada afecta significativamente los procesos físicos y químicos en el sistema del agua subterránea con las rocas y el suelo.

Factores de Valoración	
Profundidad	Valoración Rr
0 – 50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
>254	9

Tipo de acuífero: La porosidad, el grado de facturación, la química del agua tamaño de la grava y grado de meteorización son características importantes del material del acuífero para atenuar o restringir el transporte de la contaminación por el medio saturado. La absorción y reacción química, etc., ocurren en la zona saturada, pero en general con mayor intensidad que en la zona no saturada. Otro factor importante a tener en cuenta para la distribución del contaminante lo es la velocidad del agua subterránea que dependerá en gran medida si el acuífero es fracturado o granular. La velocidad del agua es mucho mayor en los acuíferos fracturados que en los granulares y de hecho será más vulnerable a la contaminación.

Factores de Valoración		
A litología del acuífero	Valoración Ar	Valor típico de Ar
Lutita masiva	1 – 3	2
Metamórfica/Ígnea	2 – 5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 – 5	4
Arenas y gravas de origen glaciar	4 – 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 – 9	6
Arenisca masiva	4 – 9	6
Caliza masiva	4 – 9	6
Arena o grava	4 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Caliza kárstica	9 – 10	10

Tipo de suelo: El suelo tiene una importante función de atenuación para la vulnerabilidad de los acuíferos cuando la contaminación es difusa (fertilizantes, pesticidas, y depósitos de ácidos). Los tipos de parámetros relativos para la vulnerabilidad incluyen la textura, estructura, contenido de materia orgánica y tipos de minerales arcillosos.

Factores de Valoración	
S Tipo de suelo	Valoración Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

T pendiente: Se considera en este parámetro, la pendiente del terreno. A menor pendiente del terreno, aumenta la vulnerabilidad del acuífero

Factores de Valoración	
T Pendiente	Valoración Tr
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

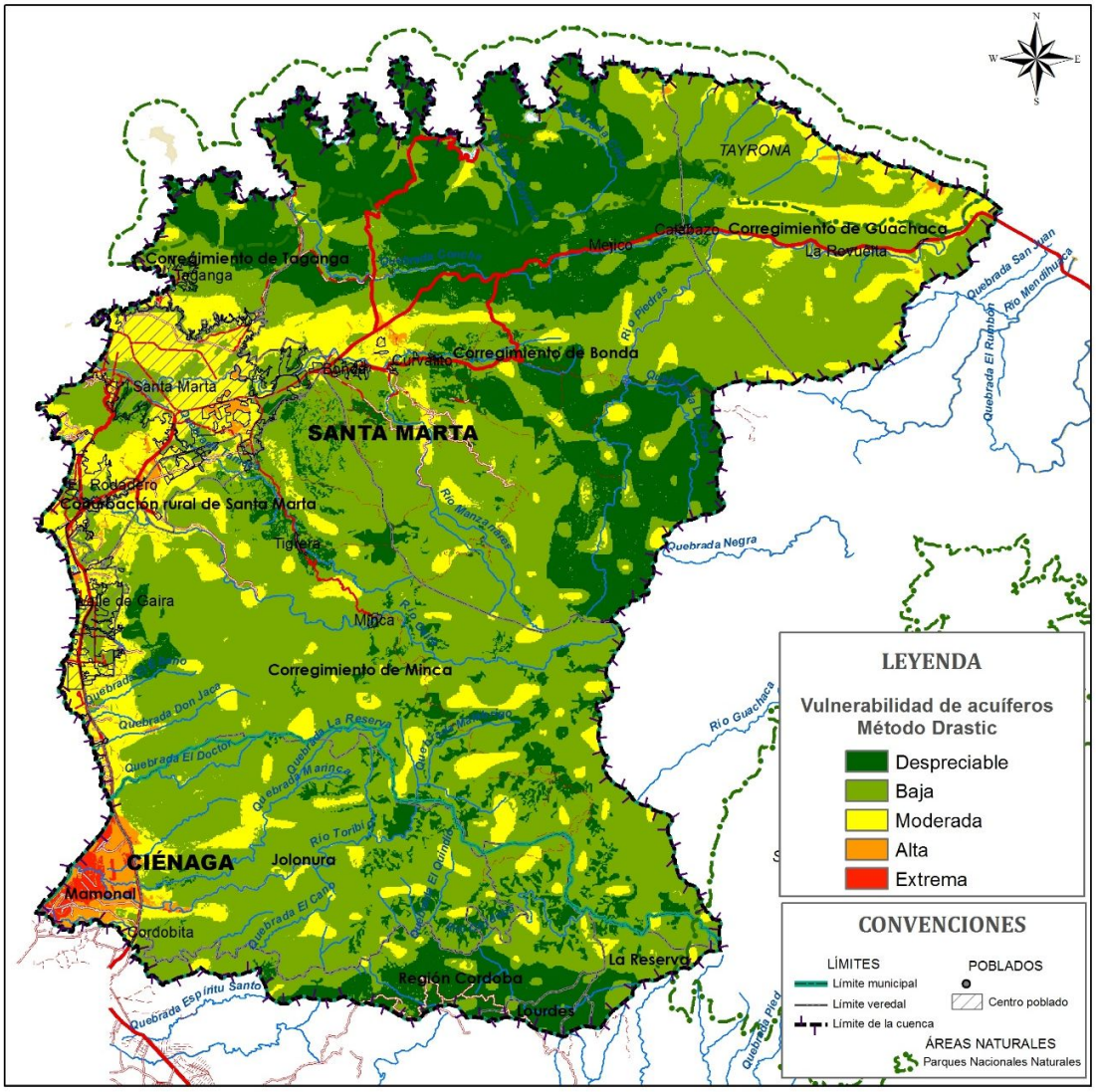
Impacto del tipo de zona no saturada: La zona no saturada se encuentra situada inmediatamente debajo del suelo. Es de gran importancia pues en ella ocurren los procesos de lixiviación de los contaminantes. En esta zona ocurren la transpiración, Absorción, reacciones químicas, filtración mecánica, degradación biológica, etc., estos procesos pueden amortiguar la contaminación en la zona no saturada debajo del suelo. Mientras más finos son los granos más capacidad de retardo o atenuación de la contaminación existe.

Factores de Valoración		
I zona no saturada	Valoración Ir	Valor típico de Ir
Capa confinante	1	1
Cieno-Arcilla	2-6	3
Lutita	2 – 6	3
Caliza	2 – 5	3
Arenisca	2 – 7	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6
Metamórfica/Ígnea	2 – 8	6
Grava y arena	6 – 9	4
Basalto	2 – 10	8
Caliza kárstica	8 – 10	9

Conductividad hidráulica: La conductividad Hidráulica es un coeficiente de proporcionalidad, que determina el grado de movilidad del agua en un medio permeable. Un acuífero será más vulnerable mientras mayor sea su conductividad hidráulica es utilizado para expresar la capacidad del acuífero de transmitir el agua el coeficiente de Transmisividad cuando no se dispone del primero.

Factores de Valoración		
C conductividad hidráulica		Valoración Cr
m/día	cm/s	
0,04 – 4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$– $4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08 – 12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22 – 28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$–$3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55 – 40,75	$3,4 \cdot 10^{-5}$ – $4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75 – 81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$– $9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	> $9,5 \cdot 10^{-2}$	10

Figura 4.58. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación



Puede observarse en la 0 que la mayor parte de la cuenca (82,9%) presenta vulnerabilidad nula o baja de los acuíferos a la contaminación, mientras que solo el 1,74% tiene categorías alta o muy alta de vulnerabilidad. Este fenómeno se ve fuertemente influenciado por los valores casi nulos de conductividad hidráulica; esto significa que, si existe la presencia de contaminantes en la superficie, estos serán difícilmente transportados hasta los acuíferos dado que el suelo ofrece una resistencia importante al flujo vertical del agua.

Cabe resaltar que el valor de vulnerabilidad estimado es para contaminación general, y no tiene en cuenta las afectaciones que pudieran producirse por la presencia de pesticidas; en ese caso, si se

considera relevante el papel de la actividad agrícola en alguna zona en particular, se deberá posteriormente realizar la nueva ponderación de las variables y así determinar con mayor grado de aproximación la vulnerabilidad de los acuíferos en esas áreas.

4.7. Identificación De Zonas Objeto De Protección Y Medidas De Manejo Especial

El marco de la identificación de las zonas objeto de protección, fueron utilizados los datos de balance hídrico y recargas potenciales obtenidos en el capítulo ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUBTERRÁNEA, Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS, para generar una discretización espacial de las recargas por subcuenca, teniendo en cuenta los valores de texturas de suelo, coberturas, y pendientes, que dieron como resultado una capa en formato raster, con intervalos de recargas definidos en base a los parámetros de los intervalos del método DRASTIC para la definición de vulnerabilidad del acuífero, en la Tabla 4.27 se presenta el valor de los intervalos utilizados.

Tabla 4.27. Intervalos de recarga para la cuenca

Intervalos de recarga (mm/año)
0-50
50-250
250-500
500-1000
1000<

La Figura 4.59 representa el resultado del procesamiento de información realizado, dentro del análisis para la generación de los perímetros de protección, se tuvieron en cuenta los valores de cero como valores de descarga, pues son asociados a los cuerpos de agua permanentes, cauces, ciénagas, y humedales.

En la Figura 4.60 se observan los polígonos generados a partir de la capa en formato raster, en la capa de polígono se realiza un re procesamiento de los polígonos obtenidos del raster, con miras a sustentarse en la escala de presentación

Figura 4.59. Resultado en formato raster

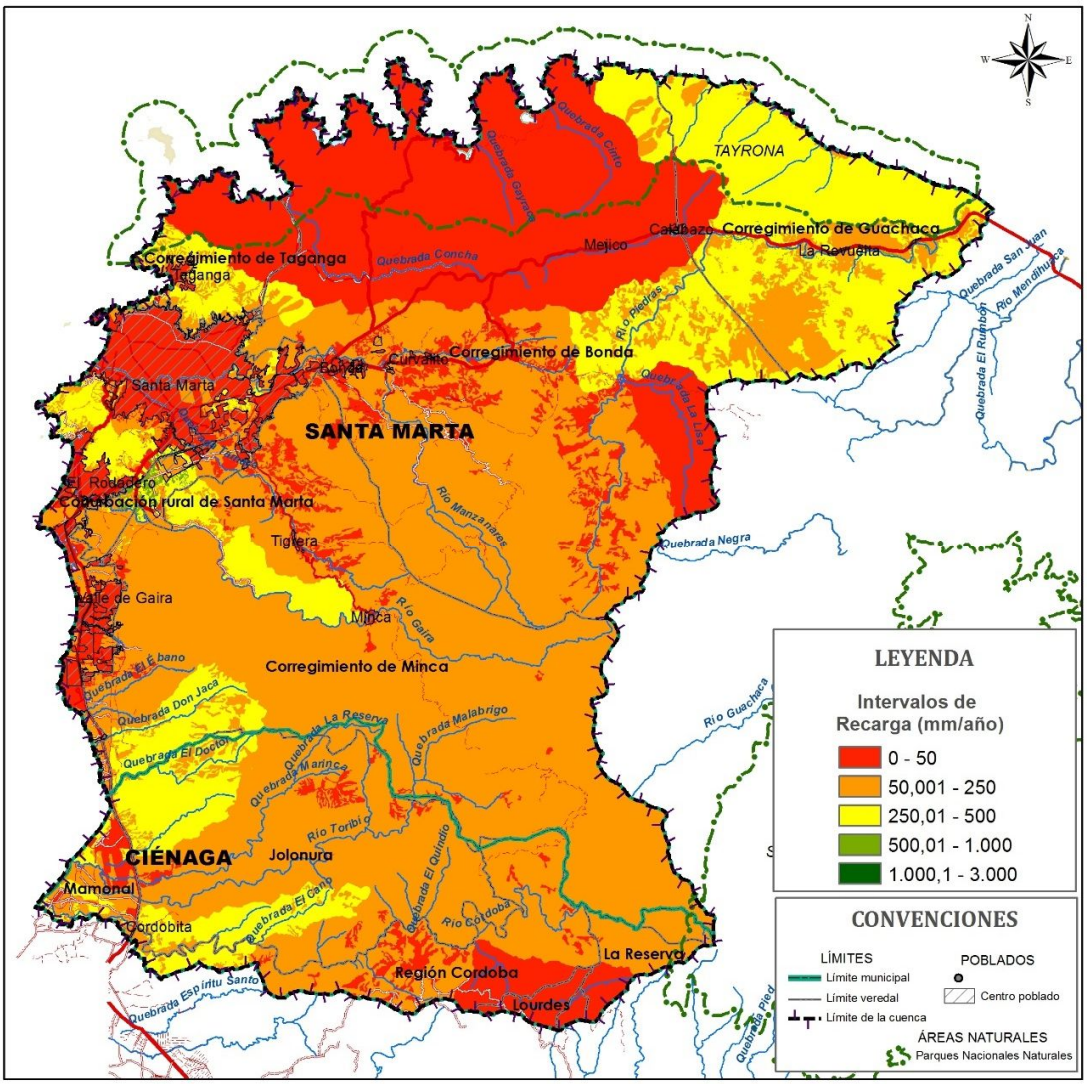
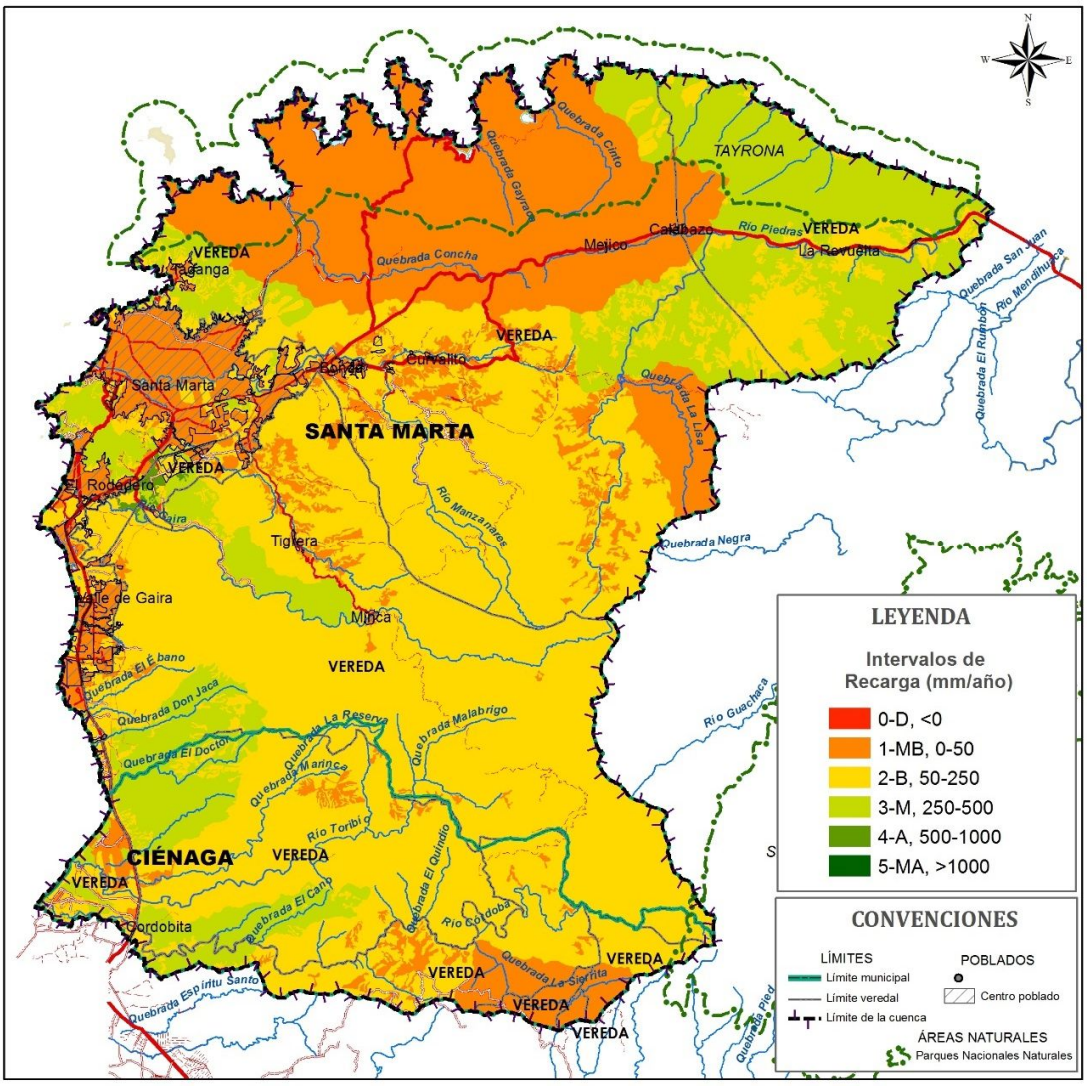


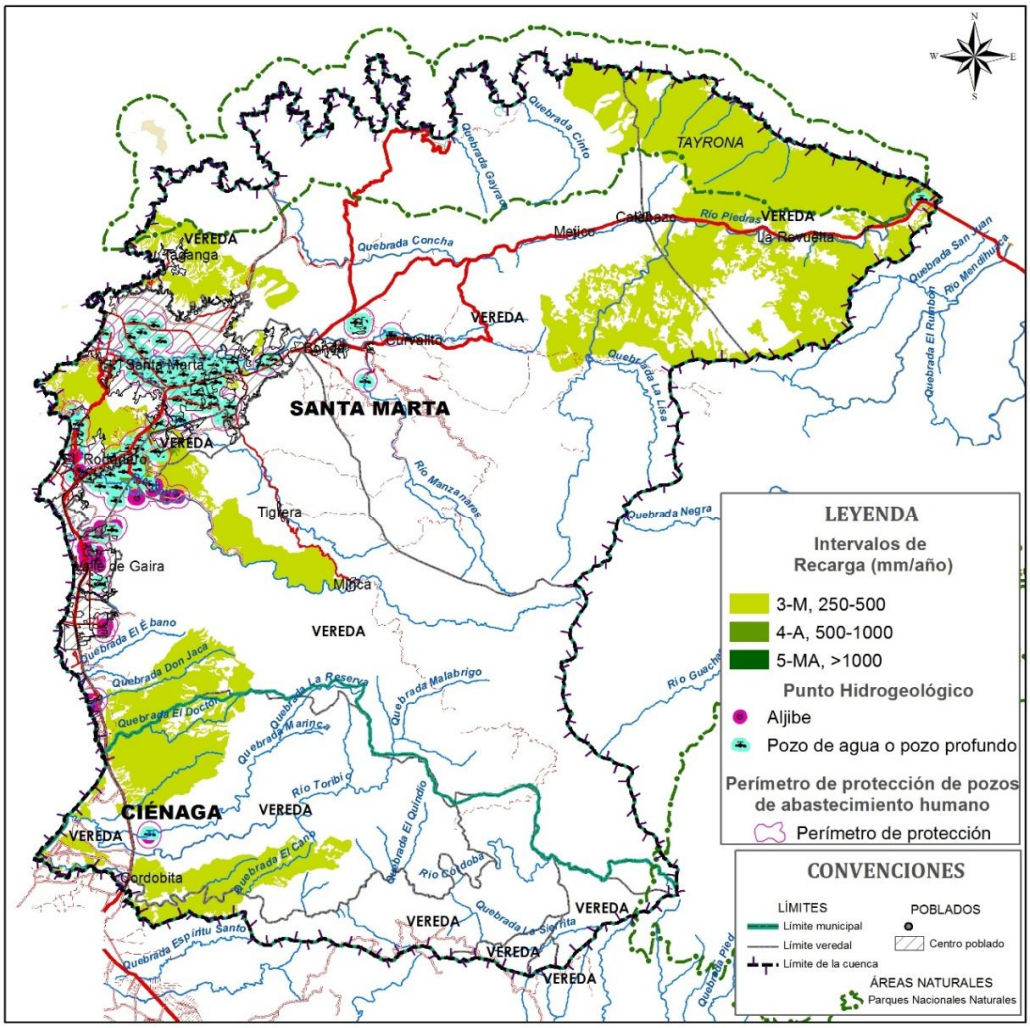
Figura 4.60. Polígonos de recarga reclasificados



4.8. Piorización de Acuíferos y Zonas de Manejo Especial

Las zonas objeto de protección y priorización definidas en la cuenca se representan en la Figura 4.61 corresponden a las áreas que presentan valores de recarga superiores a los 250 mm/año, con base en el material, la textura, pendiente y capacidad de recarga de estas áreas. Así mismo son incluidos los pozos de agua subterránea que fueron registrados en la campaña de campo realizada en la cuenca, el área definida para protección en el caso de los pozos registrados corresponde a un radio de 500 m, pues en general las construcciones antrópicas se concentran en un radio similar, aunado al abatimiento que presenta el nivel freático en el punto de extracción, y que permite la recuperación del estándar de nivel freático para la unidad.

Figura 4.61. Zonas de priorización y manejo especial



5. HIDROGRAFÍA

En este capítulo se realiza la Identificación, descripción y espacialización a nivel de cuenca y subcuenca de las unidades hidrográficas a través de la revisión de los límites geográficos y la codificación de cada una de las unidades tanto de primer como de segundo nivel subsiguiente, teniendo en cuenta la metodología establecida por el IDEAM, y su ubicación en alguna de las cinco regiones naturales de Colombia denominadas áreas hidrográficas, la zonas y la subzonas hidrográficas.

Adicionalmente se realiza la caracterización de los sistemas de drenaje a nivel de cuenca, subcuenca y microcuencas abastecedoras de centros urbanos y centros poblados, incluyendo los parámetros de jerarquización, patrón de alineamiento y densidad del drenaje.

Finalmente se realiza el cálculo de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales a nivel de los afluentes principales de las subcuencas, de acuerdo con la metodología propuesta por IDEAM (2010).

5.1. Delimitación De La Cuenca Y Unidades Hidrográficas Subsiguientes

La definición de los límites de una cuenca hidrográfica representa el aspecto de mayor importancia para el desarrollo de todos los componentes dentro del Plan de ordenación y manejo de una cuenca, determinando la extensión y dinámica de los estudios a realizar.En lo correspondiente a la dinámica hidrológica de la cuenca, se hace necesario identificar el comportamiento de la red de drenaje dentro de la misma, así como las unidades en las que es posible desagregar la misma para identificar su flujo de manera más apropiada. Lo anterior tiene como fin caracterizar y dar manejo a la cuenca a nivel de unidades hidrográficas que faciliten la planificación y las acciones enfocadas a la gestión integral del recurso hídrico en su territorio, , tan necesarias en la actualidad de nuestro país, en donde la variabilidad en las dinámicas ENSO y la ocurrencia cada vez a niveles más graves de diversos eventos climatológicos extremos, hacen necesaria la aplicación de los conocimientos técnicos y cartográficos sobre el territorio para ejercer medidas de planificación y zonificación.

5.1.1. Criterios y geoprocesos para la obtención del límite final

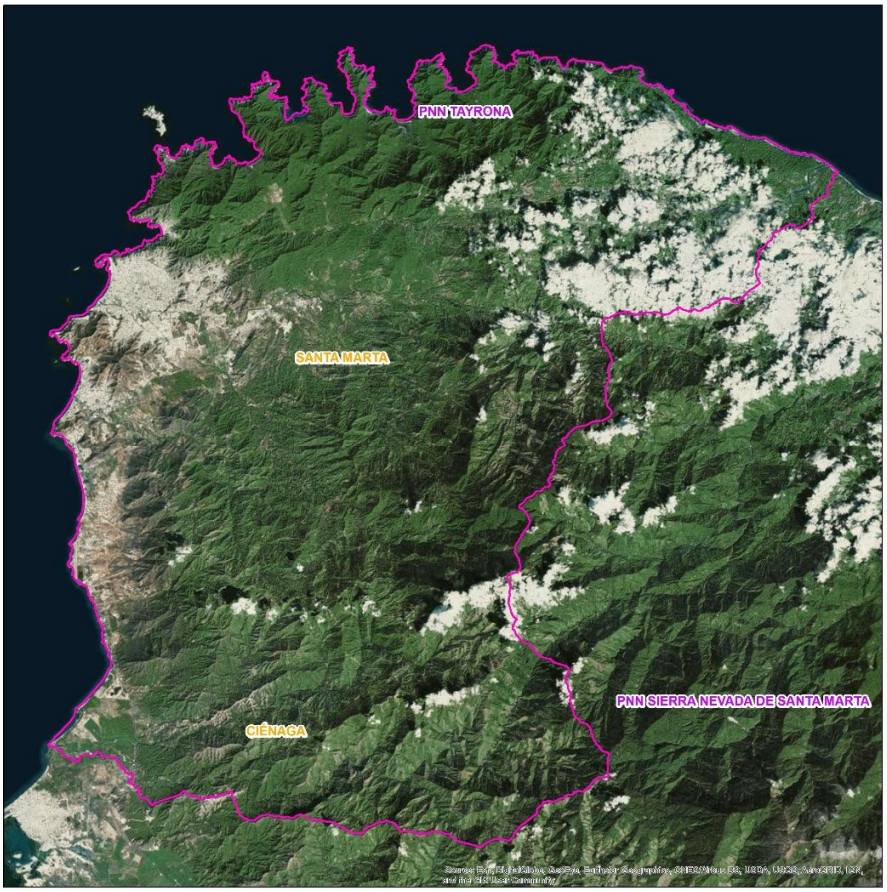
El área de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe contiene en su territorio varias cuencas que fueron integradas para el presente ejercicio de ordenación y que comparten algunas características, como tener su nacimiento en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, específicamente en la Cuchilla de San Lorenzo, y entregar sus aguas al Mar Caribe en el área de influencia del Distrito de Santa Marta, como se observa en la Figura 5.1.

Para la delimitación de esta cuenca se desarrolló lo establecido en el Decreto 1640 del MinAmbiente (2012) y la Guía Técnica para la Formulación y Manejo de Cuencas Hidrográficas del MinAmbiente (2014); por ello, la presente delimitación está sujeta a la cartografía 1:25.000 generada por el IGAC

y se encuentra en concordancia con el mapa vigente de Zonificación Hidrográfica de Colombia elaborado por el IDEAM.

Basados en la revisión de la cartografía 25.000 entregada por el IGAC, fue necesario actualizar en esta las características de los cuerpos de agua que, durante los eventos extremos, especialmente en la temporada invernal del período 2010-2011, sufrieron alteraciones en su cauce, área y demás características definitorias de la red de drenaje.

Figura 5.1. Localización del POMCA de los ríos Piedras – Manzanares y otros directos al Caribe

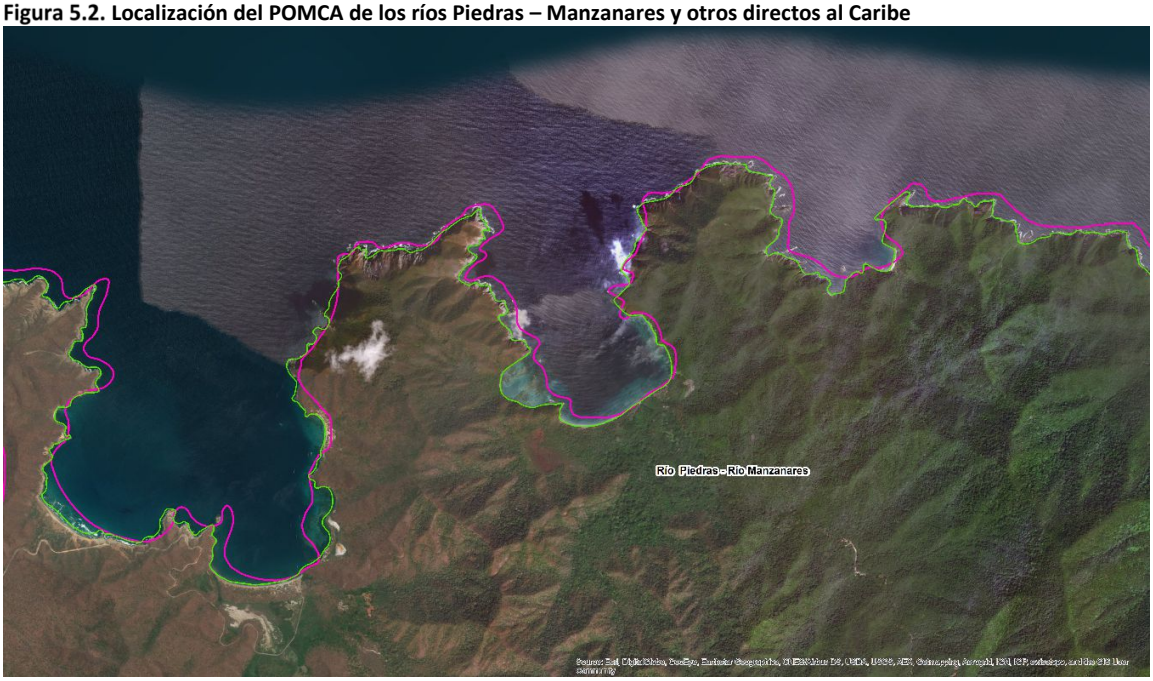


La delimitación partió del límite entregado por el IDEAM el cual se encuentra en una escala menos detallada (100.000 o 250.000) a la del presente POMCA. Se utilizaron las curvas de nivel contenidas en la base cartográfica para el trazado de la línea divisoria, las cuales presentan un adecuado detalle debido a las condiciones de relieve en la cuenca.

Inicialmente el límite de la cuenca se ajustó completamente en la línea costera del borde de la cuenca entregada por el IDEAM respecto a la imagen de satélite georreferenciada y entregada para

el proyecto por parte del Banco Nacional de Imágenes. En la Figura 5.2 se representa la delimitación tanto del IDEAM (color magenta) como la ajustada en el proyecto (color verde).

Figura 5.2. Localización del POMCA de los ríos Piedras – Manzanares y otros directos al Caribe



Posteriormente, se desarrolló la delimitación del resto de los sectores de la cuenca los cuales no presentaron ningún tipo de contratiempo, dado que las curvas de nivel reflejan muy bien el relieve y la topografía para toda la cuenca y sus niveles subsiguientes.

Al determinar detalladamente y a la escala del estudio la línea divisoria de la cuenca con las herramientas anteriormente mencionadas, se procedió a analizar la red de drenaje que compone a la cuenca hidrográfica en estudio, identificando los drenajes principales que, como ya se ha mencionado a lo largo de este documento, presenta varias corrientes de carácter permanente que desembocan al Mar Caribe, sin un cuerpo de agua que recoja las aguas de estos mismos. Dado lo anterior, se determinaron varios cauces principales para las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente entre los cuales están: Río Córdoba, Río Toribio, Río Gaira, Río Manzanares, Quebrada Concha y Río Piedras, realizando su identificación y la de todos los demás cuerpos de agua, ya sean ríos, quebradas, arroyos u otros, que desembocan en los cuerpos principales o directamente en el mar Caribe.

Posteriormente, por medio del análisis de la cartografía base corregida, las imágenes satelitales y el Modelo Digital de Elevación, se determina la línea divisoria de aguas de cada uno de esos drenajes que llegan a los cuerpos de agua principales o al mar, generando las respectivas subcuencas hidrográfica.

Teniendo en cuenta que la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe vierte sus aguas directamente al Mar por medio de varios cauces, y en algunos casos lo hacen los cuerpos de agua menores directamente, se realizó la división de las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente de acuerdo a los ríos principales y en el caso de la unidad Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe y la unidad Directos al Caribe en el Parque Tayrona, se limitaron varios cuerpos de agua menores que realizan la descarga directamente al mar Caribe. Posteriormente se realizó la delimitación de las unidades de segundo nivel subsiguiente, dentro de las cuales se identificaron los cuerpos de agua más importantes que drenaban sus aguas a los cauces principales. Es necesario aclarar que en algunas unidades de segundo nivel, en las subcuencas que incluyen los cuerpos de agua que drenan directo al mar Caribe, se realizó una división adicional para cada uno de los cuerpos de agua presentes. Estas divisiones se desarrollan de manera ilustrativa para apoyar el desarrollo de estudios posteriores, ya que, para los fines requeridos en el POMCA, el análisis hidrológico y morfométrico debe realizarse solamente a nivel de Cuenca, subcuencas y de microcuencas sólo cuando estas sean abastecedoras de centros poblados o urbanos.

Para la delimitación de las cuencas hidrográficas se identificó la red de drenaje que permitiera definir los límites de la cuenca de manera general, posteriormente se realiza el trazado la divisoria de aguas partiendo en lo posible de los puntos más altos y cerrándose en la parte más baja de la cuenca. Para facilitar el trazo de la divisoria se utilizaron los DEMs (12,5 m y 30m) e imágenes de satélite.

Utilizando la herramienta Fill Sinks se llenan las imperfecciones existentes en la superficie del DEM, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo y, posteriormente, definir la dirección del flujo. Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. Se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral se especifica como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento.

Se generan las uniones de las corrientes dividiendo el cauce en segmentos no interrumpidos, una vez realizado esto se procede a determinar el orden de las corrientes para la generación de un shape de drenajes, después se determinan los puntos donde se cortan cada uno de los drenajes, para este caso nos interesan los puntos finales que es donde hay acumulación de flujo y es el punto importante para determinación de las cuencas. Finalmente se delinea una subcuenca por cada uno de los segmentos de cauce definidos en el paso anterior.

5.1.2. Zonificación de unidades hidrográficas

Como lo establece el documento de Zonificación de unidades hidrológicas del IDEAM (2013), Colombia se encuentra dividida en 5 grandes cuencas que abastecen el territorio y por demás constituyen las cinco regiones naturales de Colombia, a estas se les ha denominado Área hidrográfica, como lo indica la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Código áreas hidrográficas.

ID	ÁREA HIDROGRÁFICA (AH)
1	Caribe
2	Magdalena-Cauca
3	Orinoco
4	Amazonas
5	Pacífico

Fuente: IDEAM (2013)

Estas áreas a su vez, están subdivididas, en nueve zonas hidrográficas, identificadas con el ID heredado del área hidrográfica a donde pertenecen, seguido de un dígito único consecutivo. Es decir, a modo de ejemplo, la zona hidrográfica del Caribe-La Guajira tendrá como codificación (15) como se relaciona en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Código zonas hidrográficas.

ZH	CARIBE (1)	MAGDALENA-CAUCA (2)	ORINOCO (3)	AMAZONAS (4)	PACÍFICO (5)
1	Atrato-Darién	Alto Magdalena	Inírida	Guainía	Mira
2	Caribe-Litoral	Saldaña	Guaviare	Vaupés	Patía
3	Sinú	Medio Magdalena	Vichada	Apaporis	Tapaje Amarales -Dagua - directos
4	Caribe-Urabá	Sogamoso	Tomo	Caquetá	San Juan
5	Caribe-La Guajira	Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge	Meta	Yarí	Baudó - directos Pacífico
6	Catatumbo	Cauca	Casanare	Caguán	Pacífico - directos
7	Caribe islas (San Andrés, Providencia, Santa Catalina)	Nechí	Arauca	Putumayo	Pacífico islas
8		Cesar	Orinoco directos	Amazonas - directos	
9		Bajo Magdalena	Apure	Napo	

Fuente: IDEAM (2013)

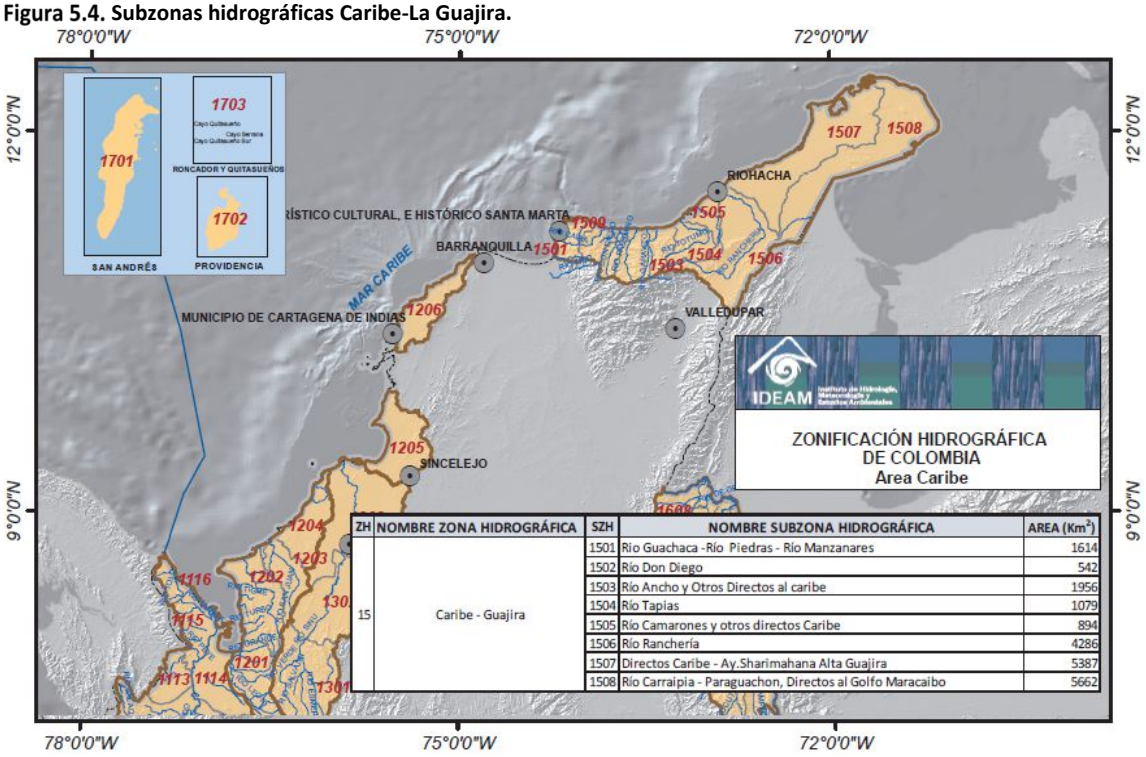
Figura 5.3. Codificación subzonas hidrográficas.



Fuente: IDEAM (2013)

Del mismo modo, el tercer nivel de zonificación apunta a las subzonas hidrográficas, que para Colombia se estiman en 311 y se encuentran igualmente discriminadas como los niveles anteriores, arrojando para la zona Caribe-La Guajira 8 subzonas y en este caso, como podemos observar en la Figura 5.4 para la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y otros directos al Caribe" su codificación seria ***1501***.

Figura 5.4. Subzonas hidrográficas Caribe-La Guajira.



ZH	NOMBRE ZONA HIDROGRÁFICA	SZH	NOMBRE SUBZONA HIDROGRÁFICA	AREA (Km²)
15	Caribe - Guajira	1501	Rio Guachaca -Río Piedras - Río Manzanares	1614
		1502	Río Don Diego	542
		1503	Río Ancho y Otros Directos al caribe	1956
		1504	Río Tapias	1079
		1505	Río Camarones y otros directos Caribe	894
		1506	Río Ranchería	4286
		1507	Directos Caribe - Ay.Sharimahana Alta Guajira	5387
		1508	Río Carraipia - Paraguachon, Directos al Golfo Maracaibo	5662

Fuente: IDEAM (2013)

No obstante, al interior de las subzonas hidrográficas, se puede tener un alcance de hasta 3 jerarquías, es decir, las subzonas se dividen en cuencas de primer nivel y estas a su vez en cuencas de segundo nivel subsiguiente y así sucesivamente, las cuales se codifican de acuerdo al método de Pfafstetter, como lo define la metodología presentada por el IDEAM (2013) en el documento "*Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*". En la Figura 5.5 se presenta el esquema de la codificación a niveles subsiguientes.

Figura 5.5. Jerarquía, codificación de unidades hidrológicas.



Fuente: IDEAM (2013)

Para la presente cuenca no se contemplan en el análisis unidades hidrográficas de tercer nivel debido a la intermitencia de los drenajes que alimentan a los cuerpos de agua principales de las

unidades de segundo nivel. A continuación en la Tabla 5.3, se detalla la codificación que se presenta al interior de la cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe.

Tabla 5.3. Codificación cuencas de primer y segundo nivel subsiguiente

Unidades hidrográficas I nivel		Unidades hidrográficas II nivel	
Código	**Nombre**	**Código**	**Nombre**
1501-01	Río Córdoba	1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita
		1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)
		1501-0103	Quebrada La Sierrita
		1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda
		1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)
1501-02	Río Toribio	1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe
		1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel
		1501-0203	Quebrada Marinca
		1501-0204	Quebrada El Guayabo
1501-03	Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe	1501-0301	Quebrad El Doctor
		1501-0302	Quebrada Don Jaca
		1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe
1501-04	Río Gaira	1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)
		1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca
		1501-0403	Directos al río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)
1501-05	Río Manzanares	1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta
		1501-0502	Quebrada Tamacá
		1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta
		1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)
1501-06	Quebrada Concha	1501-0600	Quebrada Concha
1501-07	Directos al Caribe en el Parque Tayrona	1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe
		1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe
		1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe
1501-08	Río Piedras	1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe
		1501-0802	Quebrada Jordán
		1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro
		1501-0804	Quebrada La Lisa

En las Figura 5.6 se puede apreciar la distribución espacial de las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente, es necesario aclarar que esta unidad presenta cinco puntos de entrega del nivel superior sin contar los afluentes directos al Caribe. En la Figura 5.7 las de segundo nivel.

Figura 5.6. Unidades hidrográficas I nivel subsiguiente

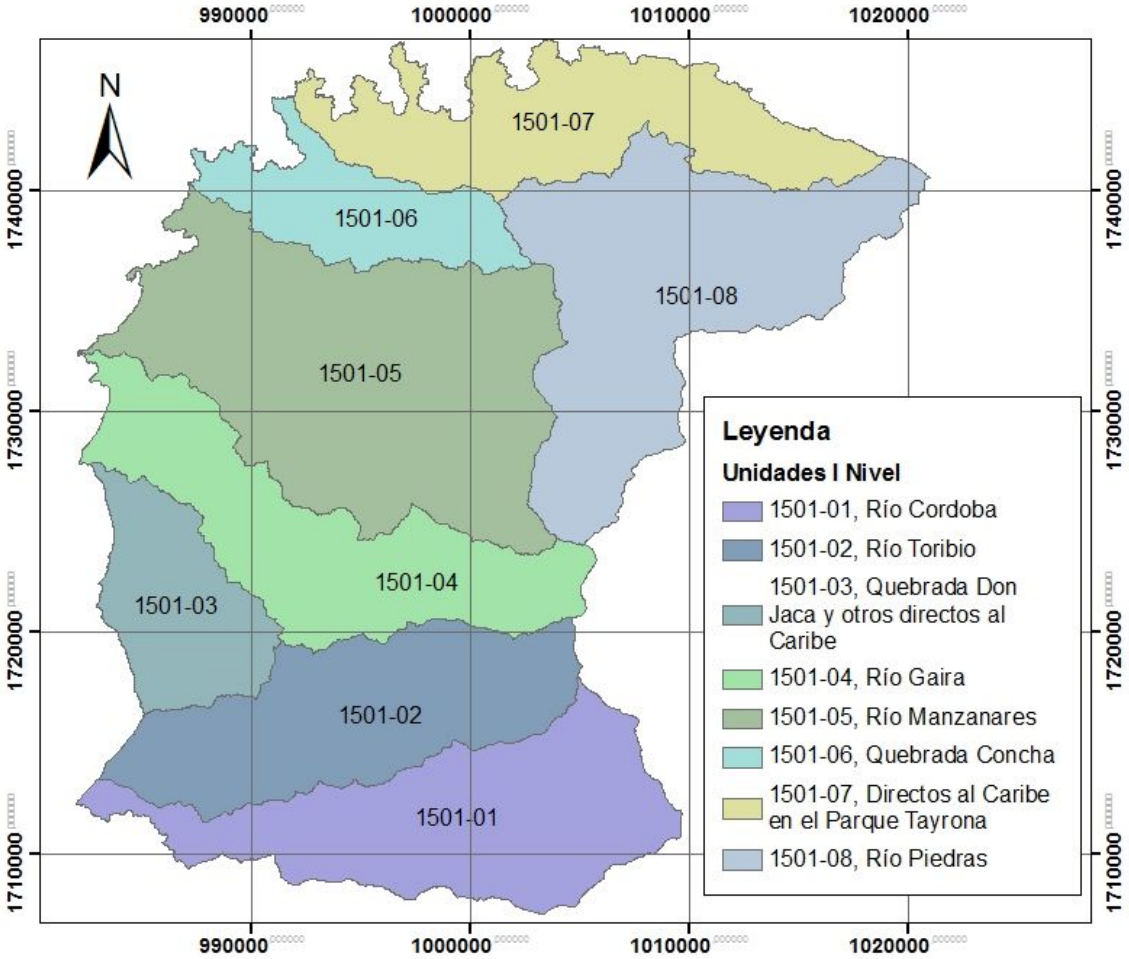
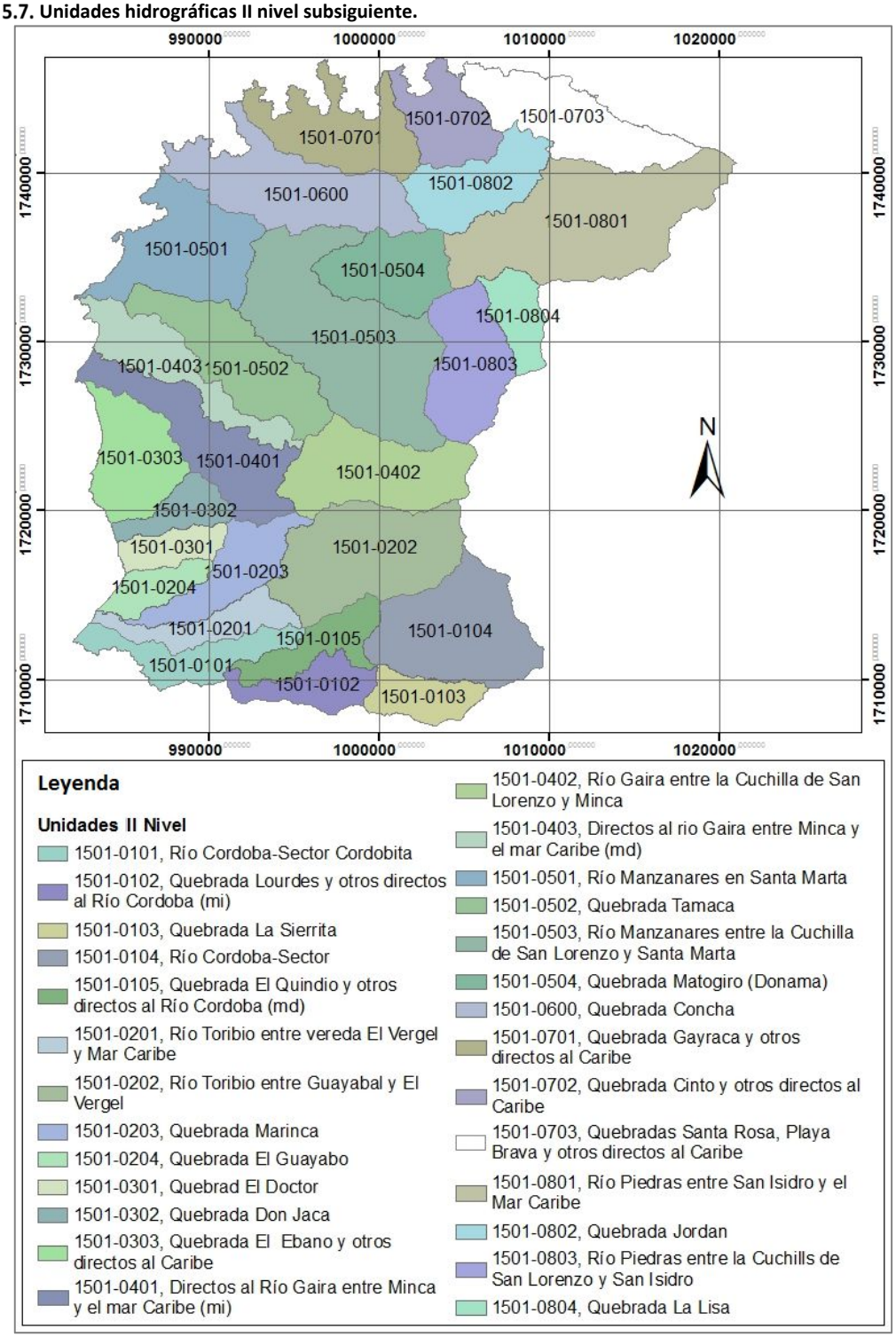

990000
1000000
1010000
1020000
1740000
1730000
1720000
1710000
N
1501-07
1501-06
1501-08
1501-05
1501-04
1501-03
1501-02
1501-01
Leyenda
Unidades I Nivel
1501-01, Río Cordoba
1501-02, Río Toribio
1501-03, Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe
1501-04, Río Gaira
1501-05, Río Manzanares
1501-06, Quebrada Concha
1501-07, Directos al Caribe en el Parque Tayrona
1501-08, Río Piedras

Figura 5.7. Unidades hidrográficas II nivel subsiguiente.



5.1.3. Identificación de unidades abastecedoras de centros urbanos y centros poblados

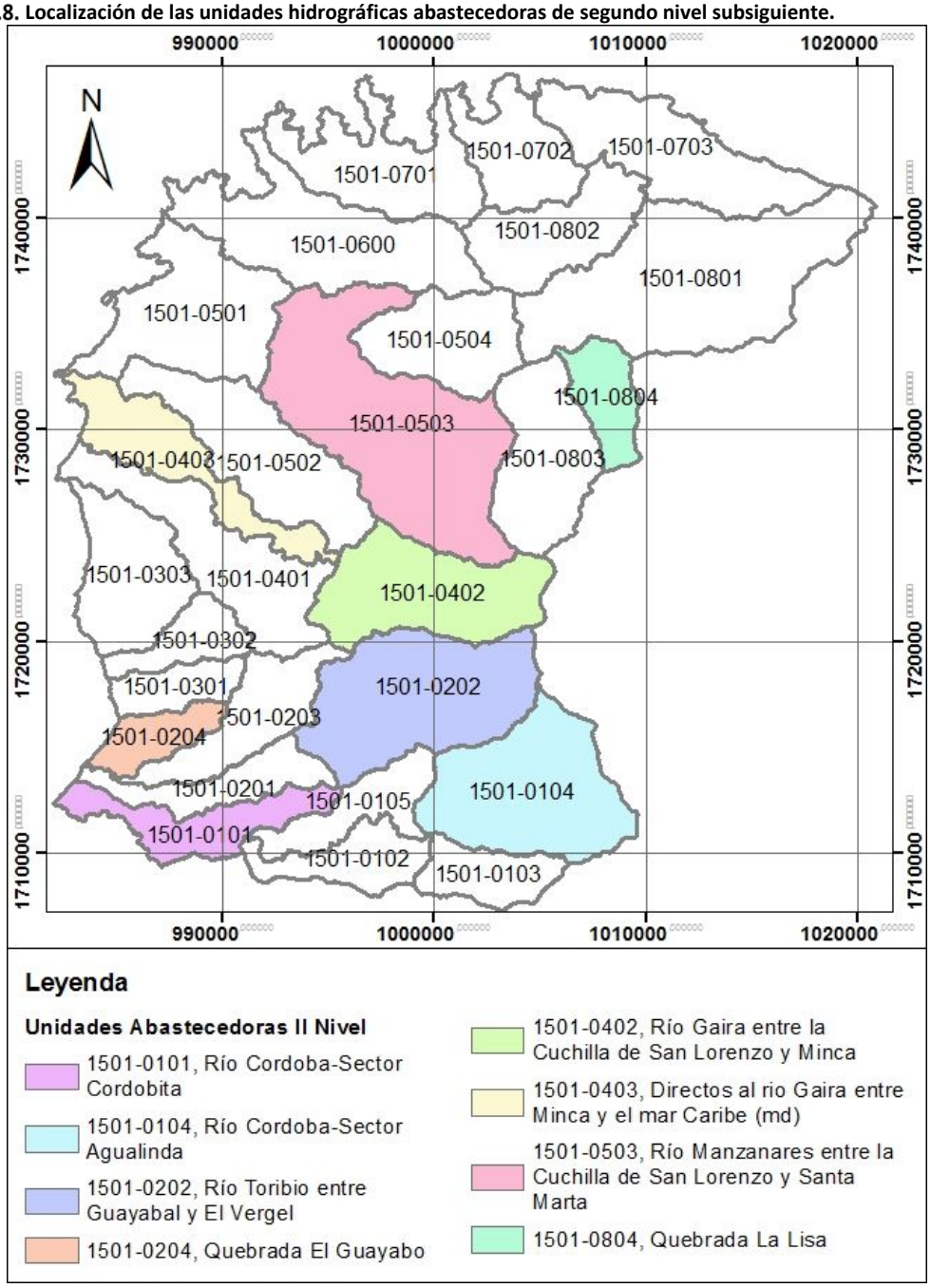
La determinación de los niveles subsiguientes tuvo en cuenta las unidades abastecedoras del servicio de agua en el área de la cuenca, en la cual se limitaron las subcuencas abastecedoras dando como resultado ocho unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente incluidas en la delimitación mencionada en el numeral anterior, estas unidades se relacionan con su área y con la unidad de primer nivel a la que pertenecen en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Unidades hidrográficas abastecedoras de segundo nivel subsiguiente.

Unidades primer nivel		Unidades abastecedoras segundo nivel		Área
Código	**Nombre**	**Código**	**Nombre**	**(Km2)**
1501-01	Río Córdoba	1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	22,07
		1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	52,12
1501-02	Río Toribio	1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	56,95
		1501-0204	Quebrada El Guayabo	12,26
1501-04	Río Gaira	1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	43,66
		1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	29,25
1501-05	Río Manzanares	1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	84,47
1501-08	Río Piedras	1501-0804	Quebrada La Lisa	14,76

En la Figura 5.8 se puede observar la localización de las unidades abastecedoras de segundo nivel subsiguiente.

Figura 5.8. Localización de las unidades hidrográficas abastecedoras de segundo nivel subsiguiente.



5.2. Caracterización De La Red De Drenaje

En este capítulo se realiza la descripción de las diferentes características de la red de drenaje entre las que se encuentran los patrones de drenaje, jerarquización de la red y los patrones de alineamiento de los cauces principales, entre otras.

5.2.1. Unidades hidrográficas I Nivel subsiguiente

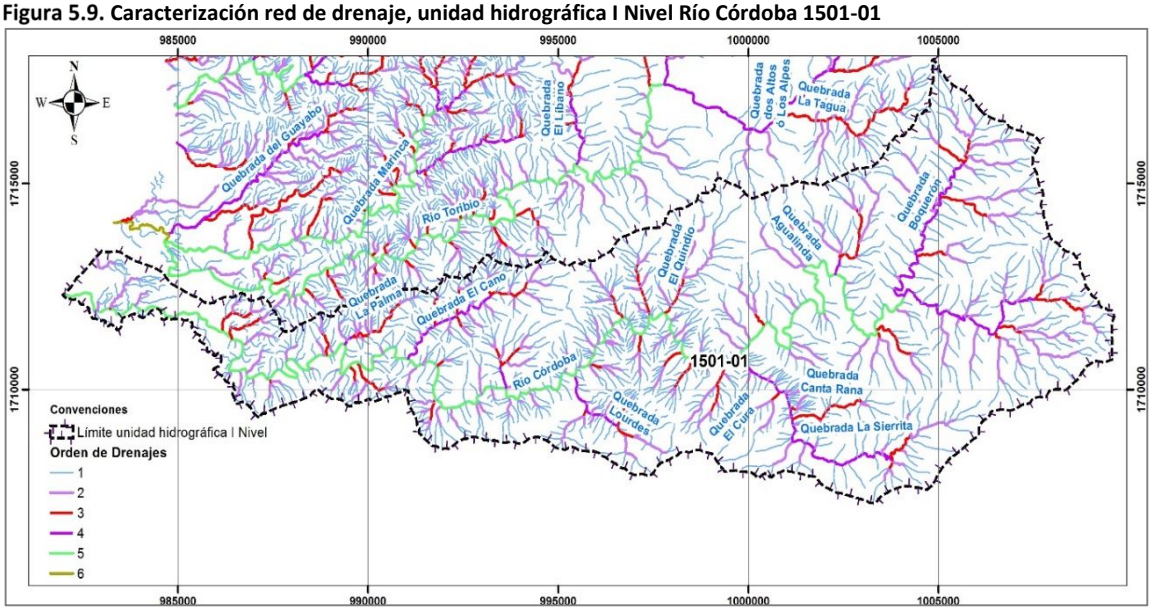
A continuación, se describe para cada una de las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente la caracterización de las redes de drenaje de cada una de ellas para cada uno de los ítems mencionados anteriormente.

5.2.1.1. *Río Córdoba-NSS (Cód. 1501-01).*

Ubicada al extremo sur de la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe", drena en dirección Este-Oeste y se extiende 125,3 km^2. Su cauce principal -Río Córdoba- nace sobre los 2400 msnm en el Corregimiento de Minca en el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta y desemboca en el Mar Caribe a la altura de la vereda Mamonal en el municipio de Ciénaga. Recoge en primera instancia las aguas de la Quebrada Boquerón que nace cerca a los 1330 msnm en la vertiente Norte de la unidad hidrográfica, continúa su recorrido recibiendo las aguas de las quebradas La Esmeralda, Agualinda, La Sierrita -que capta las quebradas Canta Rana y El cura-, El Quindío, Lourdes y La Palma. Finalmente, el Río Córdoba recorre 47,4 km otorgando el orden 6 a la unidad hidrográfica de I nivel.

En la Figura 5.9 se puede observar como la red de drenaje presenta un comportamiento homogéneo, con respecto a su patrón de drenaje dendrítico y una densidad predominante "Muy alta"; cabe señalar que la cuenca alta a la altura de la Quebrada Boquerón y Agualinda presenta un menor número de drenajes de orden 1.

Figura 5.9. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Córdoba 1501-01



Gracias a su relieve escarpado y sus suelos semipermeables, predominan los cauces meándricos, específicamente para el Río Córdoba se presentan diversas frecuencias y longitudes de onda, con una tendencia a ángulos obtusos (abiertos). Como puede apreciarse en la Tabla 5.5, la unidad

hidrográfica concentra su red de drenaje en los órdenes 1 y 2 -con más de 530 km-, lo que corrobora la buena respuesta de la cuenca a eventos torrenciales.

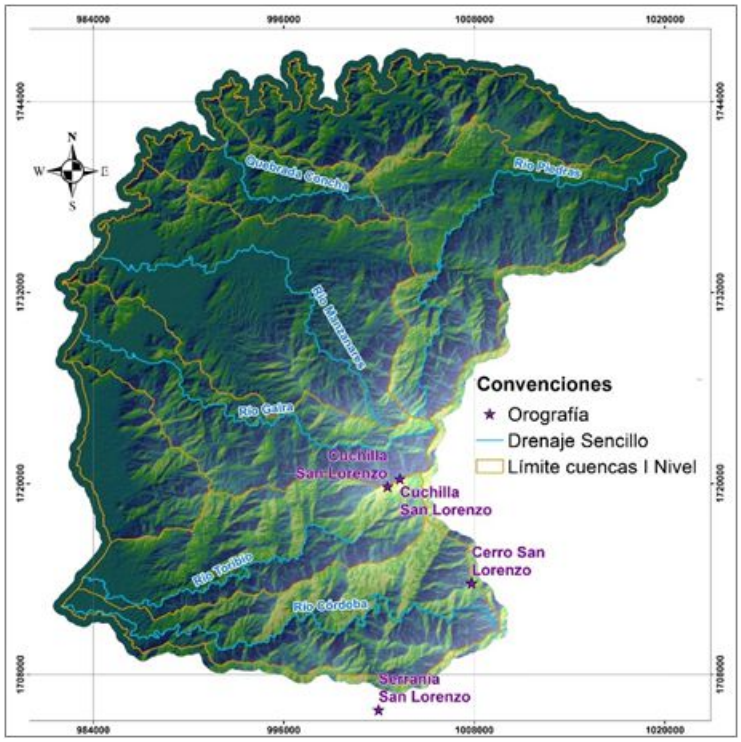
Tabla 5.5. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba 1501-01

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	420,4
2	109,97
3	34,46
4	23,37
5	39,33

5.2.1.2. *Río Toribio-NSS (Cód. 1501-02)*

Ubicada entre el municipio de Ciénaga y Santa Marta, se extiende con 112,4 km^2 la cuenca de I Nivel subsiguiente Río Toribio, tiene una dirección de flujo predominante Este-Oeste como se ve en la Figura 5.10. Su cauce principal -Río Toribio- nace en la Cuchilla de San Lorenzo al igual que el Río Córdoba, Gaira, Manzanares y Piedras. Como se observa en la Figura 5.10, este accidente geográfico obedece a la divisoria de aguas al costado Sureste de la cuenca.

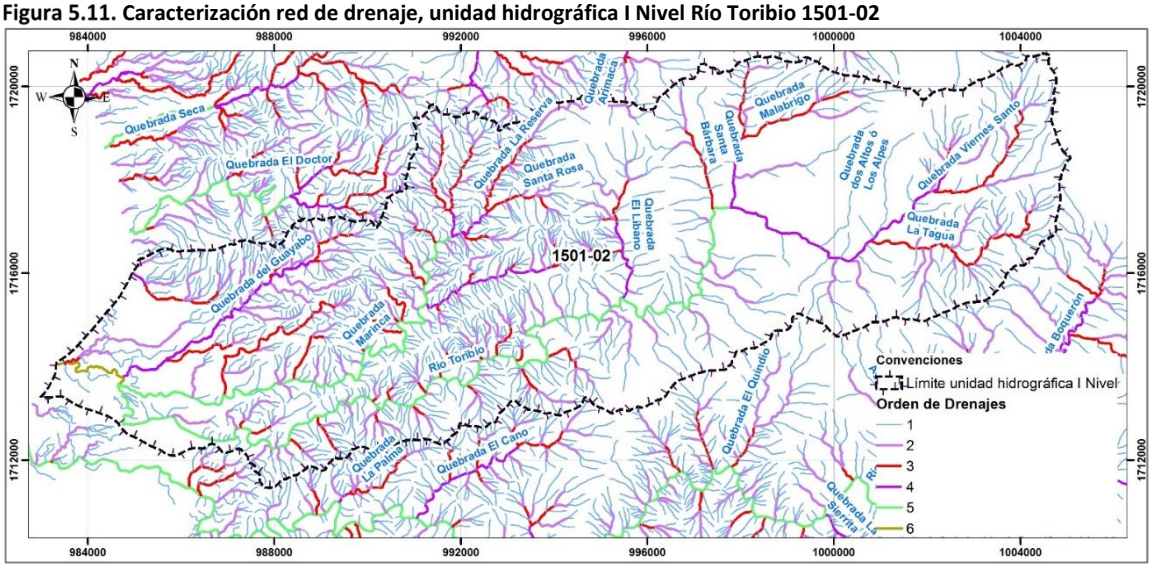
Figura 5.10. Localización Estrella hídrica cuchilla de San Lorenzo



Con el nacimiento de la Quebrada Viernes Santo por encima de los 2600 msnm, en el extremo oriental del área rural del Corregimiento de Minca y después de 5,8 km de recorrido, el Río Toribio emerge encauzando las aguas de La Quebrada Dos Altos o Los Alpes y Quebrada La Tagua. Así inicia su recorrido en un patrón meándrico irregular, alimentado por una red dendrítica nutrida por las

Quebradas Malabrigo, Santa Bárbara y el Líbano, conservando la jerarquización de orden de drenaje 5, por hasta 25,6 km. Lo anterior se puede observar en la Figura 5.11

Figura 5.11. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Toribio 1501-02



Posteriormente, la quebrada Marinca desemboca sus aguas al Río Toribio, dándole el orden 6 al último tramo de 2,17 km antes de desembocar en el Mar Caribe, como lo muestra la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio 1501-02

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	413,1
2	104,82
3	49,95
4	20,88
5	33,77
6	2,17

5.2.1.3. *Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe-NSS (Cód. 1501-03).*

Se encuentra dividida entre el Corregimiento de Minca -costado Este-, Santa Marta -costado Oeste- y el municipio de Ciénaga al Sur, se extiende 57 km^2 y clasifica como la segunda unidad hidrográfica más pequeña. Esta unidad hidrográfica de primer Nivel, se caracteriza por presentar múltiples salidas simultáneas al Mar Caribe como la Quebrada Mamorón, El Totumo, Latuchí, El Limón, El Ébano, La Palmita, Don Jaca y El Doctor. A pesar de lo anterior, el cauce principal de la unidad hidrográfica se ha estimado como la Quebrada Don Jaca debido a que presenta la mayor longitud de cauce.

La Quebrada Don Jaca nace prematuramente, sobre los 962 msnm y recorre cerca de 7,6 km en un patrón dendrítico, alimentado por una red reticular, como se ve en la Figura 5.12.Previo a su llegada

al Mar Caribe esta recibe las aguas de la Quebrada Seca, es así como finalmente le da el orden 5 a la unidad hidrográfica.

Obsérvese en la Figura 5.12 como el costado Noroeste, evidencia una disminución en la densidad de drenaje -proximidades al Mar Caribe-, esto se debe a la canalización de la escorrentía superficial que se adentra en el casco urbano de la ciudad de Santa Marta, cambiando su dinámica a flujo subsuperficial, lo anterior se corrobora con el cambio en el patrón de alineamiento de meándrico a rectilíneo de las Quebradas Mamorón y Ojo de agua.

Figura 5.12. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03

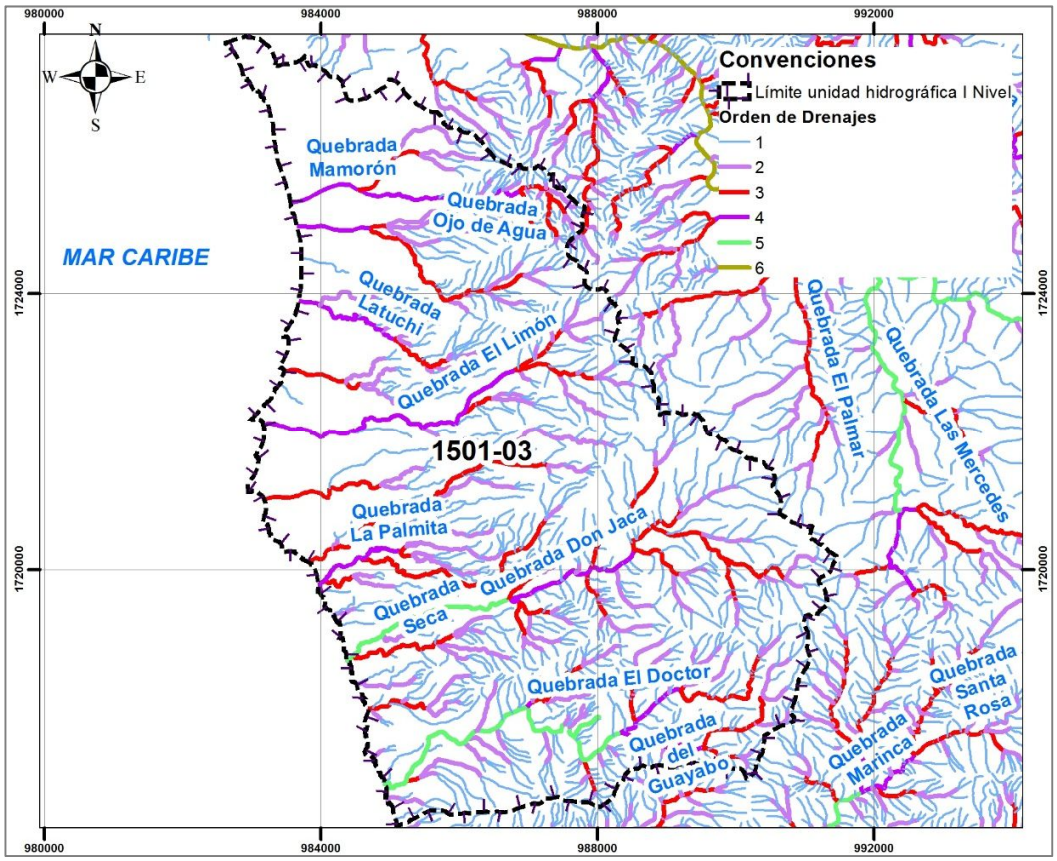


Tabla 5.7. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03

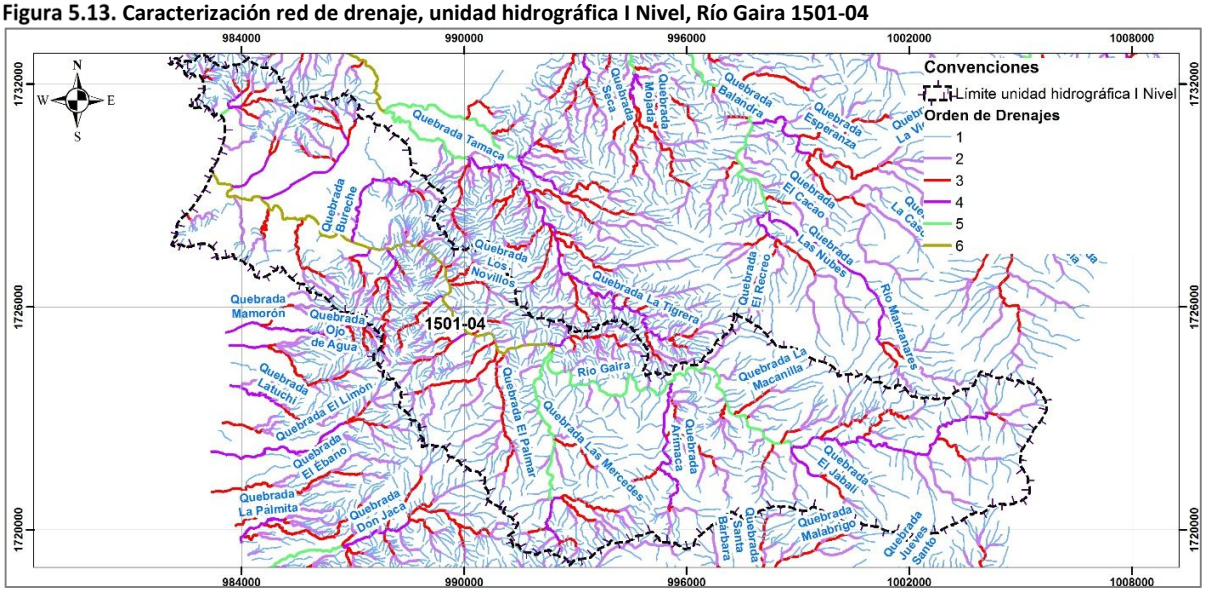
Orden	Longitud de drenajes (km)
1	219,5
2	69,73
3	41,94
4	17,50
5	8,37

Finalmente, en la Tabla 5.7 se recopila la distribución de la red de drenaje con respecto a la jerarquización, cabe resaltar que los 8,37 km que obedecen al orden 5 se refieren a los cauces de la Quebrada Don Jaca y la quebrada El Doctor.

5.2.1.4. *Río Gaira-NSS (Cód. 1501-04).*
Con 113,8 km^2 la unidad hidrográfica de primer Nivel Río Gaira, se ubica como una de las más alargadas y presenta una dirección de flujo predominante de Sureste a Noroeste. El cauce principal -Río Gaira- nace en la Cuchilla de San Lorenzo a una altitud de 2301 msnm y desemboca en el Mar Caribe en Bahía de Gaira en la ciudad de Santa Marta, después de 34 km de recorrido.

El cauce del Río Gaira inicia en el extremo oriental del área rural del corregimiento de Minca, se nutre a partir de una intrincada red de drenaje dendrítica y comienza a serpentear con un alineamiento meándrico irregular, mientras suma las aguas de la quebrada El Jabalí, La Macanilla, Animaca y Las Mercedes. Hasta este tramo el Río Gaira ha recorrido aproximadamente 22 km en una jerarquía de orden 5, posteriormente, fluirá cerca de 14 km para darle a la unidad hidrográfica el orden 6 y desembocar en la playa Puerto Gaira.

Figura 5.13. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel, Río Gaira 1501-04



En la Tabla 5.8 se ha definido la sumatoria de las longitudes de la red de drenaje discriminadas por órdenes según el método de Strahler, se corroboran los 14,4 km que el Río Gaira alcanza a cubrir en orden 6 y la predominancia al orden 1 que esclarece una densidad "Muy Alta" de drenaje.

Tabla 5.8. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira 1501-04

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	375,2
2	103,96
3	57,76
4	27,07
5	15,75
6	14,40

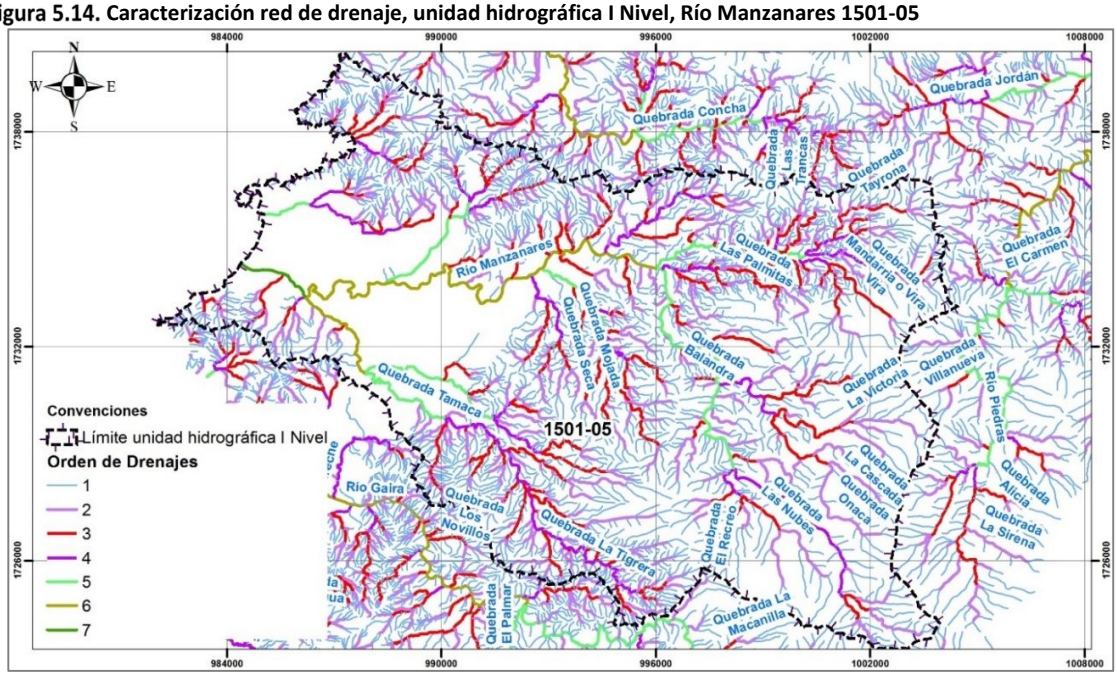
5.2.1.5. *Río Manzanares-NSS (Cód. 1501-05)*
Ocupa 202,2 km^2 y es la unidad hidrográfica de primer nivel de mayor extensión. Se ubica entre el Corregimiento de Minca -costado Sureste-, el Corregimiento de Bonda -costado Noreste-, Corregimiento de Taganga -al Noroeste- y la ciudad de Santa Marta al Suroeste. Es una unidad hidrográfica de orden 7 que descarga sus aguas al Mar Caribe y su dinámica hidrológica se da por conexiones de una red dendrítica de "Muy alta" densidad en su mayoría.

Obsérvese en la Figura 5.14 cómo al interior de la unidad hidrográfica se presentan dos grandes cuerpos de agua: Quebrada Tamacá al costado Suroeste y el Río Manzanares -cauce principal-, nutrido por una red en dirección Sureste-Noroeste. Ahora bien, el Río Manzanares comienza su recorrido en los 1944 msnm, recoge inicialmente las aguas de la Quebrada Las Nubes, El Cacao y La Cascada, con un patrón de alineamiento meándrico irregular a lo largo de todo su recorrido. Conserva su orden jerárquico 5 hasta encauzar las aguas de la Quebrada Matogiro o Donama -después de 17,2 km desde su nacimiento-, sigue su flujo en dirección a la ciudad de Santa Marta en orden 6, inmediatamente después de ingresar a la ciudad, se conecta con la Quebrada Seca y la Quebrada Mojada.

"A medida que fluye hacia el área urbana, luego de pasar por Mamatoco el río continúa su curso cerca de la Quinta San Pedro Alejandrino, los barrios que bordean la parte sur de la Avenida del Río y para cuando entra en la calle 30, ya ha recibido las aguas de la quebrada Tamacá, finalmente en la última parte de su recorrido transita por el barrio del mismo nombre". MinSalud (2011)

Posteriormente, el río Manzanares, desemboca en La Playa Los Cocos y le otorga a la unidad hidrográfica el orden 7, después de un recorrido aproximado de 34,5 km.

Figura 5.14. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel, Río Manzanares 1501-05



Cabe señalar que, la unidad Río Manzanares 1501-05, gracias a que presenta en su cuenca media-alta una concentración de drenajes de orden 1 y 2 podría establecerse una rápida respuesta a eventos de precipitación, como se relaciona en la Tabla 5.9. No obstante, la cuenca baja en jurisdicción a la ciudad de Santa Marta, podría presentar mayor vulnerabilidad a fenómenos de inundación debido a la baja densidad de drenajes, aunque esta situación podría verse atenuada por las obras de encauzamiento de los drenajes en el área del casco urbano del distrito de Santa Marta.

Tabla 5.9. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares 1501-05

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	665,1
2	207,37
3	119,39
4	49,07
5	30,39
6	18,28
7	2,19

5.2.1.6. *Quebrada Concha-NSS (Cód. 1501-06)*

Con 53,6 km^2 es la unidad hidrográfica de menor extensión y se caracteriza por que su cauce principal -Quebrada Concha- no nace en la estrella hídrica de San Lorenzo. Con una red de drenaje dendrítica fluye en dirección Sureste-Noroeste para descargar sus aguas al Mar Caribe.

La Tabla 5.10 representa la jerarquía de la red hidrográfica al interior de la unidad de primer nivel; la Quebrada Concha nace a los 561 msnm, recoge las aguas de la Quebrada Las Trancas y recorre unos escasos 15,4 km en un patrón meándrico, atravesando los Corregimientos de Taganga y Bonda.

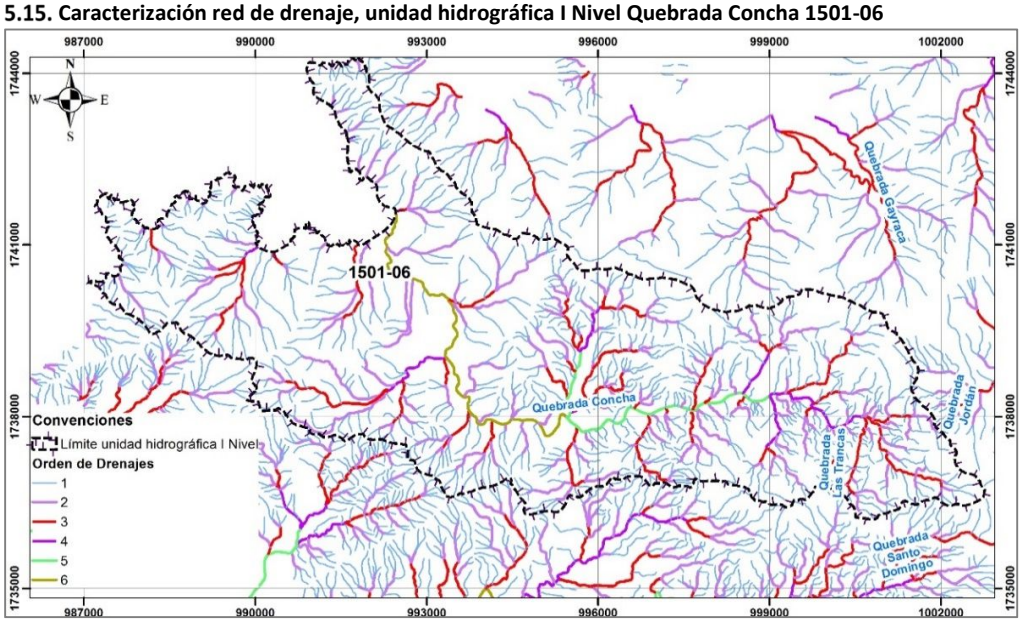
Dado que su red de drenaje se presenta de manera uniforme con una muy alta densidad, podría estimarse una rápida respuesta al encauzamiento de la escorrentía para eventos de precipitación.

En la Tabla 5.10 se recopilan las longitudes de la red de drenaje discriminadas por su orden según el método de Strahler, es así como se estima la longitud de 7,15 km que la Quebrada Concha recorre en orden 6 hasta desembocar sus aguas a la altura de Bahía Concha.

Tabla 5.10. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Concha 1501-06

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	200,9
2	70,92
3	32,09
4	7,35
5	5,41
6	7,15

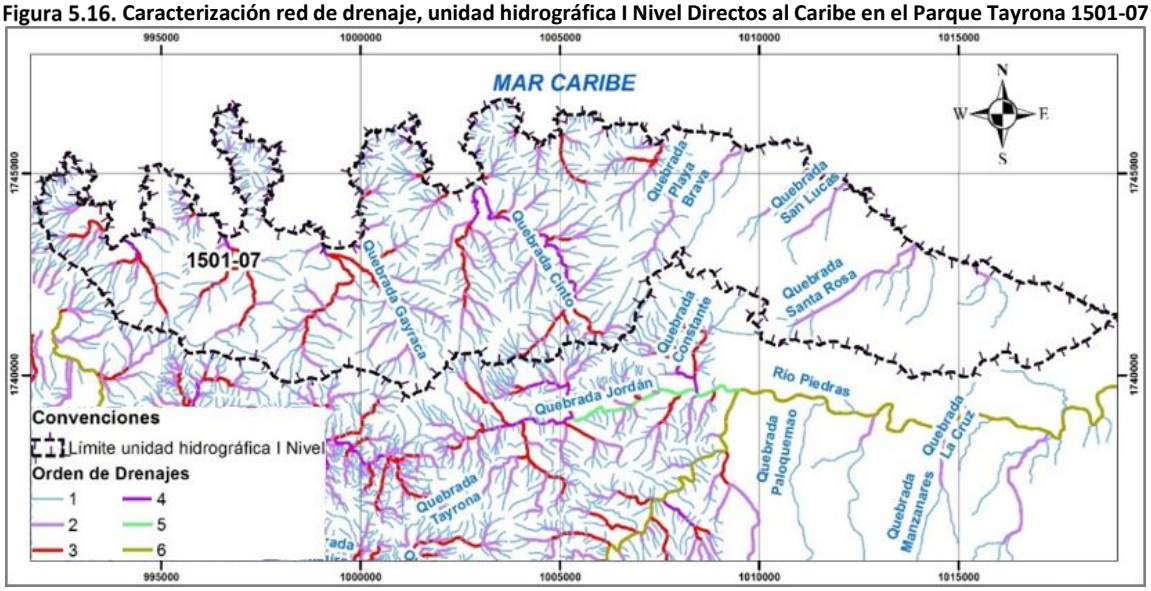
Figura 5.15. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Quebrada Concha 1501-06



5.2.1.7. *Directos al Caribe en el Parque Tayrona-NSS (Cód. 1501-07)*

Caracterizada por sus simultáneas salidas al Mar Caribe y por integrarse al Parque Nacional Natural Tayrona, se ubica al extremo Norte de la cuenca y se extiende 102,8 km^2. En la Figura 5.16 , se aprecian varias redes de drenaje independientes de corto alcance como las que nutren la Quebrada Santa Rosa, San Lucas, Playa Brava, Cinto y Gayraca.

Figura 5.16. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07



La Quebrada Cinto ha sido determinada como el cauce principal para la unidad hidrográfica, debido a que presenta la mayor longitud con respecto a los demás cuerpos hídricos y el mayor orden en la jerarquización de la red, con 0,16 km le da el orden 5 a la unidad, como lo muestra la Tabla 5.11. Esta recorre 7,5 km, nace prematuramente sobre los 537 msnm y fluye en dirección Sur-Norte; se alimenta por una red en su mayoría de orden 1 que drenan en forma reticular.

En términos generales la unidad hidrográfica presenta una densidad de drenaje “Moderada Alta”, no obstante, el costado Este contrasta con un escaso número de drenajes de orden 1.

Tabla 5.11. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	209,2
2	60,32
3	28,99
4	8,43
5	0,16

5.2.1.8. *Río Piedras-NSS (Cód. 1501-08)*

Se extiende 160,9 km^2 al extremo Noreste de la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 15012", atraviesa el Corregimiento de Bonda -al Suroeste- y el Corregimiento de Guachaca -al costado Noreste-. Su cauce principal es el Río Piedras, con una longitud de 38,4 km es el segundo más largo, después del Río Córdoba con 47,4 km.

El Río Piedras nace a los 2305 msnm e inicia encauzando las aguas de la Quebrada Sirena, Alicia, Villanueva, Loma fresca y Palacios, en este punto pasa de orden 5 a 6, después de un recorrido estimado de 14 km al conectar con la Quebrada La Lisa. Continúa su recorrido ondulando en un patrón meándrico, alimentándose en su mayoría de corrientes de orden 1 como lo relaciona la Tabla 5.12 , recogiendo al final de su cauce toda la escorrentía encauzada por la Quebrada Jordán, Constante, Paloquemao, Manzanares y La Cruz de la cuenca para desembocar en el Mar Caribe a la altura de la Playa Los Naranjos en el límite del Parque Nacional Natural Tayrona.

La red de drenaje de esta unidad hidrográfica se caracteriza por presentar una única salida al Mar Caribe y por su patrón dendrítico que prevalece a lo largo de la cuenca con una densidad "Moderada Alta". Cabe señalar, al extremo Noreste los drenajes pasan de ser una intrincada red de líneas de flujo a unas escasas conexiones superficiales. En la Figura 5.17 se presenta la caracterización de la red de drenaje de la unidad hidrográfica, mientras que en la Tabla 5.12 la relación entre el orden y la longitud de los drenajes.

Figura 5.17. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica I Nivel Río Piedras 1501-08

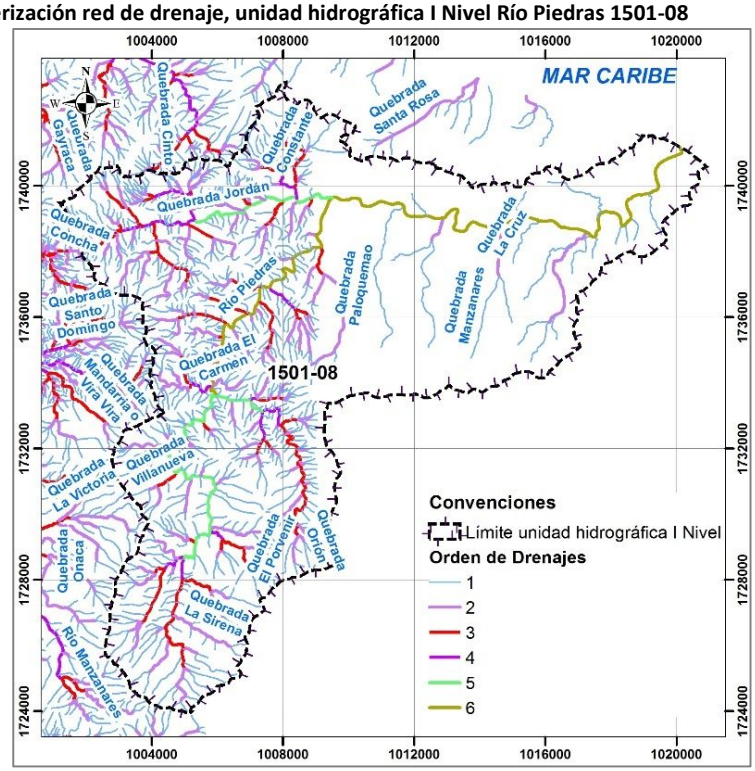


Tabla 5.12. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras 1501-08

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	341,9
2	92,63
3	39,09
4	11,97
5	15,33
6	24,23

5.2.2. Unidades hidrográficas II Nivel Subsiguiente

A continuación, se describe para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente la caracterización de las redes de drenaje de cada una de ellas.

5.2.2.1. *Río Córdoba-Sector Cordobita-NSS (Cód. 1501-0101)*

Catalogada como una unidad hidrográfica de II Nivel "Muy Pequeña" de acuerdo a su extensión -22,1 km^2- se localiza al extremo Suroeste de la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 1501". Obsérvese en la Tabla 5.13 que esta unidad integra los últimos 14,8 km del Río Córdoba antes de su desembocadura en el Mar Caribe a la altura de la Quebrada El Cano. Este ingresa como un drenaje de orden 5 y continúa su recorrido en un patrón meándrico, presenta zonas irregulares de ángulos agudos, nutridos por una red de drenaje dendrítica. Sin embargo, en proximidades al Mar Caribe la red parece cambiar su patrón a rectangular y la densidad disminuye considerablemente.

La unidad hidrográfica recibe su nombre gracias al centro poblado Cordobita, ubicado al costado suroeste, abarca 0,04 km^2 y hace uso de una captación de aguas superficial desde el Río Córdoba para el abastecimiento del acueducto, al igual que en inmediaciones a su desembocadura, como se aprecia en la Figura 5.18.

Figura 5.18. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101

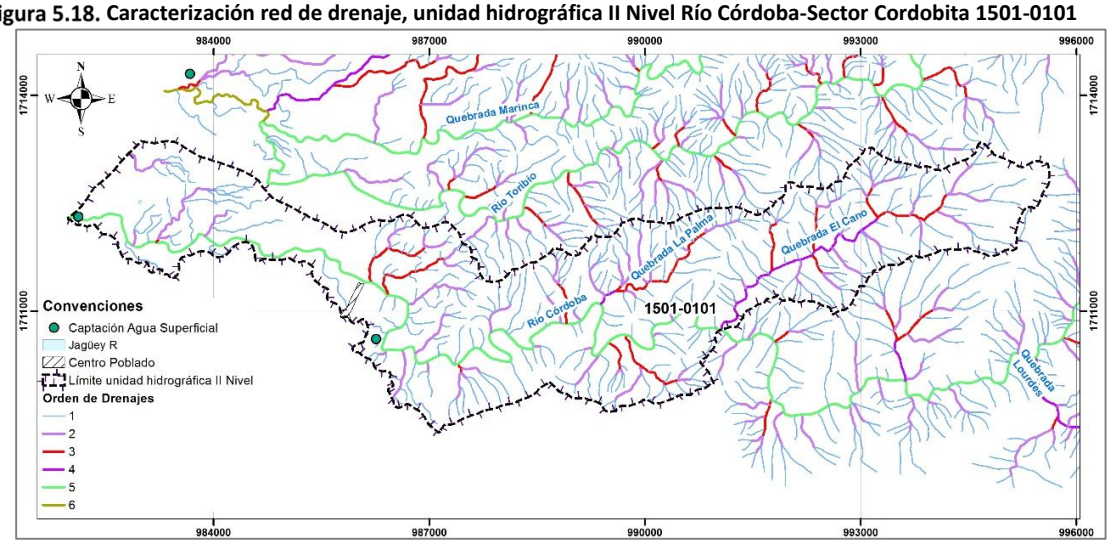


Tabla 5.13. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	87,9
2	21,22
3	10,14
4	3,51
5	14,77

La Tabla 5.13 recopila, la distribución de la red de drenaje en los distintos órdenes obtenidos en la unidad hidrográfica, dado lo anterior esta podría presentar una buena respuesta a eventos de precipitación debido a su forma alargada y una red de drenajes claramente concentrada en los órdenes 1 y 2 que interceptan la escorrentía en primera instancia.

5.2.2.2. *Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)-NSS (Cód. 1501-0102)*
El Río Córdoba rodea la unidad hidrográfica aproximadamente 13,48 km, según lo relacionado en la Tabla 5.14, siendo la única corriente de orden 5 -en su costado Norte- y se ubica en la vereda Región Córdoba del municipio de Ciénaga, se extiende 17,3 km^2 y presenta una red de drenajes dendrítica que fluyen en dirección Sur-Norte antes de desembocar en el Río Córdoba para luego fluir hacia el Oeste -en dirección al Mar Caribe-, como se observa en la Figura 5.18. Esta unidad hidrográfica corresponde a la margen izquierda del Río Córdoba -en dirección aguas abajo-.

Su cauce principal fue determinado por la Quebrada Lourdes que nace prematuramente sobre los 1205 msnm y desciende aproximadamente 893 m hasta verter en el Río Córdoba con tan solo 3,8 km de recorrido y un patrón meándrico leve e irregular, a partir de allí el cauce recoge todo el flujo superficial, transportándolo unos 6,5 km hasta la entrada a la unidad hidrográfica Río Córdoba-Sector Cordobita, para un recorrido total de 10,3 km.

De acuerdo con lo observado en campo y los aportes de la comunidad, no se registran captaciones importantes de recurso hídrico superficial en esta unidad hidrográfica. A continuación, se presenta la caracterización de la red de drenaje en la subcuenca en la Figura 5.19 y en la Tabla 5.14 la relación entre las longitudes de drenajes y los órdenes.

Figura 5.19. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba 1501-0102

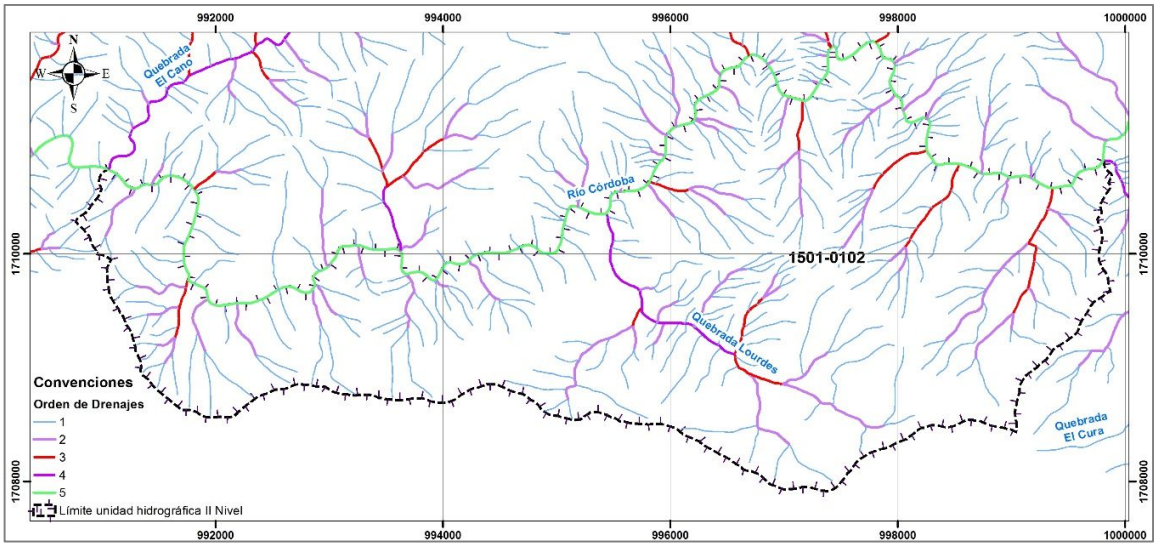


Tabla 5.14. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba 1501-0102

Orden	Longitud de drenaje (km)
1	86,2
2	17,48
3	5,41
4	1,94
5	13,48

5.2.2.3. *Quebrada La Sierrita-NSS (Cód. 1501-0103)*

Con 15,5 km^2 se ubica como una de las unidades hidrográficas más pequeñas del sistema "Río Córdoba 1501-01". Como se observa en la Figura 5.20, está constituida por una sencilla red dendrítica que alimenta directamente a la Quebrada La Sierrita que serpentea en un cauce meándrico de orden 4, en dirección Sureste-Noroeste, recibe las quebradas Canta Rana y El Cura para desembocar en el Río Córdoba, posteriormente, con un recorrido neto de 9,5 km y una caída altitudinal de 1492 m.

En la Tabla 5.15 se recopila, la jerarquización de la red de drenaje de acuerdo a los órdenes y longitudes, obsérvese que la Quebrada La Sierrita recorre 6,29 km, como corriente de orden 4 antes de llegar al Río Córdoba y canalizando aproximadamente 66,32 km de la red de drenaje. Al igual que en la unidad de la Quebrada Lourdes, no se reconocieron captaciones de agua relevantes en esta zona.

Figura 5.20. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada La Sierrita 1501-0103

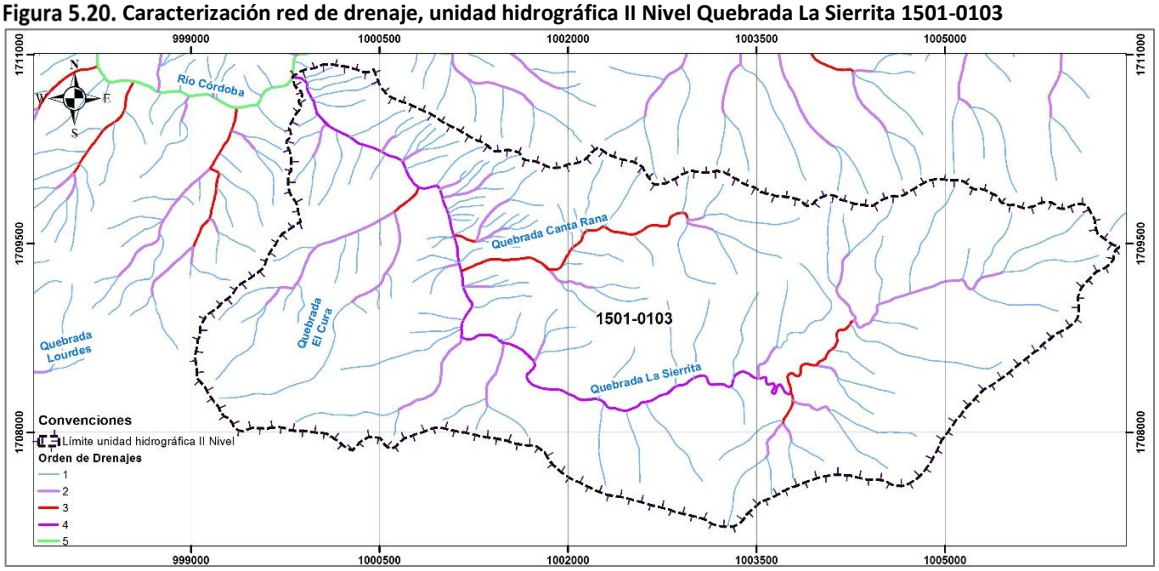


Tabla 5.15. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada La Sierrita 1501-0103

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	52,13
2	10,36
3	3,83
4	6,29

5.2.2.4. *Río Córdoba-Sector Agualinda-NSS (Cód. 1501-0104)*

Esta unidad hidrográfica abarca el Río Córdoba desde su nacimiento a los 2403 msnm y su dinámica hidrológica está determinada por una red de drenaje dendrítica como se observa en la Figura 5.21.El Río Córdoba nace en el extremo Sureste y emprende su recorrido en dirección Este-Oeste, recorre unos 8 km antes de encontrarse con la Quebrada Boquerón -en este punto pasa de orden 4 a 5-, posteriormente recorre 11,07 km como lo muestra la Figura 5.21 en un flujo sinusoidal -meándrico- y recoge las aguas de las quebradas La Esmeralda y Agualinda para luego evacuar a las siguientes unidades hidrográficas subsiguientes.

La Quebrada Boquerón en inmediaciones a su nacimiento, alimenta una captación de agua -ubicada en 1250 msnm- como se evidencia en la Figura 5.21. Por otra parte, podría presentarse una buena respuesta de la cuenca a eventos de precipitación, gracias al comportamiento de la red de drenaje distribuida de manera homogénea y a que presenta una buena densidad de drenajes de orden 1 y 2.

Figura 5.21. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Córdoba-Sector Agualinda 1501-0104

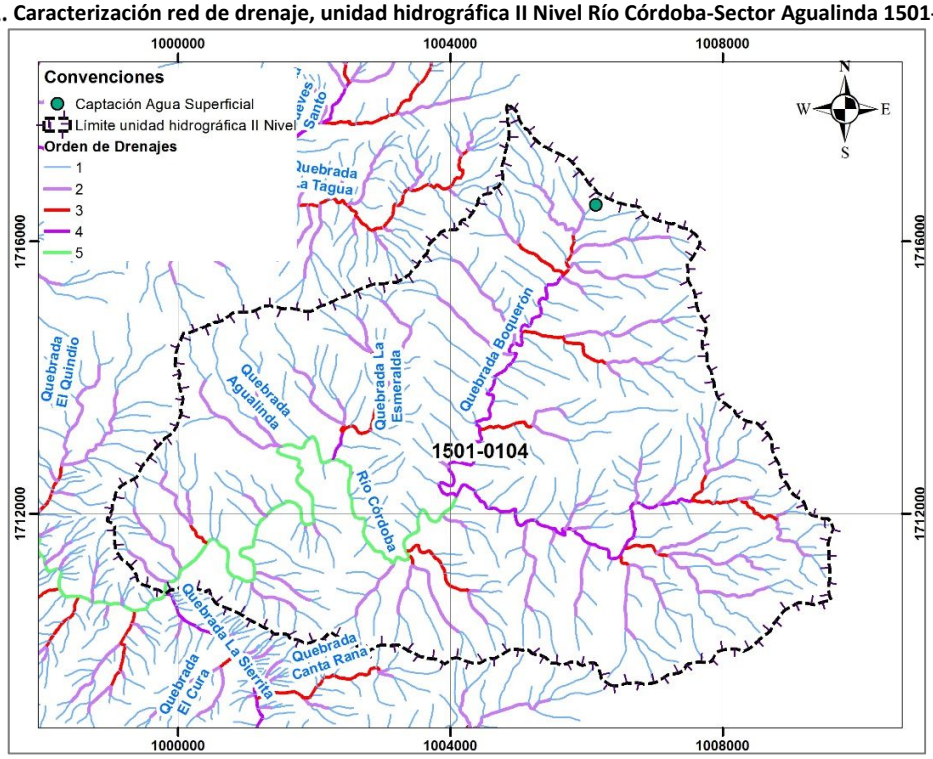


Tabla 5.16. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Córdoba-Sector Agualinda 1501-0104

Orden	Longitud de drenaje (km)
1	134,87
2	45,03
3	10,60
4	11,02
5	11,07

5.2.2.5. *Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)-NSS (Cód. 1501-0105)*

Se ubica en la margen derecha del Río Córdoba y comparte su cauce con la unidad hidrográfica "Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi) 1501-0102" como se evidencia en la Figura 5.22 y se extiende 18,4 km^2 en la vereda Jolonura del municipio de Ciénaga. Su cauce principal inicia con la Quebrada Quindío a los 1254 msnm, que recorre 3,3 km hasta desembocar en el Río Córdoba que es adicionalmente alimentado aguas abajo por una red dendrítica y ondula en un patrón meándrico para fluir en dirección Este-Oeste en dirección al Mar Caribe, para un recorrido final de 13,7 km.

El Río Córdoba ingresa a la unidad hidrográfica en orden 5 a la altura de la Quebrada La Sierrita y como se relaciona en la Tabla 5.17 recorre 13,48 km bordeando la unidad hidrográfica hasta descargar sus aguas en "Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101" a la altura de la Quebrada El Cano. Para esta unidad hidrográfica tampoco se identificaron puntos relevantes de captación de agua superficial.

Figura 5.22. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md) 1501-0105

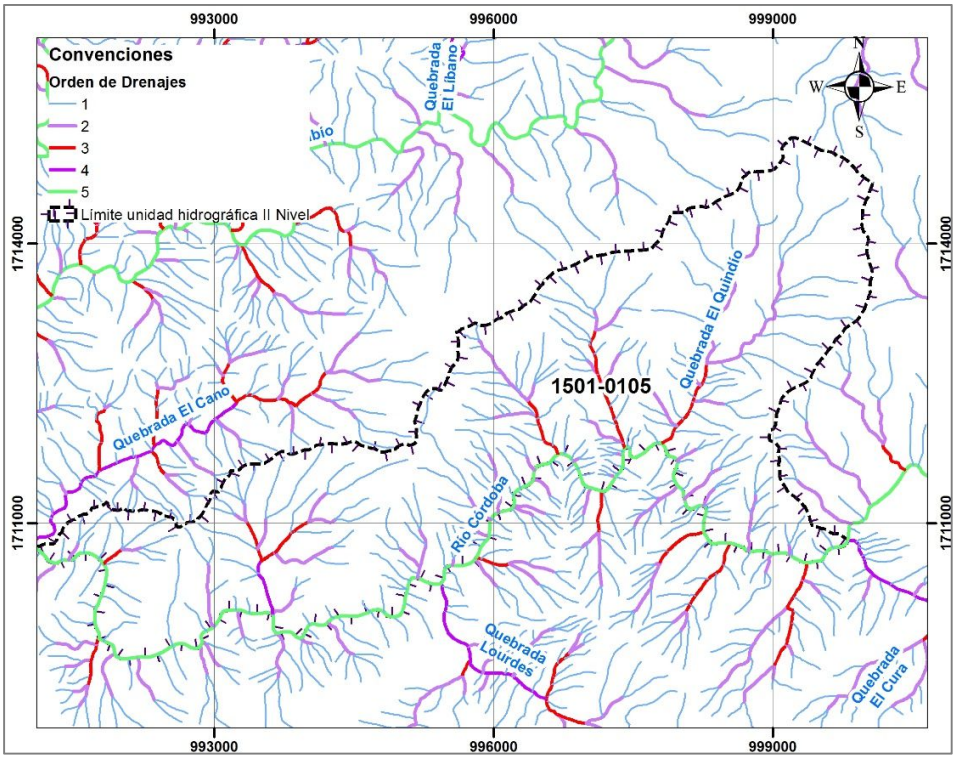


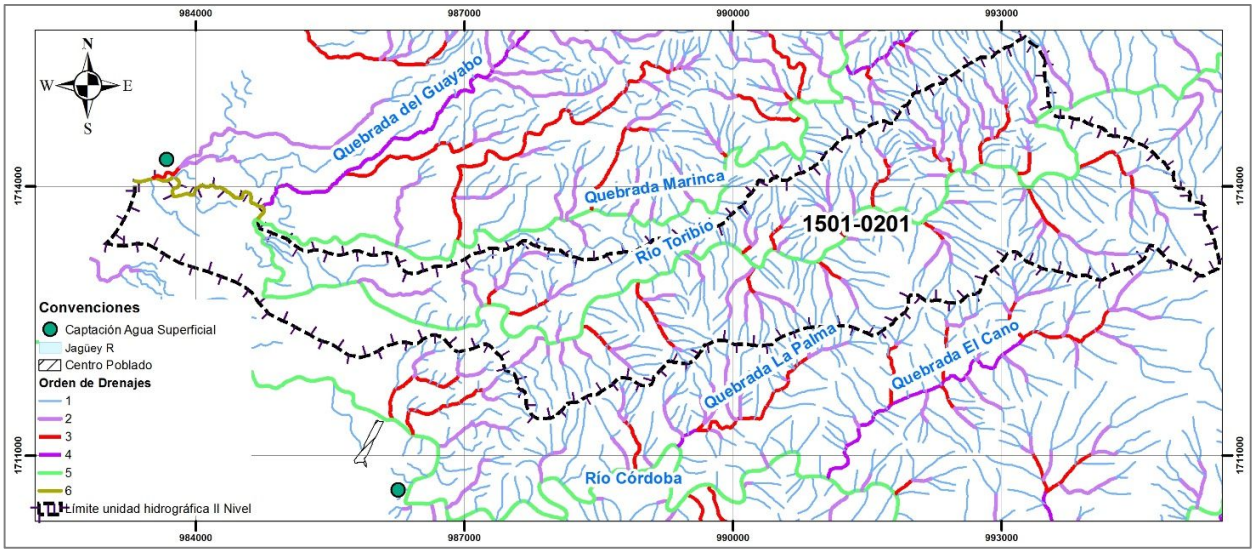
Tabla 5.17. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md) 1501-0105

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	84,4
2	15,88
3	4,48
4	0,61
5	13,48

5.2.2.6. *Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe-NSS (Cód. 1501-0201)*

Abarca el último tramo del Río Toribio hasta su desembocadura en el Mar Caribe, su superficie alcanza los 17,9 km^2 y se clasifica como una unidad hidrográfica "Muy Pequeña". Se ubica entre la vereda Jolonura y Mamonal, recorre 16,4 km en dirección Este-Oeste e ingresa a la unidad como una corriente de orden 5 y recoge a su paso las descargas de una red principalmente dendrítica, para convertirse en orden 6 a la altura de la Quebrada Marinca -tramo de 2,17 km-.

Figura 5.23. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe 1501-0201



Cabe señalar, como en la parte baja de la unidad hidrográfica la densidad de drenaje disminuye considerablemente y su patrón de desagüe cambia a rectangular con un escaso número de drenajes de orden 1. La Tabla 5.18 recopila los resultados obtenidos de manera posterior a la jerarquización de la red de drenaje con respecto a sus órdenes, nótese como las corrientes de orden 3 son las menos frecuentes en el sistema.

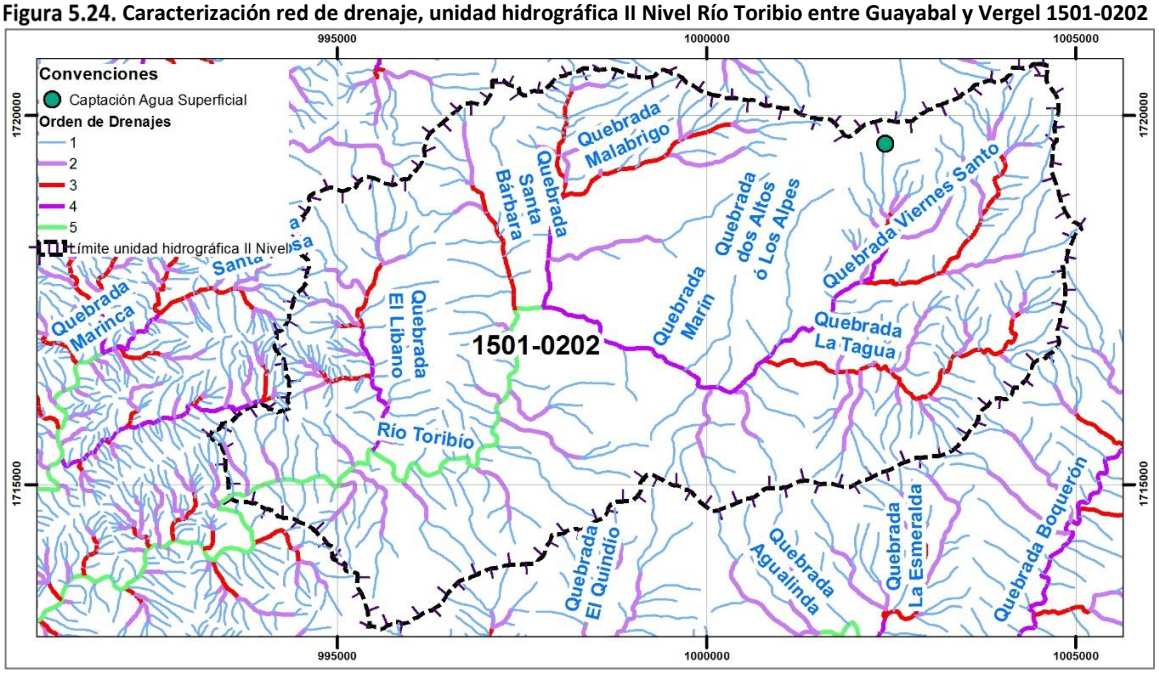
Tabla 5.18. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe 1501-0201

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	85,6
2	19,23
3	7,79
5	14,28
6	2,17

5.2.2.7. *Río Toribio entre Guayabal y El Vergel-NSS (Cód. 1501-0202)*

Se extiende 59,6 km^2 y es la unidad más grande de "Río Toribio 1501-02". Se localiza entre la vereda de Jolonura del municipio de Ciénaga y el Corregimiento de Minca en Santa Marta. Comprende una red de drenaje dendrítica y su cauce principal inicia con la Quebrada Viernes Santo que nace por encima de los 2622 msnm y recorre en un patrón de alineamiento meándrico 5,8 km, a su paso recoge las Quebradas Jueves Santo y Dos Altos o Los Alpes para dar lugar al Río Toribio. Este nace previo a la desembocadura de la Quebrada La Tagua como se muestra en la Figura 5.24, continúa en dirección Noreste-Suroeste, a su cauce se suman las quebradas Malabrigo -dónde pasa de orden 4 a 5-, Santa Bárbara y El Líbano para finalmente desaguar en la unidad hidrográfica "Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe 1501-0201".

Figura 5.24. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Toribio entre Guayabal y Vergel 1501-0202



En la parte alta de la unidad hidrográfica a una altitud de 2300 msnm -en el nacimiento de la Quebrada Jueves Santo- se localiza una captación de agua superficial que nutre a la red de acueducto. A continuación, se presenta la Tabla 5.19 que recopila la distribución de las corrientes al interior de la unidad hidrográfica distinguidas por órdenes, allí se evidencia como el Río Toribio alcanza un recorrido de 7,37 km en orden 5 y como los tributarios de orden 1 concentran la mayor parte de la longitud.

Tabla 5.19. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Toribio entre Guayabal y Vergel 1501-0202

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	147,46
2	34,24
3	16,83
4	9,90
5	7,37

5.2.2.8. *Quebrada Marinca-NSS (Cód. 1501-0203)*

La Quebrada Marinca se caracteriza por ser el principal tributario del Río Toribio, nace en los 991 msnm al costado Este de la unidad hidrográfica, recoge en primera instancia la corriente de la Quebrada Santa Rosa, para drenar en dirección Noreste-Suroeste en dirección al Mar Caribe, como se ve en la Figura 5.25. Continúa su recorrido alimentada por la Quebrada La Reserva y una intrincada red de corrientes dendríticas que sustentan su caudal, para recorrer finalmente 15,2 km, de los cuales 12,13 son de orden 5, como se recopila en la Tabla 5.20, para finalmente unirse con el Río Toribio y bordear el extremo Suroeste de la unidad hidrográfica unos 0,17 km.

Figura 5.25. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Marinca 1501-0203

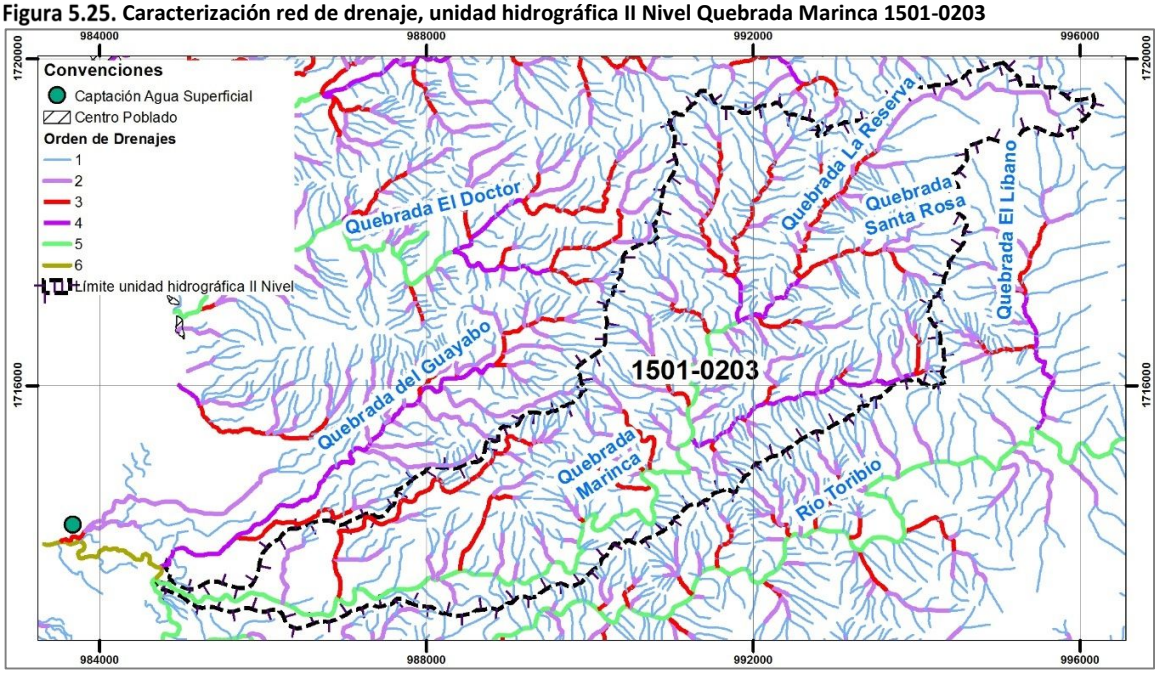


Tabla 5.20. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Marinca 1501-0203

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	129,08
2	31,41
3	19,42
4	4,94
5	12,13
6	0,17

5.2.2.9. *Quebrada El Guayabo-NSS (Cód. 1501-0204)*

Caracterizada por ser la unidad hidrográfica de II Nivel más pequeña del "Río Toribio 1501-02", la Quebrada El Guayabo nace prematuramente en los 613 msnm y su corriente es enteramente alimentada por drenajes dendríticos que configuran su patrón de alineamiento meándrico a lo largo de 7,4 km. Su cauce fluye en dirección Noreste-Suroeste y a pesar que la Quebrada El Guayabo recoge a la mayoría del flujo de la red de drenaje, se presentan al Noroeste de la unidad hidrográfica corrientes directas al Mar Caribe de corto alcance que fluyen en primera instancia de Norte a Sur y posteriormente se encauzan en una corriente al Oeste.

Finalmente, en la Tabla 5.21 se recopilan los valores de longitud para las corrientes en la unidad hidrográfica dónde se establece un recorrido de 1,98 km del Río Toribio en orden 6 cuando bordea el costado Suroeste, para finalmente desembocar al Mar Caribe.

Figura 5.26. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Guayabo 1501-0204

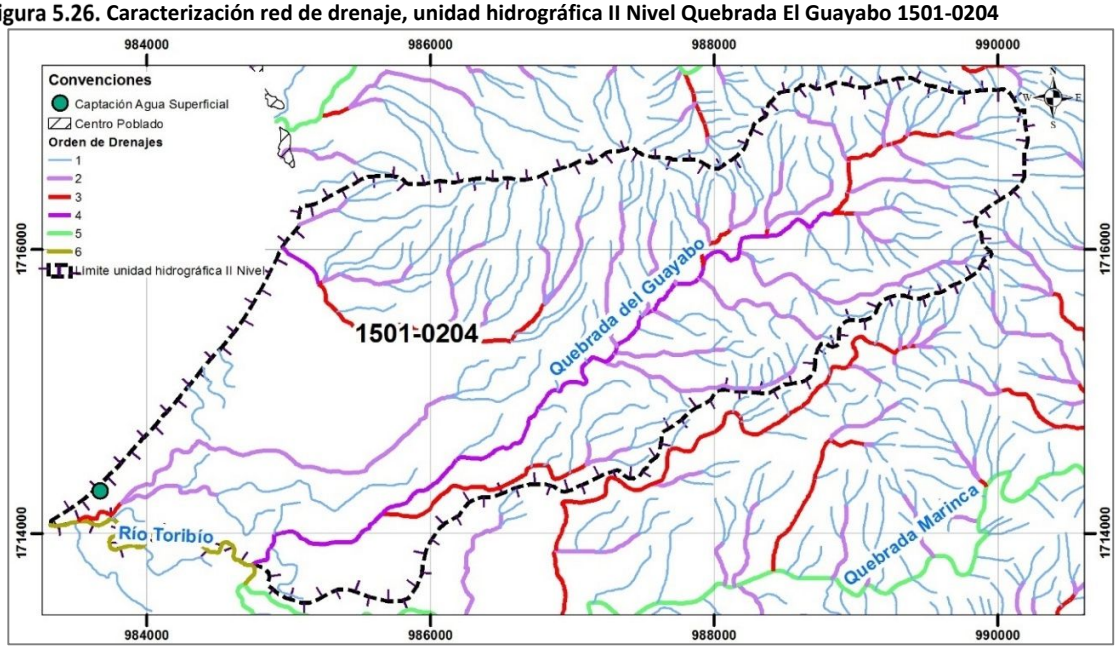


Tabla 5.21. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Guayabo 1501-0204

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	52,8
2	19,94
3	5,92
4	6,04
6	1,98

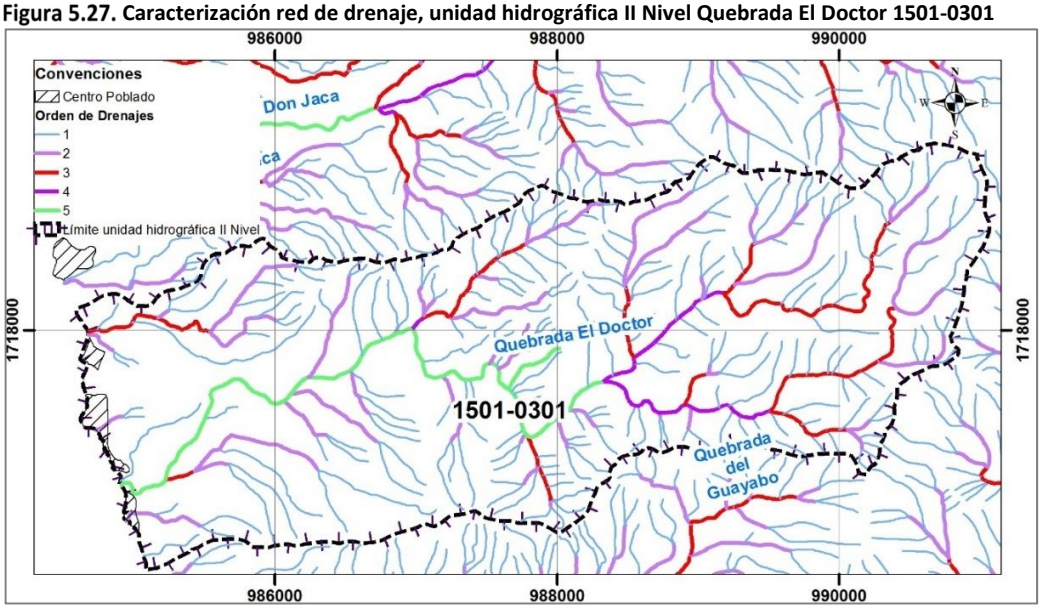
5.2.2.10. *Quebrada El Doctor-NSS (Cód. 1501-0301)*

Pertenece al conjunto de corrientes de corto alcance que descargan directamente al Mar Caribe con una longitud de 8,8 km, no obstante, presenta una caída altitudinal de 1040 m en una pendiente del 31%. La Quebrada El Doctor, recoge en su mayoría las corrientes dendríticas que integran la unidad hidrográfica, alcanza el orden 5 en sus últimos 5,58 km como se ve en la Tabla 5.22 y presenta un flujo meándrico. Como se observa en la Figura 5.27, la unidad hidrográfica presenta otras salidas directas al Mar Caribe de corto alcance que atraviesan el centro poblado Valle de Gaira.

Tabla 5.22. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Doctor 1501-0301

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	61,05
2	16,90
3	8,02
4	2,63
5	5,58

Figura 5.27. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Doctor 1501-0301



5.2.2.11. *Quebrada Don Jaca-NSS (Cód. 1501-0302)*

Tiene una extensión de 13,3 km^2 y tiene una dirección de flujo en sentido Noreste-Suroeste, su cauce principal -Quebrada Don Jaca- nace sobre los 962 msnm y recorre 7,6 km, nutrido por una red dendrítica se clasifica como una corriente meándrica de ondulaciones leves de orden 5. Atraviesa el Valle de Gaira y previo a su desembocadura al Mar Caribe recibe la corriente de Quebrada Seca, como puede verse en la Figura 5.28.

Figura 5.28. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Don Jaca 1501-0302

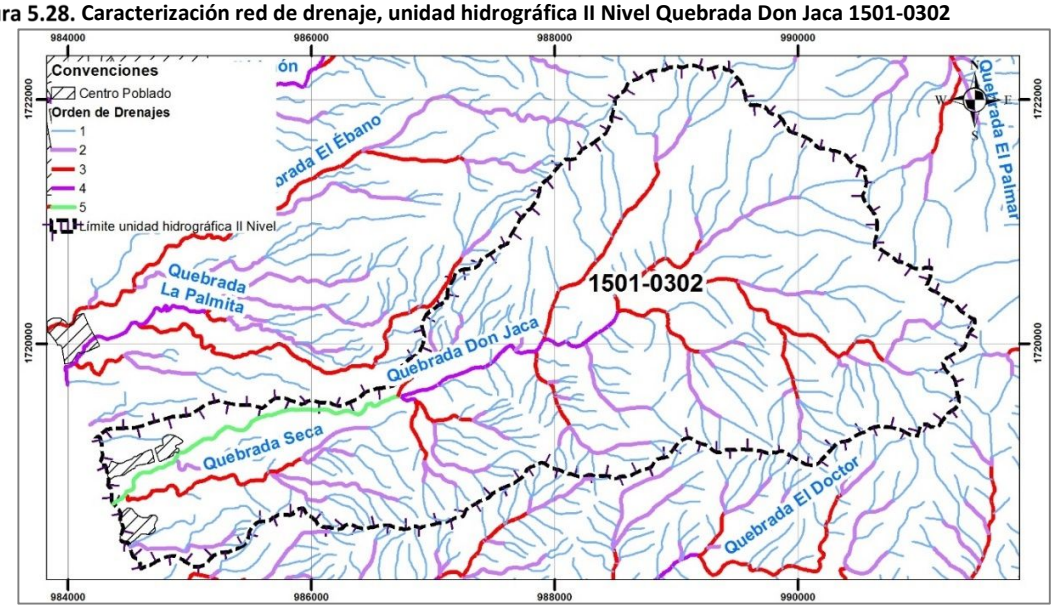


Tabla 5.23. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Don Jaca 1501-0302

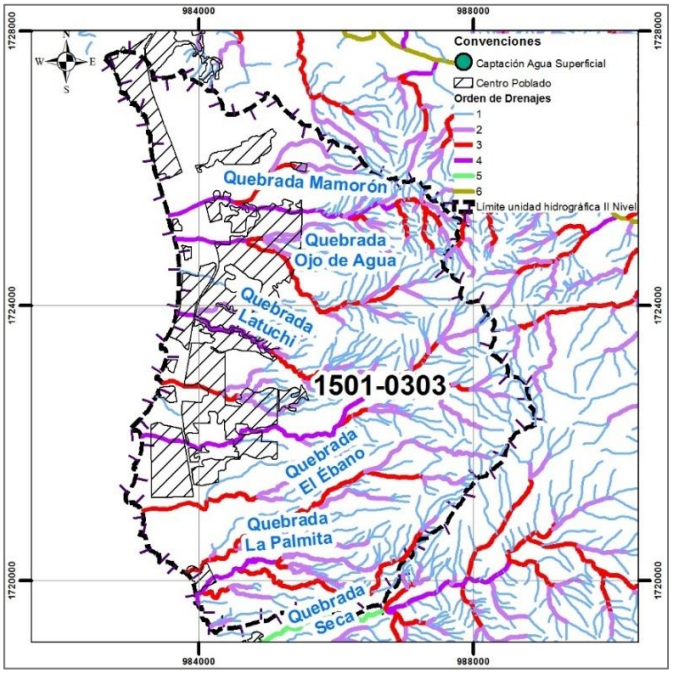
Orden	Longitud de drenajes (km)
1	59,69
2	14,76
3	11,18
4	2,27
5	2,79

En la Tabla 5.23, se consolidan los órdenes de drenaje y las longitudes acumuladas de las corrientes al interior de la unidad hidrográfica. Ahora bien, la Quebrada Don Jaca recorre 2,79 km como drenaje de orden 5 y 2,27 km previos como orden 4. Nótese que la red se concentra en drenajes de primer orden, establece así una buena relación entre los eventos de precipitación y la evacuación de la escorrentía.

5.2.2.12. *Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe-NSS (Cód. 1501-0303)*

Intervenida en gran parte de su extensión por el centro poblado Valle de Gaira, se ubica la unidad hidrográfica de II Nivel subsiguiente de la Quebrada El Ébano, ocupa una superficie de 31,6 km^2 y presenta varios cuerpos de agua que desembocan al Mar Caribe como la Quebrada Mamorón, El Totumo, Latuchí, El Ébano, La Palmita, entre otros. Sin embargo, el cauce principal ha sido estimado como la Quebrada El Ébano, debido a que presenta una de las mayores longitudes -6,9 km- como se aprecia en la Figura 5.29.

Figura 5.29. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe 1501-0303



La Tabla 5.24 hace una recopilación de la jerarquización de la red de drenaje, discriminada por órdenes, se tienen 12,59 km en orden 4 para las quebradas que descargan directamente al Mar Caribe -previamente mencionadas- excepto El Ébano que presenta orden 3.

Tabla 5.24. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe 1501-0303

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	98,04
2	38,07
3	22,74
4	12,59

5.2.2.13. *Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)-NSS (Cód. 1501-0401)*

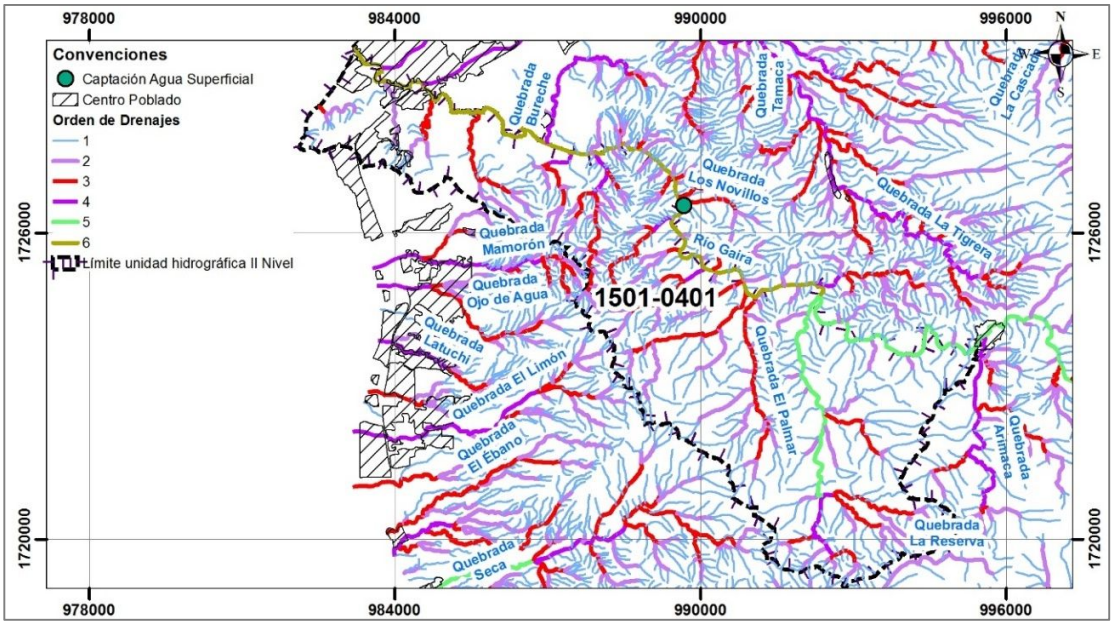
Se ubica en la margen izquierda del Río Gaira desde el centro poblado de Minca, ocupa un área de 40,9 km^2 y se orienta de Sureste a Noroeste. El cauce principal inicia en la Quebrada Las Mercedes a una elevación de 1081 msnm al extremo Sureste de la unidad hidrográfica, fluye en un patrón meándrico y recorre aproximadamente 8 km hasta verter sus aguas al Río Gaira que recoge la red de drenaje dendrítica. Este ingresa a la unidad hidrográfica como una corriente de orden 5 y posterior a la Quebrada Las Mercedes toma el orden 6, continúa con su recorrido cerca de 14,36 km -como se establece en la Tabla 5.25 en dirección a la ciudad de Santa Marta-El Rodadero y la atraviesa aproximadamente 2,5 km hasta desembocar en el Mar Caribe.

Tabla 5.25. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi) 1501-0401

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	168,1
2	40,94
3	26,53
4	4,26
5	10,19
6	14,36

Nótese en la Figura 5.30 como en inmediaciones de la ciudad de Santa Marta la densidad de drenajes y su patrón de flujo se altera, puede deberse a las intervenciones de los flujos superficiales; es así como la respuesta de la unidad hidrográfica puede verse alterada frente a eventos de precipitación.

Figura 5.30. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi) 1501-0401



5.2.2.14. *Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca-NSS (Cód. 1501-0402)*
Incluye el nacimiento del Río Gaira en el Corregimiento de Minca a los 2301 msnm, dónde se nutre una captación de aguas superficial como se aprecia en la Figura 5.31. Esta unidad hidrográfica abarca 43,7 km^2, se orienta en sentido Este-Oeste y es drenada por una red dendrítica que alimenta su cauce principal -Río Gaira- mientras ondula en un patrón meándrico.

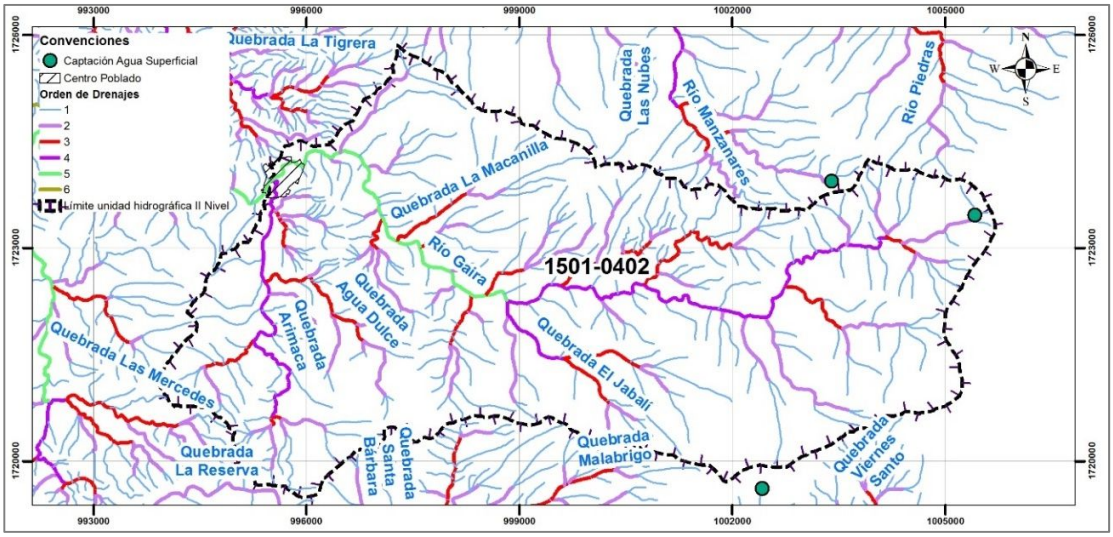
El Río Garia recorre aproximadamente 11,7 km hasta la desembocadura de la Quebrada El Jabalí, dónde pasa de orden 4 a 5 y posteriormente recibe la corriente de la Quebrada La Macanilla, llegando al centro poblado del Corregimiento de Minca a la altura de la desembocadura de la Quebrada Arimaca. Recorre en total 14,2 km hasta que descarga sus aguas en las unidades hidrográficas “1501-0401” y “1501-0403”.

Presenta una densidad de drenaje “Muy alta”, distribuida de manera homogénea en la unidad hidrográfica, su respuesta a los eventos de precipitación estaría mediada por las corrientes de orden 1 y 2.

Tabla 5.26. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca 1501-0402

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	116,2
2	33,27
3	14,98
4	12,77
5	5,24

Figura 5.31. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca 1501-0402



5.2.2.15. *Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)-NSS (Cód. 1501-0403)*
Corresponde a la margen derecha -en dirección aguas abajo- del tramo del Río Garia comprendido desde el centro poblado de Minca, comparte el cauce del río con la unidad hidrográfica "1501-0401". Se extiende 29,2 km^2 y tiene una orientación en sentido Sureste-Noroeste que permite a su red de drenaje dendrítica desembocar sus aguas directamente al Mar Caribe a la altura de El Rodadero-Santa Marta; esta unidad hidrográfica presenta un grado alto de intervención al costado Noroeste debido a estos asentamientos, como se muestra en la Figura 5.32.

Su cauce principal inicia al Noreste de El Rodadero, con una corriente de orden 4 que se interna en el asentamiento unos 4,3 km y debido a su corto alcance en ambientes urbanos su patrón varía de meándrico leve a rectilíneo, para posteriormente desembocar en el Río Gaira hasta su descarga en el Mar Caribe, este flujo se estima en 5,7 km (ver Figura 5.32).

La Tabla 5.27 recopila la longitud de la red de drenaje de acuerdo a los órdenes al interior de la unidad hidrográfica, obsérvese como la mayoría de las corrientes se concentran en el orden 1 y como el Río Gaira entre sus tramos 5 y 6 bordea la unidad cerca de 20 km.

Figura 5.32. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) 1501-0403

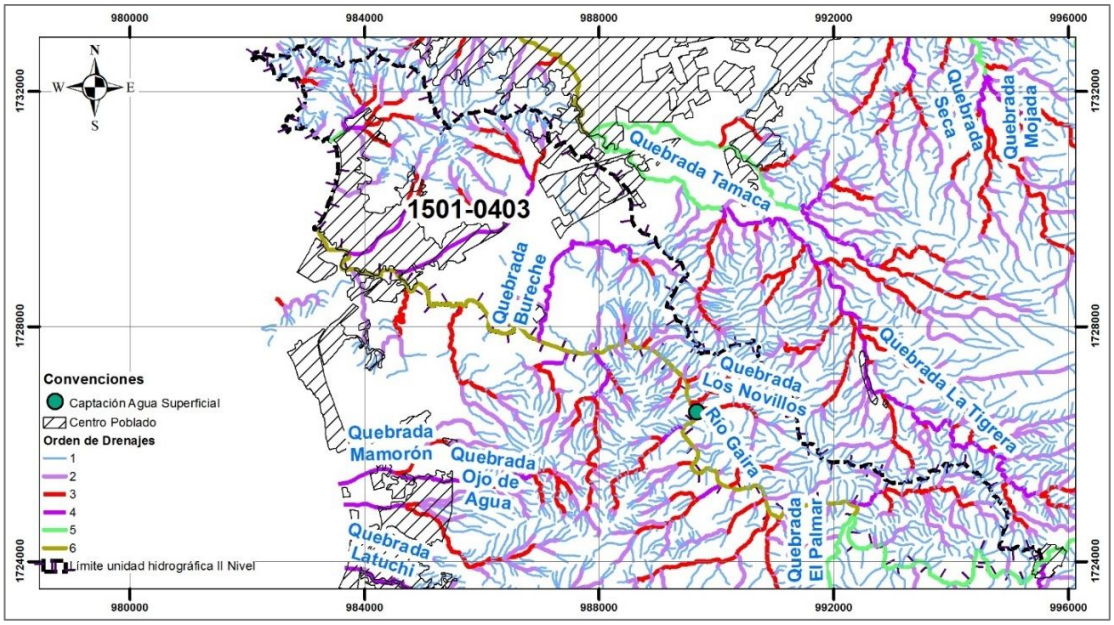


Tabla 5.27. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) 1501-0403

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	120,1
2	29,75
3	16,25
4	10,03
5	5,75
6	14,37

5.2.2.16. *Río Manzanares en Santa Marta-NSS (Cód. 1501-0501)*

Obedece a la cuenca baja del Río Manzanares, en su recorrido por la ciudad de Santa Marta hasta su llegada al Mar Caribe, se extiende 45,8 km^2 de los cuales aproximadamente 21 km^2 se encuentran urbanizados. Su cauce principal -Río Manzanares- ingresa a la unidad hidrográfica como corriente de orden 6 en cercanías al barrio Timayui, después de recibir la corriente de la Quebrada Seca.

Continúa su recorrido hacia el Oeste y cruza la Vía Alterna al Puerto para adentrarse en los barrios Los Trupillos, El Bosque, Mamatoco, Las Malvinas y la Urbanización Las Vegas -paralelo a la Calle 29 o Avenida El Río- hasta encontrarse con la quebrada Tamacá a la altura del barrio Villa Alejandría, dónde pasa a ser una corriente de orden 7, posterior al cruce de la carrera 4 descarga sus aguas al Mar Caribe entre el barrio Bellavista y el Batallón José María Córdoba.

El Río Manzanares presenta grandes ondulaciones mientras serpentea por la ciudad en un patrón meándrico, no obstante, su cauce se ve altamente intervenido como se observa en la Figura 5.33,

dónde los asentamientos han invadido el lecho del río desequilibrando las dinámicas hidrológicas y disminuyendo la oferta hídrica.

Figura 5.33. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Manzanares en Santa Marta 1501-0501

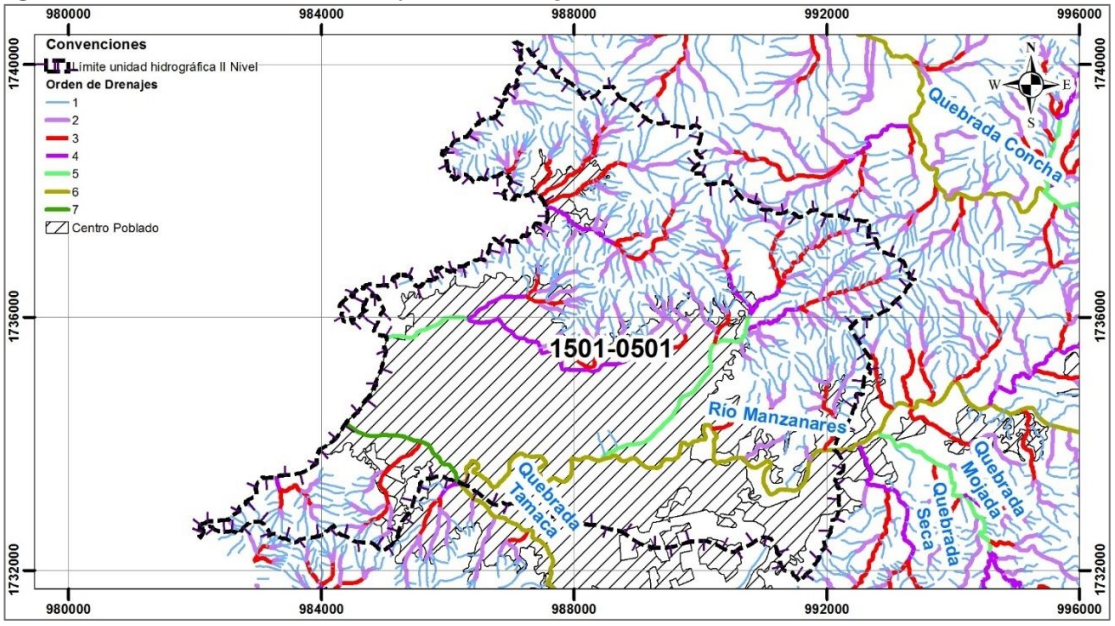


Figura 5.34. Cruce Río Manzanares y Carrera 2, Santa Marta, vista Este-Oeste.



Fuente: Google Earth (2012)

La unidad hidrográfica presenta una densidad alta de drenajes, especialmente al Norte, dónde se concentra las corrientes de orden 1 que alcanzan una longitud de 124 km, como se observa en la Tabla 5.28; el Río Manzanares recorre unos 12,3 km antes de su llegada al mar de los cuales 10,15 km fluye en orden 6, para finalmente alcanzar un trayecto de 2,19 km como corriente de orden 7.

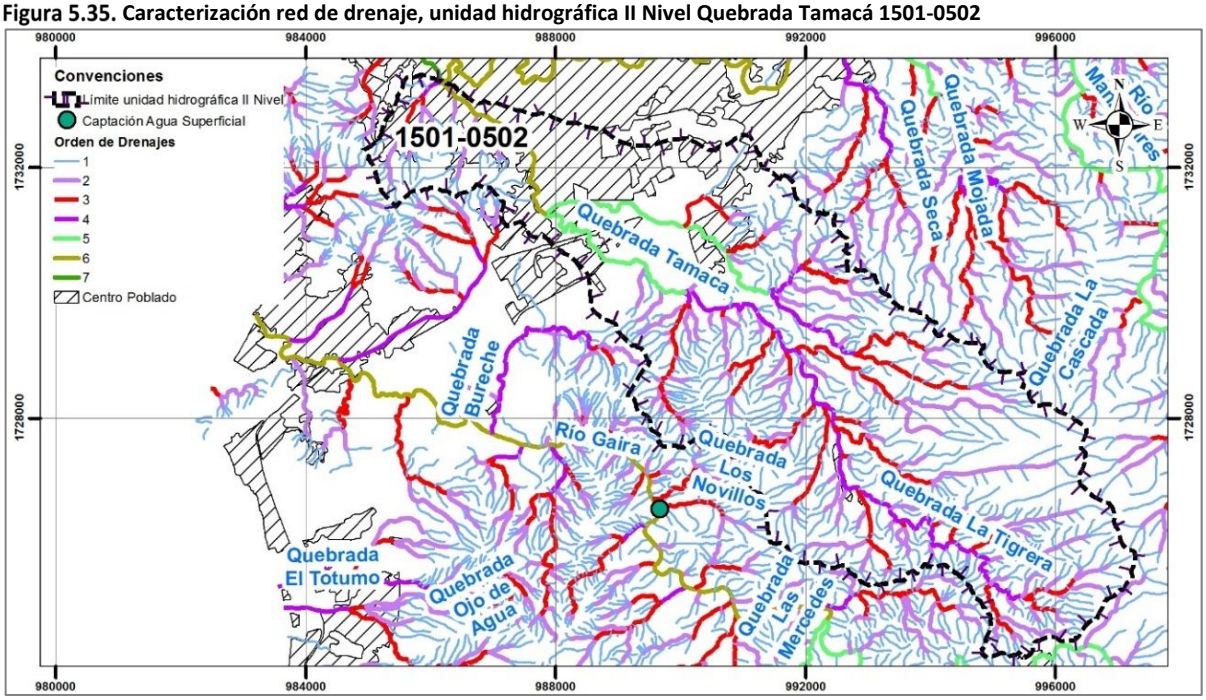
Tabla 5.28. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares en Santa Marta 1501-0501

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	124,0
2	35,87
3	20,61
4	8,54
5	5,08
6	10,15
7	2,19

5.2.2.17. *Quebrada Tamacá-NSS (Cód. 1501-0502)*

Ubicada al Sureste de la ciudad de Santa Marta, la Quebrada Tamacá vierte al Río Manzanares y se presenta como uno de sus principales tributarios. La unidad hidrográfica se extiende 42,7 km^2 y tiene una orientación de Sureste a Noroeste, su red de drenaje se caracteriza por presentar una densidad Muy alta en un patrón dendrítico, facilitada por una pendiente Fuerte y un cauce principal meándrico con ángulos agudos, como se observa en la Figura 5.35

Figura 5.35. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Tamacá 1501-0502



Su cauce principal inicia con el nacimiento de la Quebrada La Tigrera en la cabecera más alejada de la unidad hidrográfica sobre los 1097 msnm al extremo Sureste, recorre aproximadamente 6,5 km

hasta llegar al centro poblado La Tigrera, para posteriormente recoger la corriente de la Quebrada La Danta. Continúa su recorrido hasta que desemboca en la Quebrada Tamacá en dirección a la ciudad de Santa Marta, esta última se interna en el casco urbano recorriéndolo aproximadamente 4,21 km hasta desembocar en el Río Manzanares en la Comuna 1 a la altura del cruce entre la Calle 30 la Carrera 14 en la ciudad de Santa Marta. En la Tabla 5.29 se relacionan las longitudes de la red de drenaje de acuerdo con los órdenes jerárquicos, obsérvese que la Quebrada Tamacá recorre 3,20 km como una corriente de orden 6 y su dinámica hidrológica está fundamentalmente influenciada por drenajes de orden 1.

Tabla 5.29. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Tamacá 1501-0502

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	162,8
2	50,01
3	26,94
4	13,20
5	8,16
6	3,20

5.2.2.18. *Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta-NSS (Cód. 1501-0503)*
Comprende el nacimiento del Río Manzanares en la Cuchilla de San Lorenzo -localizada en la Figura 5.36, se extiende 84,5 km^2 de Sureste a Noroeste y está constituida por una red de drenaje dendrítica como se muestra en la Figura 5.36.

En cercanías al nacimiento del Río Manzanares se localiza una captación de aguas que abastece el acueducto en área rural del Corregimiento de Bonda, se ubica en los 2000 msnm sobre una corriente tributaria de orden 1. Su recorrido inicia en los 1944 msnm y recoge las corrientes dendríticas como la Quebrada Las Nubes, El Cacao, La Cascada y Onaca, esta última se nutre de una segunda ramificación al interior de la unidad hidrográfica -al Noreste- que inicia con la quebrada La Cascada, Toma Andrea, Miramar, La Victoria, Cuaco, Manzanillo y Esperanza. El Río Manzanares continúa en dirección Noroeste, recoge las aguas de la Quebrada Balandra y después de 17 km desde su nacimiento se encuentra con el centro poblado de Bonda, dónde la quebrada Las Palmitas y Matogiro o Donama marcan el punto dónde el río cambia su dirección de flujo hacia el Oeste y lo determinan como corriente de orden 6 para recorrer 4,93 km -como se ve en la Tabla 5.30- hasta llegar a la ciudad de Santa Marta, recorre en su totalidad 22,1 km a lo largo de la unidad hidrográfica en un patrón méandrico de ondulaciones variables.

Figura 5.36. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta 1501-0503

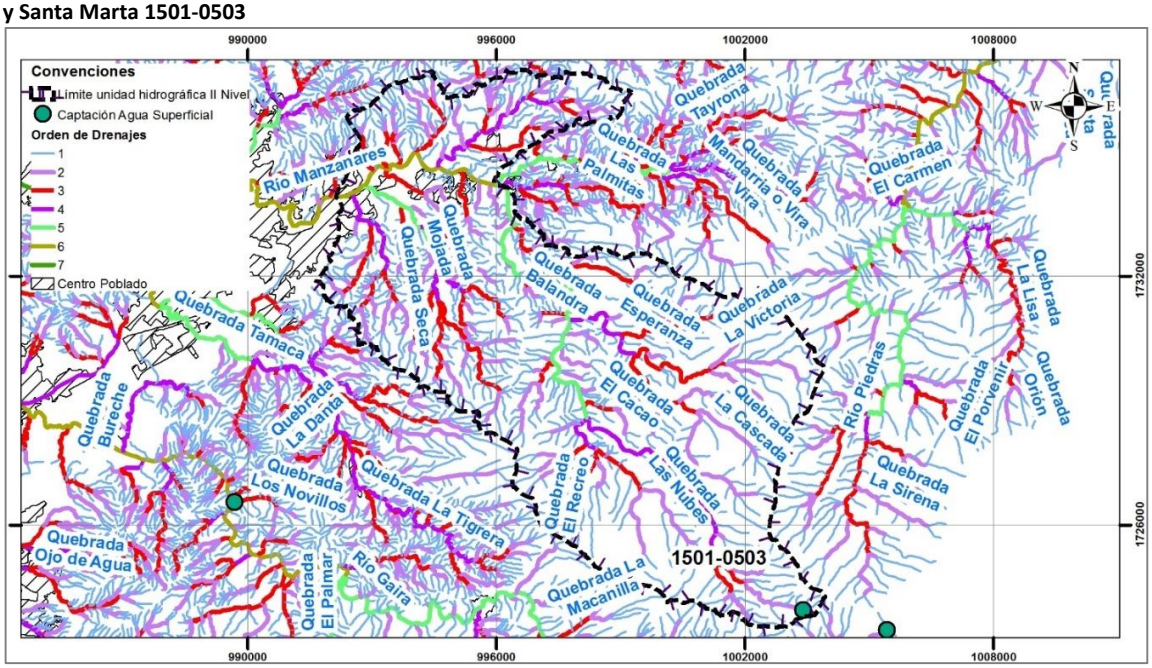


Tabla 5.30. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta 1501-0503

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	259,8
2	84,50
3	47,88
4	19,41
5	11,88
6	4,93

5.2.2.19. *Quebrada Matogiro (Donama)-NSS (Cód. 1501-0504)*

Esta corresponde a una de las corrientes más importantes que vierten al Río Manzanares a la altura del centro poblado de Bonda, tiene un área de 29,2 km^2 y su red de drenaje fluye en patrón dendrítico, distribuida de manera homogénea por la superficie de la unidad hidrográfica. Su cauce principal -Quebrada Matogiro (Donama)- nace en los 806 msnm y serpentea en dirección Este-Oeste en un patrón meándrico, mientras recoge la quebrada Mandarria y Santo Domingo. Recorre aproximadamente 7 km hasta el centro poblado Curvalito, para luego adentrarse al asentamiento de Bonda, hasta su desembocadura en el Río Manzanares. Al igual que la quebrada Matogiro, la quebrada Las Palmitas desemboca directamente al Río Manzanares y se alimenta de una red secundaria al interior de la unidad hidrográfica, como se observa en la Figura 5.37.

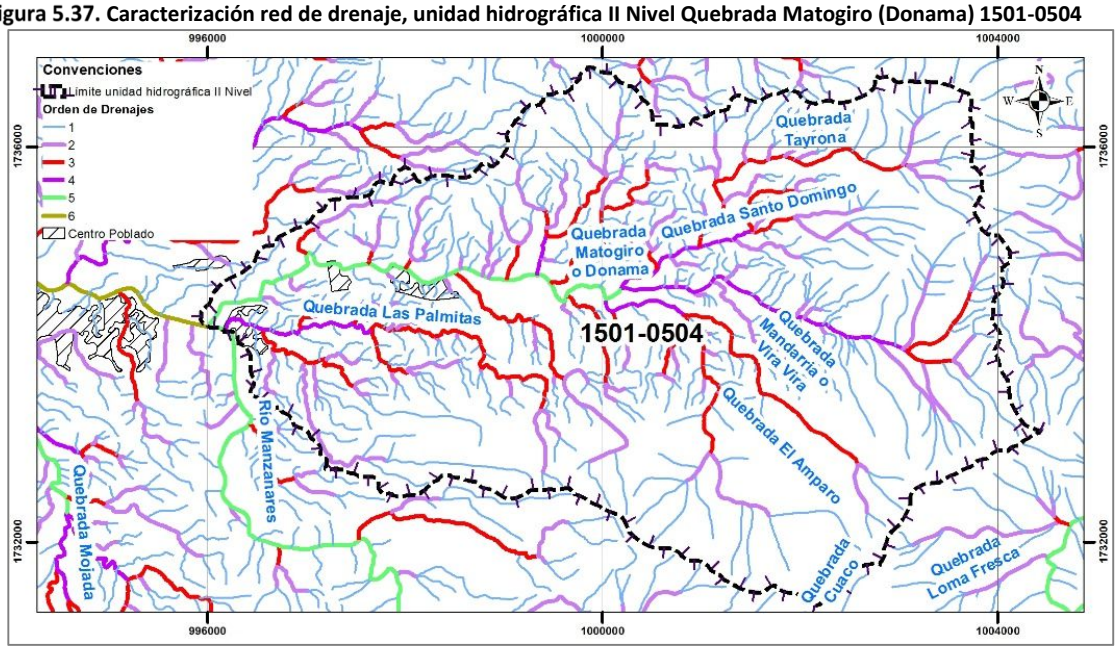
En la Tabla 5.31 se presenta un resumen de las longitudes de las corrientes, agrupadas según el orden jerárquico al que pertenecen, se puede observar como la red se concentra en el orden 1 y

como la Quebrada Matogiro y un tramo del Río Manzanares que bordea la unidad hidrográfica drenan 5,47 km como corrientes de orden 5.

Tabla 5.31. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Matogiro (Donama) 1501-0504

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	118,9
2	36,99
3	23,96
4	7,93
5	5,47

Figura 5.37. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Matogiro (Donama) 1501-0504



5.2.2.20. *Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe-NSS (Cód. 1501-0701)*

Se extiende 36,3 km^2 al extremo Noroeste de la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 1501" y presenta simultáneas salidas al Mar Caribe de corto alcance, sin embargo, su corriente principal es la Quebrada Gayraca ubicada al costado Este de la unidad hidrográfica como se ve en la Figura 5.38, recorre 4,1 km desciende desde los 690 msnm y se nutre de una red dendrítica de una baja densidad para desembocar en el Mar Caribe a la altura de la Vía al Parque Tayrona en la playa Neguanje. La unidad hidrográfica tiene el orden 4, de acuerdo a la jerarquización de su red de drenaje que se recopila en la Tabla 5.32.

Figura 5.38. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe 1501-0701

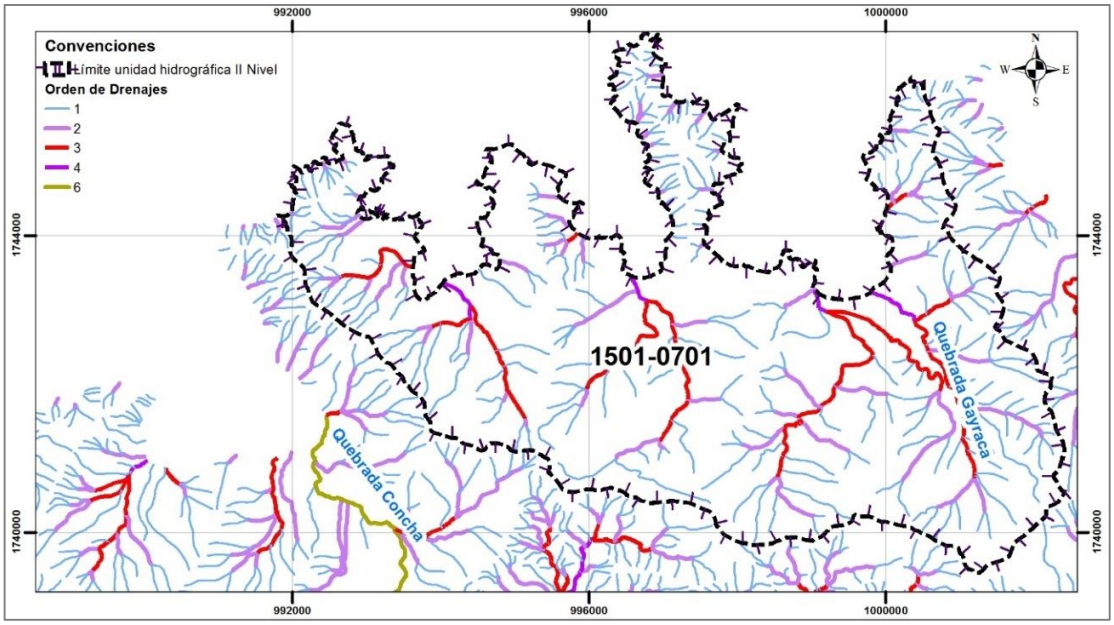


Tabla 5.32. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe 1501-0701

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	93,67
2	22,41
3	17,45
4	2,20

5.2.2.21. *Quebrada Cinto y otros directos al Caribe-NSS (Cód. 1501-0702)*

Se extiende 24,5 km^2 sobre el Parque Tayrona, se orienta en dirección Sur-Norte y presenta una red dendrítica que alimenta en gran parte a la corriente Quebrada El Cinto -cauce principal- que desciende 537 m desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Mar Caribe en la playa El Cinto, presenta un cauce sinuoso -como se ve en la Figura 5.39 y alcanza el orden 5 en sus últimos 0,16 km, como se evidencia en la Tabla 5.33.

Figura 5.39. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Cinto y otros directos al Caribe 1501-0702

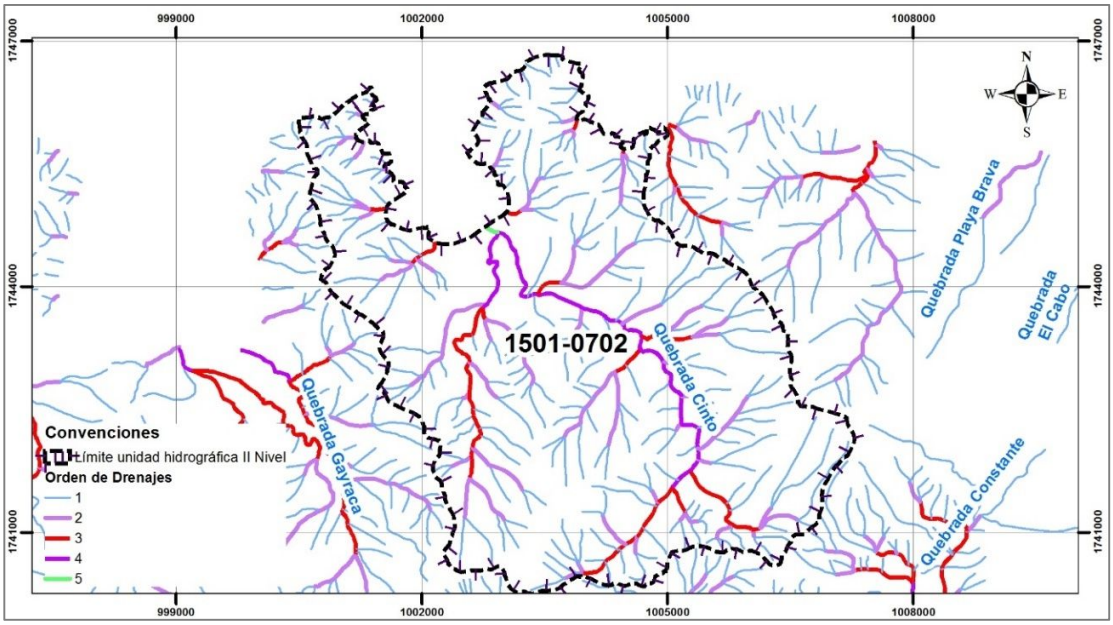


Tabla 5.33. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Cinto y otros directos al Caribe 1501-0702

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	82,00
2	20,80
3	8,32
4	6,23
5	0,16

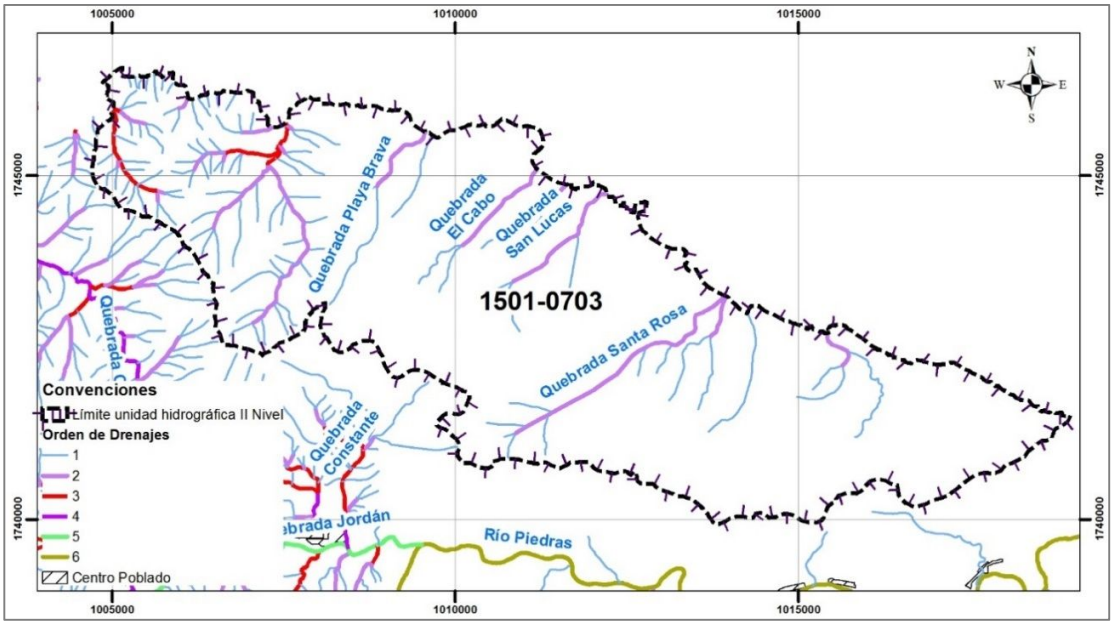
5.2.2.22. *Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe-NSS (Cód. 1501-0703)*

Se caracteriza por presentar una red de drenaje de baja densidad con diversos cuerpos de agua independientes que drenan directamente al Mar Caribe; entre estos se encuentran las quebradas Santa Rosa, San Lucas, El Cabo, Playa Brava, entre otros. A pesar de ser una corriente de corto alcance, la Quebrada Santa rosa fue determinada como el cauce principal de la unidad hidrográfica. Nace a 377 msnm y recorre 4 km en un patrón meándrico. Al interior de la unidad hidrográfica la red de drenaje reticular alcanza el orden 3 con 3,23 km, en una red secundaria al costado Oeste, como se ve en la Figura 5.40. Alcanza el orden 3, como se evidencia en la Tabla 5.34.

Tabla 5.34. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe 1501-0703

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	50,9
2	17,11
3	3,23

Figura 5.40. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe 1501-0703



5.2.2.23. *Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe-NSS (Cód.1501-0801)*

Ubicada entre los corregimientos de Bonda y Guachaca, se ubica la unidad hidrográfica de II Nivel subsiguiente con 81,6 km^2, comprende el río Piedras desde la desembocadura de la Quebrada El Carmen hasta su descargue en el Mar Caribe. Este ingresa a la unidad hidrográfica como una corriente de orden 6 y comienza a ondular en dirección Suroeste-Noreste como se observa en la Figura 5.41. Su red de drenaje se concentra en al Suroeste de la unidad hidrográfica en los órdenes 1, 2 y 6, como se muestra en la Tabla 5.35.

El Río Piedras comienza su recorrido al interior de la unidad hidrográfica desde los 409 msnm, desciende en un patrón meándrico y en proximidades al Mar Caribe dónde la pendiente tiende a ser plana presenta trayectos trenzados y grandes acumulaciones de sedimentos, capta las corrientes de la Quebrada Santa Teresa, Paloquemao, Manzanares y La Cruz, recorre finalmente 23,9 km y a su paso abastece las poblaciones los centros poblados de La Revuelta, El trompito y Cañaveral (Agua Fría).

Figura 5.41. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe 1501-0801

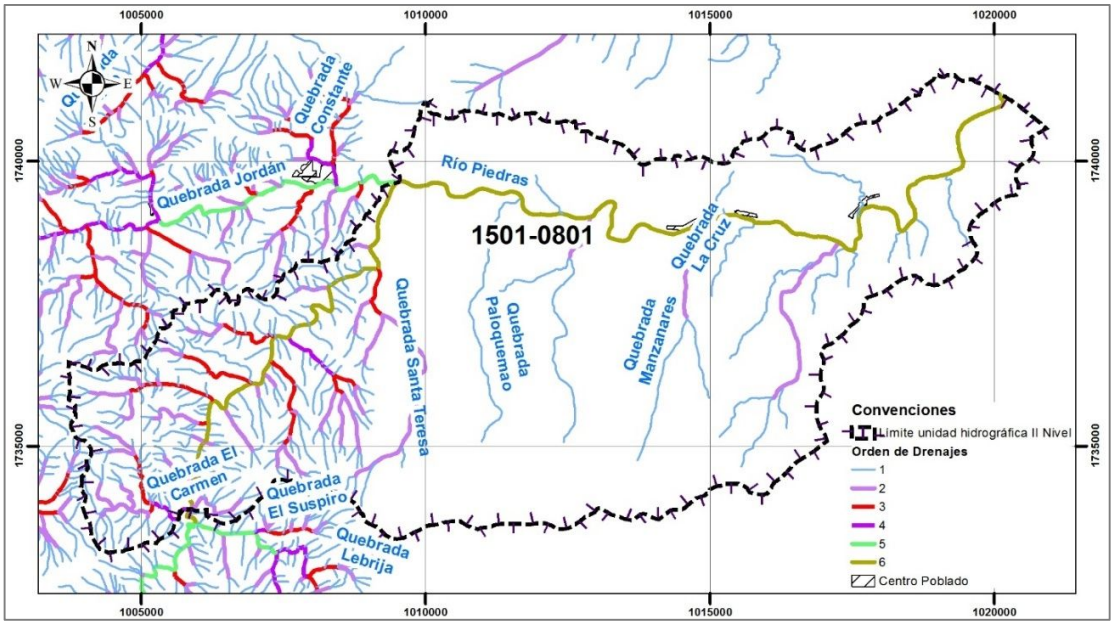


Tabla 5.35. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe 1501-0801

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	107,6
2	29,61
3	9,13
4	1,99
6	23,90

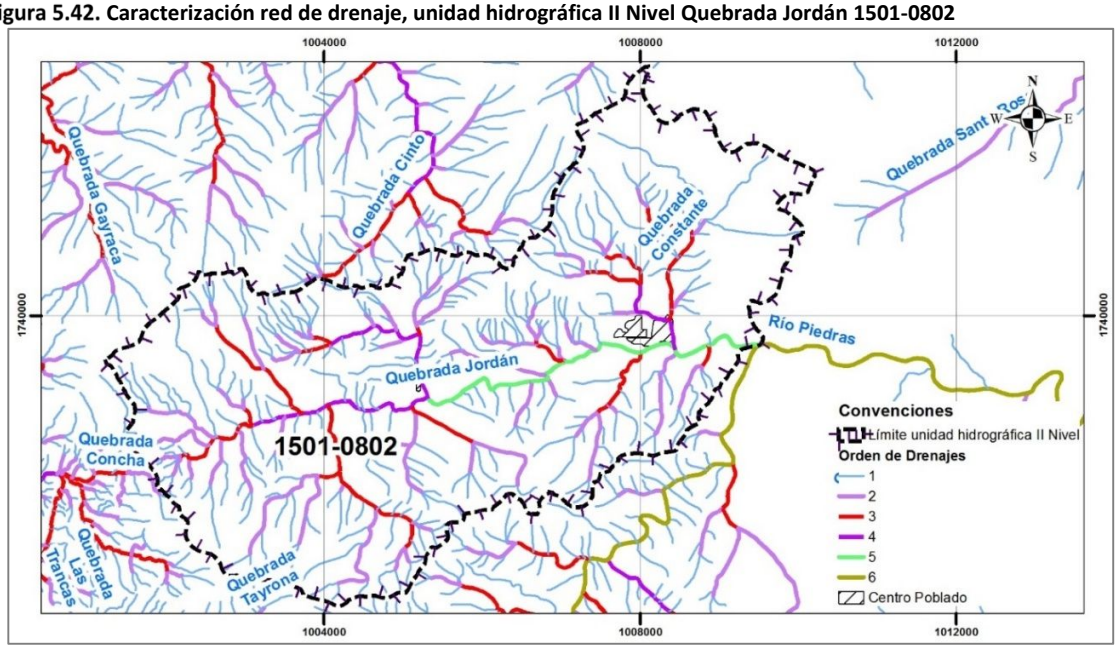
5.2.2.24. *Quebrada Jordán-NSS (Cód. 1501-0802)*

Ubicada a la margen izquierda del Río Piedras, se extiende la Quebrada Jordán entre el Corregimiento de Bonda y Guacha unos 29,7 km^2, su cauce principal nace sobre los 462 msnm y recorre en un patrón dendrítico 3,8 km aproximadamente, para encontrarse con el centro poblado Mejico, dónde pasa a de ser una corriente de orden 4 a 5. Una red de drenaje dendrítica alimenta su cauce al ser la única ruta de salida de la unidad hidrográfica, continúa su recorrido para recibir a la Quebrada Constante a la altura del centro poblado Calabazo, finalmente desemboca en el Río Piedras después de un recorrido de 8,8 km, de los cuales 4,95 obedecen al orden 5, como lo recopila la Tabla 5.36 y como se puede observar en la Figura 5.42

Tabla 5.36. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada Jordán 1501-0802

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	97,27
2	28,66
3	12,89
4	5,74
5	4,95

Figura 5.42. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada Jordán 1501-0802



5.2.2.25. *Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro-NSS (Cód. 1501-0803)*
Se extiende 34,8 km^2 y abarca el nacimiento del Río Piedras en la Cuchilla de San Lorenzo –como se ve en la Figura 5.43-, se orienta en sentido Sur-Norte y su red de drenaje dendrítica alimenta el cauce principal -Río Piedras- que nace en los 2305 msnm al extremo Sur de la unidad hidrográfica y ondula en un patrón meándrico como se muestra en la Figura 5.43. Recorre 29,35 km hasta recibir la corriente de la Quebrada La Sirena, continua su recorrido hacia el Norte, mientras que suma las corrientes de las Quebrada Alicia -dónde cambia de orden 3 a 4-, Villa Nueva, Loma Fresca y Palacios, hasta abandonar la unidad hidrográfica previo a la desembocadura de la quebrada La Lisa.

La unidad hidrográfica recibe el orden 5, gracias a los 8,44 km que recorre el Río Piedras, como se relaciona en la Tabla 5.37, para un recorrido total de 13,9 km que implican un descenso altitudinal de 1914 m.

Figura 5.43. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro 1501-0803

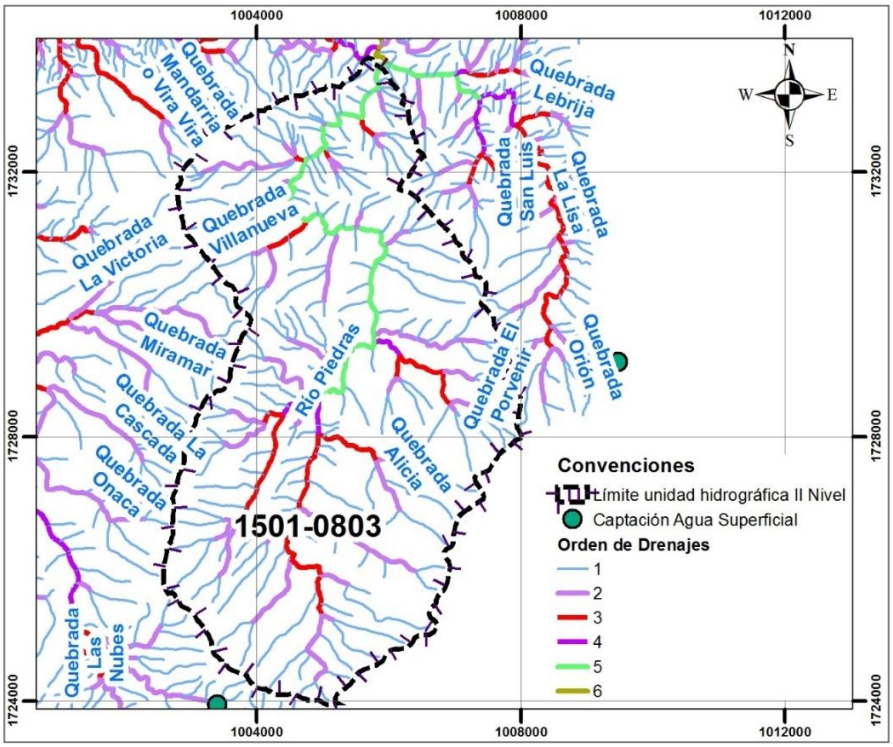


Tabla 5.37. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro 1501-0803

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	95,74
2	22,72
3	10,03
4	2,01
5	8,44

5.2.2.26. *Quebrada La Lisa-NSS (Cód. 1501-0804)*

Se presenta como la unidad hidrográfica más pequeña de "Río Piedras 1501-08", su área no supera los 14,8 km^2 y su cauce principal recorre 8,7 km en total y alcanza el orden 6 en sus últimos 0,34 km como se ha relacionado en la Tabla 5.38. Al interior de la unidad hidrográfica se ubica una captación de aguas superficial -próxima al nacimiento de la quebrada Orión- sobre los 1700 msnm en el corregimiento de Bonda que alimenta un sistema de acueducto veredal.

La quebrada La Lisa nace a los 1908 msnm y comienza a recoger las quebradas El Porvenir, Orión y Lebrija, hasta este punto ha recorrido 5,7 km aproximadamente y ya ha alcanzado de orden 4. Posteriormente las Quebradas San Luis y El Suspiro alimentan su corriente -en este punto la corriente pasa de orden 4 a 5-, hasta su desembocadura en el Río Piedras -que le otorga el orden 6

a la unidad hidrográfica-. Finalmente, el cauce principal desemboca en la unidad hidrográfica *"1501-0801"* después de un recorrido meándrico a través de una red dendrítica de "Muy alta" densidad como se ve en la Figura 5.44.

Figura 5.44. Caracterización red de drenaje, unidad hidrográfica II Nivel Quebrada La Lisa 1501-0804

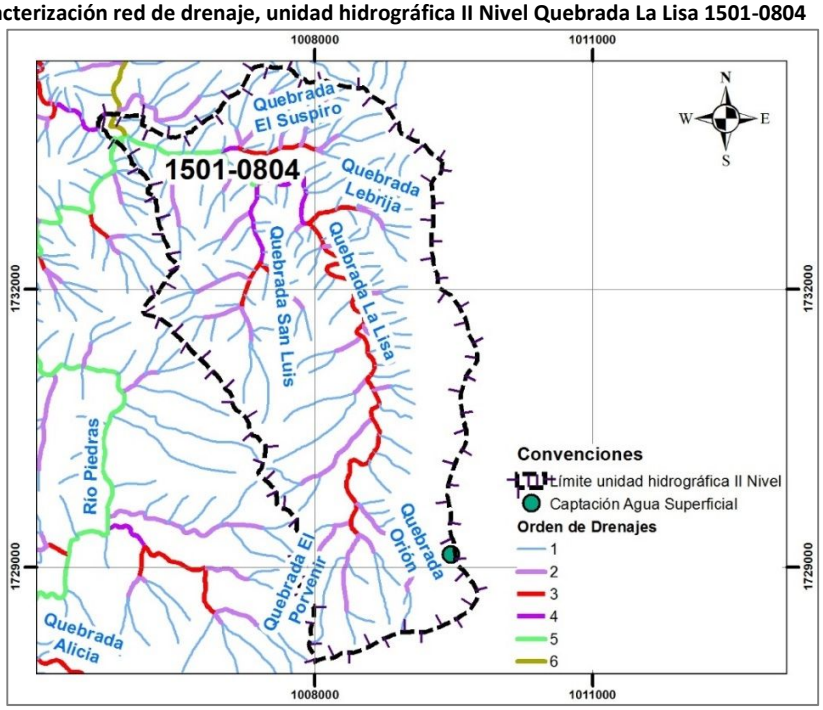


Tabla 5.38. Relación longitud de drenajes y órdenes método de Strahler, Quebrada La Lisa 1501-0804

Orden	Longitud de drenajes (km)
1	47,8
2	11,63
3	7,04
4	2,54
5	1,94
6	0,34

5.3. Caracterización de unidades abastecedoras de centros poblados.

En este capítulo se realiza el resumen de las diferentes características de la red de drenaje para las unidades abastecedoras de centros poblados a nivel de subcuencas o unidades de segundo nivel subsiguiente, no se realizó una división hasta tercer nivel subsiguiente o microcuenca, debido a que la red de drenaje presenta un flujo intermitente en la mayoría de las zonas aferentes a los cauces principales de las unidades de segundo nivel, analizado en el numeral 5.2 del presente capitulo.

5.3.1. Datos morfométricos por subcuencas

En la Tabla 5.39 se describen los datos morfométricos de las unidades hidrográficas abastecedoras de centros poblados de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, la

descripción morfométrica completa se encuentran en el capítulo de morfometría. Es de resaltar que mientras la unidad abastecedora más grande cuenta con un área de 84Km^2, siendo esta la subcuenca Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta, la más pequeña apenas cuenta con un área de 12 km^2, correspondiente a Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta.

Tabla 5.39. Datos morfométricos

Unidades abastecedoras de centros poblados Segundo nivel subsiguiente.		Área	Perímetro	Longitud Axial	Ancho	Índice Gravellius	Coeficiente De Forma
Código	**Nombre**	**Km²**	**Km**	**Km**	**Km**	**Kc**	**Kf**
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	22,07	36,56	13,99	1,58	2,18	0,11
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	52,12	32,84	8,62	6,05	1,27	0,70
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	56,95	35,97	12,36	4,61	1,33	0,37
1501-0204	Quebrada El Guayabo	12,26	18,58	7,29	1,68	1,49	0,23
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	43,66	33,66	10,18	4,29	1,43	0,42
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	29,25	46,65	13,85	2,11	2,42	0,15
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	84,47	54,15	14,72	5,74	1,65	0,39
1501-0804	Quebrada La Lisa	14,76	19,01	6,32	2,34	1,39	0,37

5.3.2. Jerarquización del drenaje

En la Tabla 5.40 se relacionan la longitud total de drenajes por cada orden presente para cada una de las unidades hidrográficas abastecedoras de la cuenca de segundo nivel subsiguiente. Como podemos observar las unidades 1501-0204, 1501-0403, 1501-0503 y 1501-0804 tienen drenajes de sexto orden, mientras las demás llegan al quinto orden.

Tabla 5.40. Orden de drenaje

Código	Orden	1	2	3	4	5	6
	Unidad hidrográfica	**Longitud de drenajes (km)**					
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	87,9	21,22	10,14	3,51	14,77	
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	134,87	45,03	10,6	11,02	11,07	
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	147,46	34,24	16,83	9,9	7,37	
1501-0204	Quebrada El Guayabo	52,8	19,94	5,92	6,04		1,98
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	116,2	33,27	14,98	12,77	5,24	
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	120,1	29,75	16,25	10,03	5,75	14,37
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	259,8	84,5	47,88	19,41	11,88	4,93
1501-0804	Quebrada La Lisa	47,8	11,63	7,04	2,54	1,94	0,34

5.3.3. Patrón de alineamiento.

Como se observa en la Tabla 5.41 los drenajes de la cuenca cuentan con un patrón de alineamiento Meándrico a excepción de la unidad Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md) que

presenta una tendencia rectilínea, lo cual es determinado por la resistencia a la erosión de las orillas y genera pérdidas de energía fluctuantes a lo largo del recorrido.

Tabla 5.41. Análisis de Patrón de alineamiento

Código	**Nombre**	Patrón de Alineamiento
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	Meándrico
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	Meándrico
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	Meándrico
1501-0204	Quebrada El Guayabo	Meándrico
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	Meándrico
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	Meándrico leve a rectilíneo
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	Meándrico
1501-0804	Quebrada La Lisa	Meándrico

5.3.4. Patrón de drenaje

Los drenajes de la cuenca en las unidades abastecedoras de centros poblados cuentan con un patrón de drenaje dendrítico en su totalidad. En la Tabla 5.42 se analiza la cuenca de acuerdo al patrón de alineamiento.

Tabla 5.42. Análisis de Patrón de drenaje

unidades abastecedoras		**Patrones De Drenaje**
Código	**Nombre**	
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	Dendrítico
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	Dendrítico
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	Dendrítico
1501-0204	Quebrada El Guayabo	Dendrítico
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	Dendrítico
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	Dendrítico
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	Dendrítico
1501-0804	Quebrada La Lisa	Dendrítico

5.3.5. Densidad de drenaje

En la Tabla 5.43 se muestra el valor de la densidad de drenaje para cada una de las unidades hidrográficas abastecedoras de segundo nivel, con su respectiva clasificación. De acuerdo a esto se puede deducir que las unidades abastecedoras cuentan con una buena densidad de drenajes para el transporte y evacuación del agua.

Tabla 5.43. Densidad de drenaje para cada unidad hidrográfica abastecedoras de segundo nivel subsiguiente

unidades abastecedoras		**Densidad De Drenaje (Km/Km2)**	**Clasificación Por Densidad De Drenaje**
Código	**Nombre**		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	3,98	Muy Alta
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	2,59	Alta
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	2,59	Alta
1501-0204	Quebrada El Guayabo	4,31	Muy Alta
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	2,66	Alta
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	4,11	Muy Alta
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	3,08	Muy Alta

1501-0804	Quebrada La Lisa	3,24	Muy Alta

5.3.6. Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales

A continuación se presenta el índice de vulnerabilidad para cada unidad hidrográfica. Este índice permite detectar el grado de vulnerabilidad a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente. De acuerdo a la Tabla 5.44 se puede concluir que el IVET en la cuenca en mayor porcentaje es muy alta.

Tabla 5.44. Análisis de Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales

IVET	Cuenta	Área	Porcentaje
Media	2	123,53	13,31%
Alta	3	92,49	9,97%
Muy alta	22	711,97	76,72%
Total general	**27**	**927,99**	**100,00%**

Según la Tabla 5.45 las zonas de menor riesgo a eventos torrenciales son las subcuencas de la Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe y la subcuenca Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, el resto de la cuenca presenta un riesgo alto o muy alto de presentar eventos tonrreciales.

Tabla 5.45. Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales para cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente

Código	Nombre		Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita		521	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)		541	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0103	Quebrada La Sierrita		532	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda		543	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)		541	Alta	61,94	Muy alta	Muy alta
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		521	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		543	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0203	Quebrada Marinca		521	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0204	Quebrada El Guayabo		522	Alta	62,36	Muy alta	Muy alta
1501-0301	Quebrada El Doctor	Quebrada El Doctor	522	Alta	53,07	Alta	Muy alta
		1501-0301-01			48,24	Alta	Muy alta
1501-0302	Quebrada Don Jaca		521	Alta	53,82	Alta	Muy alta
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	513	Moderada	46,93	Media	Alta
		Quebrada El Totumo			47,30	Alta	Alta
		Quebrada Mamorón			47,56	Alta	Alta
		1501-0303-03			46,84	Media	Alta
		Quebrada Latuchí			46,63	Media	Alta
		Quebrada La Palmita			46,91	Media	Alta
		Quebrada El Ébano			46,83	Media	Alta
		1501-0303-02			46,81	Media	Alta
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		521	Alta	52,10	Alta	Muy alta

Código	Nombre		Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		532	Alta	52,10	Alta	Muy alta
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		521	Alta	52,10	Alta	Muy alta
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		521	Alta	50,01	Alta	Muy alta
1501-0502	Quebrada Tamaca		521	Alta	50,01	Alta	Muy alta
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		521	Alta	50,01	Alta	Muy alta
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		523	Alta	50,01	Alta	Muy alta
1501-0600	Quebrada Concha		531	Alta	61,32	Muy alta	Muy alta
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	431	Moderada	40,98	Media	Alta
		1501-0701-02			39,57	Media	Alta
		1501-0701-03			40,25	Media	Alta
		1501-0701-11			39,45	Media	Alta
		Quebrada Gayraca			41,10	Media	Alta
		1501-0701-10			39,80	Media	Alta
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	531	Alta	41,15	Media	Alta
		1501-0701-07			40,56	Media	Alta
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	221	Baja	41,61	Media	Media
		1501-0701-06			40,54	Media	Media
		1501-0701-05			40,89	Media	Media
		Quebrada El Cabo y San Lucas			41,13	Media	Media
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		221	Baja	50,80	Alta	Media
1501-0802	Quebrada Jordan		522	Alta	50,80	Alta	Muy alta
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro		543	Alta	50,80	Alta	Muy alta
1501-0804	Quebrada La Lisa		542	Alta	50,80	Alta	Muy alta

Calle 99 Nº 49 – 19
Telefax: (57-1) 322 38 72
Bogotá, D.C., Colombia
www.pomca.org
e-mail: info@pomca.org

6. MORFOMETRÍA.

La morfometría se define como el estudio de las características físicas de una cuenca hidrográfica, y su mayor utilidad está dada en el análisis que permite desarrollar respecto a la red de drenaje de la misma, los grados de pendiente y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos que le confieren dichos atributos. La caracterización morfométrica de una cuenca, es determinante para un análisis de disponibilidad y/o demanda hídrica, ya que los resultados constituyen un elemento fundamental en la definición de zonas con comportamientos similares a lo largo de la cuenca. La mayoría de los parámetros morfométricos representan índices adimensionales que permiten comparar las diferentes características de una cuenca, en especial cuando no se cuenta con suficiente información primaria que permita establecer cálculos directos de las variables que intervienen.

Los aspectos básicos que se abordaron para realizar la caracterización de la cuenca hidrográfica, incluyen la descripción de la misma considerando datos relativos a su tamaño, perímetro, ancho, desnivel longitudinal, así como a los aspectos generales de longitud, jerarquización y densidad en cuanto a la red de drenaje. Finalmente se consideraron otros parámetros del relieve y de la forma como la curva hipsométrica o el coeficiente de Gravelius.

6.1. Factores Geométricos De Las Unidades Hidrográficas.

En la presente clasificación se incluyen los aspectos asociados a la forma de la cuenca, la cual interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de caudales y avenidas máximas, ya que las cuencas de igual área pero de diferente forma generan hidrogramas diferentes. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con las de otras cuencas

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos: el primero, permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico.

Los siguientes son los parámetros de mayor relevancia para la determinación de los factores de forma o geométricos de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

6.1.1. Parámetros generales de una cuenca hidrográfica.

En la presente clasificación se incluyen aquellos aspectos asociados a la forma de la cuenca, los cuales interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de caudales y avenidas máximas, ya que las cuencas de igual área pero de diferente forma generan hidrogramas diferentes. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con las de otras cuencas

6.1.1.1. *Área de la cuenca (A)*

De acuerdo a la definición realizada por Londoño (2001) el área de una cuenca es la superficie que aporta el flujo superficial a un segmento de un cuerpo de agua de determinado orden, incluyendo todos sus tributarios de diferente orden, que se proyecta en un plano horizontal. Para el cálculo de las áreas de drenaje de las unidades hidrográficas se utilizó el software ArcGIS 10.3.

La unidad hidrográfica de primer nivel subsiguiente con menor área de drenaje corresponde a la "1501-06 Quebrada Concha" con 53,57 Km² y la cuenca de mayor extensión es "1501-07 Directos al Caribe en el Parque Tayrona" con 202,19 Km², del mismo modo la unidad de segundo nivel subsiguiente con menor área de drenaje corresponde a la 1501-0301 Quebrada El Doctor con 12,09 Km² y la de mayor superficie de drenaje es la 1501-0503 Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta con 84,47 Km². Según Campos (1998), según su tamaño, las cuencas pueden clasificarse en los rangos presentado en la Tabla 6.1

Tabla 6.1. Clasificación de cuencas respecto a su área

Área (Km²)	Clasificación
≤ 25	Muy pequeña
25 - 250	Pequeña
250 - 500	Intermedia pequeña
500 - 2500	Intermedia grande
2500 - 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Campos (1998)

A partir de los rangos de clasificación mencionados anteriormente, se puede establecer que la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se encuentra en el rango intermedio grande. Adicionalmente se puede concluir que todas las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente se encuentran clasificadas como cuencas pequeñas y las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente, alcanzan categorías entre pequeñas con 17 unidades y muy pequeñas con 10. Lo anterior se recopila en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Áreas y clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Área (km2)	Descripción área
Unidades abastecedoras			
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	22,07	Muy Pequeña
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	52,12	Pequeña
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	56,95	Pequeña
1501-0204	Quebrada El Guayabo	12,26	Muy Pequeña
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	43,66	Pequeña
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	29,25	Pequeña
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	84,47	Pequeña
1501-0804	Quebrada La Lisa	14,76	Muy Pequeña
Demás unidades			
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	17,30	Muy Pequeña
1501-0103	Quebrada La Sierrita	15,50	Muy Pequeña
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	18,35	Muy Pequeña
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	17,95	Muy Pequeña
1501-0203	Quebrada Marinca	25,26	Pequeña
1501-0301	Quebrad El Doctor	12,09	Muy Pequeña
1501-0302	Quebrada Don Jaca	13,28	Muy Pequeña
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	31,64	Pequeña
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	40,88	Pequeña
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	45,79	Pequeña
1501-0502	Quebrada Tamaca	42,68	Pequeña
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	29,25	Pequeña
1501-0600	Quebrada Concha	53,57	Pequeña
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	36,33	Pequeña
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	24,53	Muy Pequeña
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	41,95	Pequeña
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	81,58	Pequeña
1501-0802	Quebrada Jordan	29,73	Pequeña
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	34,80	Pequeña

6.1.1.2. *Perímetro*

Es la longitud total de la línea envolvente de la cuenca que pasa por la divisoria de aguas, y permite realizar otros análisis relacionados a la forma de la cuenca, como es el cálculo del coeficiente de compacidad. Para la determinación del perímetro, se empleó el mismo método de cálculo definido para establecer el área de la cuenca, es decir que se realizó a partir de herramientas del sistema de información geográfica ArcGis 10.3.

Las unidades hidrográficas de mayor perímetro son la unidad 1501-07 y la unidad 1501-05 con 101,6 y 87,2 Km respectivamente, sin embargo, a pesar que la unidad 1501-07 presenta la mayor extensión, se conforma de pequeñas penínsulas que se adentran al Mar Caribe con áreas tributarias independientes, mientras que la 1501-05 está conformada por el área tributaria al rio Mnazanares, por lo tanto correspondería a la de mayor extensión.

La información a nivel de subcuencas para cada uno de los parámetros de forma calculados se encuentra consignada en la Tabla 6.3, donde podemos observar que los perímetros para las unidades de segundo nivel subsiguiente oscilan entre 54,3 y 17,9 km para "Quebrada Concha 1501-0600" y "Quebrada El Doctor 1501-0301", respectivamente. .

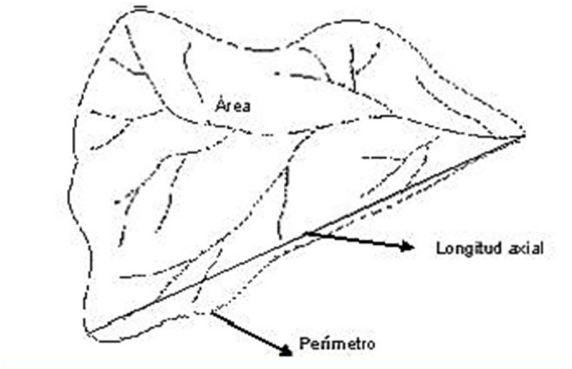
Tabla 6.3. Perímetro de las unidades de segundo nivel subsiguiente

Código	Nombre	Perímetro (km)
Unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	36,56
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	32,84
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	35,97
1501-0204	Quebrada El Guayabo	18,58
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	33,66
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	46,65
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	54,15
1501-0804	Quebrada La Lisa	19,01
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	27,02
1501-0103	Quebrada La Sierrita	19,43
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	30,20
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	31,83
1501-0203	Quebrada Marinca	33,86
1501-0301	Quebrad El Doctor	17,88
1501-0302	Quebrada Don Jaca	20,08
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	27,21
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	48,37
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	44,53
1501-0502	Quebrada Tamaca	39,53
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	25,23
1501-0600	Quebrada Concha	54,25
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	53,99
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	29,96
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	41,43
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	50,30
1501-0802	Quebrada Jordan	28,98
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	27,19

6.1.1.3. *Longitud axial (L)*

La longitud Axial corresponde a la magnitud de la longitud en línea recta desde el punto de desembocadura del cauce principal analizado y el punto más alejado para así estimar el desplazamiento neto aproximado desde un extremo de la cuenca al otro como se muestra en la Figura 6.1 sin tener en cuenta el relieve, este parámetro esta expresado en km y se calculó utilizando el software ArcGIS 10.3.

Figura 6.1. Esquema parámetros morfométricos.



Fuente: UNAL (s.f.)

La cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 1501" presenta diversidad en cuanto a las formas de sus unidades hidrográficas de primer y segundo nivel, como se dará a conocer en la caracterización de la forma de la cuenca, sin embargo, las longitudes axiales para las unidades de primer nivel subsiguiente oscilan entre los 22 y 27,6 Km, excepto "Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07", "Quebrada Concha 1501-06" y "Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03" que presentan valores por debajo de los 16,5 km. Lo anterior de concordante con sus cauces principales de corto alcance. Esta información se puede observar en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Longitud axial para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Longitud Axial (Km)
Unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	13,99
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	8,62
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	12,36
1501-0204	Quebrada El Guayabo	7,29
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	10,18
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	13,85
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	14,72
1501-0804	Quebrada La Lisa	6,32
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	9,81
1501-0103	Quebrada La Sierrita	7,13
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	10,07
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	12,62
1501-0203	Quebrada Marinca	13,47
1501-0301	Quebrad El Doctor	6,40
1501-0302	Quebrada Don Jaca	7,23
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	5,23
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	14,97
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	9,31
1501-0502	Quebrada Tamaca	13,12
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	8,05
1501-0600	Quebrada Concha	11,39
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	8,49

Código	Nombre	Longitud Axial (Km)
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	5,45
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	9,42
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	15,88
1501-0802	Quebrada Jordan	8,24
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	9,57

6.1.1.4. *Ancho de la cuenca (B)*

Se define como la razón entre el área y la longitud axial de la cuenca en Km. Estos oscilan entre 1,5 y 6,9 Km para las unidades de segundo nivel subsiguiente, mientras que las de primer nivel presentaron valores de hasta 9,19 Km, como se evidencia en la Tabla 6.5.

Las unidades hidrográficas más anchas son Río Piedras, Directos al Caribe en el Parque Tayrona y Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe, debido a esto, estas unidades pueden presentar mayores dificultades en encauzar la escorrentía y evacuarla posteriormente, sin embargo, esto está condicionado en gran medida por las características de su red de drenaje. En la Tabla 6.5 se relaciona el ancho para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Tabla 6.5. Ancho para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Ancho (Km)
unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	1,58
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	6,05
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	4,61
1501-0204	Quebrada El Guayabo	1,68
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	4,29
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	2,11
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	5,74
1501-0804	Quebrada La Lisa	2,34
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	1,76
1501-0103	Quebrada La Sierrita	2,17
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	1,82
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	1,42
1501-0203	Quebrada Marinca	1,88
1501-0301	Quebrad El Doctor	1,89
1501-0302	Quebrada Don Jaca	1,84
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	6,05
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	2,73
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	4,92
1501-0502	Quebrada Tamaca	3,25
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	3,63
1501-0600	Quebrada Concha	4,70
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	4,28
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	4,50
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	4,45
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	5,14
1501-0802	Quebrada Jordan	3,61
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	3,64

6.1.1.5. *Desnivel altitudinal (DA)*

El desnivel altitudinal es la diferencia entre las cotas límite del cauce principal; es decir, la cota más alta y la más baja.

$$DA = Hmax - Hmin \qquad (1)$$

La unidad hidrográfica de primer nivel Río Toribio presenta el mayor *DA,* con una caída de 2588,37 m, concordante con la de segundo nivel subsiguiente Río Toribio entre Guayabal y El Vergel que desciende unos 2221 m, mientras que la cuenca directos al Caribe en el Parque Tayrona presenta el menor desnivel con 529,33 m, valor esperado al ser una unidad hidrográfica pequeña con la descarga directamente en la costa. En la Tabla 6.6 se detalla la diferencia altitudinal para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Tabla 6.6. Desnivel altitudinal de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Desnivel Altitudinal (m)
unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	154
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	1909
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	2221
1501-0204	Quebrada El Guayabo	613
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	1701
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	153
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	1922
1501-0804	Quebrada La Lisa	1527
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	1053
1501-0103	Quebrada La Sierrita	1452
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	1102
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	405
1501-0203	Quebrada Marinca	987
1501-0301	Quebrad El Doctor	1040
1501-0302	Quebrada Don Jaca	962
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	729
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	1081
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	32
1501-0502	Quebrada Tamaca	1096
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	751
1501-0600	Quebrada Concha	561
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	690
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	537
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	377
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	409
1501-0802	Quebrada Jordan	341
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	1914

6.1.2. Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca

La forma de la cuenca es determinante a la hora de describir su comportamiento hidrológico. En esta clase se incluyen aquellos que contrastan la geometría de la cuenca y su extensión. El índice de Gravelius y el factor de forma, son utilizados para describir la respuesta de la misma a eventos de precipitación y la evacuación de la escorrentía.

6.1.2.1. *Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (Kc)*

Este coeficiente corresponde a la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga igual área. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud de la divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno.

Este coeficiente se relaciona con el tiempo de concentración, el cual hace referencia al tiempo necesario desde el inicio de la precipitación, para que toda la unidad hidrográfica contribuya a la sección de la corriente en estudio, en otras palabras es el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma.

El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua, debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central no presentan diferencias mayores y a que el tiempo de concentración se hace menor, haciendo mayor la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (2)$$

Dónde:
P: Perímetro de la cuenca, en Km.
A: área de drenaje de la cuenca, en Km^2.

En la Tabla 6.7 se presentan las categorías para la clasificación de las cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad obtenido.

Tabla 6.7. Formas de la cuenca relativas a *Kc*

K_c	**Forma de la cuenca**
1,00 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	De oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular

Fuente: IDEAM (2013)

A su vez, Londoño (2001), determinó una relación entre el índice de Gravellius y su potencialidad a eventos torrenciales, presentada a continuación en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Implicaciones del Índice de Gravelius

Valores de K_c	Forma	Características
1,00 – 1,25	Redonda a oval redonda	Cuenca torrencial peligrosa
1,25 – 1,50	De oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1,50 – 1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga	Menor riesgo a avenidas torrenciales

Fuente: Adaptado de Londoño (2001)

De acuerdo a los resultados obtenidos para las unidades de primer nivel se puede concluir que las unidades se encuentran entre los valores de K_c, de 1.41, para la cuenca la Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe y de 2.81, para la unidad Directos al Caribe en el Parque Tayrona, en cuanto a las unidades de segundo nivel, los rangos varían entre 1.27 para Río Cordoba-Sector Agualinda y 2.51 para Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe, las formas según estos valores varían entre oval oblonga a rectangular oblonga, oval redonda a oval oblonga y rectangular. El coeficiente obtenido para cada una de las subcuencas, se presenta en la Tabla 6.9 así como su respectiva clasificación.

Tabla 6.9. Coeficiente de compacidad y su clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Kc	Formas de La Cuenca
Unidades abastecedoras			
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	2,18	Rectangular
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	1,27	Oval redonda a oval oblonga
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	1,33	Oval redonda a oval oblonga
1501-0204	Quebrada El Guayabo	1,49	Oval redonda a oval oblonga
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	1,43	Oval redonda a oval oblonga
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	2,42	Rectangular
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	1,65	Oval oblonga a rectangular oblonga
1501-0804	Quebrada La Lisa	1,39	Oval redonda a oval oblonga
Demás unidades			
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	1,82	Rectangular
1501-0103	Quebrada La Sierrita	1,38	Oval redonda a oval oblonga
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	1,97	Rectangular
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	2,10	Rectangular
1501-0203	Quebrada Marinca	1,89	Rectangular
1501-0301	Quebrad El Doctor	1,44	Oval redonda a oval oblonga
1501-0302	Quebrada Don Jaca	1,54	Oval oblonga a rectangular oblonga
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	1,35	Oval redonda a oval oblonga
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	2,12	Rectangular
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	1,84	Rectangular
1501-0502	Quebrada Tamaca	1,69	Oval oblonga a rectangular oblonga
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	1,31	Oval redonda a oval oblonga
1501-0600	Quebrada Concha	2,08	Rectangular
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	2,51	Rectangular
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	1,69	Oval oblonga a rectangular oblonga
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	1,79	Rectangular
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1,56	Oval oblonga a rectangular oblonga
1501-0802	Quebrada Jordan	1,49	Oval redonda a oval oblonga
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	1,29	Oval redonda a oval oblonga

6.1.2.2. *Factor de forma*

Es la relación que existe entre el ancho de la cuenca *(B)* y su longitud axial *(L).* También conocido como "Razón de elongación" es una unidad adimensional que considera que valores menoes a uno (1) tendrán lugar en cuencas de formas alargadas Jardí (1985). En la Tabla 6.10 se recopilan las interpretaciones de los K_f.

$$K_f = \frac{B}{L} \qquad (3)$$

Tabla 6.10. Formas de la cuenca relativas a Kf

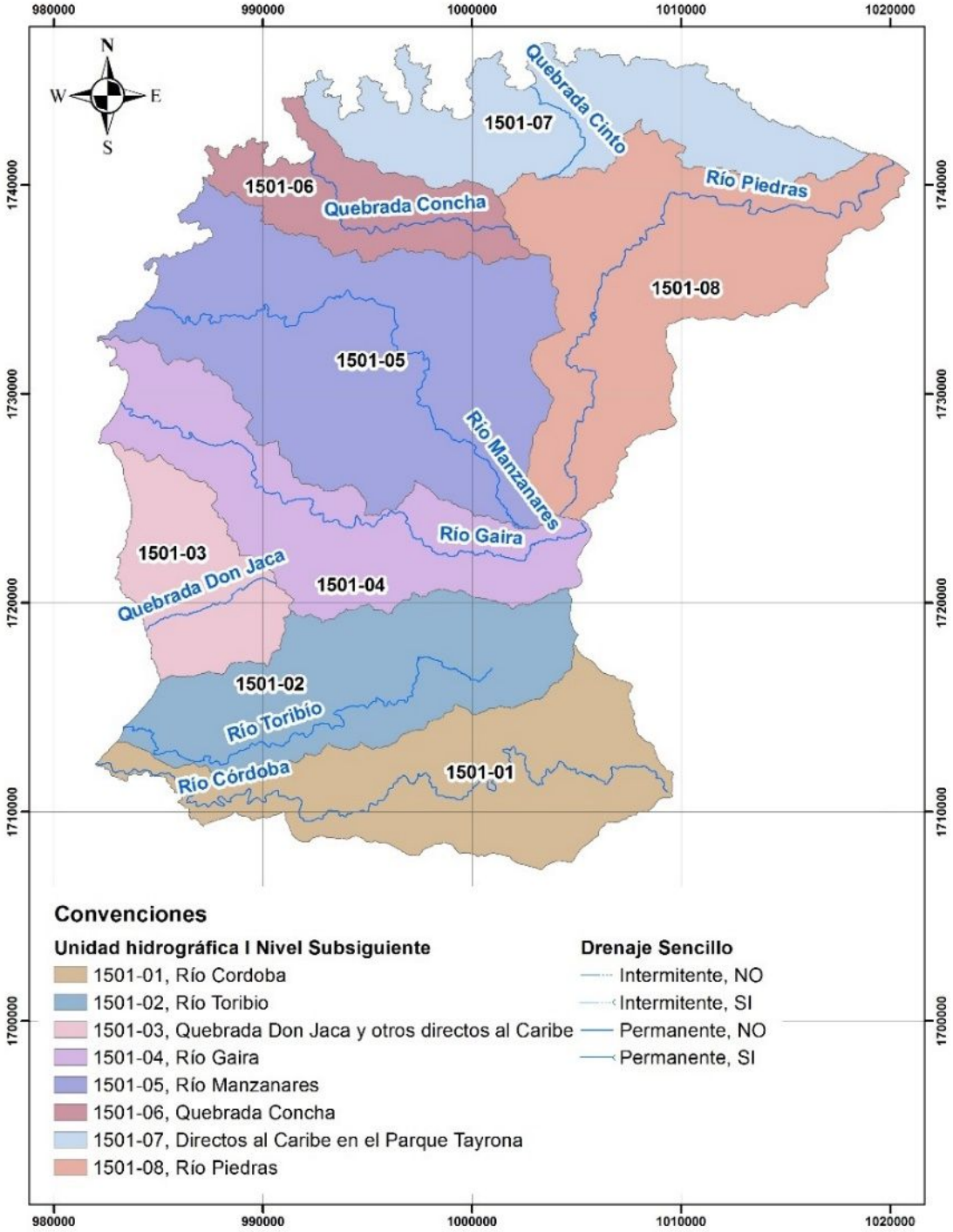
K_f	Clasificación
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ensanchada ligeramente
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez (1979) citado por Delgadillo y Moreno (s.f)

Los resultados obtenidos presentan una diversidad al interior de la cuenca para las unidades hidrográficas de primer y segundo nivel, como por ejemplo las cuencas Río Córdoba y Río Gaira asumen formas Muy alargadas como se ve en la Figura 6.2, no obstante, la unidad Río Cordoba presenta una cabecera ensanchada ligeramente, generando un efecto "cuello de botella", que podría presentar cambios en los caudales pico.

De forma similar la unidad hidrográfica de primer nivel Río Piedras presenta un K_f de 0,29 como se recopila en el Anexo 6.1, que la ubica con forma Alargada, sin embargo, a la altura de Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe y Quebrada Jordán se presenta un ensanchamiento que podría ralentizar la evacuación de la escorrentía cuando tenga lugar un evento de precipitación y con ello un caudal pico a la salida de la unidad hidrográfica.

Figura 6.2. Unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente



En la Tabla 6.11 se especifica el factor de forma y su respectiva clasificación para cada una de las subcuencas.

Tabla 6.11. Factor de forma y su clasificación de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	(Kf)	Formas De La Cuenca
Unidades abastecedoras			
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	0,11	Muy alargada
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	0,70	Ensanchada
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	0,37	Ni alargada ni ensanchada
1501-0204	Quebrada El Guayabo	0,23	Alargada
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	0,42	Ni alargada ni ensanchada
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	0,15	Muy alargada
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	0,39	Ni alargada ni ensanchada
1501-0804	Quebrada La Lisa	0,37	Ligeramente alargada
Demás unidades			
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	0,18	Muy alargada
1501-0103	Quebrada La Sierrita	0,31	Ligeramente alargada
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	0,18	Muy alargada
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	0,11	Muy alargada
1501-0203	Quebrada Marinca	0,14	Muy alargada
1501-0301	Quebrad El Doctor	0,30	Alargada
1501-0302	Quebrada Don Jaca	0,25	Alargada
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	1,16	Muy ensanchada
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	0,18	Muy alargada
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	0,53	Ensanchada ligeramente
1501-0502	Quebrada Tamaca	0,25	Alargada
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	0,45	Ensanchada ligeramente
1501-0600	Quebrada Concha	0,41	Ni alargada ni ensanchada
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	0,50	Ensanchada ligeramente
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	0,83	Muy ensanchada
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	0,47	Ensanchada ligeramente
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	0,32	Ligeramente alargada
1501-0802	Quebrada Jordan	0,44	Ni alargada ni ensanchada
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	0,38	Ni alargada ni ensanchada

6.1.3. Parámetros de relieve

En esta categoría se agrupan las variables relativas a la altitud de la cuenca, entre estas clasifican la altura de la cuenca y la pendiente media de la misma en (%) entre otras.

6.1.4. Altura y elevación.

Ambos elementos representan uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. La altura se mide con respecto al nivel del mar mientras que la elevación representa la diferencia entre la cota de interés y la cota a la salida (desembocadura) de la cuenca. Los aspectos más importantes derivados de la elevación de la cuenca están dados en el análisis de las cotas y las pendientes, el cual puede verse en detalle para las subcuencas del río Sogamoso en el Anexo 7.1. La elevación, la

altura máxima y la altura mínima para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente se encuentran relacionadas en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Altura y elevación para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Código	Nombre	Altura (msnm)			Elevación (m)
		Media	Máxima	Mínima	
Unidades abastecedoras					
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	251,10	1167,78	0,00	1167,78
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	1318,42	2513,31	497,16	2016,16
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	1280,36	2848,00	401,00	2447,00
1501-0204	Quebrada El Guayabo	180,73	674,51	0,00	674,51
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	1450,31	2855,80	607,81	2247,99
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	159,52	680,79	0,00	680,79
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	603,97	2420,84	28,00	2392,84
1501-0804	Quebrada La Lisa	1035,25	1968,82	380,93	1587,89
Demás unidades					
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	712,42	1650,70	152,17	1498,53
1501-0103	Quebrada La Sierrita	1257,15	2010,68	494,22	1516,46
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	733,19	1675,09	152,17	1522,92
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	288,15	1146,84	0,00	1146,84
1501-0203	Quebrada Marinca	535,81	1359,56	5,21	1354,35
1501-0301	Quebrad El Doctor	370,58	1066,22	0,00	1066,22
1501-0302	Quebrada Don Jaca	441,18	1081,85	0,00	1081,85
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	159,83	798,39	0,00	798,39
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	479,45	1216,95	0,00	1216,95
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	76,01	584,89	0,00	584,89
1501-0502	Quebrada Tamaca	256,00	1161,85	0,87	1160,99
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	394,81	1324,47	54,35	1270,12
1501-0600	Quebrada Concha	196,63	827,59	0,00	827,59
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	159,42	844,95	0,00	844,95
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	235,98	871,05	0,00	871,05
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	221,62	871,05	0,00	871,05
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	400,83	1216,13	0,00	1216,13
1501-0802	Quebrada Jordan	368,04	870,62	121,29	749,32
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	1314,72	2420,84	391,11	2029,73

6.1.5. Pendiente de la cuenca.

La pendiente de la cuenca es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca. Permitiendo la definición de la pendiente por medio de la siguiente ecuación:

$$s = \frac{cota\ \max(\mathrm{m}) - cota\ \min(m)}{longitud\ (m)} \qquad \textbf{(25)}$$

En la Tabla 6.13 se presentan los rangos de pendiente relacionados con la clasificación de acuerdo a la categorización del Índice morfométrico del documento técnico de la Evaluación Regional del Agua para el año 2013.

Tabla 6.13. Clasificación por rangos de pendiente

Clasificación	Pendiente (%)
Accidentado	0-15
Fuerte	15-30
Muy Fuerte	30-45
Escarpado	45-65
Muy Escarpado	>65

Fuente: IDEAM (2013)

Todas las unidades hidrográficas de primer y segundo nivel toman clasificaciones que van de Fuerte a Escarpado. La unidad de mayor pendiente es Río Córdoba-Sector Agualinda lo que reafirma para esta, un riesgo mayor a presentar avenidas torrenciales, favorecidas por su forma Oval redonda y su relieve. Esta tendencia a pendientes pronunciadas se debe a su ubicación en proximidades a la Sierra Nevada de Santa Marta que ha elevado el relieve debido a las dinámicas propias de la cordillera de Los Andes. La pendiente para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente se encuentra la Tabla 6.14.

Tabla 6.14. Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Código	Nombre	Pendiente (%)	Clasificación
Unidades abastecedoras			
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	27,64	Fuerte
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	56,48	Escarpado
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	48,46	Escarpado
1501-0204	Quebrada El Guayabo	19,63	Fuerte
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	45,29	Escarpado
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	24,32	Fuerte
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	29,95	Fuerte
1501-0804	Quebrada La Lisa	51,75	Escarpado
Demás unidades			
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	54,68	Escarpado
1501-0103	Quebrada La Sierrita	50,13	Escarpado
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	52,96	Escarpado
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	31,59	Muy Fuerte
1501-0203	Quebrada Marinca	35,03	Muy Fuerte
1501-0301	Quebrad El Doctor	31,34	Muy Fuerte
1501-0302	Quebrada Don Jaca	34,17	Muy Fuerte
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	18,65	Fuerte
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	30,49	Muy Fuerte
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	20,17	Fuerte
1501-0502	Quebrada Tamaca	23,47	Fuerte
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	29,04	Fuerte
1501-0600	Quebrada Concha	31,87	Muy Fuerte
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	38,45	Muy Fuerte
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	42,05	Muy Fuerte
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	33,98	Muy Fuerte
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	29,62	Fuerte
1501-0802	Quebrada Jordan	27,81	Fuerte
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	55,12	Escarpado

6.2. Características De Los Cauces.

Posteriormente a la caracterización de la cuenca, se procede a la determinación de las características de los cauces principales y a la red de drenaje para ellos se estiman los siguientes parámetros:

6.2.1. Longitud de la corriente principal (Lc)

La longitud de la corriente principal de una cuenca hidrográfica es la distancia entre el nacimiento y la desembocadura del cauce que recibe las aguas de toda la unidad, sin embargo, la cuenca Río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe presenta varias corrientes de carácter permanente que desembocan al Mar Caribe, sin un cuerpo de agua que recoja todas estos tributarios, por lo tanto, se han determinado varios cauces principales para las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente entre los cuales están: Río Córdoba, Río Toribio, Río Gaira, Río Manzanares, Quebrada Concha y Río Piedras, para estos se realiza un análisis individual de los parámetros de cauce principal. Para las unidades de primer nivel, el Río Córdoba se estimó como el cauce más largo al presentar valores por encima de los 47 Km. En la Tabla 6.15 se puede observar la longitud del cauce principal para cada una de las subcuencas del rio Sogamoso.

Tabla 6.15. Longitud del cauce principal para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Longitud (Km)
Unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	14,78
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	19,10
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	17,18
1501-0204	Quebrada El Guayabo	7,38
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	14,16
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	5,75
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	22,13
1501-0804	Quebrada La Lisa	8,67
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	10,28
1501-0103	Quebrada La Sierrita	9,48
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	13,70
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	16,45
1501-0203	Quebrada Marinca	15,23
1501-0301	Quebrad El Doctor	8,83
1501-0302	Quebrada Don Jaca	7,58
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	6,93
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	22,11
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	12,34
1501-0502	Quebrada Tamaca	18,56
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	9,99
1501-0600	Quebrada Concha	15,43
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	4,13
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	7,47
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	4,03
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	23,90
1501-0802	Quebrada Jordan	8,78

1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	13,90

6.2.2. Pendiente del cauce principal

Mediante un análisis espacial, se estima la caída altitudinal de los cauces principales con respecto a la longitud del mismo, arrojando así un corte transversal del relieve por el cual atraviesa el cuerpo de agua y su valor se calcula bajo la siguiente expresión:

$$m\ (\%) = \frac{Cota_{mayor} - Cota_{menor}}{Longitud\ cauce} * 100 \qquad (4)$$

La pendiente del cauce principal se encuentra estrechamente relacionado con el desnivel altitudinal y el alcance del cauce principal, además tiene implicaciones importantes en la respuesta de la cuenca a eventos de precipitación. Un cauce con una pendiente pronunciada tiende a presentar mayores velocidades de flujo y, por ende, un potencial erosivo mayor que una corriente en un gradiente leve, no obstante, el perfil del mismo debe ser estudiado para determinar la pendiente a lo largo del trayecto. De acuerdo a los resultados obtenidos la Quebrada Don Jaca y el Río Toribio presentan las mayores pendientes 12,6 y 7,7 %, respectivamente. La pendiente del cauce principal para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente se encuentra la Tabla 6.16.

Tabla 6.16. Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Código	Nombre	Pendiente (%)
Unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	1,04
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	9,99
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	12,93
1501-0204	Quebrada El Guayabo	8,31
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	12,01
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	2,66
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	8,69
1501-0804	Quebrada La Lisa	17,62
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	10,25
1501-0103	Quebrada La Sierrita	15,31
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	8,04
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	2,46
1501-0203	Quebrada Marinca	6,48
1501-0301	Quebrad El Doctor	11,77
1501-0302	Quebrada Don Jaca	12,69
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	10,52
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	4,89
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	0,26
1501-0502	Quebrada Tamaca	5,91
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	7,52
1501-0600	Quebrada Concha	3,64
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	16,72
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	7,19
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	9,35

1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1,71
1501-0802	Quebrada Jordan	3,88
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	13,77

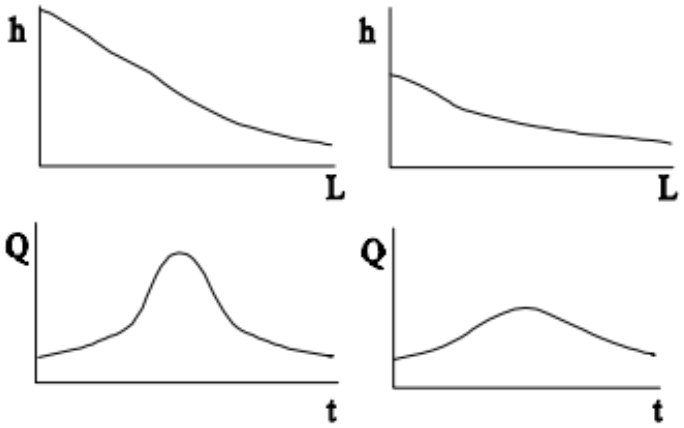
6.2.3. Perfil longitudinal del cauce principal

El perfil de equilibrio en un sistema fluvial se refiere a un estado en el que las variaciones que actúan y el nivel de base son constantes. Cuanto más importantes sean las modificaciones del perfil, mayor es el tiempo requerido para ajustarse a un perfil que determine el equilibrio.

Generalmente los ríos tienen un perfil longitudinal cóncavo, aunque en ocasiones aparecen partes aplanadas y abruptas a causa de afloramientos de rocas duras, actividad tectónica reciente o cambios súbitos en el canal. El entendimiento de esta condición permite establecer el perfil longitudinal, el cual es la línea obtenida al representar las diferentes alturas desde el nacimiento o confluencia del cauce principal hasta la desembocadura.

La Figura 6.3 describe el comportamiento típico de los caudales para cauces con perfiles de pendiente pronunciada y para aquellos que cortan en un relieve más suave. Lo anterior permite determinar que los cauces principales, presentarían un pico alto de caudal (Q) en cortos periodos de tiempo (t), en contraste con aquellos que corten en un relieve más suave.

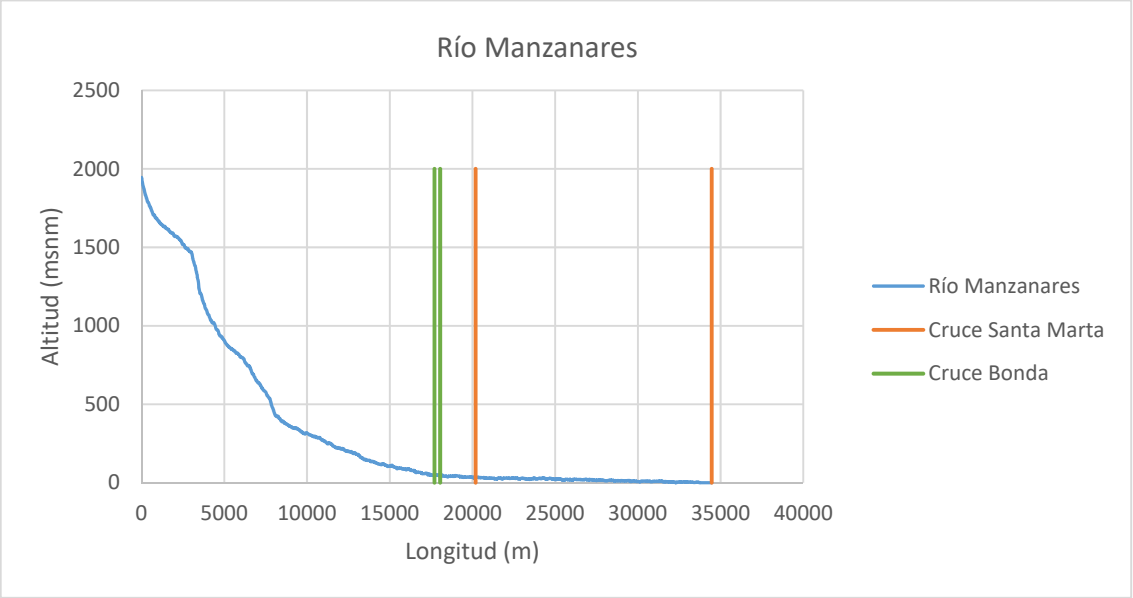
Figura 6.3. Relación de perfiles de cauce típicos y sus hidrógrafas.



Fuente: ULA (s.f.)

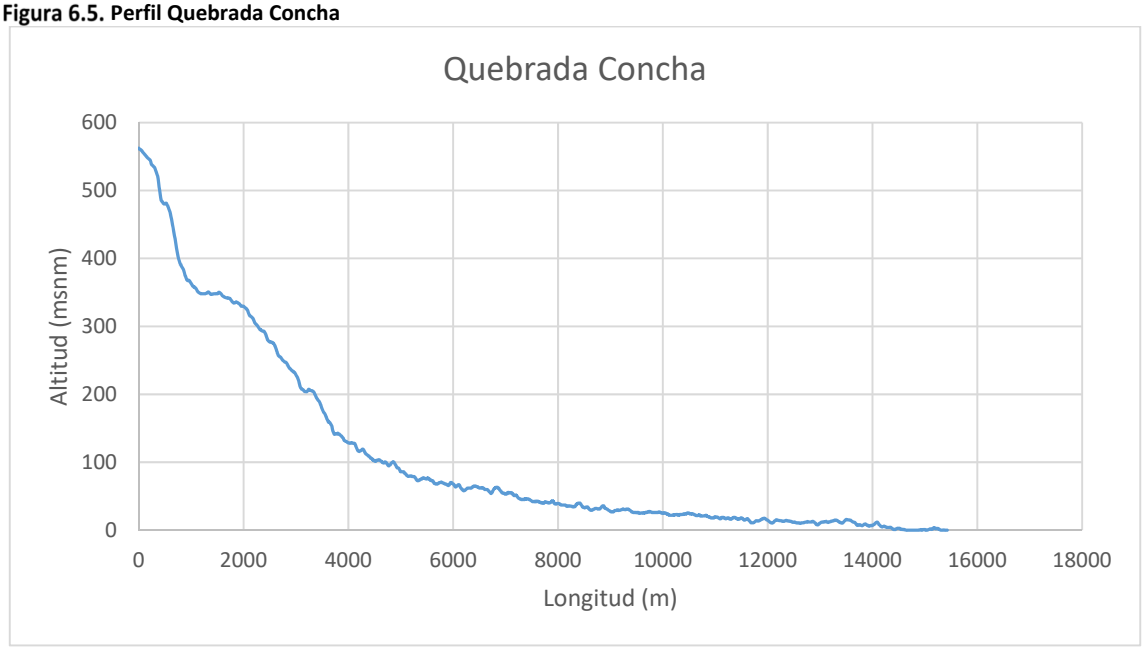
Para la cuenca se establecieron seis cauces principales, Río Manzanares (Figura 6.4), Quebrada Concha (Figura 6.5), Río Gaira (Figura 6.6), Río Piedras (Figura 6.7), Río Córdoba (Figura 6.8) y el Río Toribio (Figura 6.9). Estos se establecen de acuerdo a la presente desembocadura que la cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe hace al Mar Caribe en diferentes puntos de la costa, siendo los cauces ya mencionados, los principales desfogues de la hoya.

Figura 6.4. Perfil Río Manzanares



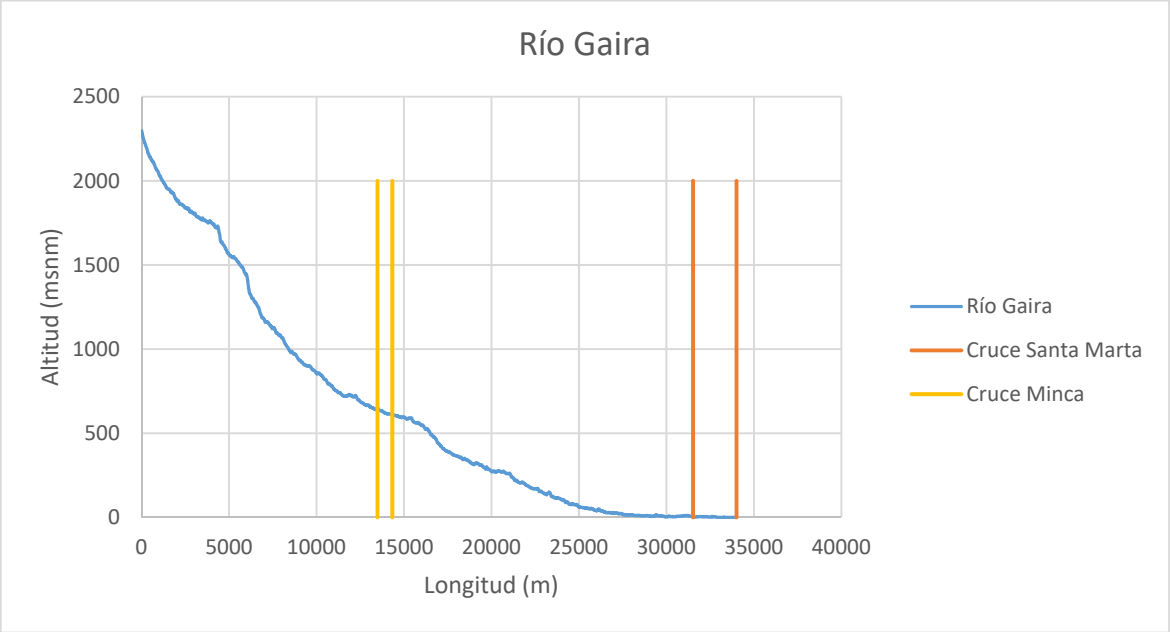
Considerando lo anterior, la Figura 6.4 representa una vulnerabilidad a eventos de crecientes e inundaciones en ciertas áreas de los cascos urbanos de Santa Marta y Bonda que se ven influenciados por cerca de los últimos 15 Km del Río Manzanares antes de su desembocadura, observe que la pendiente del cauce del Río desciende considerablemente desde los 500 msnm.

Figura 6.5. Perfil Quebrada Concha



De modo similar, la Quebrada Concha (Figura 6.5) presenta un leve salto en su recorrido en altitudes entre los 400 y 300 msnm, posteriormente el cauce disminuye progresivamente su pendiente, lo que podría ralentizar la evacuación de agua a través del cauce, puesto que cerca de 11 Km se concentran en menos de 100 msnm. Cabe aclarar que, esto dependerá de las demás interacciones de factores hidrológicos, climáticos y morfométricos a los que tenga lugar.

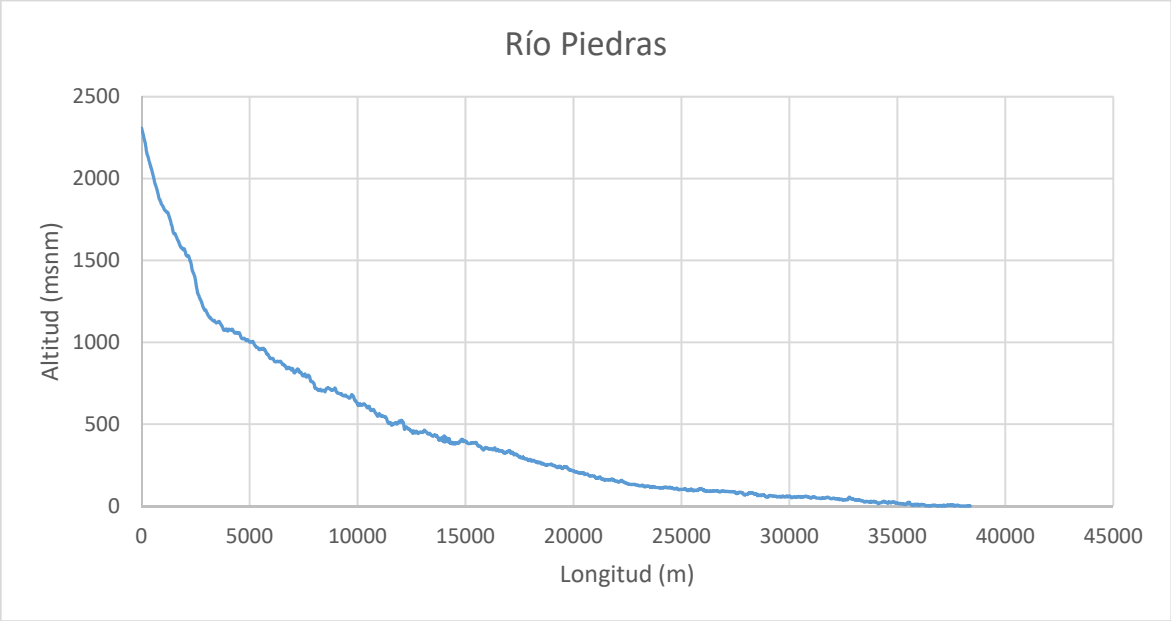
Figura 6.6. Perfil Río Gaira



En contraste, la Figura 6.6 que obedece al comportamiento del Río Gaira, muestra una pendiente pronunciada a lo largo del cauce, no obstante, en los últimos 2,4 Km previos al descargue al Mar Caribe, el Río Gaira atraviesa parte del casco urbano de Santa Marta dónde su pendiente se reduce, aumentando probablemente la vulnerabilidad a procesos de inundación. Contrario al comportamiento del relieve en lo que concierne al centro poblado Minca, se establece una pendiente más pronunciada.

A diferencia del Río Gaira, el Río Piedras presenta a lo largo de su trayectoria dos hitos que caracterizan el relieve de esta cuenca como lo indica la Figura 6.7, desde el nacimiento del río hasta sus primeros 5 Km la corriente cae más de 1500 msnm, continuando con una menor tasa de cambio, desemboca en el extremo noreste al Mar Caribe después de 38 Km de recorrido.

Figura 6.7. Perfil Río Piedras



El Río Córdoba muestra un comportamiento estable a lo largo de su recorrido, en comparación a los cauces previamente analizados como lo muestra la Figura 6.8, presentando una tasa de cambio constante casi hasta su desembocadura.

Figura 6.8. Perfil Río Córdoba

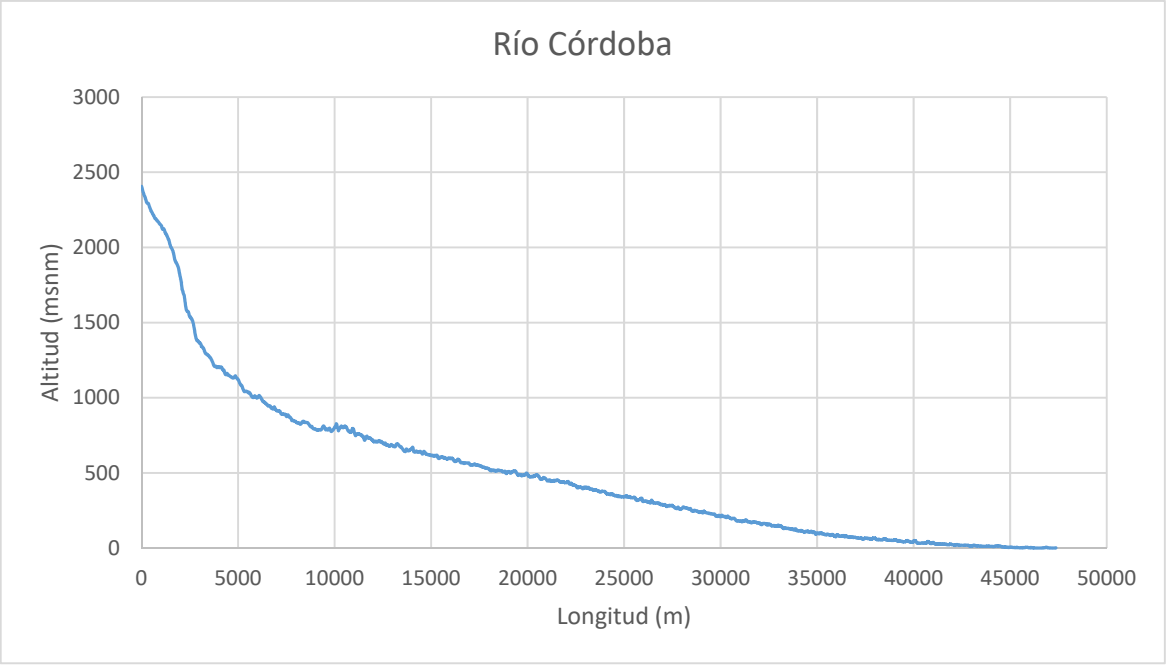
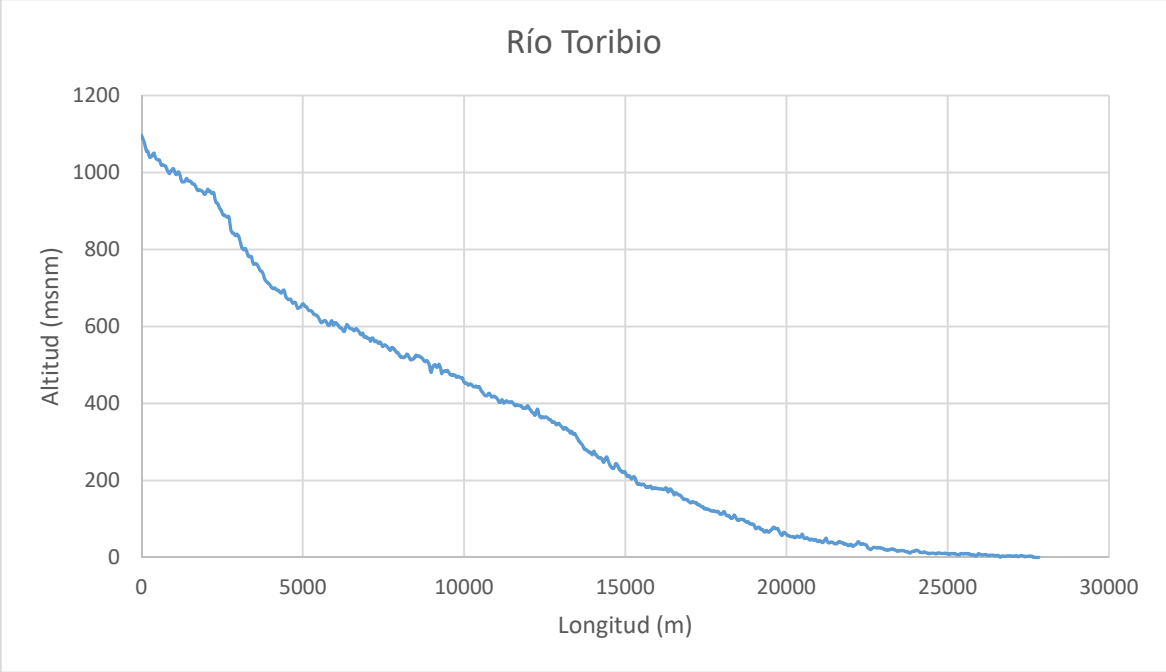


Figura 6.9. Perfil Río Toribio

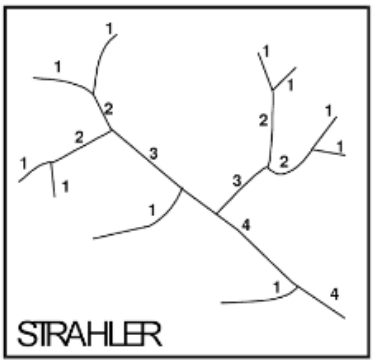


Finalmente, se tiene en la Figura 6.9 la trayectoria que recorre el Río Toribio desde su nacimiento arriba de los 2600 msnm a la altura de la vereda La Reserva y el Corregimiento de Minca. Con una pendiente pronunciada y estable, recorre cerca de 33 Km, descargando sus aguas al extremo suroeste de Santa Marta.

6.2.4. Orden de los cauces

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación, optando en el presente estudio por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden *i* se unen, resulta una corriente de orden *i*+1. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden, como se muestra en la Figura 6.10

Figura 6.10. Esquema orden de drenajes.



Fuente: (Gisbert, S.F)

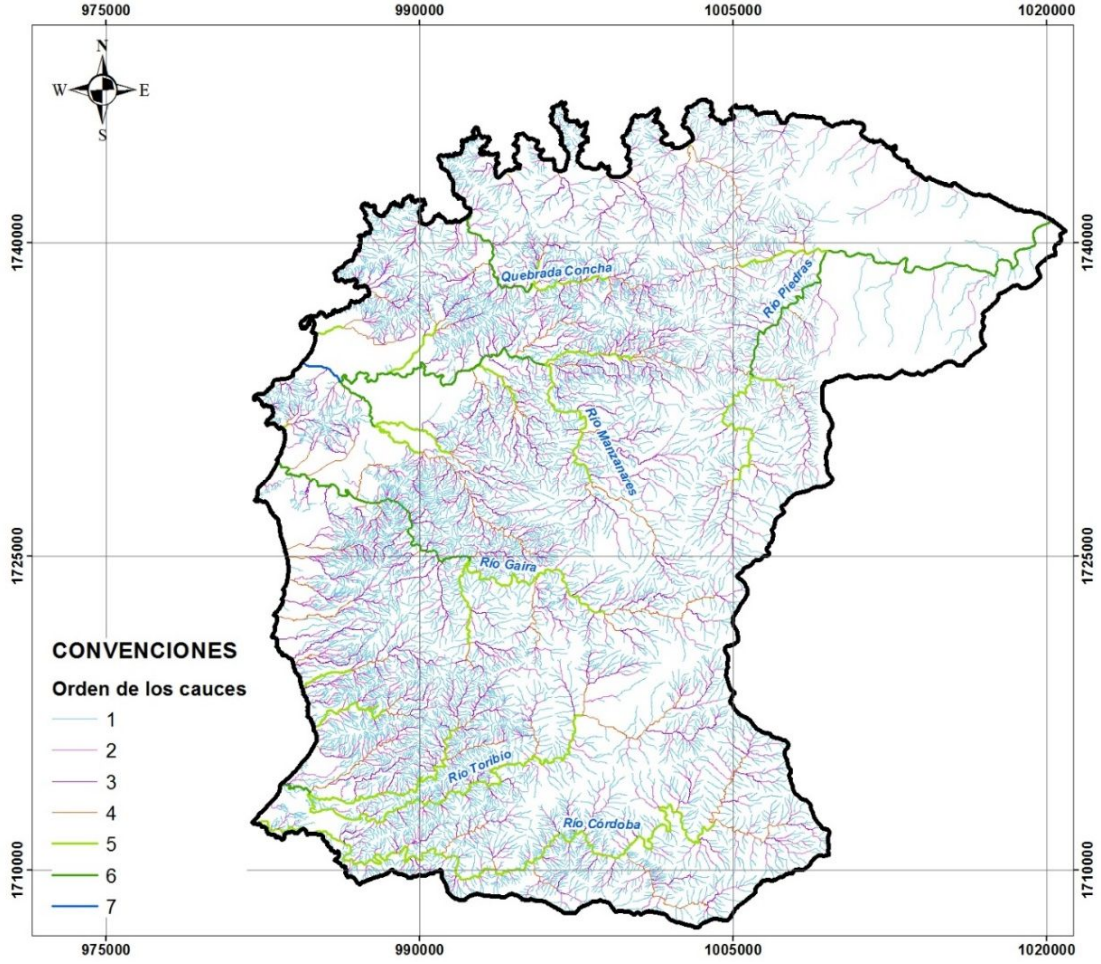
En la Tabla 6.17 se relacionan el orden de los drenajes y su respectivo número de entidades, como se puede observar los cauces principales obedecen al orden 7, mientras que cerca del 51% de la red es de orden 1.

Tabla 6.17. Relación de orden y número de drenajes

Orden	Número de drenajes
1	8207
2	3958
3	2067
4	823
5	796
6	227
7	2

Como se puede observar en la Figura 6.11 y con la informaion anteriormente descrita para esta cuenca, se puede concluir que el valor mayor para el orden de los cauces es de 7 presentes en dos tramos del Río Manzanares, adicionalmente y debido a que la cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe, no presenta un único cauce principal, como se estableció previamente, se tiene para el Río Córdoba un orden 5, Río Piedras orden 6, Quebrada Concha orden 6, Río Toribio orden 6 y Río Gaira orden 6, en cuanto a los drenajes de primer orden se tiene un porcentaje del 51% del total de cauces. Y los drenajes restantes se dviden en lo demás ordenes, tal y como se muestra en la Tabla 6.17. Todo lo anterior se encuentra estrechamente relacionado con la densidad de drenajes (*Dd)* y el coeficiente de torrencialidad (*Ct)* que serán analizados más adelante.

Figura 6.11. Orden de los cauces



6.2.5. Longitud total de drenajes

La longitud de los drenajes se estima con el fin de conocer la densidad de drenajes de la cuenca, para efectos técnicos se determina como la sumatoria de la longitud de las corrientes (Km) por unidad de primer y segundo nivel subsiguiente. Los resultados se recopilan en el Anexo 6.1.

Los mayores valores para las cuencas de segundo nivel subsiguiente se obtuvieron para Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta y para Quebrada Concha, con valores que oscilan entre los 259 y 200 Km, respectivamente.

La anterior información para las unidades de segundo nivel subsiguiente puede detallarse en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18. Densidad de drenajes para las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Longitud De Drenaje (Km)
unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	87,92
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	134,87
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	147,67
1501-0204	Quebrada El Guayabo	52,81
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	116,21
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	120,07
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	259,75
1501-0804	Quebrada La Lisa	47,82
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	86,59
1501-0103	Quebrada La Sierrita	52,13
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	84,44
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	85,60
1501-0203	Quebrada Marinca	129,07
1501-0301	Quebrad El Doctor	61,75
1501-0302	Quebrada Don Jaca	59,69
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	98,04
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	168,06
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	123,99
1501-0502	Quebrada Tamaca	162,77
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	118,85
1501-0600	Quebrada Concha	200,92
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	82,75
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	75,61
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	50,87
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	107,65
1501-0802	Quebrada Jordan	91,90
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	95,74

6.2.6. Densidad de drenaje (corrientes orden 1)

La densidad de drenaje es la longitud total (L) de los cauces de orden 1 a razón del área total de drenaje (*A)* (Campos 1998). Como lo sustenta Gisbert (s.f) es uno de los parámetros más importantes de la morfometría de una cuenca, debido a que permite tener una idea de la erosión que se produce en la misma. Adicionalmente se relaciona con los tiempos de concentración, tipo de suelo y geología de la hoya. "La densidad de drenaje está condicionada por factores como la geología, la vegetación y el clima". Gisbert (s.f). En la Tabla 6.19 se recopilan las clasificaciones de acuerdo a la densidad para las unidades hidrográficas.

$$(D_d) = \frac{\sum L}{A} \qquad (5)$$

Tabla 6.19. Categoría relativas a la densidad de drenaje

Densidad de drenaje (Km/Km²)	Clasificación
≤ 1,5	Baja
1,5 – 2,0	Moderada
2,0 – 2,5	Moderada Alta
2,5 – 3,0	Alta
> 3,0	Muy alta

Como se observa en el Anexo 6.1, 19 cuencas de segundo orden subsiguiente mostraron una densidad de drenajes muy alta, mientras que las 5 unidades restantes tienen una alta densidad, lo cual se puede confrmar en la Figura 6.11; donde podemos observar que los drenajes de orden 1 se concentrán al interior de la y se dispersán al noreste de los mismos.

El coeficiente de torrencialidad y la densidad de drenajes se relacionan ampliamente con el estado de erosión y la respuesta a torrencialidades de la cuenca. Como lo menciona Aparicio (1992) *"Las densidades u órdenes de corrientes pequeños se observan donde, los suelos son muy resistentes a la erosión o muy permeables; donde estos indicadores son elevados, los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa".* Por lo tanto, se ratifica la característica semipermeable de los suelos y su potencial erosivo para la cuenca.

La densidad de drenaje con su respectiva clasificación para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente pueden observarse la Tabla 6.20.

Tabla 6.20. Densidad para las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Densidad de drenaje (Km/Km²)	Clasificación
unidades abastecedoras			
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	3,98	Muy Alta
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	2,59	Alta
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	2,59	Alta
1501-0204	Quebrada El Guayabo	4,31	Muy Alta

Código	Nombre	Densidad de drenaje (Km/Km²)	Clasificación
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	2,66	Alta
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	4,11	Muy Alta
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	3,08	Muy Alta
1501-0804	Quebrada La Lisa	3,24	Muy Alta
Demás unidades			
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	5,00	Muy Alta
1501-0103	Quebrada La Sierrita	3,36	Muy Alta
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	4,60	Muy Alta
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	4,77	Muy Alta
1501-0203	Quebrada Marinca	5,11	Muy Alta
1501-0301	Quebrad El Doctor	5,11	Muy Alta
1501-0302	Quebrada Don Jaca	4,50	Muy Alta
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	3,10	Muy Alta
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	4,11	Muy Alta
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	2,71	Alta
1501-0502	Quebrada Tamaca	3,81	Muy Alta
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	4,06	Muy Alta
1501-0600	Quebrada Concha	3,75	Muy Alta
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	2,28	Moderada Alta
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	3,08	Muy Alta
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	1,21	Baja
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	1,32	Baja
1501-0802	Quebrada Jordan	3,09	Muy Alta
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	2,75	Alta

6.2.7. Coeficiente de torrencialidad

El coeficiente de torrencialidad es el índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca. Se calcula por medio de la relación entre el número de los cauces de primer orden *(L_1)* y el área de cuenca *(A),* permitiendo describir a grandes rasgos la capacidad de encauce y evacuación de la escorrentía que presenta la cuenca, se relaciona estrechamente con la densidad de drenaje.

.

$$(C_t) = \frac{\sum L_1}{A} \qquad (6)$$

Como se ha establecido anteriormente, varias unidades hidrográficas son propensas a presentar eventos torrenciales, condición natural debido a la posición orográfica de la cuenca en un sistema montañoso -como se indicó en el apartado de “Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius”-.

“*En condiciones de pendiente grande, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican torrencialidad, caudales mínimos muy reducidos y, posiblemente, falta temporal de escurrimiento superficial. En condiciones de pendiente reducida, unos valores elevados de la densidad de drenaje*

indican un buen drenaje de las capas de agua freáticas, más estabilidad del régimen de caudales, y una buena alimentación subterránea, en los períodos de estiaje". (Londoño, 2011, p. 211).

Dado lo anterior, podría estimarse que la mayoría de unidades hidrográficas tienden a presentar torrencialidad gracias a sus pendientes pronunciadas y su gran número de corrientes de orden 1, sin embargo, esto está sujeto a demás consideraciones hidrológicas y climáticas. Las unidades hidrográficas de primer nivel subsiguiente que podrían presentar mayores velocidades de descarga son "Quebrada Concha 1501-06", "Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe 1501-03", "Río Toribio 1501-02", "Río Manzanares 1501-05", "Río Gaira 1501-04" y "Río Córdoba 1501-02". Los coeficientes de torrencialidad de cada subcuenca pueden observarse la Tabla 6.21.

Tabla 6.21. Coeficiente de torrencialidad para las unidades de segundo nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Coeficiente De Torrencialidad (Ct)
unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	13,41
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	5,22
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	5,22
1501-0204	Quebrada El Guayabo	11,82
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	6,16
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	12,03
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	7,99
1501-0804	Quebrada La Lisa	9,35
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	10,69
1501-0103	Quebrada La Sierrita	7,94
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	12,70
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	15,60
1501-0203	Quebrada Marinca	18,49
1501-0301	Quebrad El Doctor	17,03
1501-0302	Quebrada Don Jaca	12,58
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	9,07
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	12,47
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	10,18
1501-0502	Quebrada Tamaca	11,97
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	13,71
1501-0600	Quebrada Concha	13,20
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	6,69
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	8,73
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	2,38
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	2,72
1501-0802	Quebrada Jordan	8,88
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	5,09

6.2.8. Tiempo de concentración (Tc)

El tiempo de concentración es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida, para su cálculo existen diferentes fórmulas empíricas que relacionan diferentes parámetros propios de

la cuenca, con el fin de establecer de la manera más adecuada su valor, se emplearon las siguientes ecuaciones empíricas diferentes. (Ven te chow, 1994)

- **Scs-Ranser**

$$Tc = 0{,}97k^{0.385} siendo\ K = \frac{L_c^3}{H} \quad (26$$

En donde:
Tc es el tiempo de concetracion (horas)
H es la diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (pies)
Lc es la longitud del cauce principal

- **California culvert practice**

$$Tc = 0{,}87\frac{L_c^3}{H} \quad (27$$

Tc es el tiempo de concentración (horas).
H es la diferencia entre la cota mayor y la cota menos de la cuenca (m).
Lc es la longitud del cauce principal (km)

- **Kirpich**

$$Tc = 0{,}066(\frac{L}{\sqrt{S}}) \quad (28$$

Dónde:
Tc: tiempo de concentración (horas)
J: pendiente media del cauce principal (H/L)
H: diferencia de nivel entre el punto de desagüe y el punto hidrológicamente más alejado (m)
L: longitud del cauce principal (km)

- **Temez**

$$Tc = 0{,}3\left\lfloor\frac{L}{S^{0{,}25}}\right\rfloor^{0{,}76} \quad (29$$

En donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).
L: Longitud del cauce principal (km).
So: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje

- **Giandotti**

$$T = \frac{4\sqrt{s} + 1{,}5\,L}{0{,}8\sqrt{H}}, siempre\ que\ \frac{L}{3600} \geq Tc \geq \frac{L}{3600 + 1{,}5} \quad (30$$

Dónde:
Tc: tiempo de concentración (horas)
S: Área de la cuenca en km
i: elevación media de la cuenca
L: longitud del cauce principal (km)

- **V.T Chow**

$$Tc = 0{,}8773\left(\frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{CMc - Cm_e}}\right)^{0.64} \quad (31$$

Tc es el tiempo de concentración (horas).
Lc es la longitud del cauce principal (km).
CMc es la cota mayor del cauce principal (m.s.n.m).
Cme es la cota menor del cauce principal (m.s.n.m).

- **Clarck**

$$Tc = 0.335\left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593} \quad (32$$

Donde:

Tc es el tiempo de concentración (horas).
Lc es la longitud del cauce principal (km).
CMc es la cota mayor del cauce principal (m.s.n.m).
Cmc es la cota menor del cauce principal (m.s.n.m).

- **Ventura-Heras**

$$Tc = a\left(\frac{S^{0.5}}{i}\right) \quad Siendo\ 0.05 \leq a \leq 0.5 \quad (33$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (34$$

Donde

Tc es el tiempo de concentración (horas).

I: pendiente media del cauce en %
S: Área de la cuenca en km.
L: Longitud del cauce principal
a: Alejamiento medio

- **Passini**

$$Tc = a\left(\frac{SL}{i^{0.5}}\right)^{\frac{1}{3}} \; Siendo \; 0.04 \; \leq a \; \leq 0.13 \qquad (35$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \qquad (36$$

Tc es el tiempo de concentración (horas).
I: pendiente media del cauce principal.
S: Área de la cuenca en (km).
L: Longitud del cauce principal (km).
a: Alejamiento medio

Posteriormente, se estima un T_c promedio para determinar la respuesta de cada unidad hidrográfica, como se observa en el Anexo 6.2. Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe presentó el menor T_c respecto a las unidades de primer nivel subsiguiente, con un valor medio de 2,51 horas requeridas para descargar sus aguas al Mar Caribe, sin embargo, la ecuación de Clark difiere considerablemente -6,8 horas-.

La segunda menor respuesta para unidades hidrográficas de primer nivel es 4 horas para "Directos al Caribe en el Parque Tayrona 1501-07" debido a su relieve y sus drenajes de corto alcance, seguida de "Quebrada Concha 1501-0", con 4,6 horas en promedio estará desembocando sus aguas al Mar Caribe.

En contraste, los mayores tiempos de concentración se presentan para las unidades "Río Córdoba 1501-01", "Río Piedras 1501-08" y el "Río Manzanares 1501-05" con un T_c de 7,63, 7,57 y 7,35 horas, respectivamente. Con un gran número de drenajes de orden 1 y pendientes al inicio del cauce pronunciadas, comparten una cuenca baja mayormente plana y largos recorridos de cauce como se puede observar en los perfiles de cauce respectivos, lo que puede acaecer una ralentización del descargue de sus aguas a la salida de la cuenca y dependiendo de la forma y la constitución de la red de drenaje ondas de crecidas. Como se estableció previamente en el apartado

Lo anterior se confirma con los valores obtenidos para las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente "Río Manzanares en Santa Marta 1501-0501", "Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe 1501-0801" y "Río Córdoba-Sector Cordobita 1501-0101" -obedecen a las cuencas bajas de los cauces- que indicaron los mayores tiempos de concentración. Ahora bien, de acuerdo a los

resultados obtenidos de Índice de Gravelius (K_c) y Factor de forma (K_f) recopilados en la Tabla 6.22, las unidades hidrográficas desde el análisis morfométrico que pueden presentan mayores velocidades de descargas cuando tenga lugar un evento de precipitación -de acuerdo a su geometría y tiempo de concentración- es el "Río Manzanares" debido a su forma "Oval oblonga a rectangular oblonga" que presenta mayores implicaciones en la concentración de la escorrentía desde la red de drenaje hasta su cauce principal, lo que puede acaecer en mayores caudales pico que en otras unidades hidrográficas, como lo explica González (2004).

Tabla 6.22. Cálculos por metodologías del tiempo de concentración para las unidades de segundo nivel subsiguiente.

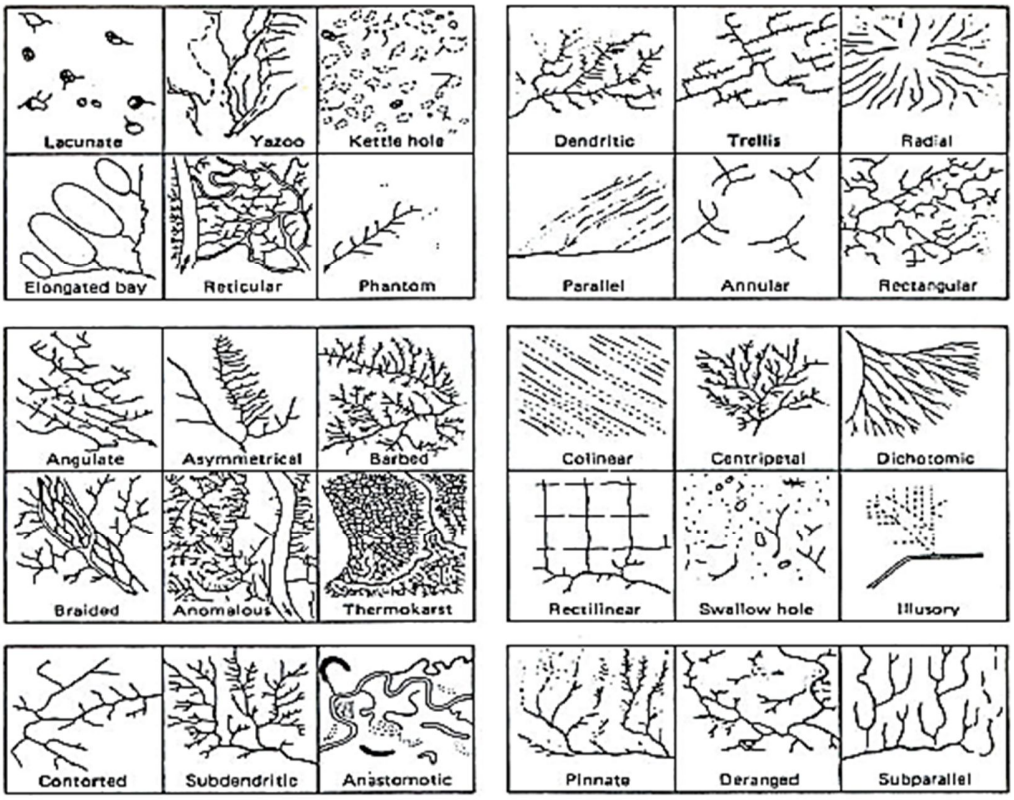
Código		Tiempos De Concentración (Tc)						
	Número De Curva	Ecuación De Retardo SCS (h)	Kirpich (h)	Temez (h)	Giandotti (h)	Clarck (h)	Passini (h)	Tc promedio (h)
Unidades abastecedoras								
1501-0101	66,5	5,50	3,0	2,3	4,1	8,1	7,3	5,1
1501-0104	60,5	5,52	1,6	1,8	1,6	6,9	3,4	3,5
1501-0202	62,5	5,20	1,3	1,6	1,5	6,8	3,0	3,2
1501-0204	66,4	3,75	0,8	0,9	1,3	3,1	1,7	1,9
1501-0402	59,7	4,94	1,1	1,4	1,4	5,9	2,7	2,9
1501-0403	71,2	2,43	1,0	0,9	3,1	7,3	3,7	3,1
1501-0503	62,3	8,12	1,8	2,1	2,0	9,6	4,5	4,7
1501-0804	61,7	2,97	0,7	0,9	0,9	2,8	1,3	1,6
Demás unidades								
1501-0102	59,2	3,53	1,0	1,1	1,2	3,6	1,9	2,1
1501-0103	62,7	3,16	0,8	1,0	1,0	3,0	1,5	1,7
1501-0105	63,0	4,09	1,3	1,5	1,4	4,0	2,4	2,4
1501-0201	66,1	5,66	2,4	2,1	2,6	5,6	4,6	3,8
1501-0203	63,1	5,47	1,5	1,7	1,7	5,1	3,1	3,1
1501-0301	60,8	3,96	0,8	1,0	1,1	2,8	1,5	1,8
1501-0302	60,0	3,42	0,7	0,9	1,0	2,9	1,4	1,7
1501-0303	69,2	3,40	0,7	0,8	1,5	5,1	2,0	2,3
1501-0401	60,5	8,44	2,3	2,3	2,2	7,4	4,7	4,6
1501-0402	59,7	4,94	1,1	1,4	1,4	5,9	2,7	2,9
1501-0403	71,2	2,43	1,0	0,9	3,1	7,3	3,7	3,1
1501-0501	76,3	4,25	4,5	2,6	10,1	18,9	17,5	9,7
1501-0502	69,3	6,64	1,9	2,0	2,0	7,2	4,1	4,0
1501-0504	65,4	4,04	1,1	1,2	1,7	5,3	2,6	2,6
1501-0600	59,9	6,28	1,9	1,9	2,8	9,5	5,3	4,6
1501-0701	56,6	2,17	0,4	0,5	1,4	4,8	1,4	1,8
1501-0702	56,2	3,36	0,9	1,0	1,7	4,9	2,3	2,3
1501-0703	55,7	2,31	0,5	0,6	2,1	6,2	2,0	2,3
1501-0801	65,4	8,02	3,6	3,0	4,4	15,2	10,3	7,4
1501-0802	65,1	3,75	1,2	1,2	2,4	6,6	3,5	3,1
1501-0803	61,4	4,23	1,1	1,3	1,3	4,9	2,3	2,5

6.2.9. Patrones de drenaje

En este aparte se caracteriza la red de drenaje de acuerdo a la ordenación de flujo que presentan al interior de la cuenca y como evacuan las aguas superficiales. El patrón de drenaje es un elemento compuesto, para cuyo análisis es fundamental tener en cuenta el relieve, la distribución de la

vegetación, y las condiciones estructurales de la zona. Como se observa en la Figura 6.12 los patrones de drenaje pueden consolidarse en tres grandes grupos.

Figura 6.12. Patrones de drenaje.



Fuente: Alfonso (2014)

- Patrones de drenaje erosiónales entre los cuales encontramos el dendrítico, pinnado, trellis, radial, paralelo, anular y rectangular. Estos patrones pueden verse influenciados al igual que la densidad de drenajes, por la geología, el tipo de suelo y la vegetación de la cuenca.
- Patrones de drenaje deposicionales, como lo cita Alfonso (2014), este grupo se ve dominado por los procesos sedimentarios de la cuenca, entre los cuales vemos el *reticular y el distributario.*
- Patrones de corrientes individuales, se habla entonces de los cauces canalizados "*cauces rectos".* Mientras que en condiciones naturales se tienen los *cauces meándricos,* estos son corrientes de gran ondulación. Finalmente, para corrientes principales de cuencas sedimentarias encontramos un patrón de *trenzado o anastomosados.*

A continuación, se describen las principales características de los patrones de drenaje más comunes y presentes en las cuencas de estudio de primer y segundo nivel:

❖ *Dendrítico:*

Es el patrón más frecuentemente entre cuencas de primer y segundo nivel, como lo contempla Londoño (2001) muestra una ramificación arborescente formando ángulos agudos entre sí. Se desarrolla en suelos homogéneos, semipermeables, con pendientes suaves, características usualmente encontradas en la cuenca 1501. "Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicos, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente". Londoño (2001).

❖ *Paralelo:*

En este se pueden distinguir dos tipos, según Londoño (2001): patrón subparalelo, que tiene lugar en zonas de alto relieve con pendientes escarpadas; y otra conocida como patrón colinear, que, aunque es escaso, puede presentarse en zonas de dunas longitudinales, complejos de orillares.

❖ *Reticular:*

Usualmente se encuentra en planicies costeras jóvenes, muy planas y que se asemeja a una red. "Se observa gran cantidad de canales interconectados y meandros con curvas rectangulares debidas a la influencia de las mareas. Además, las corrientes que llegan al mar amplían bastante su cauce". Londoño (2001).

El patrón de drenaje que se presenta en su mayoría en las cuencas hidrográficas del río Piedras, río Manzanares y otros directo al Caribe (CÓD. 1501) es del tipo Dendrítico, tan solo 2 unidades presentan un patrón de drenaje Reticular y una un patrón de drenaje Paralelo, consecuente con la tendencia de los suelos a presentar texturas francas – francoarcillosas, que se caracterizan en unidades semipermeables. Dentro de la Tabla 6.23 se discriminan todos los patrones de drenaje.

Tabla 6.23. Patrón de Drenaje para las unidades de segundo nivel subsiguiente.

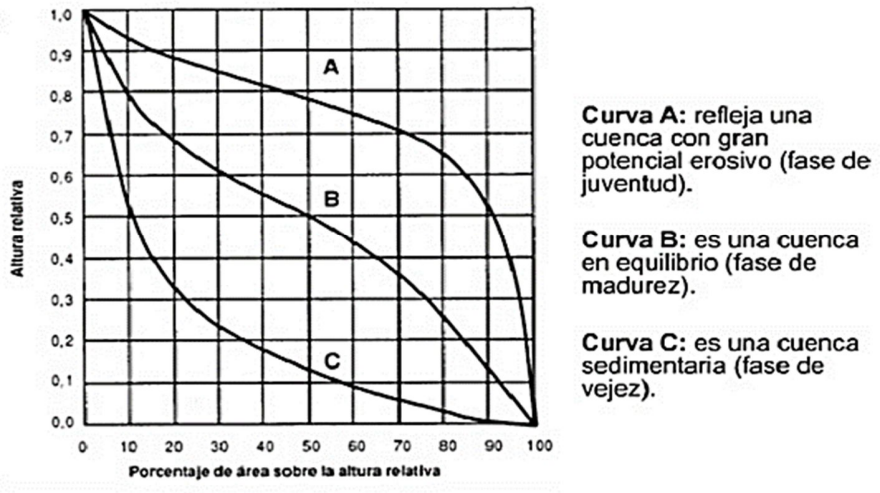
Código	Nombre	Patrones De Drenaje
Unidades abastecedoras		
1501-0101	Río Cordoba-Sector Cordobita	Dendrítico
1501-0104	Río Cordoba-Sector Agualinda	Dendrítico
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	Dendrítico
1501-0204	Quebrada El Guayabo	Dendrítico
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	Dendrítico
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	Dendrítico
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	Dendrítico
1501-0804	Quebrada La Lisa	Dendrítico
Demás unidades		
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Cordoba (mi)	Dendrítico
1501-0103	Quebrada La Sierrita	Dendrítico
1501-0105	Quebrada El Quindio y otros directos al Río Cordoba (md)	Dendrítico
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	Dendrítico
1501-0203	Quebrada Marinca	Dendrítico
1501-0301	Quebrad El Doctor	Dendrítico
1501-0302	Quebrada Don Jaca	Dendrítico
1501-0303	Quebrada El Ebano y otros directos al Caribe	Reticular
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	Dendrítico

1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	Dendrítico
1501-0502	Quebrada Tamaca	Dendrítico
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	Dendrítico
1501-0600	Quebrada Concha	Dendrítico
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	Dendrítico
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Dendrítico
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Reticular
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	Paralelo
1501-0802	Quebrada Jordan	Dendrítico
1501-0803	Río Piedras entre la Cuchills de San Lorenzo y San Isidro	Dendrítico

6.3. Curva hipsométrica

Se define como la acumulación del área de la cuenca que se ubica en cierto rango altitudinal. Domínguez (2015). Este parámetro puede ser indicador del grado de erosión de la hoya hidrográfica, lo cual está determinado por el % de área acumulada en las diferentes alturas de la cuenca como se puede observar en la Figura 6.13.

Figura 6.13. Tipos de curva hipsométrica.



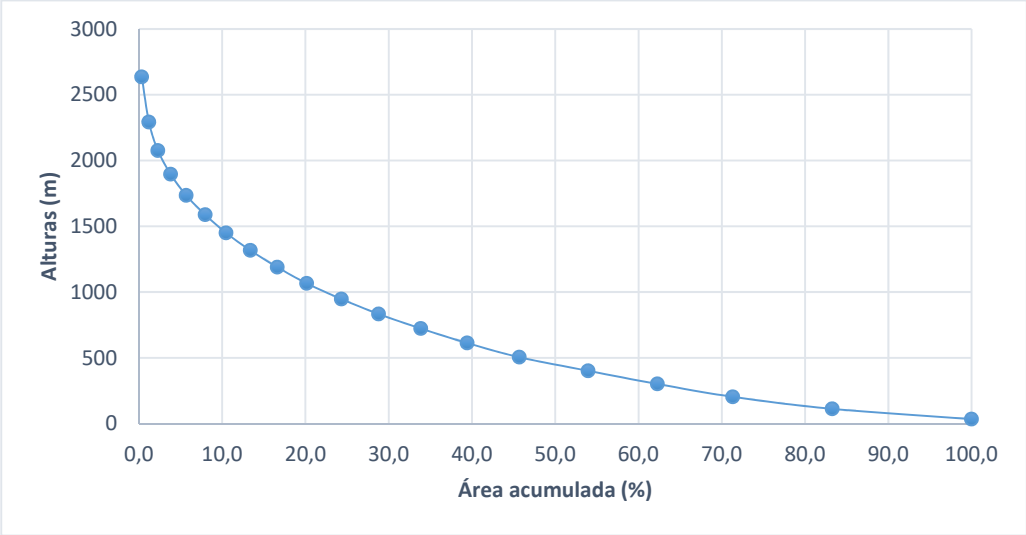
Fuente: Domínguez (2015)

La función que describe la curva hipsométrica es:

$$H = \frac{\sum c_i * a_i}{A} \qquad (7)$$

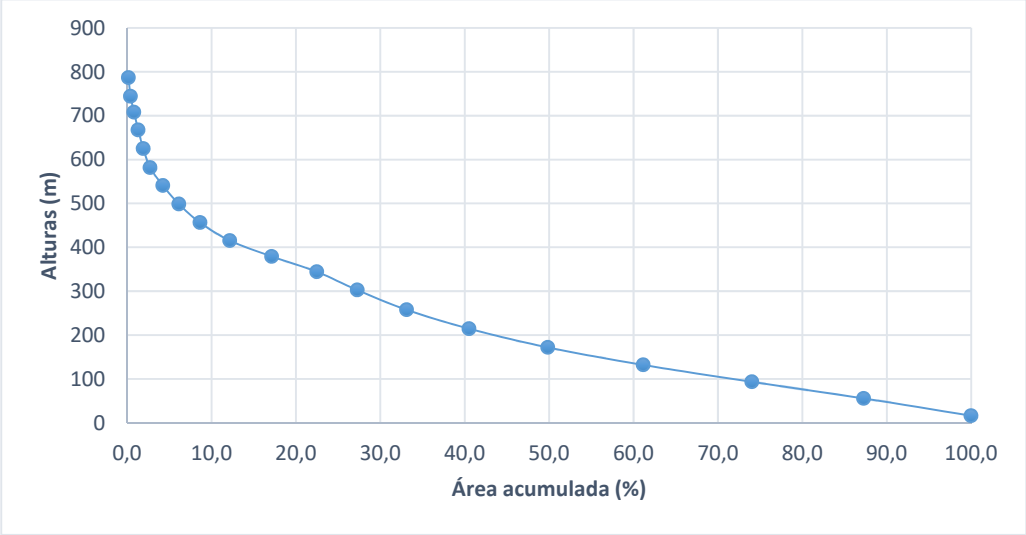
Dónde c_i es la cota media del área i entre dos curvas de nivel, a_i es el área i entre dos curvas de nivel y A es el área total de la cuenca. En el Anexo 6.3 se recopilan los valores obtenidos para cada curva hipsométrica.

Figura 6.14. Curva hipsométrica. Cuenca 1501-08 Río Piedras



Como se observa en la Figura 6.14, la curva para la cuenca del Río Piedras, obedece a una tendencia sedimentaria, esto puede explicarse desde la acumulación de la longitud del cauce en pendientes bajas que favorecen la acumulación de sedimentos en la cuenca baja, lo anterior es congruente con el perfil del río -ver Figura 6.7 y dónde, cerca del 80% del área de la cuenca se distribuye en una caída altitudinal de tan solo 1000 msnm.

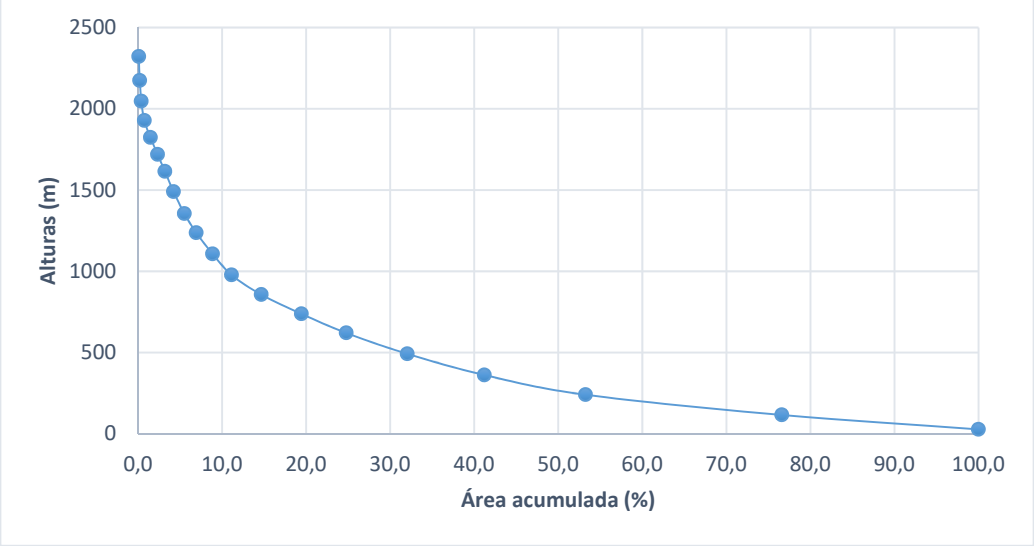
Figura 6.15. Curva hipsométrica, Cuenca 1501-06 Quebrada Concha



Para la unidad Quebrada Concha la curva hipsométrica, representada en la Figura 6.15 es congruente con una cuenca de tipo sedimentaria, puede estimarse que la respuesta de esta cuenca en su parte alta podría presentar altos caudales a razón de una caída pronunciada, seguida de una

acumulación en altitudes entre los 300 y los 0 msnm dónde se concentra la mayor parte de la superficie.

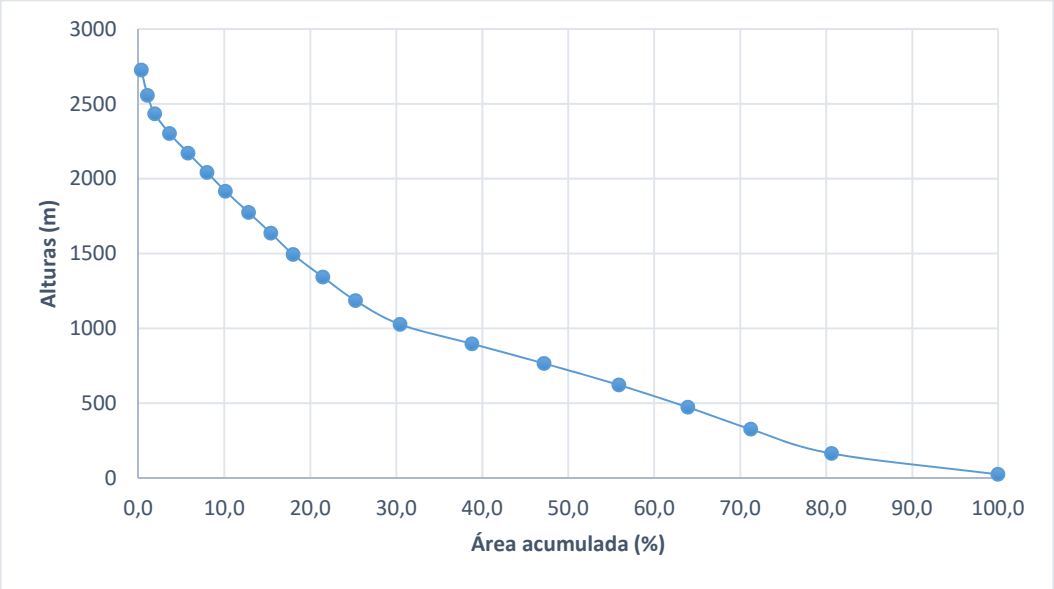
Figura 6.16. Curva hipsométrica, cuenca 1501-05 Río Manzanares



La unidad del Río Manzanares, una de las más extensas de primer nivel presenta una de las mayores acumulaciones de área en pendientes bajas, como pude verse en la Figura 6.16, lo que podría indicar una evacuación de las aguas menos eficiente y por ende mayor tendencia a las inundaciones, en cotas aproximadas de 1000 – 0 msnm, lo que confirma el análisis del perfil del cauce principal, anteriormente descrito.

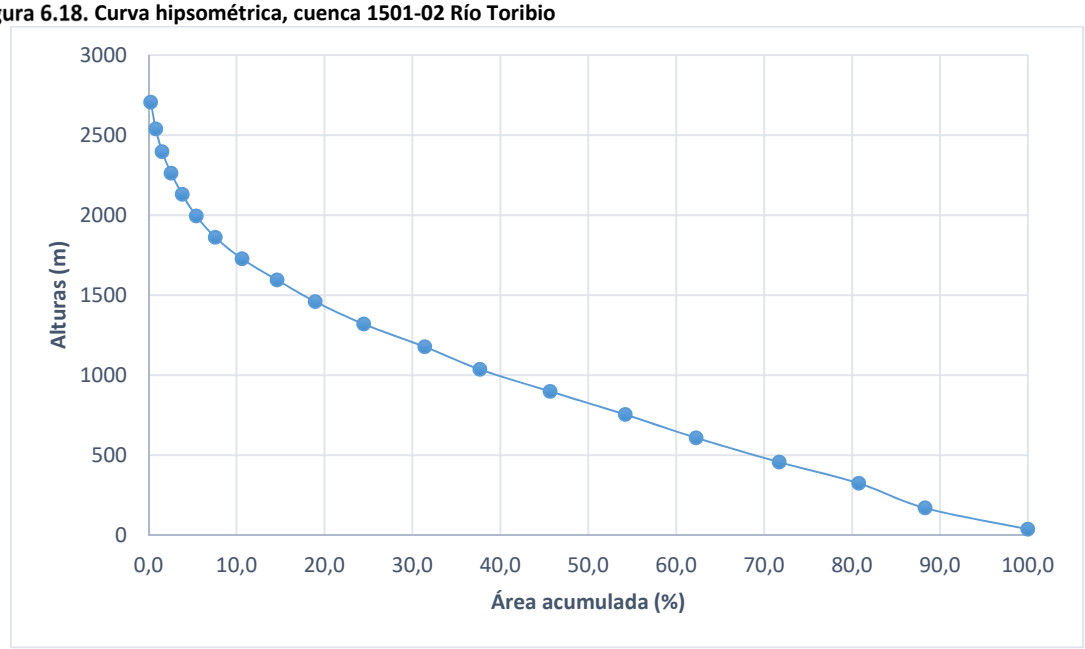
A continuación, se presenta la curva para la cuenca Río Gaira, una de las cuencas de primer nivel de menor extensión, en la Figura 6.17, se puede observar que se presentan dos leves saltos en la tasa de acumulación del área, en altitudes de 1026 y 164 msnm. Esto indicaría un cambio en el comportamiento del caudal de salida, lo cual depende de las demás interacciones de factores morfométricos, climáticos e hidrológicos.

Figura 6.17. Curva hipsométrica, cuenca 1501-04 Río Gaira



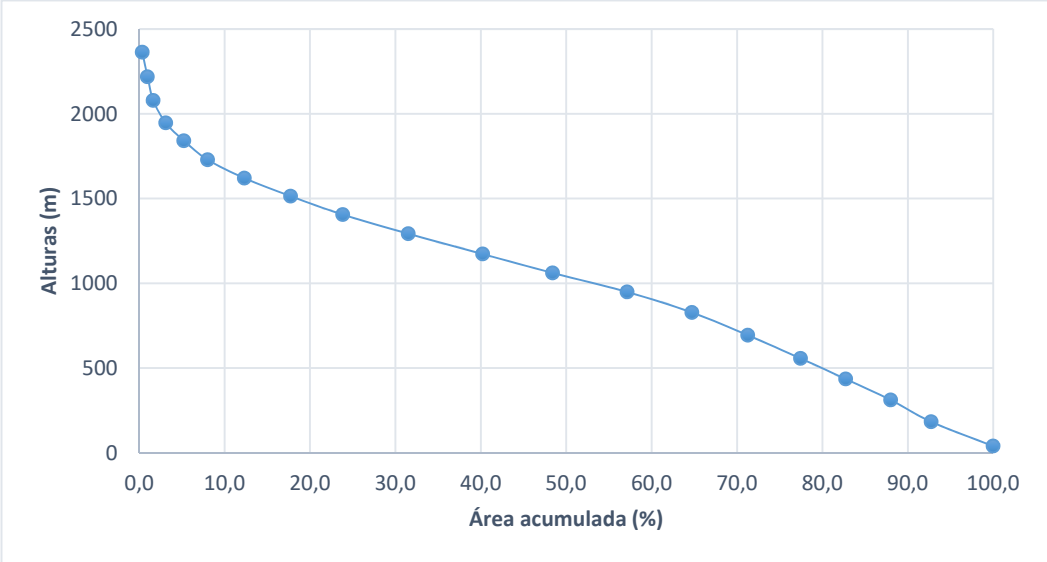
Asi mismo, se tiene para la cuenca Río Toribio una curva hipsométrica típica de una cuenca sedimentaria (Figura 6.18), con un gradiente de acumulación sin mayores saltos ni rezagos. No obstante, cabe señalar que la mayoría de su extensión se ubica en cotas por debajo de los 1500 msnm.

Figura 6.18. Curva hipsométrica, cuenca 1501-02 Río Toribio



Finalmente, para la cuenca del Río Córdoba se presenta la curva hipsométrica en la Figura 6.19, la cual se caracteriza por presentar una curva típica de cuencas equilibradas entre los procesos erosivo y sedimentario como se ilustra en la Figura 6.13. La información generada permite establecer una buena respuesta en la evacuación de las aguas que para esta cuenca tiene lugar en el extremo suroeste de la zona hidrográfica.

Figura 6.19. Curva hipsométrica, cuenca 1501-01 Río Córdoba



7. PENDIENTES.

Uno de los factores de impacto sobre los suelos, así como en las inundaciones o en las crecidas súbitas de las quebradas es la pendiente del terreno; este factor derivado del relieve ha sido estudiado ampliamente, como es el caso de su incidencia en la erosión (Hudson and Jackson, 1959) (Wischmeier and Smith 1978) y esta misma dimensión sobre los riesgos que ella pueda tener en muchos aspectos.

La pendiente según propiedades internas y externas del suelo determina el momento de la escorrentía y sus efectos sobre el suelo; altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía, considerándose criticas estas áreas por su susceptibilidad a la erosión y la alteración de las condiciones de recarga hídrica, mientras que relieves planos permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo beneficiando la infiltración.

Dentro de la Guía de los POMCAs se incluyen dos clasificaciones sobre la pendiente; la primera clasificación es utilizada por el IGAC[52] para identificar las limitaciones de uso que tiene suelo para la producción rural, la segunda clasificación es usada por el SGC[53] para estimar las áreas más críticas en diferentes tipos de riesgos.

- **Clasificación de la pendiente según el IGAC**

La clasificación de las pendientes utilizada por el IGAC presenta siete clases, cuyos intervalos en porcentaje y grados se presentan en la Tabla 7.1; los intervalos han sido validados por esta institución y sus límites tienen incidencia en la productividad, manejo, conservación y recuperación del suelo, afectando su potencialidad de uso o aumentando su susceptibilidad a la degradación.

Tabla 7.1. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el IGAC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase	Intervalo		Interpretación
	%	°	
a	0 - 3	0 - 1.718	Plana a ligeramente plana
b	3 - 7	1.718 - 4.004	Ligeramente inclinada
c	7 - 12	4.004 - 6.843	Moderadamente inclinada
d	12 - 25	6.843 - 14.036	Fuertemente inclinada
e	25 - 50	14.036 - 26.565	Ligeramente escarpada
f	50 - 75	26.565 - 36.870	Moderadamente escarpada
g	>75	> 36.870	Fuertemente escarpada

[52] IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
[53] SGC: Servicio Geológico Colombiano

- **Clasificación de la pendiente según el SGC**

Esta clasificación también presenta siete clases identificadas con números y si se compara con respecto a la clasificación del IGAC, su distribución y amplitud para cada clase son diferentes (ver Tabla 7.2). Los productos derivados de esta clasificación son utilizados en la identificación de la remoción en masa y en los riesgos por incendios.

Tabla 7.2. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase	Intervalo		Interpretación
	%	°	
1	>= 8.74887	0 - 5	Plana a suave
2	8.74887 - 17.63270	5 - 10	Inclinada
3	17.63270 - 26.79492	10 - 15	Muy inclinada
4	26.79492 - 36.39702	15 - 20	Abrupta
5	36.39702 - 57.73503	20 - 30	Muy abrupta
6	57.73503 - 100	30 - 45	Escarpada
7	> 100	> 45	Muy Escarpada

7.2. Metodología.

La metodología seguida para la construcción de esta temática se presenta en el Anexo cartográfico; en términos generales el desarrollo de los productos aquí generados se sustentan sobre el modelo de elevación digital construido para el proyecto, adicional a esto se utilizó el programa ArcGIS 10.4, con la extensión Dem Surface Tools de la empresa Jenness Enterprises[54] y en algunas etapas del proceso se utilizó Excel 2016.

Las capas producidas de forma digital son producto de la tecnología actual que cada vez se aproxima más a la realidad; sin embargo, no se puede descartar su comprobación en campo, para ello se aprovechó la programación de las salidas y con el apoyo de inclinómetros digitales se verificó o rectificó la calificación. La comunidad que acompañó las rutas colaboró en la verificación de la temática y adicionalmente recibió una explicación sobre el impacto que la pendiente del terreno tiene sobre el suelo y la integridad ambiental de la cuenca.

Es importante aclarar que sobre este tema se derivan tres productos, el primero es el raster con el dato del gradiente de la pendiente en grados (producto intermedio usado en remoción en masa), el segundo es el raster reclasificado en clases según la clasificación del Servicio Geológico Colombiano (producto intermedio) y el tercero es la capa de clases de pendientes en polígonos (producto final) utilizando la clasificación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

[54] http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm

7.3. Análisis De Pendientes Según Clasificación IGAC.

La cuenca tiene una extensión de 92799.44ha de las cuales 85237.7ha (91.84%) fue estimada la pendiente, las restantes 7561.7ha corresponden a lo sustraído por las capas de cuerpos de agua (ciénagas, drenajes dobles y lagunas superiores 1 ha) y centros poblados.

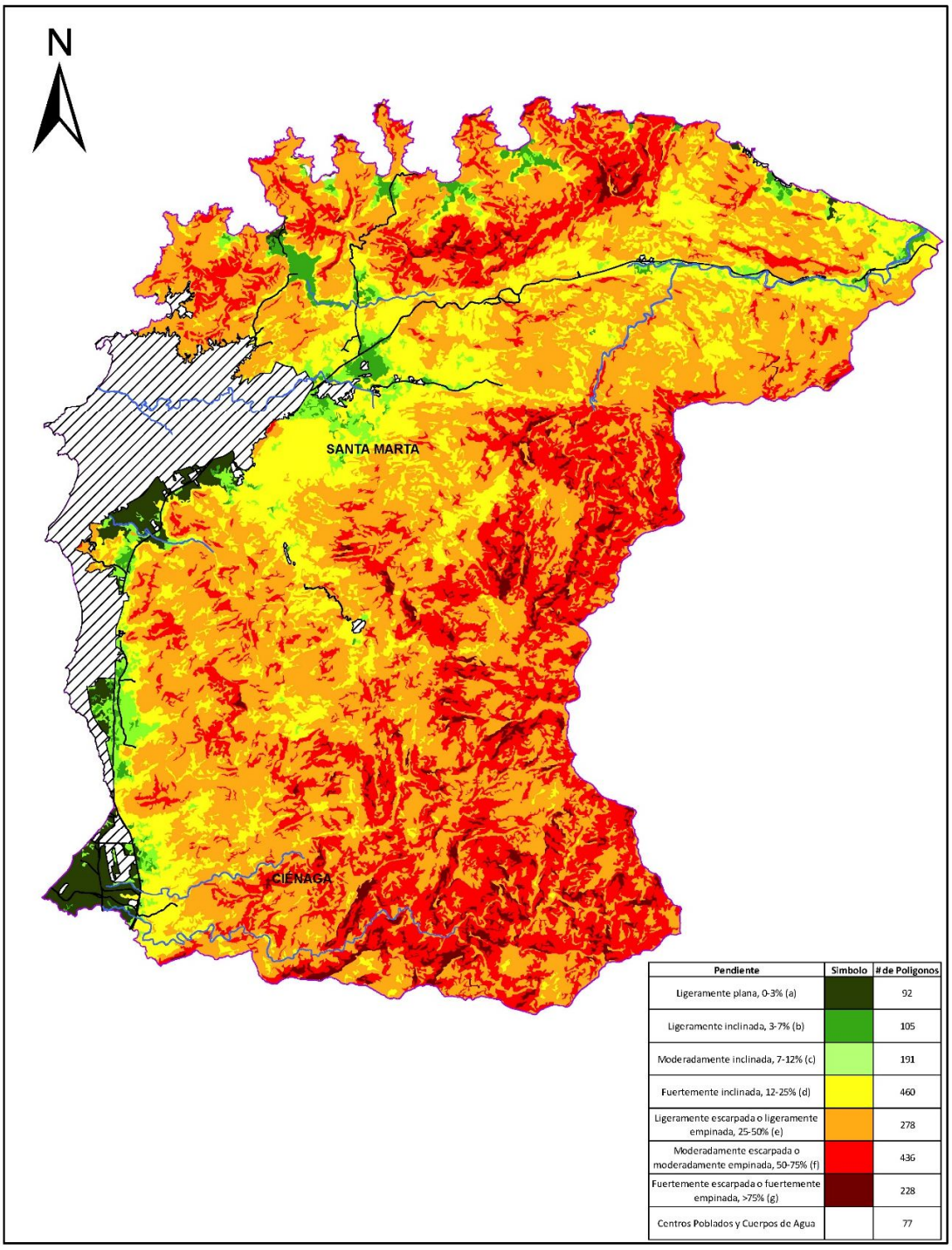
En términos de clase de pendiente la topografía ligeramente escarpada (25 a 50%) domina sobre la cuenca en casi la mitad de ella (43.88%), seguidamente se presentan las clases moderadamente escarpada (50 a 75%) con 21.8% y fuertemente inclinada (> 75%) con 17.28%; las clases plana a ligeramente inclinada tienen los porcentajes 1.78 y 1.48 respectivamente, aunque poco representativas el grueso de ellas están incluidas en las áreas urbanizadas (ver Figura 7.1) (ver Tabla 7.3).

Esta cuenca refleja la condición impuesta por la tectónica al relieve, dado que el 68.84% de la topografía es escarpada y tan solo el 13.87% corresponde a topografía plana a moderadamente inclinada; lo anterior impone condiciones a la biota como reducir la cantidad de agua disponible por exceso de escorrentía o incrementar la susceptibilidad de los suelos a la erosión (erodabilidad).

Tabla 7.3. Resultados de las clases por pendiente IGAC y su correspondiente área en hectáreas y porcentaje.

Clase			Área	
Símbolo	**Nombre**	**Intervalo %**	**Ha**	**%**
a	Plana a ligeramente plana	0 - 3	1656.4	1.78
b	Ligeramente inclinada	3 - 7	1374.5	1.48
c	Moderadamente inclinada	7 - 12	2282.2	2.46
d	Fuertemente inclinada	12 - 25	16040.3	17.28
e	Ligeramente escarpada	25 - 50	40719.5	43.88
f	Moderadamente escarpada	50 - 75	20234.2	21.8
g	Fuertemente escarpada	>75	2930.5	3.16

Figura 7.1. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno clasificación IGAC, 2016.



7.4. Análisis De Pendientes Según Clasificación SGC.

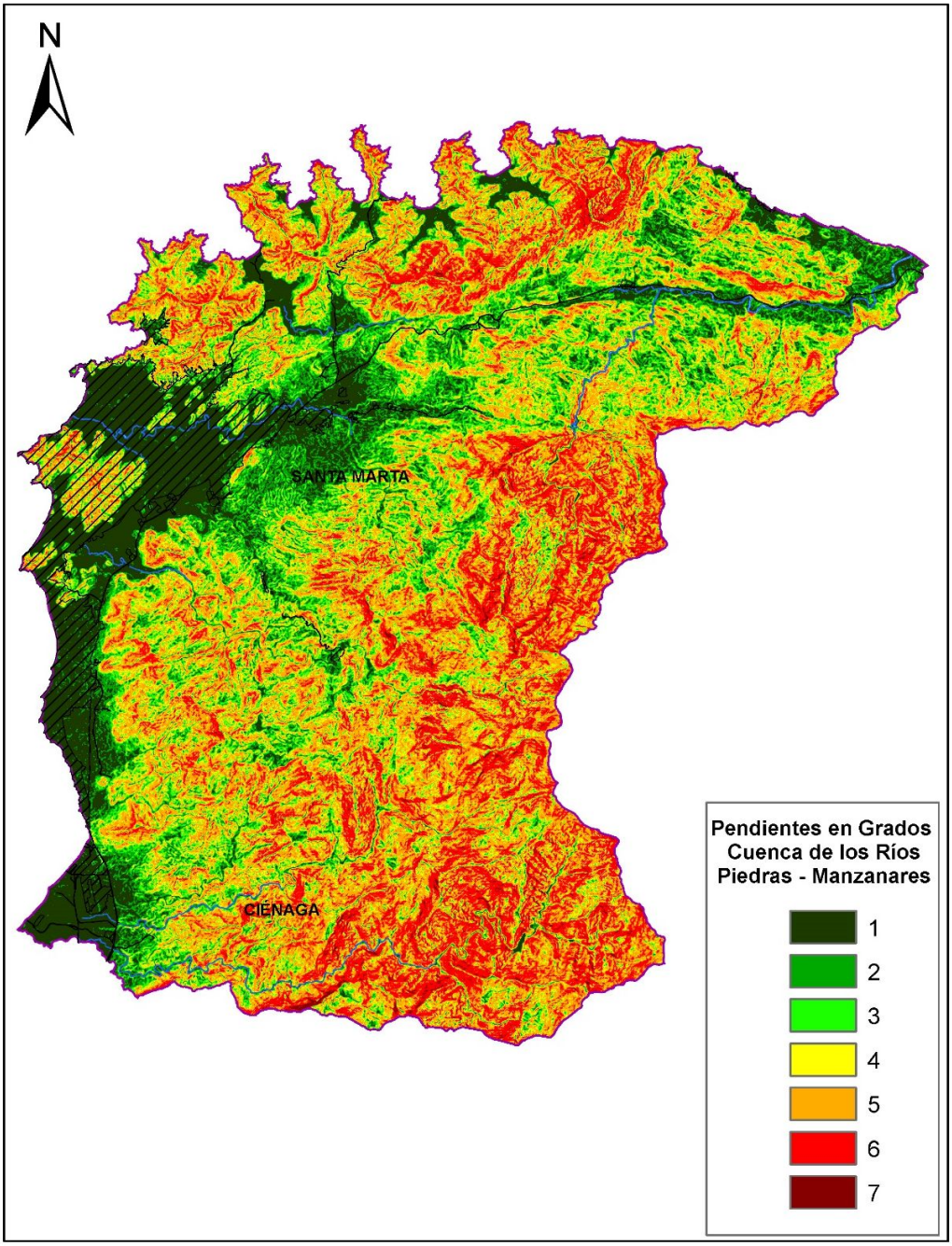
Según la distribución presentada en la Tabla 7.4, cinco de las clases presentes en la cuenca tienen una distribución homogénea (clases 1, 2, 3, 4 y 6), salvo la clase plana a suave (1) las restantes incrementan gradualmente; la clase muy abrupta (5) junto con la clase muy escarpada (7) resultan atípicas, la primera por su alta ocurrencia mientras que la segunda por la escasa presencia. No obstante, lo anterior indica lo proclive de la cuenca a presentar fenómenos de remoción en masa y lo expuesto que están los asentamientos humanos e infraestructuras a la amenaza. En este sentido, la cuenca es vulnerable a la propagación de incendios por lo fuerte de sus gradientes de inclinación, aunado a la exposición de vientos y bajas precipitaciones.

Tabla 7.4. Clases e intervalos en porcentaje y grados con sus respectivas áreas, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase			Área		
Símbolo	**Nombre**	**Intervalo °**	**m²**	**Ha**	**%**
1	Plana a suave	0 - 5	133675900	13367.590	14.4
2	Inclinada	5 - 10	104198600	10419.860	11.23
3	Muy inclinada	10 - 15	120294800	12029.480	12.96
4	Abrupta	15 - 20	141039000	14103.900	15.2
5	Muy abrupta	20 - 30	272770400	27277.040	29.39
6	Escarpada	30 - 45	149289300	14928.930	16.09
7	Muy Escarpada	> 45	6726400	672.640	0.72

En la Figura 7.2 se presenta la salida gráfica de la clasificación del Servicio Geológico Colombiano, si se compara esta figura con la presentada por la clasificación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Figura 7.1) se puede intuir de forma errónea que la clasificación del SGC es menos impactante; sin embargo, es claro que esta clasificación en este caso es menos expresiva en término de presentar la realidad de la cuenca desde la pendiente.

Figura 7.2. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno clasificación SGC, 2016.



7.5. Conclusiones.

La cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al mar Caribe, por pertenecer al sistema orográfico de la Sierra Nevada de Santa Marta, han heredado las fuertes pendientes en la mayor parte de su territorio, lo que conlleva a generar una adecuada identificación de las diferentes clases de pendiente, porque el éxito ambiental está fuertemente ligado al tema de la pendiente; como se aprecia tanto de las tablas para las dos clasificaciones, como de sus salidas gráficas, las áreas con pendientes de mayor potencialidad para la producción rural ya fueron ocupadas por el desarrollo urbano y las infraestructuras, quedando supeditada la producción a áreas con pendientes más fuertes y por consiguiente más vulnerables al deterioro ambiental.

Aunado a lo anterior, el material litológico asociado a pendientes fuertes y procesos erosivos moderados, reducen la acumulación de suelo y por consiguiente colocan en mayor riesgo no solamente a la población y las infraestructuras, sino que reducen la oferta de hábitats para las comunidades faunísticas y vegetales.

8. HIDROLOGÍA

La cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros Directos al Caribe pertenece a la Macrocuenca Caribe a nivel nacional, y comprende los cuerpos de agua que nacen desde la estrella de San Lorenzo, como se mencionó en el capítulo de hidrografía. La influencia de la Sierra Nevada de Santa Marta y la zona Costera sobre la cuenca es sumamente notoria, y de sus flujos depende la ciudad de Santa Marta y otros centros poblados de interés de la región.

Los Planes de Manejo y Ordenación de Cuencas Hidrográficas (POMCA), tienen como objetivo lograr la caracterización, diagnóstico, manejo y uso sostenible de los recursos que posee la zona inmersa en la cuenca hidrográfica, estableciendo una zonificación y un posterior componente programático que busca mantener un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca.

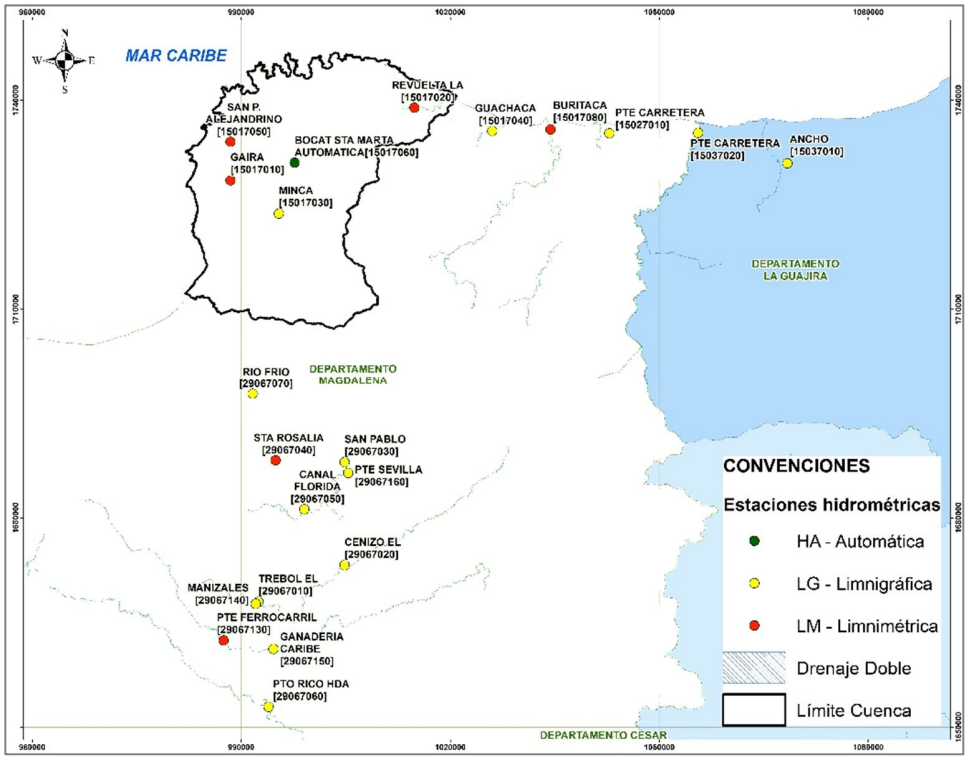
A continuación, se presenta el desarrollo metodológico de cada uno de los componentes determinados en la Guía Técnica para la formulación de planes de ordenación y Manejo de cuencas hidrográficas en lo correspondiente al componente hidrológico.

8.1. Descripción Y Evaluación De La Red De Estaciones Hidrológicas En La Cuenca.

Para el presente estudio, fueron analizadas las estaciones hidrométricas disponibles en la zona de la cuenca Río Piedras, Manzanares y otros directos al caribe, así como sus áreas aledañas, estaciones que se encuentran ubicadas en el departamento de Magdalena.

Para el análisis de los caudales en la cuenca hidrográfica, se recopiló la información de 21 estaciones cuya información fue recopilada durante la fase de aprestamiento del presente POMCA, que cuentan con series a nivel diario, entre las cuales se tienen 1 Hidrométrica automática (HA), 6 Limnimétricas (LM) y 14 Limnigráficas (LG), todas pertenecientes a la red de monitoreo del IDEAM, como se muestra en la Figura 8.1, de las cuales solo 5 estaciones se encuentran al interior de la cuenca.

Figura 8.1. Localización estaciones hidrométricas



Las series originales son suministradas por el IDEAM en archivos tipo texto, cada una con los datos de las series de caudales medios, máximos, mínimos y niveles mensuales. Para la realización del análisis los archivos son convertidos a un formato compatible de hoja de cálculo, y posteriormente, se someten a un control de calidad de los datos que consta inicialmente de un análisis cualitativo de acuerdo a las características de las corrientes donde se ubican, se descartan las estaciones con series menores a 15 años, y por último se efectúa un análisis de consistencia y homogeneidad de los mismos, siguiendo los protocolos de la Organización Meteorológica Mundial y los determinados por la Guía Técnica para la Formulación de POMCAS (2014). Las 21 estaciones se encuentran enumeradas en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Estaciones hidrométricas

Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud	Coord. X	Coord. Y	Fecha instalación	Fecha suspensión
Gaira [15017010]	LM	SUS	Gaira	10	1728515,07	1728515,07	15/09/1964	15/02/1981
Minca [15017030]	LG	ACT	Gaira	650	1723750,76	1723750,76		
Guachaca [15017040]	LG	ACT	Guachaca	40	1735621,48	1735621,48		
Bocat Sta Marta Automática[15017060]	HA	ACT	Manzanares	60	1731054,27	1731054,27		
Buritaca [15017080]	LM	ACT	Buritaca	28	1735844,4	1735844,4	15/12/1999	
Ancho [15037010]	LG	ACT	Ancho	50	1730963,88	1730963,88		
Revuelta La [15017020]	LM	ACT	Piedras	50	1738948,24	1738948,24	15/05/1965	

San P. Alejandrino [15017050]	LM	SUS	Manzanares	20	1734045,9	1734045,9	15/10/1972	15/07/1987
Pte. Carretera [15027010]	LG	ACT	Don diego	40	1735270,82	1735270,82	15/12/1973	
Pte. Carretera [15037020]	LG	ACT	Palomino	30	1735333,39	1735333,39	15/10/1973	
Trébol El [29067010]	LG	ACT	Tucurinca	60	1667961,93	1667961,93	15/03/1958	
San Pablo [29067030]	LG	SUS	Sevilla	900	1687954,7	1687954,7	15/08/1960	15/04/1975
Sta. Rosalia [29067040]	LM	ACT	Orihueca	55	1688225,08	1688225,08		
Pto Rico Hda [29067060]	LG	ACT	Fundación	55	1652927,63	1652927,63	15/06/1967	
Pte. Ferrocarril [29067130]	LM	ACT	Aracataca	37	1662420,52	1662420,52	15/05/1965	
Ganadería Caribe [29067150]	LG	ACT	Aracataca	67	1661214,19	1661214,19	15/05/1965	
Pte. Sevilla [29067160]	LG	ACT	Sevilla	1000	1686406,19	1686406,19		
Cenizo El [29067020]	LG	SUS	Tucurinca	450	1673206,23	1673206,23	15/01/1959	15/04/1975
Canal Florida [29067050]	LG	ACT	Sevilla	60	1681219,24	1681219,24		
Rio Frio [29067070]	LG	ACT	Frio	30	1697772,37	1697772,37	15/07/1978	
Manizales [29067140]	LG	SUS	Tucurinca	34	1667676,2	1667676,2	15/03/1958	15/10/1981

De manera posterior, teniendo en cuenta las condiciones de información que cada estación poseía , su localización respecto a la cuenca y la pertinencia de las mismas dentro del análisis hidrológico de la misma, se determinaron las siguientes estaciones como útiles, localizadas al interior de la cuenca hidrográfica, y recopiladas en la Tabla 8.2

Tabla 8.2. Estaciones hidrométricas utilizadas para la caracterización de la oferta hídrica

Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud	Coord. X	Coord. Y	Fecha instalación
Minca [15017030]	LG	ACT	Gaira	650	1723750,76	1723750,76	
Gaira [15017010]	LM	SUS	Gaira	10	1728515,07	1728515,07	15/09/1964
San P. Alejandrino [15017050]	LM	SUS	Manzanares	20	1734045,9	1734045,9	15/10/1972
Bocat Sta. Marta Automática [15017060]	HA	ACT	Manzanares	60	1731054,27	1731054,27	
Revuelta La [15017020]	LM	ACT	Piedras	50	1738948,24	1738948,24	15/05/1965

En el Anexo 8.1 se presenta la información registrada por cada una de las estaciones anteriormente presentadas, y la caracterización del régimen de caudales registrada por cada una se presenta en el numeral 8.3 del presente documento.

8.2. Analisis de calidad, validez, consistencia y tendencia de la información.

Cumpliendo con lo solicitado en la Guía Técnica para la formulación de POMCAS (2014), se llevó a cabo el análisis de calidad, validez, consistencia y tendencia de la información hidrológica. En la Figura 8.2 y la Figura 8.3 se presentan las series de caudales medios diarios de las estaciones BOCAT STA MARTA (15017060) y SAN P ALEJANDRINO (15017050) localizadas en el río Manzanares. Por su parte, en la Figura 8.5 y la Figura 8.5 se presentan las series de caudales medios diarios de la estación MINCA (15017030) y GAIRA (15017010) localizadas en el río Gaira. Finalmente, en la Figura 8.6 se

presenta las series de caudales medios diarios de la estación REVUELTA LA (15017020) localizada en el río Piedras. En ninguna de las estaciones mencionadas existe información de sedimentos o caudal sólido.
En respectivo análisis de la información hidrométrica se llevó a cabo por medio del siguiente procedimiento.

- El primer paso de análisis de la información recopilada es determinar la presencia de datos atípicos (outliers). Un dato atípico es un valor extremo en la serie que pudo ser originado por un error en el proceso de medición o por un error en el registro del dato o en la manipulación de la información. Para detectar los datos atípicos de las series se graficaron diagramas de cajas y bigotes tanto de la serie en su totalidad como a nivel mensual multianual. Los datos atípicos se identifican en estos diagramas porque están alejados de los bigotes y del conjunto de datos. Adicionalmente, se implementaron diferentes pruebas estadísticas robustas compiladas por Alcaraz (2010).

  Entre las pruebas estadísticas implementadas tenemos: Z-scores, Modified Z-scores, Boxplot, Adjusted Boxplot, Generalized ESD Procedure, Grubbs test, Exponential Smoothing, Kimber test for exponential distribution y Moving Window Filtering Algorithm. Como criterio adoptado para decidir si un dato es atípico se tomó que más de cuatro pruebas coincidieran en que un dato es atípico. Los datos atípicos se remueven de las series.

Figura 8.2. Series de caudales medios diarios estación BOCAT STA MARTA (15017060).

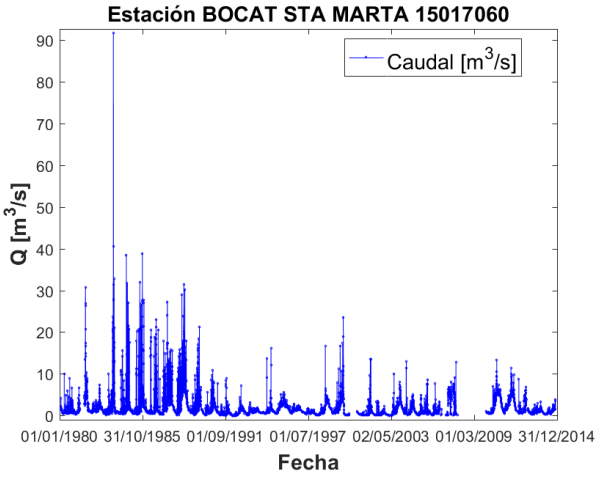


Figura 8.3. Series de caudales medios diarios estación SAN P ALEJANDRINO (15017050).

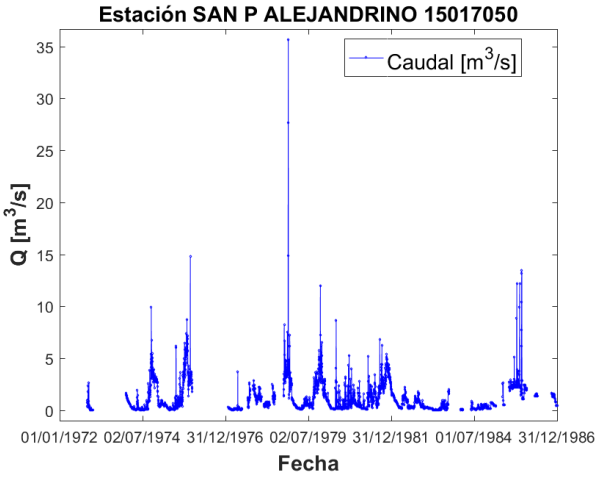


Figura 8.4. Series de caudales medios diarios estación MINCA (15017030).

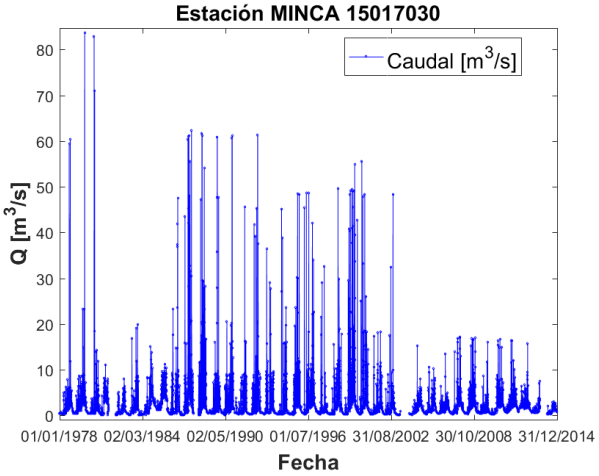


Figura 8.5. Series de caudales medios diarios estación GAIRA (15017010).

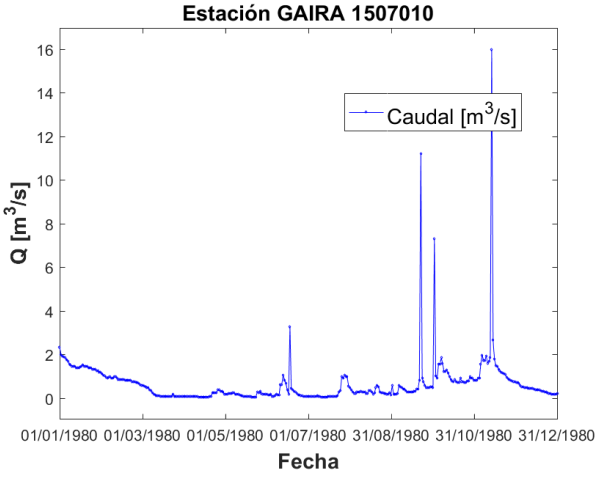
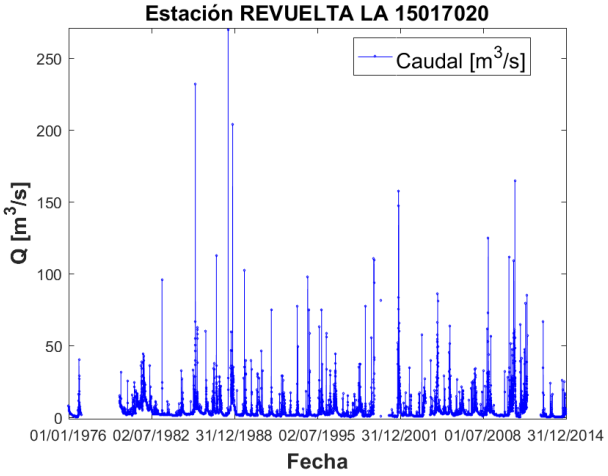


Figura 8.6. Series de caudales medios diarios estación REVUELTA LA (15017020).



- El segundo paso consiste en seleccionar un periodo común para completar los datos faltantes y los que se identificaron como atípicos. Para la modelación hidrológica se recomienda tomar un periodo de entre 20 a 30 años. Después de seleccionar el periodo de simulación y las estaciones que cumplen con el mismo, finalmente se procede con el análisis de calidad, validez y consistencia de la información hidrometeorológica. El método de análisis de consistencia de la información utilizado en el presente estudio con base en la información disponible es la curva de masa. Otros métodos como los diagramas de curvas de doble masa y bilineales no se pueden construir porque no existe un periodo de información común y suficientemente largo en los datos de las estaciones de los ríos Manzanares y Gaira.

La curva de masa es un gráfico de la variable acumulada durante determinado tiempo. Se supone que mediante la adición sucesiva de valores o la acumulación se disminuyen los errores aleatorios forzándose una relación lineal. Si la relación lineal presenta cambios abruptos o tendencias sostenidas y pronunciadas en el tiempo quiere decir que puede haber inconsistencia o no-homogeneidad en los registros. Generalmente, la relación lineal se pierde en los lapsos en los que no se tienen registros, es decir, donde existen datos faltantes.

- El último paso consiste en el análisis de tendencias de los datos de las series. El análisis de tendencias estadístico es una prueba de hipótesis. La hipótesis nula (H_o) es que no hay tendencia. Los parámetros de la prueba aceptan o rechazan H_o. Si no se rechaza H_o no se prueba que no existe una tendencia sino que indica que no hay suficiente evidencia para concluir con intervalo de confianza que la tendencia existe. Estas pruebas se dividen en paramétricas, no paramétricas y mixtas.

  Las pruebas paramétricas se consideran más eficaces y/o sensibles para detectar tendencias significativas que las no paramétricas, especialmente cuando la muestra tiene un reducido número de datos. Sin embargo, a menos que se asuma que los datos de la muestra tienen una distribución normal se recomienda utilizar mejor las pruebas no paramétricas. Entonces, las pruebas no paramétricas tienen una mayor eficiencia estadística en el caso que los datos no tengan una distribución normal y son robustos frente a la presencia de datos atípicos y largos vacíos en la información.

  La prueba de Mann-Kendall (M-K) es una de las pruebas no paramétricas más utilizadas aplicada a datos sin conocimiento previo sobre cómo se distribuyen que se utilizan en el análisis de tendencia de series de tiempo **Fuente especificada no válida.**. Básicamente, la prueba M-K si una serie está constantemente creciendo, decreciendo o invariable. La H_o es que no hay tendencia, por su parte, las hipótesis alternativas son tres: que existe una tendencia negativa, que existe una tendencia no nula o que existe una tendencia positiva. Las series se deben pre-tratar si existe una correlación serial como en el caso de variables como el caudal o la temperatura.

  Siguiendo a Hamed (2009), se recomienda estimar simultaneamente la pendiente de la tendencia y el coeficiente de autocorrelación, seguido por una corrección en el sesgo del coeficiente de correlación para eliminar la sub y sobrestimación del parámetro de la prueba M-K en el proceso de pre-tratamiento de la serie. Por esto, la prueba M-K se realiza conjuntamente con la prueba de Theil-Sen para calcular la pendiente de la tendencia **Fuente especificada no válida.** y seguir la recomendaciones dadas por Hamed (2009) para hacer efectivo el pre-tratamiento de la serie.

  Los diagramas de cajas y bigotes para las series de caudales son particulares en cada estación y no muestran ninguna tendencia o sesgo característico en el que el caudal base al ser la condición hidrológica presente la mayor parte del tiempo en la serie hace parecer que los datos atípicos son los valores extremos para épocas de caudales altos (ver Figura 8.7, Figura 8.9 y Figura 8.11). Este comportamiento es típico de ríos torrenciales en el que los

picos de caudal son una respuesta proporcional a las temporadas de lluvias fuertes. De igual manera sucede para los diagramas a escala mensual multianual (ver Figura 8.8, Figura 8.10 y Figura 8.12). Es de notar que los datos de las estaciones SAN P ALEJANDRINO (15017050) y GAIRA (15017010) no se tuvieron en cuenta porque su periodo de registro no contiene un número de datos suficiente.

Después de aplicar las pruebas estadísticas para identificar posibles datos atípicos propuestas por Alcaraz (2010) y remover de la serie aquellos identificados como tal, se procedió a seleccionar un periodo común de registro. Para las estaciones BOCAT STA MARTA (15017060), MINCA (15017030) y REVUELTA LA (15017020) se seleccionó el periodo del 1 de enero de 1983 hasta el 31 de diciembre del 2013 (ver Figura 8.13, Figura 8.14 y Figura 8.15). Las estaciones SAN P ALEJANDRINO (15017050) y GAIRA (15017010), como se mencionó anteriormente, no se tuvieron en cuenta.

Figura 8.7. Diagrama de cajas y bigotes datos estación BOCAT STA MARTA (15017060).

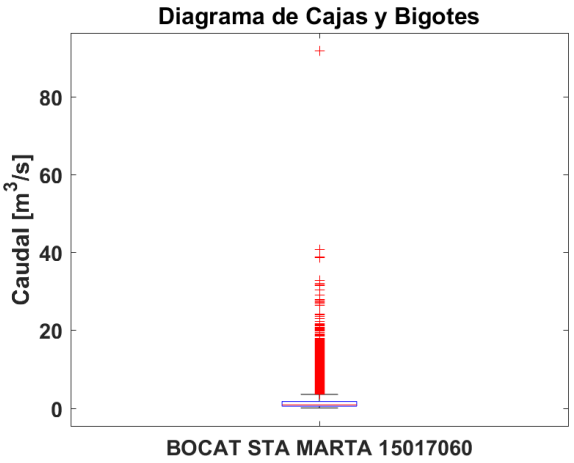


Figura 8.8. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación BOCAT STA MARTA (15017060).

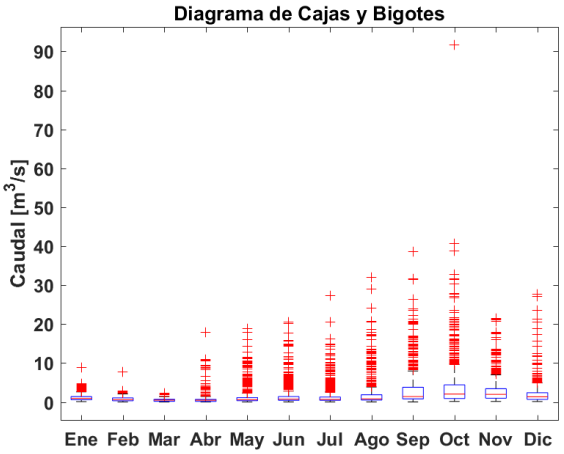


Figura 8.9. Diagrama de cajas y bigotes datos estación MINCA (15017030).

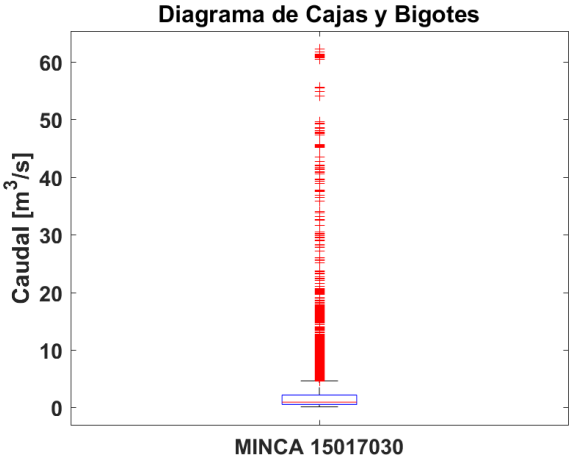


Figura 8.10. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación MINCA (15017030).

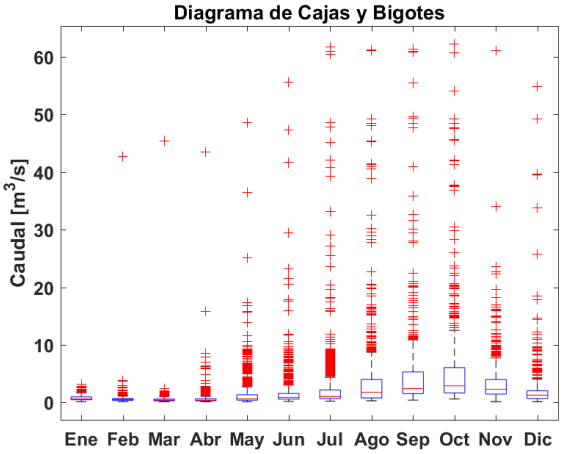


Figura 8.11. Diagrama de cajas y bigotes datos estación REVUELTA LA (15017020).

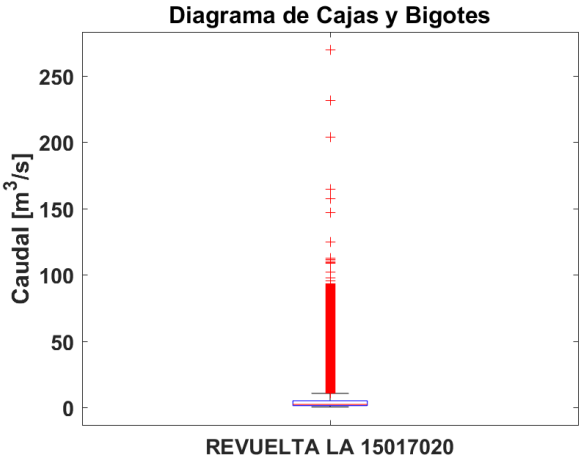


Figura 8.12. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación REVUELTA LA (15017020).

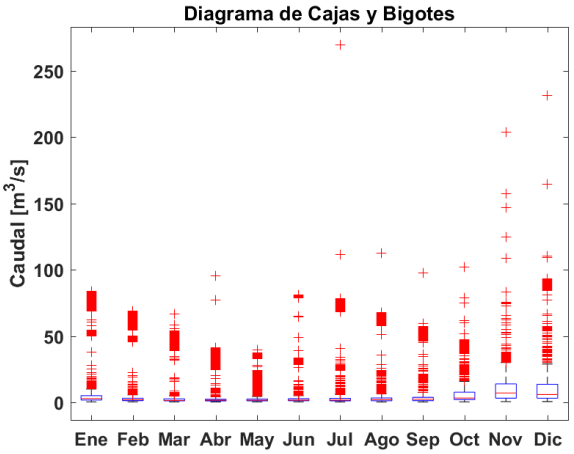


Figura 8.13. Series de datos completados y periodo seleccionado estación BOCAT STA MARTA (15017060).

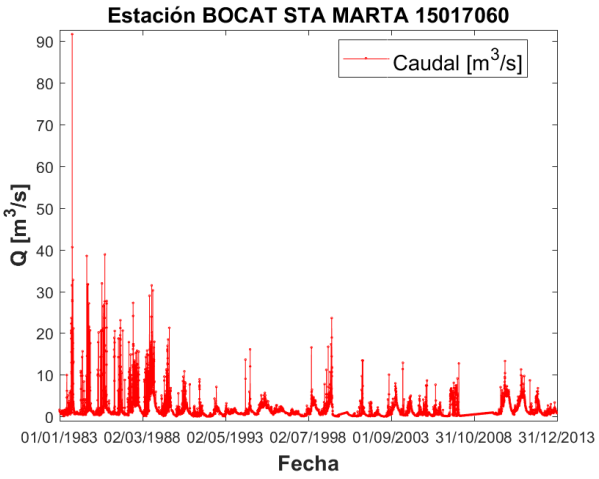


Figura 8.14. Series de datos completados y periodo seleccionado estación MINCA (15017030).

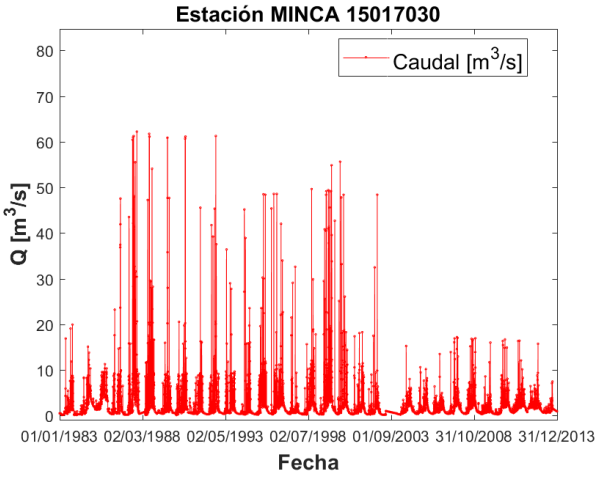
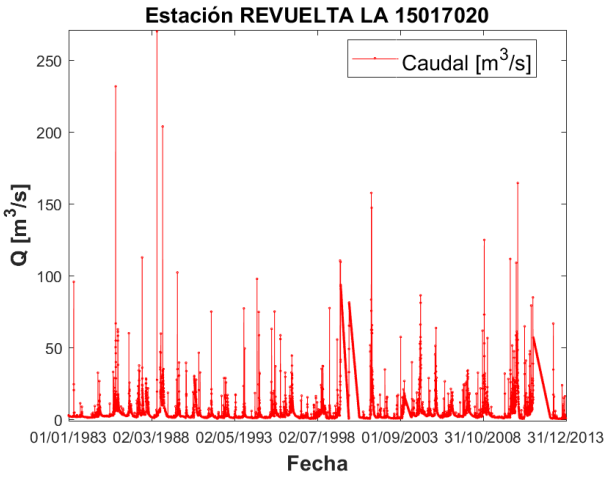


Figura 8.15. Series de datos completados y periodo seleccionado estación REVUELTA LA (15017020).



En la Figura 8.16, la Figura 8.17 y la Figura 8.18 se presentan las curvas de masa para las estaciones BOCAT STA MARTA (15017060), MINCA (15017030) y REVUELTA LA (15017020), respectivamente. Las figuras muestran que existe consistencia en la información de caudales de acuerdo a la pendiente lineal que se observa en las curvas.

En la Figura 8.19, la Figura 8.20 y la Figura 8.21 se presentan la pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos de las estaciones BOCAT STA MARTA (15017060), MINCA (15017030) y REVUELTA LA (15017020), respectivamente. La prueba de M-K con un nivel de significancia del 5% no muestra una tendencia significativa para los datos de caudales diarios de las estaciones mencionadas.

En la Figura 8.19 se puede apreciar que el parámetro b, que es la pendiente de la línea de tendencia de la prueba Theil-Sen, muestra un de rango de valores de (-0.35,0.25) del histograma de ocurrencias. Aunque existen más de 50.000 valores que están en el rango de (-0.05,0) su valor medio es de $b = -5.8531e-5$, que indica una muy leve tendencia de disminución en la magnitud de los datos de caudales pero que no es lo suficientemente representativa para concluir que existe tendencia alguna según la prueba de M-K.

En la Figura 8.17, por su parte, se puede apreciar que el parámetro b está en el rango de valores (-0.35, 0.35) del histograma de ocurrencias con más de 40.000 ocurrencias en el rango (0,0.05) y un valor medio de $b = -2.1610e-5$, que indica una leve tendencia de disminución en la magnitud de los datos de caudales pero que no es lo suficientemente representativa para concluir que existe tendencia alguna según la prueba de M-K.

De manera similar, en la Figura 8.21 se puede apreciar que el parámetro b está en el rango de valores (-1,1.25) del histograma de ocurrencias con casi de 60.000 ocurrencias en el rango (-0.05,0.1) y un valor medio de $b = -1.2281e-5$, que indica una leve tendencia de disminución en la magnitud

de los datos de caudales pero que no es lo suficientemente representativa para concluir que existe tendencia alguna según la prueba de M-K.

Figura 8.16. Curva de masa datos estación BOCAT STA MARTA (15017060).

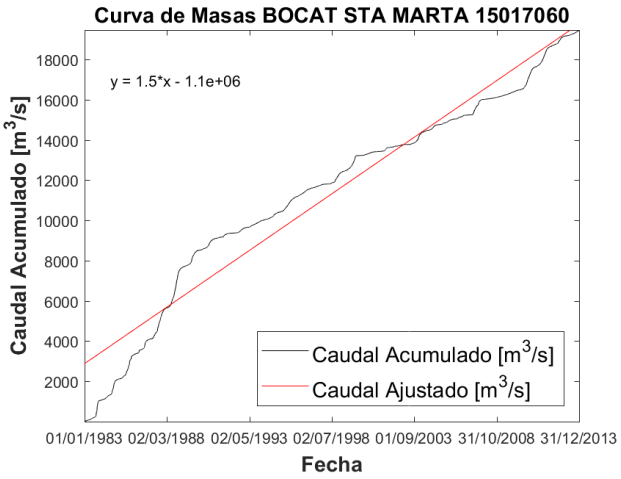


Figura 8.17. Curva de masa datos estación MINCA (15017030).

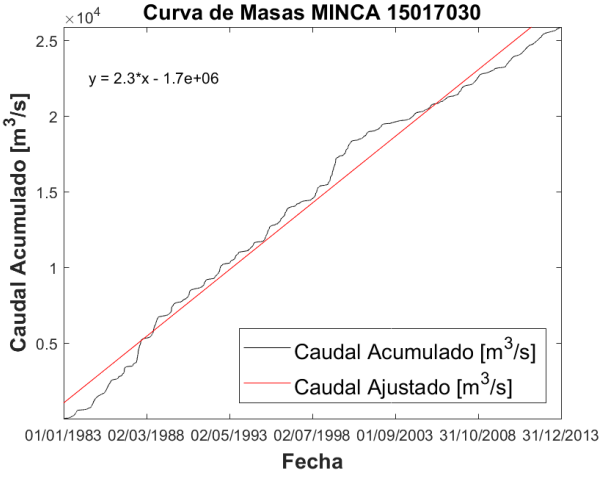


Figura 8.18. Curva de masa datos estación REVUELTA LA (15017020).

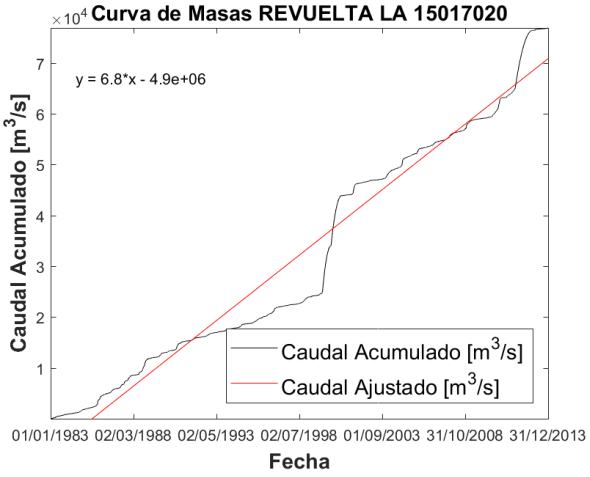


Figura 8.19. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación BOCAT STA MARTA (15017060).

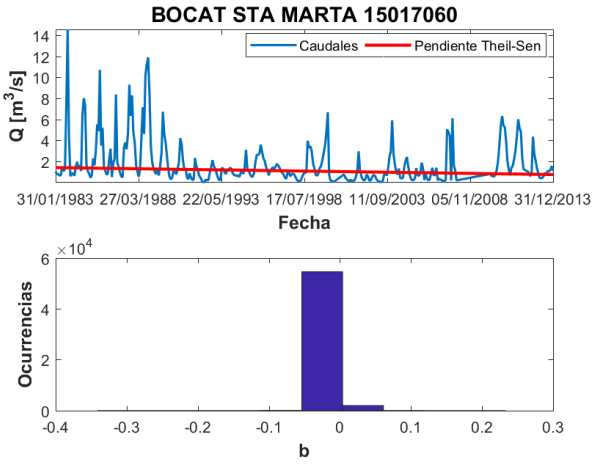


Figura 8.20. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación MINCA (15017030).

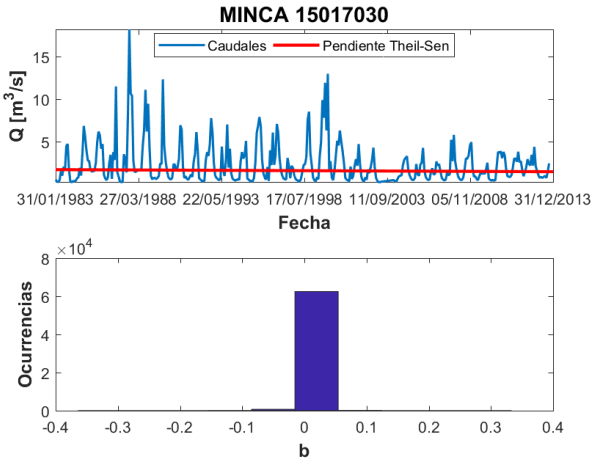
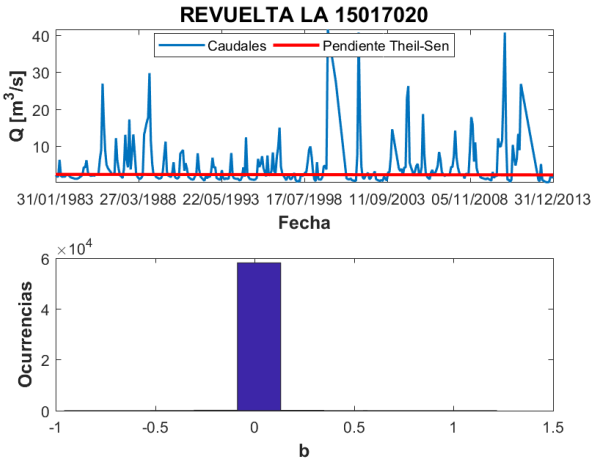


Figura 8.21. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación REVUELTA LA (15017020).



8.3. Inventario De Infraestructuras Hidráulicas Que Afectan La Oferta Hídrica.

8.3.1. Condiciones de Abastecimiento

8.3.1.1. *Cabeceras municipales*

El servicio de abastecimiento en los cascos urbanos de los dos municipios que se encuentran en la cuenca se da por la respectiva empresa de acueducto municipal.

Ciénaga cuenta con un sistema convencional de abastecimiento de agua que opera por gravedad, conformado por una bocatoma, un canal de aducción, dos desarenadores, línea de conducción,

planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, conducción de agua y redes de distribución. Tienen una cobertura de aproximadamente 95%, con un total de 125.050 usuarios. La fuente de abastecimiento es el Río Córdoba, cuya captación se da en las coordenadas X: 986.256 y Y: 1.710.613. Las principales problemáticas se relacionan con la falta de mantenimiento de la infraestructura y por ende la mala calidad del agua distribuida (Alcaldía de Ciénaga, 2003). Es importante mencionar que a pesar de que el municipio no tiene su cabecera municipal dentro de la cuenca, el sistema de captación si se encuentra dentro de sí.

En el caso de Santa Marta, es la Compañía de Acueducto y Alcantarillado Metropolitano de Santa Marta S.A. E.S.P. quien presta el servicio, ofreciendo una cobertura al año 2011 de aproximadamente 88% con 160.852 usuarios. La fuente de abastecimiento es subterránea, por medio de 7 pozos subterráneos, además de tres corrientes superficiales laterales Rio Gaira, Rio Manzanares y Rio Piedras con caudales aprobados por CORPAMAG de 450 lt/seg, 330 lt/seg y 435 lt/seg, respectivamente.

Se registran dos plantas de tratamiento convencionales con procesos de floculación, mezcla rápido, filtración, desinfección, desarenado, sedimentación y desinfección, Matamoco que procesa un caudal de 40 lt/seg, y El Roble con 10 lt/seg (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2013)

8.3.1.2. *Áreas rurales y centros poblados*

El abastecimiento de agua potable en las áreas rurales de la cuenca aún no es un servicio prestado por las alcaldías municipales, en este sentido, las comunidades de cada vereda han sido autónomas en un mecanismo para tener acceso al servicio. La información al respecto fue obtenida directamente en campo por medio del desarrollo de la ruta veredal del agua en su segunda fase.

Para el caso de Ciénaga a continuación se presenta la Tabla 8.3, en donde se resumen los resultados de la ruta para el municipio en términos del abastecimiento de agua para el consumo humano

Tabla 8.3. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Ciénaga

Vereda	***Existencia Acueducto***	***Fuente de abastecimiento.***	***Usuarios***	***Cobert. %***	**Coordenada X,Y bocatoma o estructura principal**	**Componentes del sistema**	***Otras fuentes* de abastecimiento.**	***Problemática***
Cordobita	Si	Río Córdoba	2.100	90	(986.256, 1.710.613)	Floculadores en concreto, módulos sedimentadores, filtros, desarenadores, bocatoma	Lluvias	Mala calidad del agua distribuida, falta de cobertura

En la Tabla 8.4 se detallan los resultados para las veredas correspondientes al municipio de Santa Marta.

Tabla 8.4. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Santa Marta

Vereda	Existencia Acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
Rodadero	Si	Rio Gaira	NA	91	(989664, 1726545)	NA	Pozos	Mala calidad del agua distribuida, intermitencia en el sistema
Gaira	Si	Rio Gaira	NA	91	(989664, 1726545)	NA	Pozos profundos, pozos artesanales, carro tanques	Mala calidad del agua distribuida, intermitencia en el sistema
La Tagua	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada La Tagua, Caños aledaños	Existe un acueducto artesanal que tiene una baja cobertura
Campano	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Nacederos, Río Minca	No reportada
Jamonacal	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Acueducto artesanal que consta de mangueras	Mala calidad del agua distribuida
La Tigrera	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Acueducto artesanal que consta de mangueras	Contaminación de la quebrada fuente del acueducto artesanal
San Isidro	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada Castilla	Agua sin tratamiento, obtención directa del agua de una quebrada
Cantarrana	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Nacederos y Caños	Agua sin tratamiento, obtención directa del agua de una quebrada
Don Jaca	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Pozos	Agua sin tratamiento, obtención directa del agua de un pozo
Masinga	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Río Manzanares, Pozos, Lluvia	No reportada
Jolonura	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada Marinca, Río Toribio	No existe acueducto, no existe planta de tratamiento, agua tomada directamente de la quebrada
Minca	Si	Río Minca, sector Pozo Azul	300	50	(NA, NA)	Bocatoma, tubería, tanque artesanal de almacenamiento	Marinca, Montecristo	Insuficiente capacidad, intermitencia en el sistema, falta de planta de tratamiento
Matogiro	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada Aserríos, Pozos	No existe acueducto, no existe planta de

Vereda	Existencia Acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
								tratamiento, mala calidad del agua consumida
Curvalito	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada Aserríos, Lluvia	No existe acueducto
Cacahualito	Si	Quebrada la Cueva del Tigre	100	40	(NA, NA)	NA	Quebrada La Esperanza, Lluvia	Fuente de abastecimiento seca
Nuevo México	No	NA	NA	NA	(NA, NA)	NA	Quebrada Nuevo México	No existe acueducto
La Revuelta	Si	Quebrada Danta	670	95	(NA, NA)	Tubería, alberca desarenadora, tanque de almacenamiento	Caño Los Pérez, Lluvia	No existe planta de tratamiento de agua
Calabaza	Si	Quebrada Santa Teresa, Quebrada Constante	990	90	(NA, NA)	Tubería, alberca desarenadora	Pozos a lo largo de la Quebrada El Jordán (Riego), Lluvia	Agua sin tratamiento, obtención directa del agua de una quebrada

Es de notar que la mayoría de corregimientos de interés no cuentan con un sistema y por el contrario toman el agua directamente de fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas. Se evidencio la carencia de agua y de sistemas e infraestructura para la potabilización lo que representa una amenaza no solo para la comunidad sino también para el ecosistema puesto que puede ocasionarse una alta presión sobre corrientes que en ciertas épocas del año cuenten con un caudal mínimo. Las principales problemáticas reportadas se relacionan tanto con la inexistencia de mecanismo, como con la baja calidad y cantidad del agua en el corregimiento que si tiene un sistema (Minca).

8.3.1.3. *Concesiones de agua superficial para actividades productivas*

Las concesiones de agua superficial que se encuentran al interior de esta cuenca se evaluaron a partir del informe de monitoreo del recurso hídrico según el decreto 2667 de 2012 – corrientes que cuentan con objetivos de calidad en jurisdicción de CORPAMAG del año 2015. (Corporación Autonoma Regional del Magdalena, 2015)

A continuación en la Tabla 8.5, se presenta una relación con dichas concesiones y su respectiva descripción:

Tabla 8.5. Descripción de concesiones de agua en la cuenca

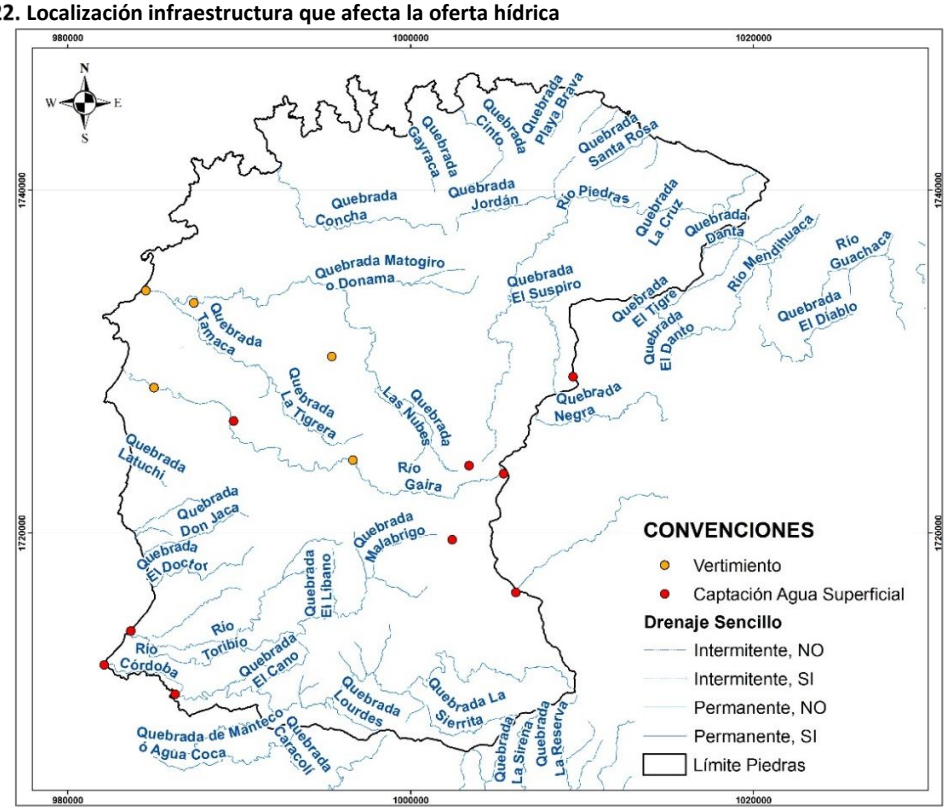
Coordenadas captación		Cuerpo de agua	Vereda	Usos del agua
X	Y			
1.729.135	1.009.473	Rio Mendihuaca	San Tropel Mendihuaca	Abastecimiento de Acueducto
1.723.945	1.003.399	Rio Manzanares	Paso El Mango	Abastecimiento de Acueducto
1.730.313	995.399	Rio Manzanares	Distrito Santa Marta	Transporte de aguas residuales
1.733.432	987.359	Rio Manzanares	Distrito Santa Marta	Transporte de aguas residuales
1.734.148	984.549	Rio Manzanares	Distrito Santa Marta	Transporte de aguas residuales
1.723.470	1.005.417	Río Gaira	Corregimiento Minca	Abastecimiento de Acueducto
1.724.270	996.621	Río Gaira	Distrito Santa Marta	Transporte de aguas residuales
1.728.486	985.021	Río Gaira	Distrito Santa Marta	Transporte de aguas residuales
1.716.540	1.006.131	Río Córdoba	Córdoba	Abastecimiento de Acueducto
1.712.311	982.117	Río Córdoba	Cordobita	Agropecuario
1.719.621	1.002.418	Río Toribio	Toribio	Agropecuario
1.714.298	983.670	Río Toribio	Toribio	Agropecuario

Cabe señalar que pueden existir más usos y captaciones de las aquí mencionadas, dado que hay concesiones en proceso de legalización, otras no reportadas y algunas obtenidas después de la fecha de corte. Además de que el informe en mención únicamente contempla aquellos cuerpos hídricos que cuentan con objetivos de calidad

Es de mencionar incluso, que las actividades para el transporte de aguas residuales concentran el uso del recurso en gran medida, como se evidencio anteriormente; no obstante, es importante considerar el caudal de captación en el Río Toribio para uso agropecuario.

Al interior de la cuenca se ha identificado la presencia de captaciones que hacen uso de la oferta hídrica en los nacimientos de las corrientes permanentes como se ve en la Figura 8.22, obsérvese que dichas captaciones predominan en las cuencas del Río Córdoba, Toribio, Gaira y Piedras y fueron otorgadas por la Corporación Autónoma Regional, como se detalla en el capítulo de calidad de aguas, el uso predominante es el abastecimiento de acueductos veredales. La anterior información fue comparada con el archivo de concesiones de agua superficial en el territorio nacional contenido en el Sistema Información del Recurso Hídrico (SIRH) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), no obstante, no se reporta ninguna concesión al interior de la cuenca.

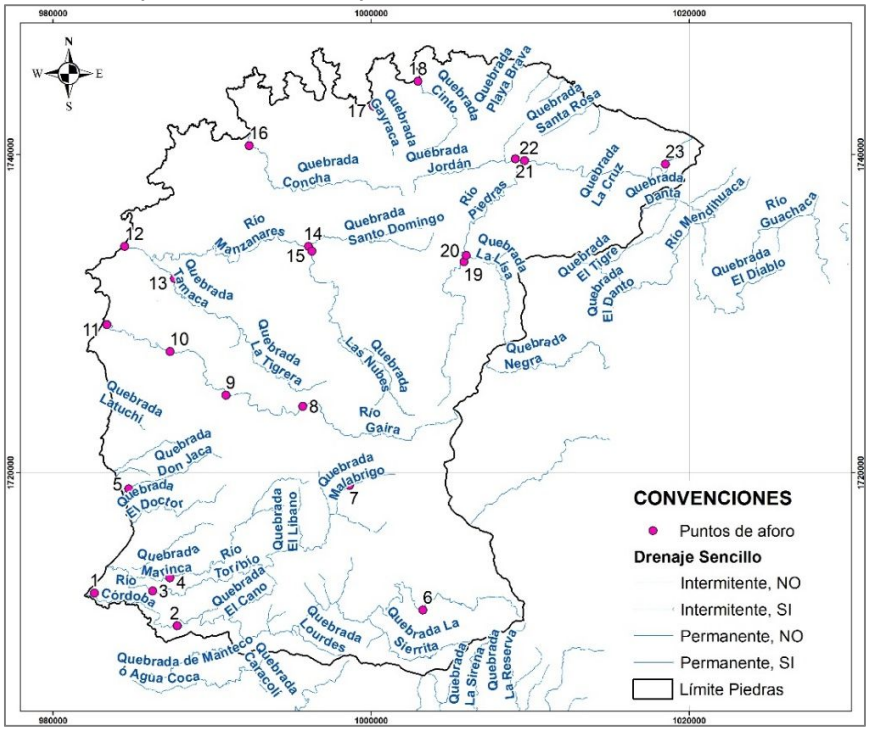
Figura 8.22. Localización infraestructura que afecta la oferta hídrica



Adicionalmente, se registran 5 puntos de descarga de aguas residuales ubicadas en las corrientes del Río Gaira y Río Manzanares, vertimientos que, como se detalla en el capítulo de calidad del agua, obedecen a desechos industriales, domésticos y subproductos agropecuarios y que deterioran la ofertan hídrica alterando las propiedades fisicoquímicas del recurso.

Al interior de la cuenca se establecieron puntos de monitoreo de calidad de aguas y aforos, ubicados como se muestra en la Figura 8.23, los parámetros fisicoquímicos analizados se detallan en el capítulo de calidad de aguas. Los caudales fueron determinados en época seca y normal, nótese que estos se localizan sobre las corrientes principales y en cercanías a los centros poblados, algunos se ubican previamente a las desembocaduras.

Figura 8.23. Puntos de aforo para condiciones seca y normal al interior de la cuenca



A pesar que todos los puntos fueron aforados, en la época seca -Marzo 2016- la mayoría de corrientes arrojaron valores cercanos a 0 m^3/s como se evidencia en la Tabla 8.6 no obstante, para estas condiciones el Río Gaira a la altura de los puntos 8 y 9 presentó valores de 0,188 y 0,145 m^3/s, respectivamente, sin embargo este comportamiento no se observa en la mismas circunstancias en los puntos 10 y 11, puede deberse a la presencia de una captación de agua superficial que disminuye considerablemente la corriente del río.

Tabla 8.6. Recopilación resultados de aforos en puntos de muestreo. Condiciones secas.

Fecha	Id	Coordenada (X, Y)	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
Marzo 16/2016	1	(982608,143, 1712447,69)	Desem. Río Córdoba	Ciénaga	Salida de cabecera municipal - límite con Puerto carbonífero Drummond	0,07	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 16/2016	2	(987797,881, 1710386,67)	Río Córdoba	Ciénaga	Cordobita	0,309	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 16/2016	3	(986250,656, 1712568,86)	Río Toribio	Ciénaga	La Elisa (en la vía a Santa Marta)	0,272	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 16/2016	4	(987343,71, 1713398,03)	Quebrada Marinca	Ciénaga	La Elisa (camino oriental saliendo de la vía a Santa Marta)	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros

Fecha	Id	Coordenada (X, Y)	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
							alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.
Marzo 16/2016	5	(984754,185, 1718991,37)	Quebrada Don Jaca	Santa Marta	Urbanización Don Jaca	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.
Marzo 14/2016	6	(1003248,82, 1711367,8)	Río Córdoba	Ciénaga	Veredas Bajo Moro y Alto Córdoba	0,645	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 14/2016	7	(998635,229, 1719202,91)	Quebrada Malabrigo	Santa Marta	Veredas Bellavista y Campano	0,004	Se realiza toma de muestra y aforo volumétrico, obteniendo los siguientes datos: V=10.250L t= 2.30 s Q= 4.456L/s. Por condiciones de acceso la muestra se toma aproximadamente a 800 metros del punto establecido.
Marzo 15/2016	8	(995692,186, 1724180,87)	Río Gaira	Santa Marta	Corregimiento Minca	0,188	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 15/2016	9	(990867,876, 1724888,58)	Río Gaira	Santa Marta	Vereda Los Novillos	0,145	Se realiza toma de muestra y aforo. Fauna asociada: *Campephilus melanoleucos, Psarocolius decumanus, Basiliscus basiliscus, Tretioscincus bifasciatus, Iguana iguana, Ameiva ameiva, Cnemidophorus lemniscatus.*
Marzo 15/2016	10	(987349,253, 1727624,45)	Río Gaira	Santa Marta	Vereda El Mosquito	0,007	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 15/2016	11	(983375,628, 1729316,22)	Desem. Río Gaira	Santa Marta	El Rodadero	0	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, no hay flujo de agua. Contaminación evidente.
Marzo 15/2016	12	(984500,513, 1734247,32)	Desem. Río Manzanares	Santa Marta	Cabecera municipal	0	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, no hay flujo de agua. Se evidencia contaminación por vertimientos de aguas residuales directamente al río por parte de las viviendas aledañas. Contaminación por residuos sólidos.
Marzo 15/2016	13	(987624,079, 1732233,35)	Quebrada Tamacá	Santa Marta	Entre Santa Marta y Vereda Buenos Aires	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto no es posible realizar aforo ni toma de muestra. Contaminación por residuos sólidos.

Fecha	Id	Coordenada (X, Y)	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
Marzo 13/2016	14	(996057,532, 1734259,18)	Quebrada Matogiro o Donama	Santa Marta	Bonda	0,0006	Se realiza toma de muestra. Se realiza aforo volumétrico, obteniendo los siguientes datos: V=0.290L t= 4.54 s Q=0.638L/s
Marzo 13/2016	15	(996269,83, 1733951,89)	Río Manzanares	Santa Marta	Bonda	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra. La comunidad manifiesta que la sequía obedece a la captación de agua río arriba por parte de Metroaguas.
Marzo 17/2016	16	(992328,048, 1740589,59)	Quebrada Concha	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.
Marzo 17/2016	17	(1000122,16, 1743077,55)	Quebrada Gayraca	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se conoce por la comunidad como Quebrada Neguanje. Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra. Adicionalmente, el equipo técnico se desplaza en compañía de los funcionarios de Parques Nacionales hasta la Quebrada Gayraca propiamente dicha y de igual forma esta se encuentra seca.
Marzo 17/2016	18	(1002942,24, 1744644,76)	Quebrada Cinto	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra. Fauna asociada: *Cebus albifrons, Pecari tajacu.*
Marzo 13/2016	19	(1005825,04, 1733276,21)	Río Piedras	Santa Marta	Vereda Trasjordania	0,029	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 13/2016	20	(1005976,64, 1733675,69)	Quebrada La Lisa	Santa Marta	Vereda Trasjordania	0,081	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 12/2016	21	(1009068,97, 1739760,33)	Quebrada Jordán	Santa Marta	Vereda Calabaza	0,005	Se realiza toma de muestra y aforo.

Fecha	Id	Coordenada (X, Y)	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
Marzo 12/2016	22	(1009645,25, 1739637,59)	Río Piedras	Santa Marta	Vereda Calabaza	0,179	Se realiza toma de muestra y aforo.
Marzo 12/2016	23	(1018501,24, 1739426,4)	Río Piedras	Santa Marta	La Revuelta	0,294	Se realiza toma de muestra y aforo.

Para la época donde se presentan condiciones normales, los puntos 2 y 3 del Río Córdoba y Toribio respectivamente, mostraron los mayores gastos con valores de 3,4805 y 1,2167 m^3/s como se presenta en la Tabla 8.7 Cabe señalar que los demás puntos de muestreo no superaron el 1 m^3/s. Estas condiciones permiten inferir la criticidad de la oferta hídrica que presenta la cuenca, debido a los fenómenos de degradación de la misma y las captaciones que interrumpen el flujo a las poblaciones aguas abajo como se manifiesta en la información recopilada en campo.

Tabla 8.7. Recopilación resultados de aforos en puntos de muestreo. Condiciones normales

Id	Coord. X, Y	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
1	(982608,143, 1712447,69)	Desem. Río Córdoba	Ciénaga	Salida de cabecera municipal - límite con Puerto carbonífero Drummond	0,029	Se realiza toma de muestra y aforo.
2	(987797,881, 1710386,67)	Río Córdoba	Ciénaga	Cordobita	3,4805	Se realiza toma de muestra y aforo.
3	(986250,656, 1712568,86)	Río Toribio	Ciénaga	La Elisa (en la vía a Santa Marta)	1,2167	Se realiza toma de muestra y aforo.
4	(987343,71, 1713398,03)	Quebrada Marinca	Ciénaga	La Elisa (camino oriental saliendo de la vía a Santa Marta)	0,0657	Se realiza toma de muestra y aforo.
5	(984754,185, 1718991,37)	Quebrada Don Jaca	Santa Marta	Urbanización Don Jaca	0	Se realiza toma de muestra y aforo.
6	(1003248,82, 1711367,8)	Río Córdoba	Ciénaga	Veredas Bajo Moro y Alto Córdoba	0,5549	Se realiza toma de muestra y aforo.
7	(998635,229, 1719202,91)	Quebrada Malabrigo	Santa Marta	Veredas Bellavista y Campano	0,0864	Se realiza toma de muestra y aforo.
8	(995692,186, 1724180,87)	Río Gaira	Santa Marta	Corregimiento Minca	0,7805	Se realiza toma de muestra y aforo.
9	(990867,876, 1724888,58)	Río Gaira	Santa Marta	Vereda Los Novillos	0,8146	Se realiza toma de muestra y aforo. Fauna asociada: *Campephilus melanoleucos, Psarocolius decumanus, Basiliscus basiliscus, Tretioscincus bifasciatus, Iguana iguana, Ameiva ameiva, Cnemidophorus lemniscatus.*
10	(987349,253, 1727624,45)	Río Gaira	Santa Marta	Vereda El Mosquito	0,5863	Se realiza toma de muestra y aforo.
11	(983375,628, 1729316,22)	Desem. Río Gaira	Santa Marta	El Rodadero	0	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, no hay flujo de agua. Contaminación evidente.
12	(984500,513, 1734247,32)	Desem. Río Manzanares	Santa Marta	Cabecera municipal	0	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, no hay flujo de agua. Se evidencia contaminación por vertimientos de aguas residuales directamente al río por parte de las viviendas aledañas. Contaminación por residuos sólidos.
13	(987624,079, 1732233,35)	Quebrada Tamacá	Santa Marta	Entre Santa Marta y Vereda Buenos Aires	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar

Id	Coord. X, Y	Corriente	Municipio	Vereda	Caudal (m^3/s)	Observaciones
						aforo ni toma de muestra. Contaminación por residuos sólidos.
14	(996057,532, 1734259,18)	Quebrada Matogiro o Donama	Santa Marta	Bonda	0,0002	Se realiza toma de muestra y aforo
15	(996269,83, 1733951,89)	Río Manzanares	Santa Marta	Bonda	0,0151	Se realiza toma de muestra y aforo
16	(992328,048, 1740589,59)	Quebrada Concha	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.
17	(1000122,16, 1743077,55)	Quebrada Gayraca	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se conoce por la comunidad como Quebrada Neguanje. Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra. Adicionalmente, el equipo técnico se desplaza en compañía de los funcionarios de Parques Nacionales hasta la Quebrada Gayraca propiamente dicha y de igual forma esta se encuentra seca.
18	(1002942,24, 1744644,76)	Quebrada Cinto	Santa Marta	Parque Tayrona	0	Se evidencia que el punto a muestrear no tiene agua como consecuencia de la sequía, se realiza recorrido en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra. Fauna asociada: *Cebus albifrons, Pecari tajacu.*
19	(1005825,04, 1733276,21)	Río Piedras	Santa Marta	Vereda Trasjordania	0,0805	Se realiza toma de muestra y aforo.
20	(1005976,64, 1733675,69)	Quebrada La Lisa	Santa Marta	Vereda Trasjordania	0,1043	Se realiza toma de muestra y aforo.
21	(1009068,97, 1739760,33)	Quebrada Jordán	Santa Marta	Vereda Calabaza	0,0079	Se realiza toma de muestra y aforo.
22	(1009645,25, 1739637,59)	Río Piedras	Santa Marta	Vereda Calabaza	0,3048	Se realiza toma de muestra y aforo.
23	(1018501,24, 1739426,4)	Río Piedras	Santa Marta	La Revuelta	0,2597	Se realiza toma de muestra y aforo.

Se cuenta con la información de 12 secciones transversales para los puntos aforados en condiciones secas, obsérvese la Figura 8.24 para el punto 1 como la socavación es más pronunciada al costado derecho del Río Córdoba a la altura de su desembocadura en el Mar Caribe, mientras que la concentración de sedimentos tiende a la margen izquierda, esta corriente para el tiempo del aforo

Figura 8.24. Sección transversal Punto 1



8.4. Caracterización Del Régimen Hidrológico.

Para determinar las condiciones hidrológicas de los cauces presentes en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe y sus correspondientes niveles subsiguientes analizados en el presente POMCA, se realizó el análisis de la información contenida por cada una de las estaciones hidrométricas anteriormente mencionadas, para de esta manera, estimar las condiciones medias, máximas y mínimas de caudales para cada nivel subsiguiente analizado.

Estimación De La Oferta Hídrica

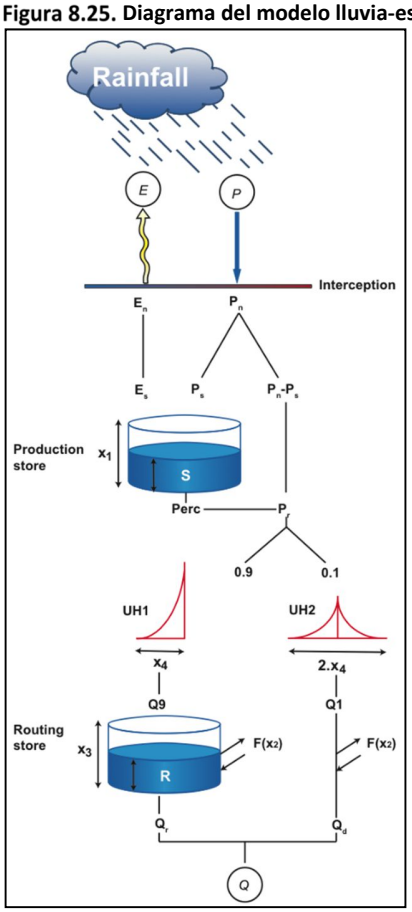
Para estimar la oferta hídrica disponible en la cuenca, se partió de la delimitación y zonificación de subcuencas hasta el segundo nivel subsiguiente y de las estaciones del IDEAM con información útil de los cuerpos de agua inmersos en la cuenca. Sin embargo, las estaciones disponibles brindaban información de sólo 3 de las subcuencas determinadas en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Debido a esto, se hizo necesario calibrar un modelo lluvia-escorrentía partiendo de las subcuencas instrumentadas y relacionar algunos parámetros morfométricos entre las subcuencas con datos o instrumentadas y aquellas en las que no se tenía información para poder utilizar el modelo lluvia-escorrentía calibrado como una herramienta para estimar caudales en las subcuencas no instrumentadas.

El modelo lluvia-escorrentía propuesto para este fin es el GR4J (Perrin, Michel, & Andréassian, 2003), que es un modelo conceptual agregado diario de cuatro parámetros que pertenece a la familia de modelos continuos que contabilizan la humedad del suelo. En la Figura 8.25 se presenta un diagrama del modelo GR4J. Este modelo ha sido validado en diferentes cuencas de Francia y ha sido comparado con otros modelos en diferentes países con muy buenos resultados. Adicionalmente, al ser un modelo parsimonioso, es decir de solo cuatro parámetros plenamente

identificables, su calibración es mucho más sencilla y eficiente ya que los valores de sus parámetros minimizan rápidamente la función objetivo cuando son identificados. Es por esto, que para el presente estudio se seleccionó el modelo lluvia-escorrentía GR4J.

Figura 8.25. Diagrama del modelo lluvia-escorrentía GR4J.



Fuente: ewater.atlassian.net

Como se observa en el diagrama de la Figura 8.25 los datos de entrada del modelo son, por una parte, la precipitación media, *P*, de la cuenca interpolada espacialmente a partir de los datos de estaciones meteorológicas disponibles con datos de lluvia, y por otra, la evapotranspiración potencial, *E*, que para el caso de este estudio se calculó a partir de datos de temperatura media diaria mediante la formulación de Oudin et al., (2005) (ver Anexo 8.2).

Todas las cantidades del modelo se expresan en mm, por lo que los volumenes de agua se dividen por el área de la cuenca cuando es necesario. En el diagrama presentado en la Figura 8.25 se observa que el modelo tiene dos tanques: uno de producción y otro de tránsito. De estos tanques y sus relaciones se derivan los cuatro parámetros del modelo: x_1, la máxima capacidad del tanque de producción (mm); x_2, el coeficiente de intercambio con el agua subterranea (mm); x_3, la máxima

capacidad un día por delante del tanque de tránsito (mm); x_4, el tiempo base el hidrograma unitario UH1 (días).

Para la calibración de los parámetros del modelo para cada una de las cuencas con información, que para el caso de estudio son las subcuencas Río Piedras, Río Manzanares y Río Gaira, se utilizó el método de optimización de parámetros SCE-UA (Duan, Sorooshian, & Gupta, 1994), en el que la función objetivo que se minimizó fue el coeficiente de Nash-Sutcliffe y los parámetros del modelo se calibraron en el rango paramétrico dado en la Tabla 8.1. De esta manera se logró identificar los valores de los parámetros que mejor reproducían los datos observados en las subcuencas mencionadas.

Tabla 8.1. Rango de valores de los parámetros del modelo GR4J.

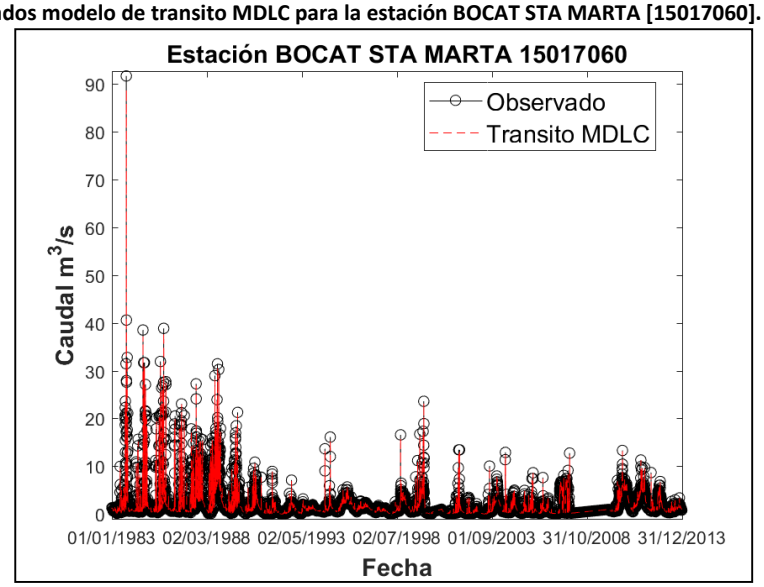
	Valor medio	**80% intervalo de confianza**
X_1 (mm)	350	100 a 1200
X_2 (mm)	0	-5 a 3
X_3 (mm)	90	20 a 300
X_4 (Días)	1.7	1.1 a 2.9

Fuente: Perrin et al., (2003)

Si tenemos en cuenta la información hidrológica disponible para cada subcuenca se puede apreciar que para la subcuenca Río Piedras la estación REVUELTA LA [15017020] sirve como estación de cierre de la subcuenca para el modelo hidrológico. Por su parte, para la subcuenca Río Manzanares se tienen las estaciones BOCAT STA MARTA [15017060] y SAN P ALEJANDRINO [15017050]. Los periodos de registro de datos de caudales diarios para ambas estaciones son 1972-1986, para la estación SAN P ALEJANDRINO [15017050], y, 1980-2014, para la estación BOCAT STA MARTA [15017060].

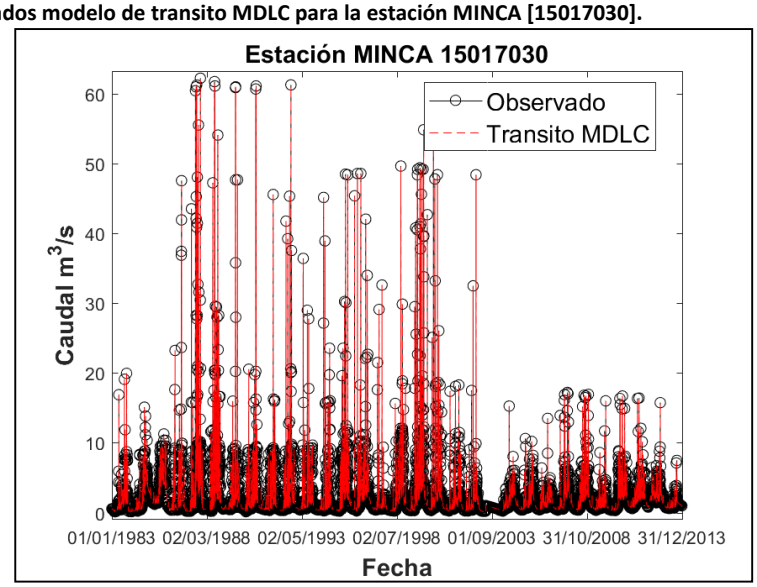
Dada esta diferencia en los registros de las estaciones hidrológicas del Río Manzanares, y además el no haber encontrado una relación entre los registros de ambas estaciones en cuanto a tiempos de viaje y picos de caudales, seguramente por temas de demanda, se decidió transitar hidrológicamente los datos registrados de la estación BOCAT STA MARTA [15017060] hasta el cierre de la cuenca utilizando el modelo MDLC (Camacho & Lees, 1999). En la Figura 8.26 se presentan los resultados del tránsito hidrológico de los datos de la estación BOCAT STA MARTA [15017060] hasta el cierre de la cuenca. Los resultados del modelo de tránsito se presentan en la Figura 8.26.

Figura 8.26. Resultados modelo de transito MDLC para la estación BOCAT STA MARTA [15017060].



De igual manera, para la subcuenca Río Gaira, sucede lo mismo con los periodos de registro de las estaciones MINCA [15017030] y GAIRA 1507010, en donde la primera estación tiene datos para el periodo 1978-2014 y, la segunda, para el año 1980 únicamente. Dadas estas diferencias en los registros también se transitó hidrológicamente los datos de la estación MINCA [15017030] hasta el cierre de la cuenca utilizando el modelo MDLC (ver Figura 8.27).

Figura 8.27. Resultados modelo de transito MDLC para la estación MINCA [15017030].



Cabe anotar que los datos para el modelo MDLC relacionado con los anchos, longitudes, pendientes y profundidades se estimaron a partir de la cartografía base y el coeficiente de rugosidad de Manning se asumió como 0.03, que es un valor típico para corrientes naturales.
Una vez estimados los caudales en los cierres de las subcuencas Río Piedras, Río Manzanares y Río Gaira se procedió con la calibración del modelo GR4J cuyos resultados se discuten a continuación.

8.4.2. Resultados calibración Río Piedras

En la Figura 8.28 se ven los resultados de la calibración del modelo GR4J utilizando los datos observados de la estación REVUELTA LA [15017020]. Como se observa, el modelo representa muy bien los datos observados con un ajuste del coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0.3 que, aunque es un valor bajo para un modelo hidrológico, se puede considerar aceptable si se tiene en cuenta que el modelo es diario y que el río Piedras presenta un comportamiento torrencial debido a que su dinámica es de escala horaria. Adicionalmente, se observa que el modelo representa muy bien el flujo base y los picos de caudal producto de las lluvias interpoladas en el centroide de la cuenca mediante el inverso de la distancia al cuadrado. En la Tabla 8.2 se presenta los valores de los cuatro parámetros estimados para el modelo de la subcuenca del Río Piedras, y en la Figura 8.28 se presentan los resultados de la calibración del modelo en la estación REVUELTA LA.

Figura 8.28. Resultados calibración modelo GR4J estación REVUELTA LA 15017020.

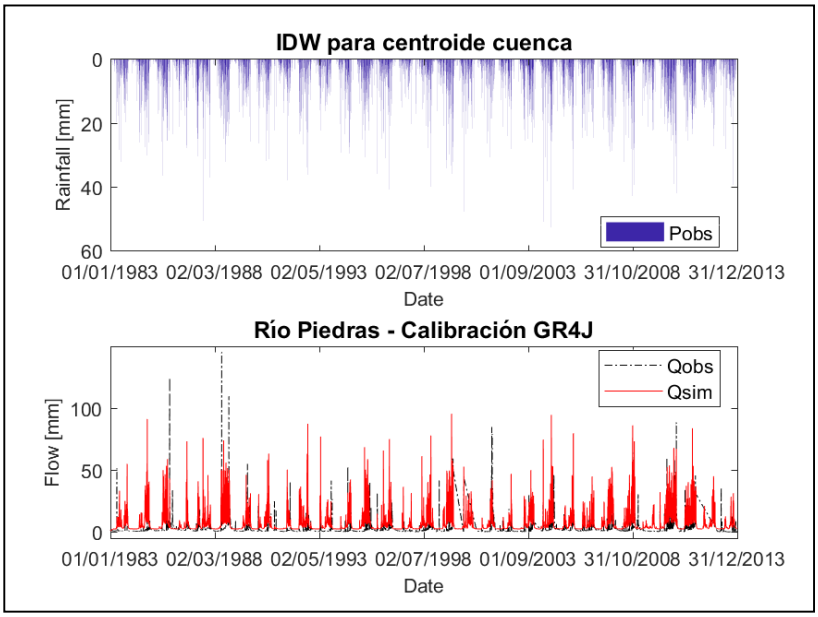


Tabla 8.2. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Piedras.

Parámetro	x_1	x_2	x_3	x_4
Valor	100.000794	-4.2489098	299.993584	1.37743279

8.4.3. Resultados calibración Río Manzanares

En la Figura 8.29 se presenta los resultados de la calibración del modelo GR4J utilizando los datos transitados de la estación BOCAT STA MARTA [15017060]. Como se observa, el modelo ajusta los

datos observados con un coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0.22, que es un valor bajo para un modelo hidrológico. Sin embargo, se observa que el modelo representa muy bien el flujo base y algunos de los picos de caudal producto de las lluvias interpoladas en el centroide de la cuenca mediante el inverso de la distancia al cuadrado. Si se tiene en cuenta que es un modelo agregado y que el río Manzanares presenta un comportamiento torrencial en el que se observa que disminuye la frecuencia de picos asociada a la dinámica torrencial después de 1983 se puede calificar como aceptable el ajuste del modelo con respecto a los datos observados. En la Tabla 8.3 se presenta los valores de los cuatro parámetros estimados para el modelo de la subcuenca del Río Manzanares. (Ver Tabla 8.3).

Figura 8.29. Resultados calibración modelo GR4J datos transitados estación BOCAT STA MARTA [15017060].

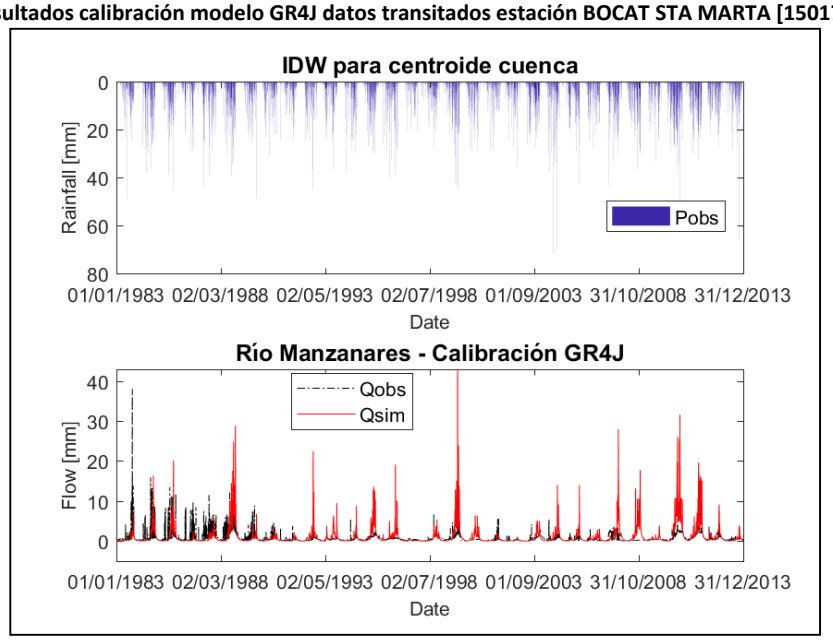


Tabla 8.3. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Manzanares.

Parámetro	x_1	x_2	x_3	x_4
Valor	100.008994	2.99996329	20.0067382	1.00211112

8.4.4. Resultados calibración Río Gaira

En la Figura 8.30 se muestran los resultados de la calibración del modelo GR4J utilizando los datos transitados de la estación MINCA [15017030]. Como se observa, el modelo ajusta los datos observados con un coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0.42, que es un valor bastante aceptable para un modelo hidrológico. Se observa que el modelo representa muy bien el flujo base y gran parte de los picos de caudal producto de las lluvias interpoladas en el centroide de la cuenca mediante el inverso de la distancia al cuadrado. En la Tabla 8.4 se presenta los valores de los cuatro parámetros estimados para el modelo de la subcuenca del Río Gaira.

Figura 8.30. Resultados calibración modelo GR4J datos transitados estación MINCA [15017030].

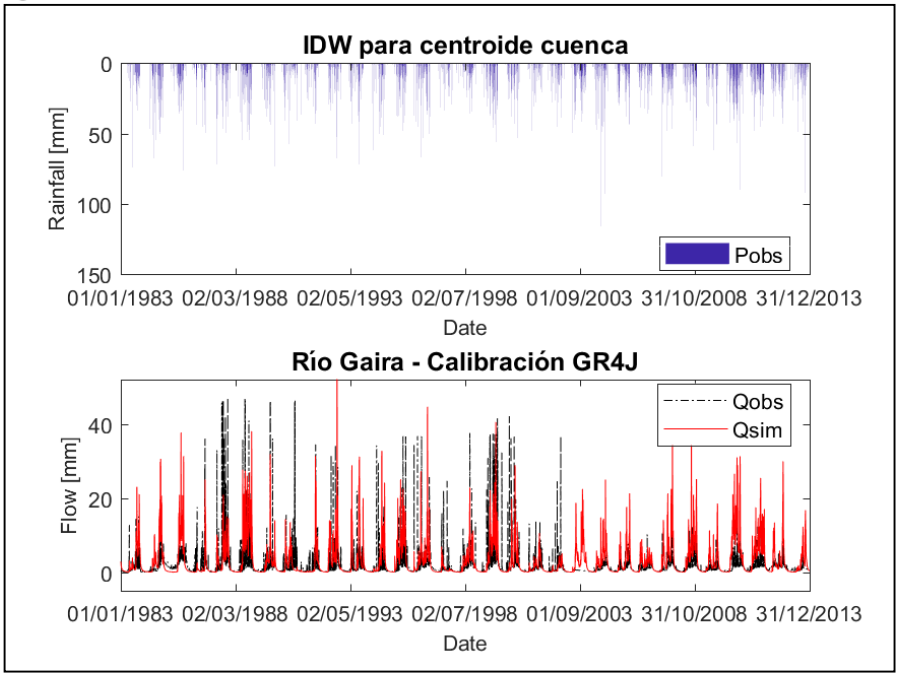


Tabla 8.4. Valores parámetros calibrados modelo GR4J para Río Gaira.

Parámetro	x_1	x_2	x_3	x_4
Valor	100.005673	-4.99973626	299.996739	2.14738312

8.4.5. Cálculo de la oferta de las demás subcuencas.

Después de calibrados los tres modelos lluvia-escorrentía para las subcuencas Río Piedras, Río Manzanares y Río Gaira, se buscó una relación entre los parámetros morfométricos de las subcuencas sin información hidrológica y estas tres subcuencas. Esta relación se llama regionalización en hidrología. Como lo explica Oudin et al., (2008), la mejor aproximación para regionalizar los parámetros calibrados de un modelo conceptual hacia una cuenca no instrumentada es una combinación entre la proximidad espacial y la similitud física (parámetros morfométricos).

El criterio de proximidad espacial se cumple para las subcuencas no instrumentadas que componen la cuenca "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 1501" con respecto a las subcuencas Río Piedras, Río Manzanares y Río Gaira en la que se calibró el modelo GR4J.
Por su parte, el criterio de similitud física se definió a partir de los parámetros morfométricos de área, coeficiente de compacidad (índice gravellius), coeficiente de forma y pendiente media de la cuenca. Es así como se encontró una relación entre la subcuenca Río Piedras y las subcuencas Directos al Caribe en el Parque Tayrona que no tienen información hidrológica. De igual manera, entre la subcuenca Río Gaira y las subcuencas sin información Río Córdoba, Río Toribio, Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe y Quebrada Concha.

Una vez definida la regionalización de los parámetros del modelo GR4J para las subcuencas no instrumentadas se calcularon las ofertas cambiando los datos de entrada del modelo: la lluvia y la evapotranspiración potencial calculadas en el centroide de cada subcuenca. En el Anexo 8.3 se muestran los caudales simulados para las subcuencas no instrumentadas.

8.4.6. Estimación oferta subcuencas segundo nivel subsiguiente.

Para estimar la oferta de las subcuencas de segundo nivel subsiguiente se utilizó la metodología de transferencia hidrológica modificada, que consiste en transferir parámetros adimensionales de la cuenca que se relacionan con el aporte de caudal de escorrentía. Para el caso de estudio se utilizaron relaciones de área y lluvia en los centroides de las subcuencas mediante la siguiente relación:

$$Q_{sc} = \left(\frac{A_{sc}}{Ac}\right)\left(\frac{P_{sc}}{P_c}\right) Q_c \qquad \textbf{(37)}$$

donde Q_{sc}, A_{sc} y P_{sc} son el caudal, el área y la lluvia de la subcuenca y, Q_c, A_c y P_c son el caudal, el área y la lluvia de la cuenca en la que estas tres variables son conocidas.
Por otra parte, el coeficiente $(A_{sc}/A_c)(P_{sc}/P_c)$ podría asimilarse con el coeficiente de escorrentía superficial del método racional. De esta manera se puede decir que el método de transferencia hidrológica es una manera de aproximar los modelos de lluvia-escorrentía sencillos como el método racional pero relacionando parámetros físicos de la cuenca con caudales en los cierres de la cuenca en lugar de la precipitación media de la misma.

8.4.7. Caudales característicos y curvas de duración de caudales.

A partir de los caudales diarios para las estaciones BOCAT STA MARTA (15017060), MINCA (15017030) y REVUELTA LA (15017020) y los caudales diarios generados con el modelo lluvia-escorrentía GR4J para las subcuencas no instrumentadas se estimaron los caudales diarios para las subcuencas de segundo nivel subsiguiente utilizando la Ecuación 1. Con esta información de caudales diarios se estimaron las curvas de duración de caudales diarios tanto para las cuencas instrumentadas como para las no instrumentadas de segundo nivel subsiguiente.

En la Tabla 8.5 se presentan los caudales característicos para año Normal para cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente, en la Tabla 8.6 los caudales característicos para año seco

(Año Niño) y en la Tabla 8.7 los caudales característicos para año húmedo (Año Niña). Los caudales característicos máximos, medios y mínimos diferenciando entre año Normal, año seco (Año Niño) y año húmedo (Año Niña) para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente se calcularon separando los años según se haya presentado el fenómeno de El Niño o La Niña con base en la información suministrada por Montealegre (2014).

Para la obtención de los caudales característicos, se calcularon independientemente cada una de las quebradas que llegaba al mar caribe por lo cual las subcuencas Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe y Directos al Caribe en el Parque Tayrona, presentan una visión de tercer nivel, algunas de las quebradas no lograron ser nombradas, y por lo tanto se denominaron con la codificación del segundo nivel subsiguiente y un código adicional.

Tabla 8.5. Caudales característicos para año normal (m^3/s)

Primer nivel subsiguiente		Segundo nivel subsiguiente			Normal			
Código	**Nombre**	**Código**	**Nombre**		**Q25**	**Q50**	**Q75**	**Q85**
1501-01	Río Córdoba	1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita		0,05576	0,01947	0,00690	0,00444
		1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)		0,05820	0,02032	0,00720	0,00464
		1501-0103	Quebrada La Sierrita		0,05729	0,02001	0,00709	0,00456
		1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda		0,18355	0,06410	0,02271	0,01462
		1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)		0,06304	0,02201	0,00780	0,00502
1501-02	Río Toribio	1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		0,05054	0,01603	0,00562	0,00382
		1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		0,21552	0,06836	0,02395	0,01628
		1501-0203	Quebrada Marinca		0,07703	0,02443	0,00856	0,00582
		1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,03095	0,00981	0,00344	0,00234
1501-03	Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe	1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,00640	0,00209	0,00092	0,00073
				1501-0301-01	0,00033	0,00012	0,00007	0,00005
		1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,00800	0,00263	0,00116	0,00091
		1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00072	0,00026	0,00016	0,00013
				Quebrada El Totumo	0,00046	0,00017	0,00011	0,00008
				Quebrada Mamorón	0,00092	0,00035	0,00021	0,00016
				1501-0303-03	0,00011	0,00004	0,00002	0,00002
				Quebrada Latuchí	0,00035	0,00014	0,00008	0,00006
				Quebrada La Palmita	0,00041	0,00015	0,00009	0,00007
				Quebrada El Ébano	0,00038	0,00014	0,00009	0,00007
				1501-0303-02	0,00020	0,00008	0,00005	0,00003
1501-04	Río Gaira	1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		0,84136	0,38118	0,21020	0,16738
		1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		1,17194	0,53095	0,29279	0,23315
		1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		0,65957	0,29882	0,16478	0,13122
1501-05	Río Manzanares	1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,34363	0,17512	0,09330	0,05928
		1501-0502	Quebrada Tamaca		0,31586	0,16097	0,08576	0,05449

Primer nivel subsiguiente		Segundo nivel subsiguiente			Normal			
Código	Nombre	Código	Nombre		Q25	Q50	Q75	Q85
		1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		0,70240	0,35796	0,19072	0,12118
		1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,26672	0,13593	0,07242	0,04601
1501-06	Quebrada Concha	1501-0600	Quebrada Concha		0,52890	0,17008	0,07436	0,05898
1501-07	Directos al Caribe en el Parque Tayrona	1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,22768	0,14924	0,11471	0,10549
				1501-0701-02	0,10044	0,06731	0,05304	0,04934
				1501-0701-03	0,21641	0,14369	0,11174	0,10343
				1501-0701-01	0,08656	0,05857	0,04684	0,04376
				1501-0701-11	0,06816	0,04560	0,03606	0,03354
				1501-0701-09	0,05900	0,03881	0,03014	0,02777
				Quebrada Gayraca	0,17345	0,11313	0,08661	0,07937
				1501-0701-10	0,11756	0,07820	0,06138	0,05689
		1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	0,57388	0,37315	0,28395	0,25973
				1501-0701-08	0,08909	0,05850	0,04527	0,04168
				1501-0701-07	0,09123	0,05969	0,04583	0,04217
		1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	0,64807	0,39323	0,29039	0,26104
				1501-0701-06	0,09573	0,06198	0,04723	0,04330
				1501-0701-05	0,19284	0,12353	0,09356	0,08558
				Quebrada El Cabo y San Lucas	0,49709	0,31397	0,23647	0,21510
1501-08	Río Piedras	1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		2,42317	0,99463	0,54056	0,43245
		1501-0802	Quebrada Jordán		1,11308	0,45688	0,24831	0,19865
		1501-0803	Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		1,17061	0,48050	0,26114	0,20891
		1501-0804	Quebrada La Lisa		0,47722	0,19588	0,10646	0,08517

Tabla 8.6. Caudales característicos para año seco (m^3/s)

Segundo nivel subsiguiente			Niño			
Código	Nombre		Q25	Q50	Q75	Q85
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita		0,04336	0,01856	0,00662	0,00410
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)		0,04526	0,01937	0,00691	0,00428
1501-0103	Quebrada La Sierrita		0,04456	0,01907	0,00680	0,00421
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda		0,14275	0,06110	0,02179	0,01349
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)		0,04903	0,02099	0,00748	0,00463
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		0,03885	0,01626	0,00547	0,00350
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		0,16568	0,06932	0,02331	0,01494
1501-0203	Quebrada Marinca		0,05922	0,02478	0,00833	0,00534
1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,02379	0,00995	0,00335	0,00215
1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,00483	0,00109	0,00073	0,00073
		1501-0301-01	0,00026	0,00008	0,00005	0,00005
1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,00584	0,00318	0,00142	0,00095
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00062	0,00021	0,00014	0,00013
		Quebrada El Totumo	0,00040	0,00014	0,00009	0,00008

Segundo nivel subsiguiente			Niño			
Código	**Nombre**		**Q25**	**Q50**	**Q75**	**Q85**
		Quebrada Mamorón	0,00082	0,00027	0,00018	0,00016
		1501-0303-03	0,00010	0,00003	0,00003	0,00002
		Quebrada Latuchí	0,00033	0,00011	0,00008	0,00006
		Quebrada La Palmita	0,00035	0,00012	0,00008	0,00007
		Quebrada El Ébano	0,00033	0,00011	0,00008	0,00007
		1501-0303-02	0,00019	0,00006	0,00005	0,00003
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		0,61932	0,32467	0,18685	0,15174
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		0,86266	0,45224	0,26026	0,21136
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		0,48550	0,25452	0,14647	0,11895
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,19633	0,14226	0,06978	0,03808
1501-0502	Quebrada Tamaca		0,18046	0,13076	0,06414	0,03500
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		0,40131	0,29078	0,14263	0,07783
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,15239	0,11042	0,05416	0,02955
1501-0600	Quebrada Concha		0,47580	0,19764	0,09433	0,07040
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,20325	0,11553	0,10644	0,10549
		1501-0701-02	0,08886	0,05377	0,04954	0,04934
		1501-0701-03	0,19227	0,11293	0,10398	0,10343
		1501-0701-01	0,07683	0,04766	0,04404	0,04376
		1501-0701-11	0,06088	0,03660	0,03383	0,03354
		1501-0701-09	0,05403	0,03090	0,02839	0,02777
		Quebrada Gayraca	0,15680	0,08788	0,08078	0,07937
		1501-0701-10	0,10600	0,06242	0,05768	0,05689
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	0,52986	0,29261	0,26776	0,25973
		1501-0701-08	0,08219	0,04656	0,04280	0,04168
		1501-0701-07	0,08554	0,04761	0,04358	0,04217
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	0,65303	0,30746	0,27566	0,26104
		1501-0701-06	0,09126	0,04950	0,04508	0,04330
		1501-0701-05	0,18492	0,09840	0,08933	0,08558
		Quebrada El Cabo y San Lucas	0,48884	0,25043	0,22663	0,21510
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		1,43789	0,84328	0,60543	0,47569
1501-0802	Quebrada Jordán		0,66050	0,38736	0,27810	0,21851
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		0,69463	0,40738	0,29248	0,22980
1501-0804	Quebrada La Lisa		0,28318	0,16608	0,11923	0,09368

Tabla 8.7. Caudales característicos para año Húmedo (m^3/s)

Segundo nivel subsiguiente		Niña			
Código	**Nombre**	**Q25**	**Q50**	**Q75**	**Q85**
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	0,20450	0,02168	0,00554	0,00357
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	0,21346	0,02263	0,00578	0,00372
1501-0103	Quebrada La Sierrita	0,21014	0,02227	0,00569	0,00367
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	0,67324	0,07136	0,01824	0,01174
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	0,23123	0,02451	0,00626	0,00403
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	0,21081	0,02092	0,00522	0,00348
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	0,89895	0,08919	0,02226	0,01482
1501-0203	Quebrada Marinca	0,32131	0,03188	0,00795	0,00530

Segundo nivel subsiguiente			Niña			
Código	**Nombre**		**Q25**	**Q50**	**Q75**	**Q85**
1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,12907	0,01281	0,00320	0,00213
1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,03537	0,00103	0,00082	0,00073
		1501-0301-01	0,00158	0,00006	0,00005	0,00005
1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,03943	0,00263	0,00121	0,00095
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00177	0,00014	0,00012	0,00013
		Quebrada El Totumo	0,00138	0,00009	0,00008	0,00008
		Quebrada Mamorón	0,00324	0,00018	0,00016	0,00016
		1501-0303-03	0,00020	0,00002	0,00002	0,00002
		Quebrada Latuchí	0,00074	0,00007	0,00006	0,00006
		Quebrada La Palmita	0,00126	0,00008	0,00007	0,00007
		Quebrada El Ébano	0,00095	0,00007	0,00007	0,00007
		1501-0303-02	0,00038	0,00004	0,00004	0,00003
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		1,31007	0,41262	0,18617	0,14013
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		1,82482	0,57474	0,25932	0,19520
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		1,02700	0,32346	0,14595	0,10986
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,98743	0,27165	0,12899	0,09493
1501-0502	Quebrada Tamaca		0,90761	0,24969	0,11856	0,08726
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		2,01836	0,55526	0,26365	0,19404
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,76643	0,21085	0,10012	0,07368
1501-0600	Quebrada Concha		2,31142	0,33235	0,08991	0,06718
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,48229	0,12276	0,11239	0,10549
		1501-0701-02	0,21547	0,05602	0,05194	0,04934
		1501-0701-03	0,46243	0,11870	0,10948	0,10343
		1501-0701-01	0,18525	0,04943	0,04605	0,04376
		1501-0701-11	0,14625	0,03836	0,03549	0,03354
		1501-0701-09	0,12624	0,03305	0,03005	0,02777
		Quebrada Gayraca	0,37015	0,09392	0,08543	0,07937
		1501-0701-10	0,25199	0,06610	0,06074	0,05689
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	1,21053	0,31363	0,28383	0,25973
		1501-0701-08	0,18947	0,04981	0,04526	0,04168
		1501-0701-07	0,19298	0,05092	0,04623	0,04217
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	1,23669	0,34388	0,29807	0,26104
		1501-0701-06	0,20179	0,05336	0,04813	0,04330
		1501-0701-05	0,40170	0,10585	0,09546	0,08558
		Quebrada El Cabo y San Lucas	1,01778	0,27360	0,24329	0,21510
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		2,61199	1,05085	0,60543	0,50986
1501-0802	Quebrada Jordán		1,19982	0,48271	0,27810	0,23420
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		1,26183	0,50766	0,29248	0,24631
1501-0804	Quebrada La Lisa		0,51441	0,20696	0,11923	0,10041

En la Tabla 8.8 se relacionan los caudales medios, mínimos y máximos para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente, señalando que la unidad Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, presenta los valores más altos calculados para los años normal, húmedo y seco, mientras que las unidades pertenecientes a la unidad de primer nivel subsiguiente Quebrada Don

Jaca y otros directos al Caribe, presentan los valores más bajos calculados. No obstante la unidad Río Manzanares para año Normal presenta los caudales mínimos más bajos en toda la cuenca.

Tabla 8.8. Caudales característicos máximos, medio y mínimos (m^3/año)

Segundo nivel subsiguiente		Normal			Niño			Niña		
Nombre		Q máx.	Q mín.	Q medio	Q máx.	Q mín.	Q medio	Q máx.	Q mín.	Q medio
(1501-0101) Río Córdoba-Sector Cordobita		1,267	0,00188	0,05313	0,680	0,00123	0,03308	2,856	0,00218	0,15507
(1501-0102) Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)		1,323	0,00197	0,05546	0,709	0,00128	0,03452	2,981	0,00228	0,16186
(1501-0103) Quebrada La Sierrita		1,302	0,00194	0,05459	0,698	0,00126	0,03399	2,935	0,00224	0,15934
(1501-0104) Río Córdoba-Sector Agualinda		4,172	0,00620	0,17490	2,238	0,00405	0,10889	9,403	0,00719	0,51050
(1501-0105) Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)		1,433	0,00213	0,06007	0,769	0,00139	0,03740	3,230	0,00247	0,17534
(1501-0201) Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		1,109	0,00132	0,04967	0,902	0,00097	0,03037	2,829	0,00219	0,16014
(1501-0202) Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		4,731	0,00562	0,21181	3,848	0,00412	0,12949	12,062	0,00932	0,68288
(1501-0203) Quebrada Marinca		1,691	0,00201	0,07571	1,375	0,00147	0,04628	4,311	0,00333	0,24408
(1501-0204) Quebrada El Guayabo		0,679	0,00081	0,03041	0,553	0,00059	0,01859	1,732	0,00134	0,09805
(1501-0301) Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,485	0,00029	0,00833	0,051	0,00035	0,00391	0,976	0,00062	0,03590
	1501-0301-01	0,040	0,00003	0,00050	0,008	0,00003	0,00026	0,070	0,00004	0,00199
(1501-0302) Quebrada Don Jaca		0,664	0,00037	0,01056	0,067	0,00046	0,00487	1,162	0,00074	0,04237
(1501-0303) Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,105	0,00006	0,00121	0,031	0,00007	0,00078	0,148	0,00009	0,00339
	Quebrada El Totumo	0,066	0,00004	0,00078	0,019	0,00005	0,00048	0,091	0,00006	0,00226
	Quebrada Mamorón	0,137	0,00009	0,00158	0,032	0,00009	0,00090	0,185	0,00011	0,00491
	1501-0303-03	0,018	0,00001	0,00018	0,006	0,00001	0,00015	0,023	0,00001	0,00042
	Quebrada Latuchí	0,057	0,00003	0,00060	0,020	0,00004	0,00046	0,074	0,00004	0,00142
	Quebrada La Palmita	0,055	0,00004	0,00068	0,017	0,00004	0,00043	0,083	0,00005	0,00201
	Quebrada El Ébano	0,054	0,00003	0,00064	0,017	0,00004	0,00042	0,076	0,00005	0,00177
	1501-0303-02	0,034	0,00002	0,00035	0,012	0,00002	0,00028	0,044	0,00003	0,00080
(1501-0401) Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		23,748	0,04671	0,81691	19,284	0,04671	0,62392	24,168	0,05450	1,34698
(1501-0402) Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		33,079	0,06507	1,13788	26,862	0,06507	0,86906	33,663	0,07591	1,87623
(1501-0403) Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		18,617	0,03662	0,64040	15,118	0,03662	0,48911	18,946	0,04272	1,05593
(1501-0501) Río Manzanares en Santa Marta		8,040	0,00000	0,33582	3,394	0,00190	0,18189	18,814	0,01692	0,65870
(1501-0502) Quebrada Tamaca		7,391	0,00000	0,30867	3,120	0,00175	0,16718	17,294	0,01555	0,60546
(1501-0503) Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		16,435	0,00000	0,68643	6,938	0,00389	0,37179	38,458	0,03459	1,34642
(1501-0504) Quebrada Matogiro (Donama)		6,241	0,00000	0,26066	2,634	0,00148	0,14118	14,603	0,01313	0,51128
(1501-0600) Quebrada Concha		9,655	0,02765	0,52691	7,212	0,03342	0,38554	13,699	0,03943	1,33059
(1501-0701) Quebrada Gayraca y otros	1501-0701-04	1,732	0,09566	0,20016	0,943	0,04100	0,17583	2,693	0,09856	0,34982
	1501-0701-02	0,794	0,04556	0,08935	0,372	0,01955	0,07812	1,267	0,04662	0,15683
	1501-0701-03	1,681	0,09468	0,19150	0,844	0,04060	0,16769	2,653	0,09717	0,33561
	1501-0701-01	0,699	0,04072	0,07735	0,317	0,01748	0,06791	1,106	0,04159	0,13627

Segundo nivel subsiguiente		Normal			Niño			Niña		
Nombre		Q máx.	Q mín.	Q medio	Q máx.	Q mín.	Q medio	Q máx.	Q mín.	Q medio
directos al Caribe	1501-0701-11	0,543	0,03095	0,06058	0,265	0,01328	0,05330	0,847	0,03171	0,10670
	1501-0701-09	0,464	0,02526	0,05207	0,273	0,01083	0,04660	0,687	0,02614	0,09204
	Quebrada Gayraca	1,318	0,07160	0,15214	0,779	0,03068	0,13498	1,993	0,07412	0,26642
	1501-0701-10	0,933	0,05222	0,10418	0,495	0,02240	0,09235	1,421	0,05370	0,18398
(1501-0702) Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	4,434	0,23269	0,50451	2,956	0,09967	0,45483	6,180	0,24207	0,88324
	1501-0701-08	0,701	0,03780	0,07870	0,427	0,01620	0,07063	1,015	0,03915	0,13887
	1501-0701-07	0,725	0,03806	0,08059	0,480	0,01631	0,07309	0,989	0,03952	0,14212
(1501-0703) Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	5,998	0,22543	0,56958	5,743	0,09596	0,55196	9,776	0,23468	0,97525
	1501-0701-06	0,759	0,03882	0,08414	0,552	0,01663	0,07738	0,991	0,04042	0,14866
	1501-0701-05	1,517	0,07620	0,16886	1,168	0,03262	0,15615	1,935	0,07959	0,29720
	Quebrada El Cabo y San Lucas	3,970	0,18918	0,43755	3,536	0,08088	0,41335	5,882	0,19809	0,76640
(1501-0801) Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		100,112	0,12541	3,34339	48,651	0,17298	1,49130	116,632	0,17298	3,41067
(1501-0802) Quebrada Jordán		45,986	0,05761	1,53578	22,348	0,07946	0,68503	53,575	0,07946	1,56669
(1501-0803) Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		48,363	0,06058	1,61515	23,503	0,08356	0,72043	56,344	0,08356	1,64766
(1501-0804) Quebrada La Lisa		19,716	0,02470	0,65845	9,581	0,03407	0,29370	22,969	0,03407	0,67170

8.4.8. Caudales máximos.

El análisis de caudales máximos se realizó para los datos obtenidos de las estaciones presentes en la cuenca, las cuales se encuentran ubicadas de la siguiente manera, la estación REVUELTA LA en la unidad hidrográfica (1501-0801) Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, la estación MINCA en la unidad hidrográfica (1501-0402) Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca y la estación BOCAT STA MARTA en la unidad hidrográfica (1501-0503) Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta.

El análisis de frecuencia de caudales máximos se llevó a cabo con ayuda del programa HEC-SSP 2.1[55]. Este programa realiza el análisis de frecuencia en varios pasos que el usuario pude configurar. Los datos que se requieren para hacer el análisis son los caudales máximos absolutos mensuales a partir de los cuales se construye una serie de tiempo de intervalo irregular con los caudales máximos anuales.

En el primer paso el programa utiliza la fórmula de posiciones gráficas de Weibull para estimar la probabilidad de excedencia de cada dato, mediante la siguiente ecuación:

[55] http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp

$$P = \frac{(m - A)}{(n + 1 - A - B)} \quad \textbf{(38)}$$

donde m es el rango de valores de caudales máximos con el mayor igual 1, n número de caudales pico en el conjunto de datos, A & B contantes con valores de iguales a cero para la fórmula de Weibull.
Después, con los datos graficados mediante la fórmula de posiciones gráficas de Weibull, el programa ajusta los datos a una curva de probabilidad teórica entre las que se puede escoger las siguientes: Normal, LogNormal, Pearson III, y LogPearson III. Para este caso el análisis se hizo transformando logarítmicamente las probabilidades de excedencia y ajustando los datos con la función de probabilidad LogPearson III.

Del análisis de frecuencia y el ajuste de la función LogPearson III se puede obtener la probabilidad de que un determinado evento pueda ocurrir en diferentes frecuencias de tiempo (periodos de retorno) que se miden de 2 a *n* años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, cuya información permite la toma de decisiones para el diseño de obras civiles de infraestructura y prevención por inundaciones asociadas a eventos extremos.

8.4.8.1. *(1501-0503) Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta, estación BOCAT STA MARTA*

Para el caso de la subcuenca en mención, se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1980 a 2014. En la Figura 8.31, se presentan el análisis gráfico de caudales máximos. En la Tabla 8.9, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

Figura 8.31. Análisis de frecuencia máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060

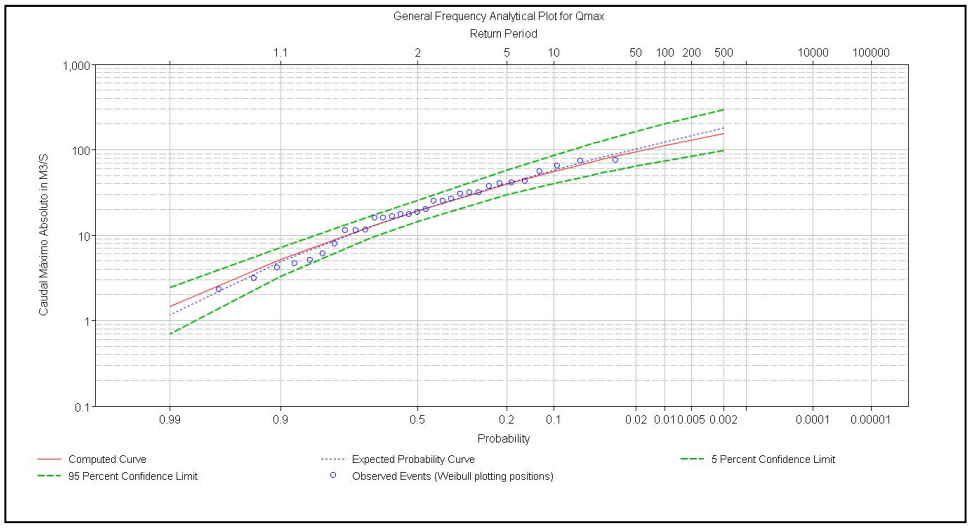


Tabla 8.9. Caudales máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Computed Curve Caudal Máximo Absoluto en m³/seg.	Límites de confianza Caudal Máximo Absoluto en m³/seg.	
			0,05	0,95
500	0,2	153,7	296,9	97,6
100	1,0	112,4	201,6	74,5
50	2,0	94,9	163,9	64,4
30	3,3	82,5	138	56,9
25	4,0	77,8	128,6	54,1
20	5,0	72,4	117,8	50,8
15	6,7	65,2	103,8	46,3
10	10,0	55,8	86,1	40,3
5	20,0	39,8	57,7	29,6
2	50,0	19,2	25,6	14,5
1,5	66,7	12,7	16,8	9,3
1,1105	90,0	5,2	7,2	3,3
1,01	99,0	1,5	2,4	0,7

8.4.8.2. *(1501-0402) Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca, Estación MINCA*
Se desarrollaron los análisis de caudales máximos para el período de registro de 1978 a 2014. En la Figura 8.32, se presentan el análisis gráfico de caudales máximos. En la Tabla 8.10, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años

Figura 8.32. Análisis de frecuencia máximos estación MINCA 15017030

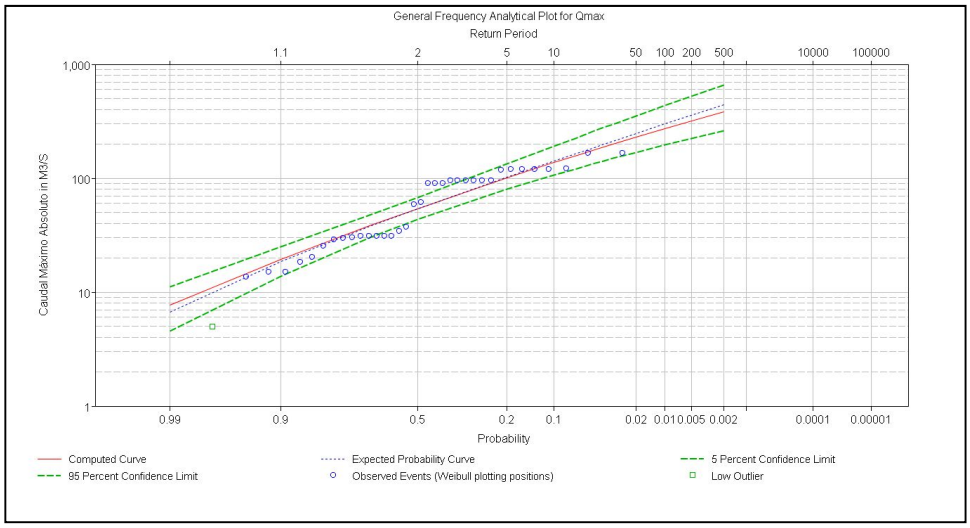


Tabla 8.10. Caudales máximos estación MINCA 15017030 cuenca 1501-0402

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Computed Curve Caudal Máximo Absoluto en m^3/seg.	Límites de confianza Caudal Máximo Absoluto en m^3/seg.	
			0,05	0,95
500	0,2	382,7	656	261,9
100	1,0	273,3	435,5	195,8
50	2,0	229,9	353,3	168,5
30	3,3	199,9	298,6	149
25	4,0	188,8	278,7	141,7
20	5,0	176	256,3	133,2
15	6,7	159,4	227,8	122
10	10,0	137,6	191,5	106,9
5	20,0	101,1	133,7	80,6
2	50,0	54,3	67,4	43,8
1,5	66,7	38,7	47,9	30,6
1,1105	90,0	19,3	24,9	13,8
1,01	99,0	7,7	11,1	4,5

8.4.8.3. *(1501-0801) Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, estación REVUELTA LA.*

Para la determinación de los caudales máximos de la subcuenca, se tuvo en cuenta el período de registro de 1974 a 2014. En la Figura 8.33, se presentan el análisis gráfico de caudales máximos. En la Tabla 8.11, se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años

Figura 8.33. Análisis de frecuencia máximos estación REVUELTA LA 15017020

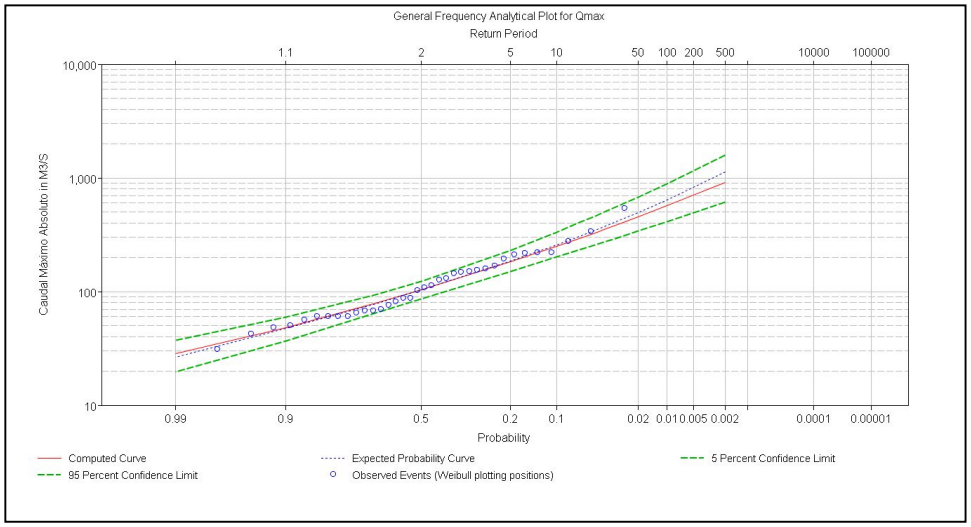


Tabla 8.11. Caudales máximos estación REVUELTA LA 15017020

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Computed Curve Caudal Máximo Absoluto en m^3/seg.	Límites de confianza Caudal Máximo Absoluto en m^3/seg.	
			0,05	0,95
500	0,2	907,6	1586	616,6
100	1,0	567,2	891,5	412,6
50	2,0	454	679,8	340,5
30	3,3	382,6	552,5	293,5
25	4,0	357	508,3	276,3
20	5,0	328,9	460,5	257,1
15	6,7	294,5	403,3	233,2
10	10,0	249,9	331,8	201,4
5	20,0	181,8	229	150,5
2	50,0	103,2	123,4	86,1
1,5	66,7	78,9	94,3	64,4
1,1105	90,0	48,4	59,7	36,8
1,01	99,0	28,5	37,4	19,5

8.4.9. Caudales mínimos.

El análisis de caudales mínimos fue realizado para los datos obtenidos de las estaciones presentes en la cuenca, las cuales se encuentran ubicadas como se describió en el numeral 0. El análisis de frecuencia de caudales mínimos igualmente se realizó con el programa HEC-SSP 2.1. En este caso se realiza un análisis de frecuencia de volúmenes mínimos y los datos que se utilizan para el análisis son los caudales mínimos absolutos mensuales. Los volúmenes se expresan sobre periodos de duración, por ejemplo 30 días. Si están disponibles los caudales mínimos absolutos diarios es posible generar curvas de frecuencia para diferentes volúmenes (duración de caudales) como 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120, y 180 días.

Al igual que en el análisis de frecuencia de caudales máximos, el primer paso es utilizar la fórmula de posiciones gráficas de Weibull para estimar la probabilidad de excedencia. En seguida, el programa hace un análisis de frecuencia de volúmenes mínimos anules que sirve para determinar si un río podría suministrar una determinada demanda (abastecimiento de acueductos, riego, industria, etc.), o también para estimar el volumen mínimo de un embalse.

Igualmente que en el análisis de máximos, el análisis se hizo transformando logarítmicamente las probabilidades de excedencia y ajustando los datos con la función de probabilidad LogPearson III, con la que se obtuvo caudales mínimos para períodos de retorno de 2 a 500 años.

8.4.9.1. *(1501-0503) Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta, estación BOCAT STA MARTA*

Para el caso de los caudales mínimos, se desarrollaron los análisis para el período de registro de 1980 a 2012. En la Figura 8.31 Figura 8.34 se presentan el análisis gráfico de caudales mínimos. En la Tabla 8.9 Tabla 8.12 se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años.

Figura 8.34. Análisis de frecuencia mínimos estación BOCAT STA MARTA 15017060

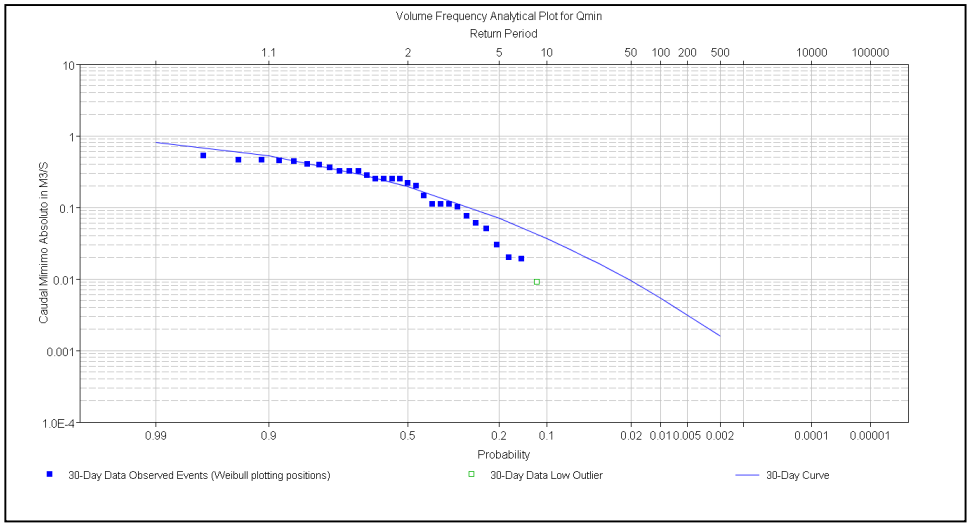


Tabla 8.12. Caudales máximos estación BOCAT STA MARTA 15017060

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Curvas de frecuencia de volumen (30 días (m^3/año))
500	0,2	0
100	1,0	0
50	2,0	0
30	3,3	0
25	4,0	0
20	5,0	0
15	6,7	0
10	10,0	0
5	20,0	0,1
2	50,0	0,2
1,5	66,7	0,3
1,1105	90,0	0,5
1,01	99,0	0,8

8.4.9.2. *(1501-0402) Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca, Estación MINCA.*
Se desarrollaron los análisis, para el período de registro de 1974 a 2013. En la Figura 8.35 se presentan el análisis gráfico de caudales mínimos. En la Tabla 8.13 se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años

Figura 8.35. Análisis de frecuencia mínimos estación MINCA 15017030

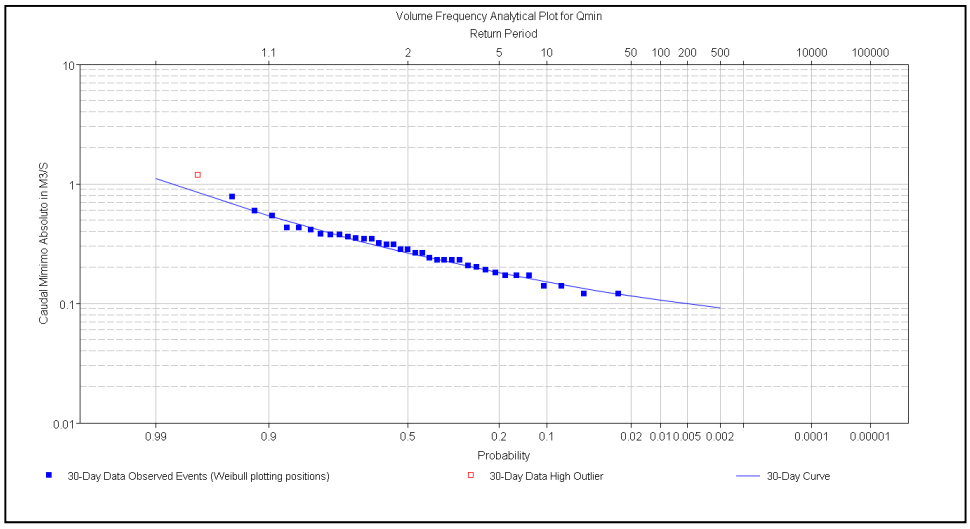


Tabla 8.13. Caudales máximos estación MINCA 15017030

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Curvas de frecuencia de volumen (30 días (m^3/año))
500	0,2	0,1
100	1,0	0,1
50	2,0	0,1
30	3,3	0,1
25	4,0	0,1
20	5,0	0,1
15	6,7	0,1
10	10,0	0,2
5	20,0	0,2
2	50,0	0,3
1,5	66,7	0,3
1,1105	90,0	0,5
1,01	99,0	1,1

8.4.9.3. *(1501-0801) Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, estación REVUELTA LA.*
En este caso, se tuvo en cuenta el período de registro de 1978 a 2014. En la Figura 8.36 se presentan el análisis gráfico de caudales mínimos. En la Tabla 8.14 se presentan los resultados para períodos de retorno de 2 a 500 años

Figura 8.36. Análisis de frecuencia mínimos estación REVUELTA LA 15017020

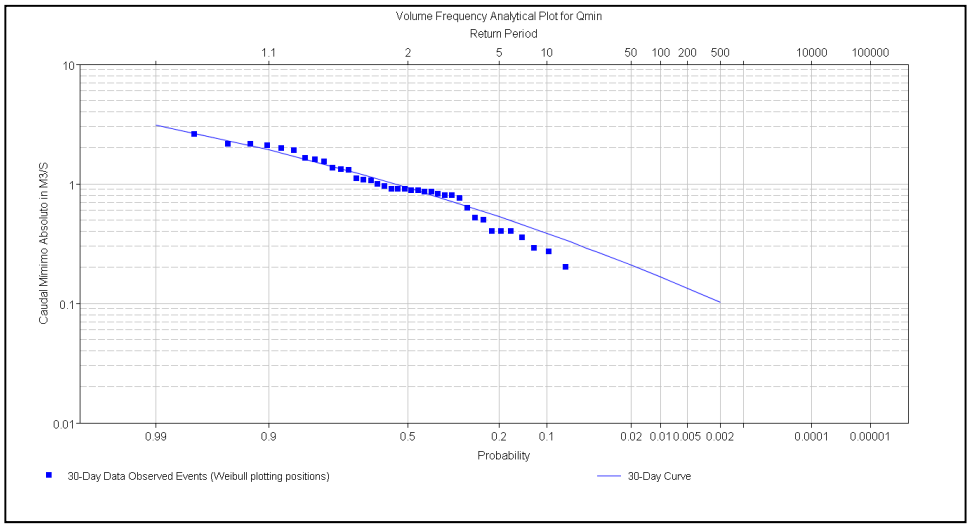


Tabla 8.14. Caudales máximos estación REVUELTA LA 15017020

Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia (%)	Curvas de frecuencia de volumen (30 días (m^3/año))
500	0,2	0,1
100	1,0	0,2
50	2,0	0,2
30	3,3	0,2
25	4,0	0,3
20	5,0	0,3
15	6,7	0,3
10	10,0	0,4
5	20,0	0,5
2	50,0	0,9
1,5	66,7	1,2
1,1105	90,0	1,9
1,01	99,0	3,1

8.5. Estimación De La Oferta Hídrica

En la Tabla 8.15 se relaciona la oferta hídrica para año seco y año normal determinada para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel Subsiguiente y su respectivo rendimiento, de acuerdo a esta información es posible comprar ambos escenarios donde la oferta hídrica solo supera el metro cubico en la unidad hidrográfica del rio Piedras en las unidades de segundo nivel de Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe, Quebrada Jordán y Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y San Isidro, en año normal mientras que en año seco solo ocurre en la primera.

En cuanto al rendimiento, todas las unidades excepto tres, presentan un valor menor a los 0.04 m^3/s clasificado como bajo de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Para las unidades Quebrada Jordán, Río Piedras entre la Cuchilla de San Lorenzo y Quebrada La Lisa se clasifica como medio.

Tabla 8.15. Oferta hídrica anual (m^3/s)

Código	Nombre	Oferta hídrica anual (m^3/s)		Área (Km^2)	Rendimiento ($m^3/s*km^2$)
		Año normal	Año seco		
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	0,04623	0,03218	22,07	0,00241
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	0,04826	0,03359	17,30	0,00320
1501-0103	Quebrada La Sierrita	0,04750	0,03307	15,50	0,00352
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	0,15220	0,10594	52,12	0,00336
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	0,05227	0,03639	18,35	0,00327
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	0,04405	0,02973	17,95	0,00277
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	0,18786	0,12678	56,95	0,00372
1501-0203	Quebrada Marinca	0,06715	0,04532	25,26	0,00300

Código	Nombre		Oferta hídrica anual (m^3/s)		Área (Km^2)	Rendimiento ($m^3/s*km^2$)
			Año normal	Año seco		
1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,02697	0,01820	12,26	0,00248
1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,00741	0,00381	10,47	0,00080
		1501-0301-01	0,00044	0,00025	1,63	0,00031
1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,00940	0,00475	13,28	0,00080
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00105	0,00076	6,32	0,00019
		Quebrada El Totumo	0,00068	0,00047	3,78	0,00021
		Quebrada Mamorón	0,00137	0,00088	6,62	0,00024
		1501-0303-03	0,00016	0,00014	1,32	0,00014
		Quebrada Latuchí	0,00052	0,00045	4,14	0,00015
		Quebrada La Palmita	0,00059	0,00042	3,50	0,00019
		Quebrada El Ébano	0,00055	0,00040	3,45	0,00018
		1501-0303-02	0,00030	0,00027	2,51	0,00014
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		0,60670	0,56983	40,88	0,01998
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		0,84509	0,79372	43,66	0,02606
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		0,47561	0,44671	29,25	0,02190
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,24251	0,15596	45,79	0,00733
1501-0502	Quebrada Tamaca		0,22291	0,14336	42,68	0,00723
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		0,49571	0,31880	84,47	0,00813
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,18824	0,12106	29,25	0,00891
1501-0600	Quebrada Concha		0,45256	0,37504	53,57	0,00984
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,09467	0,12023	7,61	0,02631
		1501-0701-02	0,04001	0,05088	3,63	0,02464
		1501-0701-03	0,08807	0,11183	7,53	0,02542
		1501-0701-01	0,03359	0,04315	3,24	0,02385
		1501-0701-11	0,02704	0,03473	2,46	0,02459
		1501-0701-09	0,02431	0,03180	2,01	0,02591
		Quebrada Gayraca	0,07276	0,09357	5,69	0,02673
		1501-0701-10	0,04729	0,06129	4,16	0,02507
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	0,24479	0,32112	18,49	0,02728
		1501-0701-08	0,03702	0,04856	3,01	0,02618
		1501-0701-07	0,03842	0,05103	3,03	0,02663
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	0,30854	0,43232	17,80	0,03199
		1501-0701-06	0,04084	0,05510	3,08	0,02727
		1501-0701-05	0,08328	0,11277	6,05	0,02790
		Quebrada El Cabo y San Lucas	0,22245	0,30761	15,01	0,02916
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		2,80282	1,40390	81,58	0,04098
1501-0802	Quebrada Jordán		1,28748	0,64488	29,73	0,05166
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		1,35401	0,67821	34,80	0,04642
1501-0804	Quebrada La Lisa		0,55199	0,27648	14,76	0,04460

8.5.2. Validación de caudales obtenidos con balance hídrico.

Para validar los caudales generados a nivel de subcuenca, se realizó una validación con la información obtenida por medio del balance hídrico a nivel de subcuenca obtenido en el capítulo de Clima de la cuenca, presentando a continuación, en la Tabla 8.16 los resultados obtenidos.

Tabla 8.16. Validación de los caudales obtenido en el régimen hidrológico de la cuenca.

Código	Nombre		Oferta hídrica anual (m^3/s)		Escorrentía (m3/s)
			Año normal	Año seco	
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita		0,04623	0,03218	0,102
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)		0,04826	0,03359	0,444
1501-0103	Quebrada La Sierrita		0,0475	0,03307	0,675
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda		0,1522	0,10594	2,333
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)		0,05227	0,03639	0,588
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		0,04405	0,02973	0,267
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		0,18786	0,12678	2,465
1501-0203	Quebrada Marinca		0,06715	0,04532	0,586
1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,02697	0,0182	0,010
1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,00741	0,00381	0,034
		1501-0301-01	0,00044	0,00025	
1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,0094	0,00475	0,073
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00105	0,00076	0,028
		Quebrada El Totumo	0,00068	0,00047	
		Quebrada Mamorón	0,00137	0,00088	
		1501-0303-03	0,00016	0,00014	
		Quebrada Latuchí	0,00052	0,00045	
		Quebrada La Palmita	0,00059	0,00042	
		Quebrada El Ébano	0,00055	0,0004	
		1501-0303-02	0,0003	0,00027	
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		0,6067	0,56983	0,734
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		0,84509	0,79372	1,830
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		0,47561	0,44671	0,313
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,24251	0,15596	0,877

Código	Nombre		Oferta hídrica anual (m^3/s)		Escorrentía (m3/s)
			Año normal	Año seco	
1501-0502	Quebrada Tamaca		0,22291	0,14336	1,315
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		0,49571	0,3188	2,889
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,18824	0,12106	1,051
1501-0600	Quebrada Concha		0,45256	0,37504	1,705
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,09467	0,12023	1,146
		1501-0701-02	0,04001	0,05088	
		1501-0701-03	0,08807	0,11183	
		1501-0701-01	0,03359	0,04315	
		1501-0701-11	0,02704	0,03473	
		1501-0701-09	0,02431	0,0318	
		Quebrada Gayraca	0,07276	0,09357	
		1501-0701-10	0,04729	0,06129	
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	0,24479	0,32112	0,769
		1501-0701-08	0,03702	0,04856	
		1501-0701-07	0,03842	0,05103	
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	0,30854	0,43232	0,625
		1501-0701-06	0,04084	0,0551	
		1501-0701-05	0,08328	0,11277	
		Quebrada El Cabo y San Lucas	0,22245	0,30761	
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		2,80282	1,4039	1,916
1501-0802	Quebrada Jordán		1,28748	0,64488	0,950
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		1,35401	0,67821	1,432
1501-0804	Quebrada La Lisa		0,55199	0,27648	0,652

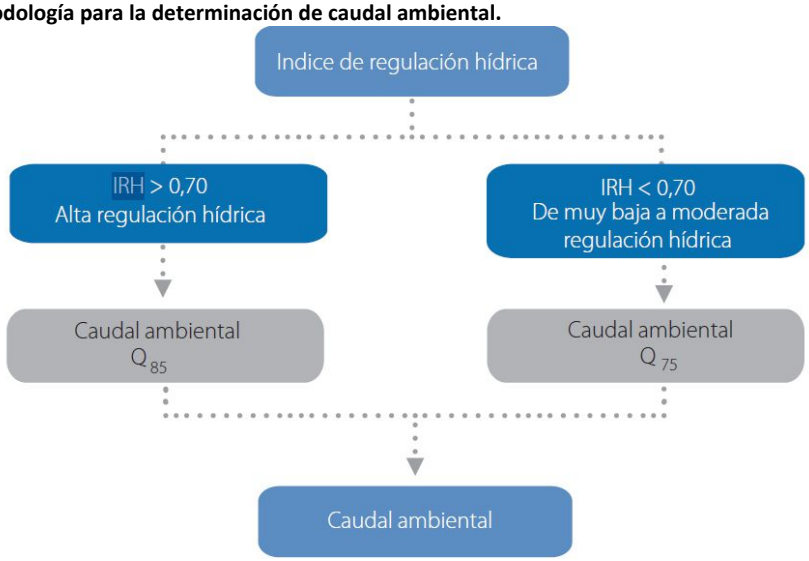
Como puede verse, la oferta hídrica es sobreestimada por el balance hídrico a nivel de subcuenca calculado por medio del balance hidroclimático en las áreas en donde la escorrentía superficial es de tipo torrencial, como son los cauces directos al caribe, y en las cuencas de los ríos Piedras, Quebrada Jordán, Gaira, y quebrada la Lisa, se obtienen similitudes de hasta un 95%.

8.6. Caudales Ambientales.

El caudal ambiental corresponde al volumen de agua necesario para el sostenimiento de los ecosistemas que dependerá de la calidad, cantidad, duración y estacionalidad del régimen hídrico y, deberá asegurar la oferta para el desarrollo óptimo de las actividades antrópicas (MinAmbiente, 2010). Este dependerá del Índice de Regulación Hídrica (IRH) para cada unidad hidrográfica, según ha sido determinado en el Estudio Nacional del Agua 2014 por el IDEAM (2015) -detallado en el apartado 8.7 ÍNDICES HIDROLÓGICOS-.

Como se describe en la Figura 8.37, para cuencas que presenten una capacidad para retener y regular alta o muy alta se tomará como el Q85 -caudal que presenta 85% de probabilidad de ser excedido o igualado- determinado por la curva de duración de caudal diario, mientras que para cuencas de capacidad de retención y regulación media a muy baja este se entenderá como el Q75.

Figura 8.37. Metodología para la determinación de caudal ambiental.



Fuente: IDEAM (2015)

Respecto al caudal ambiental en época seca, se tomó para el presente estudio la consideración realizada por el IDEAM (2015), que especifica que el caudal ambiental para año seco se obtendrá de una proporción entre el caudal ambiental año medio y el caudal medio estimado. La consideración anterior se realiza teniendo en cuenta las fluctuaciones del régimen hidrológico en Colombia y pretende principalmente asegurar la oferta hídrica para el abastecimiento del consumo humano.

De acuerdo a la metodología planteada anteriormente, para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe el caudal ambiental para las unidades de segundo nivel correspondientes a la subcuencas Rio córdoba, Río Toribio, Quebrada Don Jaca y otros directos al Caribe, Río Gaira, Río Manzanares, Quebrada Concha y Río Piedras corresponde al Q_{75}, esto debido

a que el valor del Índice de regulación hídrica es inferior a 0.7 en estas unidades mientras que para las unidades correspondientes a la cuenca Directos al Caribe en el Parque Tayrona su valor es superior, por lo tanto el valor del caudal ambiental corresponde al valor del Q_{85}. En la Tabla 8.17 se relacionan los caudales ambientales tanto para año normal, como para año seco.

Tabla 8.17. Caudales ambientales (m^3/s)

Código	Nombre unidad hidrográfica segundo nivel Subsiguiente		Caudal ambiental	
			Año Normal	Año Seco
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita		0,00690	0,001
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)		0,00720	0,001
1501-0103	Quebrada La Sierrita		0,00709	0,001
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda		0,02271	0,003
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)		0,00780	0,001
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe		0,00562	0,0006
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel		0,02395	0,003
1501-0203	Quebrada Marinca		0,00856	0,001
1501-0204	Quebrada El Guayabo		0,00344	0,0004
1501-0301	Quebrad El Doctor	Quebrada El Doctor	0,00092	0,0001
		1501-0301-01	0,00007	0,00001
1501-0302	Quebrada Don Jaca		0,00116	0,0001
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Quebrada El Limón	0,00016	0,00002
		Quebrada El Totumo	0,00011	0,00001
		Quebrada Mamorón	0,00021	0,00003
		1501-0303-03	0,00002	0,00000
		Quebrada Latuchí	0,00008	0,00001
		Quebrada La Palmita	0,00009	0,00001
		Quebrada El Ébano	0,00009	0,00001
		1501-0303-02	0,00005	0,00001
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)		0,21020	0,05
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca		0,29279	0,08
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)		0,16478	0,04
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta		0,09330	0,03
1501-0502	Quebrada Tamaca		0,08576	0,02
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta		0,19072	0,05
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)		0,07242	0,02
1501-0600	Quebrada Concha		0,07436	0,01
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	1501-0701-04	0,10549	0,06
		1501-0701-02	0,04934	0,03
		1501-0701-03	0,10343	0,06
		1501-0701-01	0,04376	0,02
		1501-0701-11	0,03354	0,02
		1501-0701-09	0,02777	0,01
		Quebrada Gayraca	0,07937	0,04
		1501-0701-10	0,05689	0,03
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Quebrada Cinto	0,25973	0,13
		1501-0701-08	0,04168	0,02

Código	Nombre unidad hidrográfica segundo nivel Subsiguiente		Caudal ambiental	
			Año Normal	Año Seco
		1501-0701-07	0,04217	0,02
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Quebrada Santa Rosa	0,26104	0,12
		1501-0701-06	0,04330	0,02
		1501-0701-05	0,08558	0,04
		Quebrada El Cabo y San Lucas	0,21510	0,11
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe		0,54056	0,09
1501-0802	Quebrada Jordán		0,24831	0,04
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro		0,26114	0,04
1501-0804	Quebrada La Lisa		0,10646	0,02

8.7. Estimación De La Demanda Hídrica.

La demanda de agua, según el estudio nacional del Agua del 2014, corresponde al consumo de agua realizado por las diferentes actividades económicas y por la población para su propio abastecimiento, y considera los volúmenes extraídos de los sistemas hídricos y utilizados para consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no, e implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico. (ENA 2014 Pág. 156)

En el Decreto 2930 del año 2010, considera los requerimientos ecosistémicos en un espacio y tiempo determinado, y su valor es correspondiente a la sumatoria de las demandas sectoriales, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$DT = DUD + DUA + DUAV + DUP + DUI + DUM + DUH + DUE + DUS \quad \textbf{(39)}$$

Donde:

DT = Demanda total de agua
DUD = Demanda de agua por uso doméstico
DUA = Demanda de agua por uso agrícola
DUAV = Demanda de agua por uso avícola
DUP = Demanda de agua por uso pecuario
DUI = Demanda de agua por uso industrial
DUM = Demanda hídrica en minería
DUH = Demanda hídrica para hidrocarburos
DUE = Demanda hídrica para energía
DUS = Demanda hídrica para servicios

Basados en la metodología diseñada por el IDEAM para el cálculo de demanda hídrica a nivel de cuenca hidrográfica, y por medio de la información correspondiente a los componentes económico y funcional con respecto a la cantidad de recurso hídrico necesario para satisfacer las necesidades de los ecosistemas, sectores productivos y sector doméstico.

Para determinar la cantidad de agua utilizada por cada uno de los sectores anteriormente citados por medio del análisis de la información base de los componentes económico y funcional del presente POMCA, se presentan a continuación las características y consideraciones metodológicas para cada uno de los sectores estudiados.

8.7.1. Demanda de agua por uso doméstico.

De acuerdo con el decreto 3930 de 2010, se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en "actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios y la preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración

La demanda de agua para uso doméstico se calculó de acuerdo a lo establecido por la Reglamentación Técnica del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS 2000, la cual clasifica a cada una de las poblaciones de acuerdo al nivel de complejidad, como se ve en la Tabla 8.18.

Tabla 8.18. Nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RAS 2000 Titulo A

En la Resolución 2320 de 2009 del MAVDT se establecen las dotaciones netas máximas de acuerdo al nivel de complejidad y al clima del sector, entendiendo por poblaciones con clima Frío o templado aquellas ubicadas a una altura superior a 1.000 metros sobre el nivel del mar y por poblaciones con Clima Cálido aquellas ubicadas a una altura inferior o igual a 1.000 metros sobre el nivel del mar. En la Tabla 8.19 se presentan las dotaciones netas máximas según el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 8.19. Dotación neta máxima

Nivel de complejidad del sistema	Poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab.día)	Poblaciones con Clima Cálido (L/hab.día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Resolución 2320 de 2009 del MAVDT

La demanda de agua de uso doméstico contempla las pérdidas de agua en cada uno de los componentes del sistema de acueducto y la demanda de agua necesaria para su respectivo mantenimiento, para el sector rural y urbano se calculan unas pérdidas totales del 7%. Para el caso de la demanda doméstica superficial, se presenta en la Tabla 8.20 la demanda calculada según la

población rural y urbana para cada una de las subcuencas de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 8.20. Demanda doméstica

Nivel Subsiguiente	Población		Demanda (m^3/año)	Nivel Subsiguiente	Población		Demanda (m^3/año)
	Rural	Urbana			Rural	Urbana	
1501-0101	406		18580342	1501-0403	152	101989	8904,54
1501-0102	21		1025,19375	1501-0501	1917	247278	112302,653
1501-0103	36		1265,382	1501-0502	345	84434	20210,9625
1501-0104	175		6151,1625	1501-0503	3214	19206	11311093,5
1501-0105	18		878,7375	1501-0504	730		28510,15
1501-0201	36		1405,98	1501-0600	267		10427,685
1501-0202	228		8014,086	1501-0701	213		8318,715
1501-0203	36		1265,382	1501-0702	144		5623,92
1501-0204	35		1366,925	1501-0703	397		15504,835
1501-0301	28		1093,54	1501-0801	1264		49365,52
1501-0302	74		2890,07	1501-0802	620		24214,1
1501-0303	274	122	23198,67	1501-0803	204		9354453,6
1501-0401	232	20067	7163936,76	1501-0804	87		3058,0065
1501-0402	465		16344,5175				

8.7.2. Demanda de agua por uso agrícola.

La demanda hídrica por el sector agrícola se refiere a la cantidad de agua que se requiere para suplir las necesidades de riego de un cultivo, de manera artificial. Ésta es determinada por medio de la evapotranspiración del cultivo (ETc) menos el agua que han aportado las precipitaciones. Así mismo, el consumo de agua se asocia a la cadena de consumo en todo el sector, ya que incluye, además del riego, el agua que es usada en las actividades de poscosecha y de beneficio y que no significan un proceso de transformación industrial.

La cantidad de riego requerido para un cultivo depende de un número de factores como son la precipitación y las condiciones climáticas, tipo de cultivo, el periodo de crecimiento del cultivo, el método y cronograma de riego, las características del suelo, etc. Uno de los métodos más utilizados para estimar el riego requerido por los es el de la Food and Agricultural Organization (FAO), por medio de los factores de cultivo y factores de riego disponibles. Para grandes áreas y para áreas donde las mediciones en campo de los requerimientos reales de riego no pueden realizarse, especialmente por cuestiones espacio temporales, las estimaciones del riego son necesarias, por lo que la herramienta dada por la FAO respecto a los coeficientes de cultivo se hace de suma utilidad en este tipo de determinaciones de demanda del recurso hídrico.

Para el cálculo de la demanda de agua por uso agrícola en el área de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se delimitaron las áreas de los cultivos según la interpretación de coberturas realizada para el presente POMCA por medio de la metodología de Corine Land Cover, junto con la información del componente económico y la información levantada en campo por

medio de la ruta funcional desarrollada, determinando así el área total de cada uno de los cultivos por cada unidad hidrográfica.

En la Tabla 8.21 se relacionan las áreas por cultivo en cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente.

Tabla 8.21. Área por cultivo

Unidad hidrográfica	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	Mosaico de cultivos y espacios naturales herbáceos	Palma de aceite	Plátano y banano	Cítricos	Otros cultivos perm. arbustivos
1501-0101				86,84		1,93
1501-0104					2,56	
1501-0201			52,85	94,41		
1501-0203			0,03			
1501-0204			0,33			
1501-0401		108,91				
1501-0402		277,33				
1501-0403		0,26				
1501-0501	33,12					
1501-0503	14,87					

Unidad hidrográfica	Café plena exposición	Café sombrío con semisombra	Café con sombrío	Mango	Otros cultivos transitorios	Otros cultivos perm. arbóreos	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos
1501-0101				66,81		9,00	
1501-0103	20,74	32,72					13,77
1501-0104	63,90	203,27	37,68				80,67
1501-0105	46,55	217,85					
1501-0201				36,47			
1501-0202	4,29	100,99	1170,04				21,46
1501-0203	31,35	0,77	106,13	9,46			2,58
1501-0301							6,85
1501-0302							59,68
1501-0401	346,55		313,83			5,15	0,07
1501-0402	2,44		1241,38				173,82
1501-0403				10,02			
1501-0501				5,60			
1501-0502			6,08	41,17		18,34	
1501-0503		13,26	617,88	49,43			3,98
1501-0504						5,44	
1501-0600					10,39		
1501-0801	5,10		360,98		6,62	37,75	46,97
1501-0803			2,28				
1501-0804	18,60						

Unidad hidrográfica	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	Mosaico de pastos y cultivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	Bosque fragmentado con pastos y cultivos
1501-0101	33,91	10,35		59,57	33,16
1501-0102		18,38	2,14	158,65	143,79
1501-0103	4,83	9,79	94,54	23,79	45,34
1501-0104	606,17	162,79	207,06		111,44
1501-0105	168,75	1,39	122,05		16,60
1501-0201	30,69		0,12	6,74	62,70

Unidad hidrográfica	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	Mosaico de pastos y cultivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	Bosque fragmentado con pastos y cultivos
1501-0202	422,40	259,02	218,43	95,40	152,75
1501-0203	261,22		17,42		49,50
1501-0204	13,55				
1501-0401	94,85	23,30	81,11	44,86	15,10
1501-0402	28,34	20,31			164,79
1501-0403	14,60	73,67		50,23	32,57
1501-0501				0,65	75,88
1501-0502				85,78	53,72
1501-0503	131,00	10,21		221,17	366,41
1501-0504				19,96	74,41
1501-0600		51,61		17,49	57,38
1501-0701					11,43
1501-0702			2,45		46,56
1501-0703		3,88			116,47
1501-0801	77,22	70,15	358,13	121,40	680,19
1501-0802				11,40	241,30
1501-0803					140,50
1501-0804					118,66

De manera posterior, se estableció por cada unidad hidrográfica el coeficiente de escorrentía (Ce), así como la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), la precipitación (P) y el área total, mientras que por cada uno de los cultivos identificados en la cuenca, se establecieron las variables de coeficiente único del cultivo (K_c), y altura media de las plantas (h).

Una vez determinadas las anteriores variables, se realizó la corrección del coeficiente único del cultivo mediante la ecuación 3:

$$K_{c\ med} = K_{c\ med\ cua} + [0.04\ (U_2 - 2) - 0.004\ (HR_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad \textbf{(40)}$$

Donde

$K_{c\ med\ (Cua)}$ = Valor de $K_{c\ med}$[56].

u_2 = valor medio diario de la velocidad del viento a 2 m de altura sobre pasto para la etapa de mediados de temporada [m s-1], con 1 m s-1 ≤ u2 ≤ 6 m s-1.

HR_{min} = valor medio diario de humedad relativa mínima durante la etapa de mediados de temporada [%], para 20% ≤ HRmin ≤ 80%,

h = altura media de las plantas durante la etapa de mediados de temporada [m] para 0,1 m < h < 10 m.

[56] Obtenido del Cuadro 12 "*valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos (HR_{min}≈45%, u_2=2 m s^{-1}) para usar en la formula FAO Penman Monteith ET_0*" del libro "Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos" de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Pág. 110.

A continuación, en la Tabla 8.22 se presentan las variables determinadas para cada uno de los cultivos, y el correspondiente factor de corrección del Kc.

Tabla 8.22. Variables por cultivo.

ÁREA AGRÍCOLA	Kc	h	Kc,cor
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1,00		1,00
Café a plena exposición	0,95	2,00	0,82
Café con semisombra sombrío	1,00	2,00	0,87
Café con sombrío	1,10	3,00	0,96
Cítricos	0,85	3,00	0,71
Mango	0,75	3,00	0,61
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1,00		1,00
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	1,00		
Mosaico de cultivos y espacios naturales herbáceos	1,00		
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	1,00		
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,00		1,00
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	1,00		1,00
Mosaico de pastos y cultivos	1,00		1,00
Otros cultivos permanentes arbóreos	1,00		1,00
Otros cultivos permanentes arbustivos	1,00		1,00
Otros cultivos transitorios	1,00		1,00
Palma de aceite	1,00	8,00	0,81
Plátano y banano	1,20	4,00	1,04

Finalmente, se multiplican las variables por cuenca con el área del cultivo y el K_c corregido para determinar la demanda de agua total para cada tipo de cultivo, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$Demanda\ de\ agua\ por\ cultivo = \frac{Area\ del\ cultivo}{0.75} 10(K_c * ET_{0\ corregido} * P * C_e \quad \textbf{(41)}$$

Si el valor de (K_c* ET_0 corregido - Ce * P) es negativo no existe demanda, por lo tanto, en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe solo 5 de las 27 unidades hidrográficas no tiene demanda agrícola y son las unidades quebrad El Doctor, quebrada Don Jaca, quebrada El Ébano y otros directos al Caribe, quebrada Gayraca y otros directos al Caribe y quebrada Jordán. A continuación en la Tabla 8.23 se establecen las demandas totales agrícolas por unidad hidrográfica de segundo nivel.

Tabla 8.23. Demanda de agua uso agrícola (m^3/año)

Unidad hidrográfica	Total riego	Total poscosecha	TOTAL
1501-0101	3770115,49	21528,22	3791643,70

Unidad hidrográfica	Total riego	Total poscosecha	TOTAL
1501-0102	3929496,23	0,00	3929496,23
1501-0103	1324166,82	2085,28	1326252,10
1501-0104	11673368,79	9881,06	11683249,85
1501-0105	4899929,91	8242,22	4908172,13
1501-0201	3523892,14	23406,04	3547298,18
1501-0202	22031168,44	31608,38	22062776,82
1501-0203	5647893,90	4568,57	5652462,47
1501-0204	194857,03	0,00	194857,03
1501-0401	7043425,93	29103,89	7072529,81
1501-0402	9100731,56	30762,88	9131494,44
1501-0403	1930879,76	0,00	1930879,76
1501-0501	1813690,27	0,00	1813690,27
1501-0502	2860489,93	149,81	2860639,74
1501-0503	19393407,60	15563,87	19408971,47
1501-0504	1489136,46	0,00	1489136,46
1501-0600	1990928,75	0,00	1990928,75
1501-0702	290963,20	0,00	290963,20
1501-0703	580630,35	0,00	580630,35
1501-0801	0,00	9216,24	9216,24
1501-0803	0,00	56,11	56,11
1501-0804	0,00	1146,59	1146,59

8.7.3. Demanda de agua por uso pecuario y avícola.

La demanda hídrica del sector pecuario comprende la cantidad de agua utilizada en la cría, levante, engorde, beneficio y sacrificio asociado con la producción de carne, ya sea proveniente de bovinos, porcinos, caprinos y aves, como de producción de huevos, leche y lana, así como de otros animales como caballos, conejos, entre otros (IDEAM, 2010).

Para este sector, se contabilizó el número de semovientes de acuerdo al análisis económico realizado para la cuenca como se muestra en la Tabla 8.24, al igual que los datos de consumo promedio tanto para el manejo del ganado como para el mantenimiento de las crías incluyendo también los consumos para aves de corral. Los datos de sacrificio se tomaron de las estadísticas de sacrificio animal y de los registros de plantas de beneficio animal del INVIMA

Tabla 8.24. Cabezas por nivel subsiguiente y consumo por cabeza

Tipo	1501-0101	1501-0102	1501-0103	1501-0104	1501-0105	1501-0201
Ganado vacuno	24	8	29	385	39	11
Ganado porcino	20	36	69	192	18	8
Ganado bufalino	0	0	1	0	0	0
Ganado equino	0	6	17	3	0	0
Ganado ovino	0	2	7	1	0	0

Tipo	1501-0202	1501-0203	1501-0204	1501-0301	1501-0302	1501-0303	1501-0401
Vacuno	16	0	1	94	142	252	57
Porcino	105	12	124	136	631	974	515
Equino	0	2	0	1	7	2	3
Ovino	0	1	0	1	3	1	1
Aves	337304	0	0	0	0	0	0

Tipo	1501-0402	1501-0403	1501-0501	1501-0502	1501-0503	1501-0504	1501-0702
Vacuno	373	58	185	107	104	153	18
Porcino	285	286	553	853	644	275	31
Bufalino	0	0	0	1	0	0	0
Caprino	0	0	1	1	0	0	0
Equino	6	2	10	21	8	7	0
Ovino	3	1	5	9	4	3	0

Tipo	1501-0703	1501-0801	1501-0802	1501-0803	1501-0804	Consumos cría	Consumos manejo
Vacuno	1039	270	152	169	491	71,9	40
Porcino	1752	473	565	98	9	8,7	10
Bufalino	1	1	0	0	1	71,9	40
Caprino	3	1	0	0	0	23,0	10
Equino	49	25	6	4	4	45,0	20
Ovino	23	11	3	2	2	5,7	10
Aves	0	0	0	0	0	0,35	20

Una vez determinados los consumos por cabeza, se calcula la demanda multiplicando la cantidad de especímenes con el consumo promedio; en la Tabla 8.25 se presenta la demanda total de uso pecuario por cada nivel subsiguiente analizado:

Tabla 8.25. Demanda uso agrícola (m^3/año)

Unidad hidrográfica	Ganado vacuno	Ganado porcino	Ganado bufalino	Ganado caprino	Ganado equino	Ganado ovino	Aves	Total Cría (m^3/año)	Total Sacrificio (m^3/año)	Total (m^3/año)
1501-0101	980,51	136,15						1116,65		1116,65
1501-0102	326,84	245,06			142,35	11,46		725,71		725,71
1501-0103	1184,78	469,70	40,85		403,33	40,11		2138,77		2138,77
1501-0104	15728,96	1306,99			71,18	5,73		17112,86		17112,86
1501-0105	1593,32	122,53						1715,85		1715,85
1501-0201	449,40	54,46						503,86		503,86
1501-0202	653,67	714,76					2505409,79	2506778,22		2506778,22

Unidad hidrográfica	Ganado vacuno	Ganado porcino	Ganado bufalino	Ganado caprino	Ganado equino	Ganado ovino	Aves	Total Cría (m³/año)	Total Sacrificio (m³/año)	Total (m³/año)
1501-0203		81,69			47,45	5,73		134,87		134,87
1501-0204	40,85	844,10						884,95		884,95
1501-0301	3840,32	925,79			23,73	5,73		4795,56		4795,56
1501-0302	5801,33	4295,37			166,08	17,19		10279,97		10279,97
1501-0303	10295,32	6630,26			47,45	5,73		16978,76		16978,76
1501-0401	2328,70	3505,73			71,18	5,73		5911,34	79752,50	85663,84
1501-0402	15238,71	1940,07			142,35	17,19		17338,32		17338,32
1501-0403	2369,56	1946,87			47,45	5,73		4369,61		4369,61
1501-0501	7558,07	3764,41		12,05	237,25	28,65		11600,43		11600,43
1501-0502	4371,43	5806,58	40,85	12,05	498,23	51,57		10780,71		10780,71
1501-0503	4248,86	4383,87			189,80	22,92		8845,45		8845,45
1501-0504	6250,73	1871,99			166,08	17,19		8305,99		8305,99
1501-0600		40,84						40,84		40,84
1501-0701										
1501-0702	735,38	211,02						946,40		946,40
1501-0703	42447,77	11926,30	40,85	36,14	1162,53	131,80		55745,39		55745,39
1501-0801	11030,70	3219,83	40,85	12,05	593,13	63,04		14959,59		14959,59
1501-0802	6209,88	3846,10			142,35	17,19		10215,51		10215,51
1501-0803	6904,40	667,11			94,90	11,46		7677,87	8769,90	16447,78
1501-0804	20059,53	61,27	40,85		94,90	11,46		20268,02		20268,02

8.7.4. Demanda de agua por uso industrial, comercial y de servicios.

Para la determinación de la demanda de recurso hídrico por el sector institucional, comercial y de servicios la información de los registros municipales de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios clasificados como suscriptores comerciales, oficiales, especiales, temporales y multiusuario mixto fueron el punto de partida, así como la información disponible en el Sistema Único de Información y Servicios Públicos (SUI) , tomada desde el capítulo económico y funcional del presente diagnóstico.

Esta información no desagrega los diferentes servicios que integran el sector y la información de planteles educativos y centros de salud en la zona de estudio. En cuanto al sector industrial se obtuvo información en las visitas a campo de los consumos de las industrias existentes. En la cuenca solo 4 de las unidades hidrografías de segundo nivel reportaron demandas de agua en este sector, como puede verse en la Tabla 8.26.

Tabla 8.26. Demanda de agua sector Industrial, comercial e institucional. (m³/año)

Sector	Nivel subsiguiente			
	1501-0101	1501-0201	1501-0401	1501-0803
Comercial	819936,00	5887771,20	250236,54	225212,89
Industrial			876078,24	788470,42
Institucional			408620,75	367758,68
Total (m3/año)	**819936,00**	**5887771,20**	**1534935,54**	**1381441,98**

8.7.5. Demanda hídrica total.

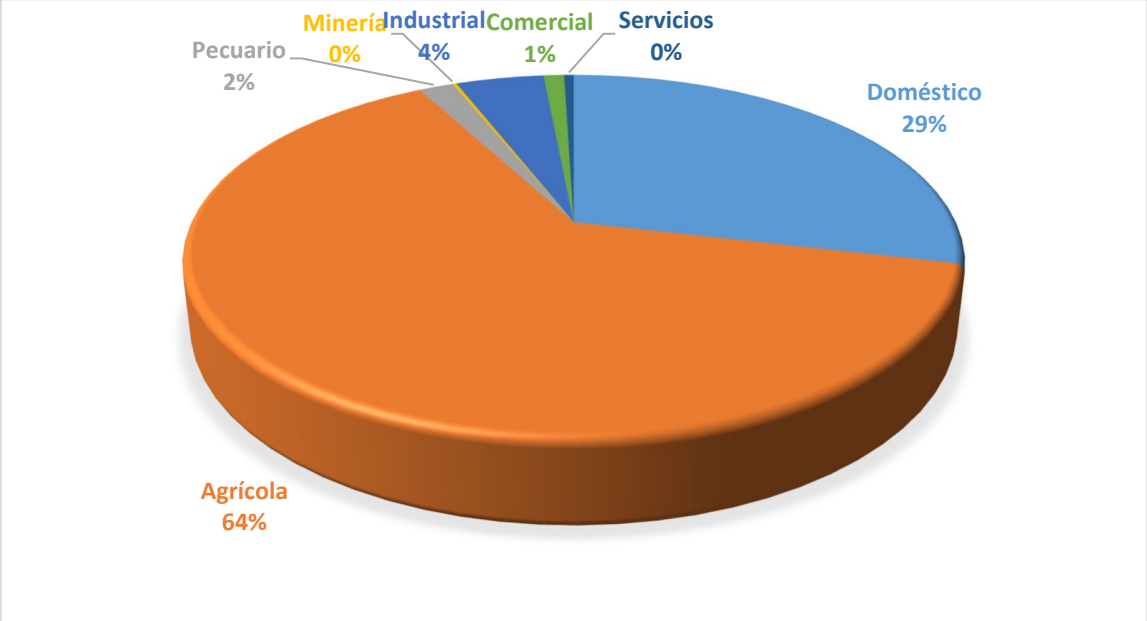
El cálculo de la demanda hídrica total se realiza de la suma de los caudales derivados de las actividades económicas anteriormente anunciadas y de los caudales para la preservación de la flora y la fauna tanto para año seco como para año normal. A continuación, en la Tabla 8.27 se discriminan los caudales totales para año seco y para año normal por cada unidad hidrográfica dentro de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe. Cabe resaltar que para la estimación de la oferta en año seco, se tiene en cuenta la oferta estimada en el apart anterior a nivel de subcuenca para condiciones hidrolpógicas secas.

Tabla 8.27. Demanda de agua total año normal y año seco (m^3/año)

Nivel subsiguiente	Demanda de agua actividades económicas	Demanda de agua preservación flora y fauna (año normal)	Demanda de agua preservación flora y fauna (año seco)	Total	Total (año seco)
1501-0101	23193038,4	217520,1	208699,0	23410558,5	23401737,4
1501-0102	3931247,1	227046,6	217839,2	4158293,7	4149086,3
1501-0103	1329656,3	223511,6	214447,5	1553167,9	1544103,8
1501-0104	11706513,9	716090,8	687051,1	12422604,7	12393565,0
1501-0105	4910766,7	245946,9	235973,0	5156713,6	5146739,7
1501-0201	9752339,2	177139,9	172358,9	9929479,1	9924698,1
1501-0202	24577569,1	755374,1	734986,6	25332943,2	25312555,8
1501-0203	5653862,7	269990,6	262703,6	5923853,3	5916566,3
1501-0204	197108,9	108457,0	105529,8	305565,9	302638,7
1501-0301	5889,1	31069,4	36689,9	36958,5	42579,0
1501-0302	13170,0	36591,7	44642,2	49761,7	57812,2
1501-0303	40177,4	25543,5	35420,6	65720,9	75598,0
1501-0401	15857066,0	6628923,7	5892377,8	22485989,7	21749443,8
1501-0402	9165177,3	9233542,0	8207594,5	18398719,3	17372771,8
1501-0403	1944153,9	5196606,4	4619206,6	7140760,3	6563360,5
1501-0501	1937593,4	2942459,0	2200470,6	4880052,3	4138064,0
1501-0502	2891631,4	2704614,5	2022602,5	5596245,9	4914233,9
1501-0503	30728910,4	6014531,6	4497870,7	36743442,0	35226781,1
1501-0504	1525952,6	2283894,9	1707974,1	3809847,5	3233926,7
1501-0600	2001397,3	2344882,3	2974762,6	4346279,6	4976159,9
1501-0701	8318,7	24358532,1	24905793,5	24366850,8	24914112,2
1501-0702	297533,5	8954606,0	9227851,3	9252139,5	9525384,8
1501-0703	651880,6	16615032,9	17593653,1	17266913,5	18245533,7
1501-0801	73541,3	17047158,7	19092817,7	17120700,1	19166359,1
1501-0802	34429,6	7830609,2	8770282,4	7865038,9	8804712,0
1501-0803	10752399,5	8235301,8	9223538,0	18987701,3	19975937,5
1501-0804	24472,6	3357271,2	3760143,8	3381743,8	3784616,4

Excluyendo el caudal destinado a la preservación de flora y fauna, el mayor porcentaje de recurso hídrico usado en la cuenca se destina al sector agrícola en un 64%, seguido por el sector doméstico, como puede verse en la Figura 8.38.

Figura 8.38. Demanda hídrica sectorial para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.



8.8. Índices Hidrológicos.

A continuación se realiza la descripción de los índices hidrológicos entre los que se encuentran el Índice de retención y regulación Hídrica (IRH), el Índice de uso del agua (IUA) y el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico (IVH), los cuales se calcularon para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente.

8.8.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

El Índice de retención y regulación hídrica, de acuerdo con la definición del IDEAM (2010), "Evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo – vegetación, con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca".

La metodología del IDEAM plantea que el IRH se debe determinar a partir de la curva de duración de caudales, para la cual se estima el volumen existente para el caudal correspondiente al Q_{50}, por debajo de la curva de duración y el volumen total bajo la curva, de acuerdo con la siguiente expresión matemática:

$$IRH = \frac{V_{50}}{V_T} \quad \textbf{(42)}$$

Donde:

V_{50} = Volumen correspondiente al Q_{50}
V_T = Volumen total bajo la curva

En la Tabla 8.28, se presentan los rangos de los valores definidos por el IDEAM, para calificar el indicador, entre regulación muy alta a regulación muy baja.

Tabla 8.28. Calificación del indicador

Rango	Categoría	Significado
< 0,5	Muy alta	Muy alta capacidad de retener y regular el agua.
0,5 - 0,65	Alta	Alta capacidad de retener y regular el agua.
0,65 - 0,75	Moderada	Moderada capacidad de retener y regular el agua.
0,75 - 0,85	Baja	Baja capacidad de retener y regular el agua.
> 0,85	Muy baja	Muy baja capacidad de retener y regular el agua.

Fuente: IDEAM (2014).

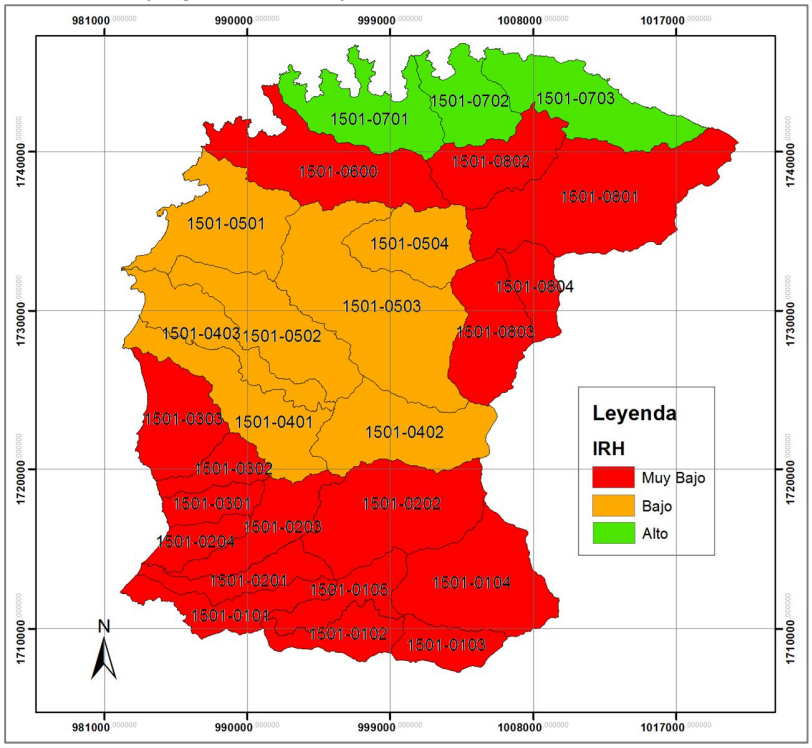
En la Tabla 8.29 se relaciona el valor del índice de regulación hídrica con cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe y se muestra la clasificación de acuerdo a lo anteriormente mencionado

Tabla 8.29. Índice de retención y regulación hídrica

Código	Nombre	IRH	
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	0,488	Muy baja
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	0,488	Muy baja
1501-0103	Quebrada La Sierrita	0,488	Muy baja
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	0,488	Muy baja
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	0,488	Muy baja
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	0,467	Muy baja
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	0,467	Muy baja
1501-0203	Quebrada Marinca	0,467	Muy baja
1501-0204	Quebrada El Guayabo	0,467	Muy baja
1501-0301	Quebrad El Doctor	0,42	Muy baja
1501-0302	Quebrada Don Jaca	0,42	Muy baja
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	0,39	Muy baja
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	0,56	Baja
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	0,56	Baja
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	0,56	Baja
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	0,57	Baja
1501-0502	Quebrada Tamaca	0,57	Baja
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	0,57	Baja
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	0,57	Baja
1501-0600	Quebrada Concha	0,47	Muy baja
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	0,77	Alta
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	0,76	Alta
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	0,75	Alta
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	0,44	Muy baja
1501-0802	Quebrada Jordán	0,44	Muy baja
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	0,44	Muy baja
1501-0804	Quebrada La Lisa	0,44	Muy baja

De acuerdo con la Figura 8.39, y teniendo en cuenta la información hidrológica generada a nivel de subcuenca se puede decir que la retención y regulación dentro de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe en el 55% de su área es muy baja con 17 unidades, en el 34% baja con 7 unidades y solamente en el 11% es alta con 3 unidades hidrográficas, siendo estas últimas las únicas unidades con una alta capacidad de regular y retener el agua eficientemente, reflejando una baja capacidad para la regulación y retención del recurso hídrico en la mayoría de la zona.

Figura 8.39. Índice de retención y regulación hídrica para la cuenca.



8.8.2. Índice de Uso del Agua (IUA).

El Índice de uso del agua (IUA) corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores, en un periodo de tiempo t (anual, mensual) y en una unidad espacial de referencia j (cuenca, subcuenca, microcuenca, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las misma unidad temporal t y espacial j. Este indicador busca estimar la relación porcentual entre la demanda de agua con respecto a la oferta hídrica disponible. En la resolución 865 de 2004 se conoce con el nombre de índice de escasez.

Según el ENA (2010), el índice de uso del agua corresponde a la relación porcentual de la demanda de agua en relación a la oferta hídrica disponible, y se estima como:

$$IUA = \left(\frac{D_h}{O_h}\right) * 100 \quad \textbf{(43)}$$

Dónde:

Dh: *Demanda hídrica sectorial*, que corresponde a la sumatoria del volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado.

Oh: *Oferta hídrica superficial disponible*, que corresponde al volumen total de agua superficial, menos el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental de una misma unidad de análisis espacial y temporal determinada.

Este Índice constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de un país, área hidrográfica, región, municipio o cabecera es suficiente o deficitario y además, permite agregar el ingrediente de calidad de agua al concepto de disponibilidad. De esta manera, se encuentran nuevos soportes de planificación, desarrollo y uso racional y eficiente del agua.

En la Tabla 8.30, se presentan los rangos de fluctuación del indicador y la calificación correspondiente, que varía de crítico a muy bajo.

Tabla 8.30. Rangos del Índice de Uso del agua según IDEAM,

Rango	Categoría	Significado
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 20	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda es muy baja con respecto a la oferta disponible

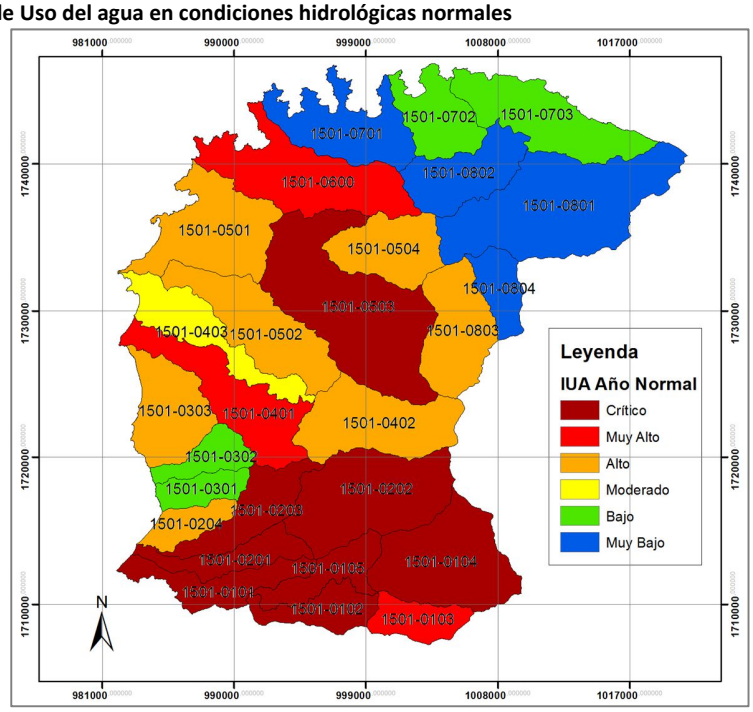
En la Tabla 8.31 se establecen los valores del índice de uso del agua por cada una de las unidades hidrográficas en año normal, donde 8 de las 27 unidades hidrográficas tienen una presión sobre el recurso hídrico que supera las condiciones de la oferta, correspondiente al 32% del área de la cuenca. A su vez, 3 unidades tienen una presión muy alta por el consumo de agua y equivalen al 12% del área total, mientras que 7 unidades hidrográficas (26%) presentan un IUA alto y solo una tiene su valor en el rango de moderado, 4 en rango bajo y las 4 restantes en muy bajo. Por lo tanto, sólo el 30% del área total de la cuenca no supera una presión moderada de la demanda con respecto la oferta.

Tabla 8.31. Índice de Uso del agua

Nivel Subsiguiente	IUA		IUA	
	Año normal	Año seco	Año normal	Año seco
1501-0101	1596,03	2787,01	Crítico	Crítico
1501-0102	259,18	452,58	Crítico	Crítico
1501-0103	89,05	155,5	Muy alto	Crítico
1501-0104	244,7	427,31	Crítico	Crítico
1501-0105	298,88	521,9	Crítico	Crítico
1501-0201	704,23	1244,41	Crítico	Crítico
1501-0202	416,2	735,44	Crítico	Crítico
1501-0203	267,87	473,33	Crítico	Crítico
1501-0204	23,25	41,08	Alto	Alto
1501-0301	2,39	6,22	Bajo	Bajo
1501-0302	4,45	12,09	Bajo	Moderado
1501-0303	24,47	41,87	Alto	Alto
1501-0401	83,18	115,37	Muy alto	Crítico
1501-0402	34,52	47,87	Alto	Alto
1501-0403	13,01	18,04	Moderado	Moderado
1501-0501	25,43	54,92	Alto	Muy alto
1501-0502	41,28	89,16	Alto	Muy alto
1501-0503	197,27	426,08	Crítico	Crítico
1501-0504	25,8	55,72	Alto	Muy alto
1501-0600	83,9	63463,89	Muy alto	Crítico
1501-0701	0,05	0,07	Muy bajo	Muy bajo
1501-0702	4,29	5,83	Bajo	Bajo
1501-0703	4,32	5,08	Bajo	Bajo
1501-0801	0,08	0,26	Muy bajo	Muy bajo
1501-0802	0,08	0,27	Muy bajo	Muy bajo
1501-0803	25,23	79,69	Alto	Muy alto
1501-0804	0,14	0,44	Muy bajo	Muy bajo

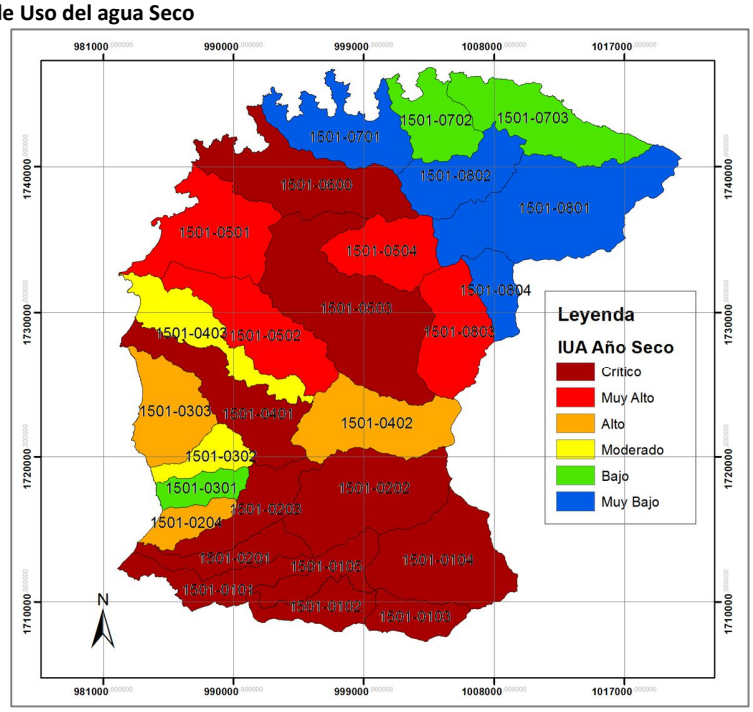
En la Figura 8.40 se representan las áreas con los rangos del IUA para año Normal y en la Figura 8.41 se representan para año seco.

Figura 8.40. Índice de Uso del agua en condiciones hidrológicas normales



En cuanto al año seco las 3 unidades que se encontraban con un IUA en muy alto pasan a un nivel de uso crítico, del 26% del área con presión alta de la demanda el 16.4 pasa a Muy alta mientras que el 9.4 se conserva en el mismo rango. Por otro lado, el 30% con en los rangos Moderado, bajo y muy bajo permanece en condiciones similares y ninguna de las unidades supera el valor límite; sin embargo una de las unidades con un IUA bajo asciende al nivel de uso moderado, siendo este el único cambio.

Figura 8.41. Índice de Uso del agua Seco



8.8.3. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH)

De acuerdo con el IDEAM, es el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como períodos largos de estiaje, podría generar riesgos de abastecimiento. La categoría del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH) se calcula utilizando la metodología propuesta por el ENA – 2010 y 2014 en función del índice de uso del agua y el índice de retención y regulación hídrica como se presenta en la Tabla 8.32.

Tabla 8.32. . Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico según la metodología del ENA-2014.

Índice uso de agua	Categoría	Índice de regulación hídrica			
		Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Crítico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: IDEAM (2014). Estudio Nacional del Agua.

De acuerdo con el IDEAM, el IVH permite determinar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como períodos largos de estiaje, podría generar riesgos de abastecimiento

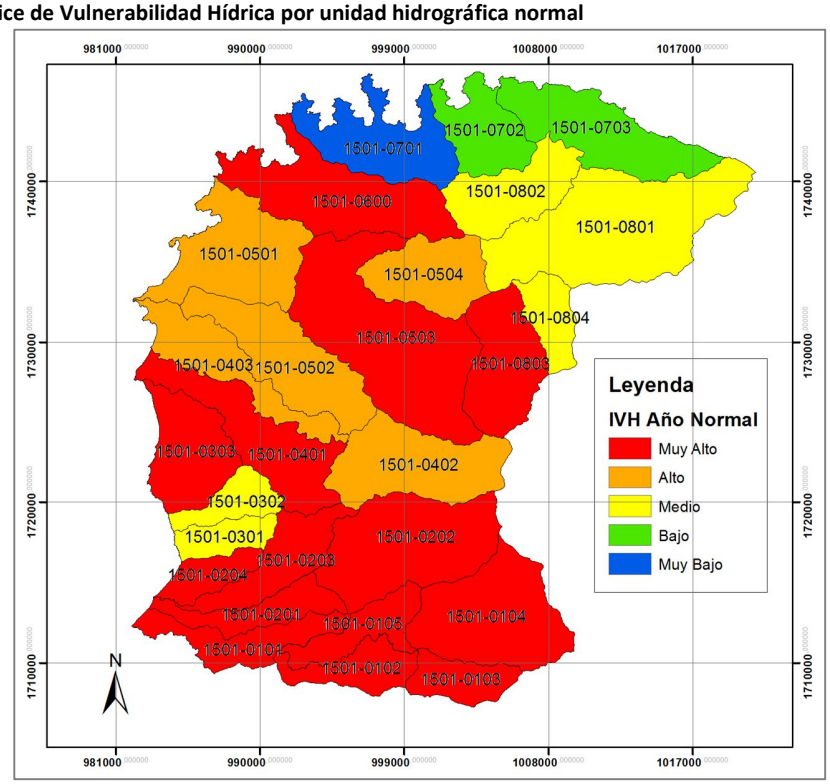
Tabla 8.33. Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico por Unidad hidrográfica de II nivel subsiguiente.

Código	Nombre	IRH	IUA		IVH	
			Año normal	Año seco	Año normal	Año seco
1501-0101	Río Córdoba-Sector Cordobita	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0102	Quebrada Lourdes y otros directos al Río Córdoba (mi)	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0103	Quebrada La Sierrita	Muy baja	Muy alto	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0104	Río Córdoba-Sector Agualinda	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0105	Quebrada El Quindío y otros directos al Río Córdoba (md)	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0201	Río Toribio entre vereda El Vergel y Mar Caribe	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0202	Río Toribio entre Guayabal y El Vergel	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0203	Quebrada Marinca	Muy baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0204	Quebrada El Guayabo	Muy baja	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
1501-0301	Quebrad El Doctor	Muy baja	Bajo	Bajo	Medio	Medio
1501-0302	Quebrada Don Jaca	Muy baja	Bajo	Moderado	Medio	Alto
1501-0303	Quebrada El Ébano y otros directos al Caribe	Muy baja	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
1501-0401	Directos al Río Gaira entre Minca y el mar Caribe (mi)	Baja	Muy alto	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0402	Río Gaira entre la Cuchilla de San Lorenzo y Minca	Baja	Alto	Alto	Alto	Alto
1501-0403	Directos al rio Gaira entre Minca y el mar Caribe (md)	Baja	Moderado	Moderado	Alto	Alto
1501-0501	Río Manzanares en Santa Marta	Baja	Alto	Muy alto	Alto	Alto
1501-0502	Quebrada Tamaca	Baja	Alto	Muy alto	Alto	Alto
1501-0503	Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	Baja	Crítico	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0504	Quebrada Matogiro (Donama)	Baja	Alto	Muy alto	Alto	Alto
1501-0600	Quebrada Concha	Muy baja	Muy alto	Crítico	Muy alto	Muy alto
1501-0701	Quebrada Gayraca y otros directos al Caribe	Alta	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
1501-0702	Quebrada Cinto y otros directos al Caribe	Alta	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
1501-0703	Quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe	Alta	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
1501-0801	Río Piedras entre San Isidro y el Mar Caribe	Muy baja	Muy bajo	Muy bajo	Medio	Medio
1501-0802	Quebrada Jordán	Muy baja	Muy bajo	Muy bajo	Medio	Medio
1501-0803	Río Piedras entre la cuchilla de San Lorenzo y San Isidro	Muy baja	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
1501-0804	Quebrada La Lisa	Muy baja	Muy bajo	Muy bajo	Medio	Medio

Para condiciones de año normal el IVH 14 de las 27 unidades hidrográficas es Muy alto, mientras que en 5 es alto, siendo la suma de estas dos el 73% del área total de la cuenca, lo cual indica que en año normal la mayor parte de la cuenca presenta una alta vulnerabilidad al desabastecimiento

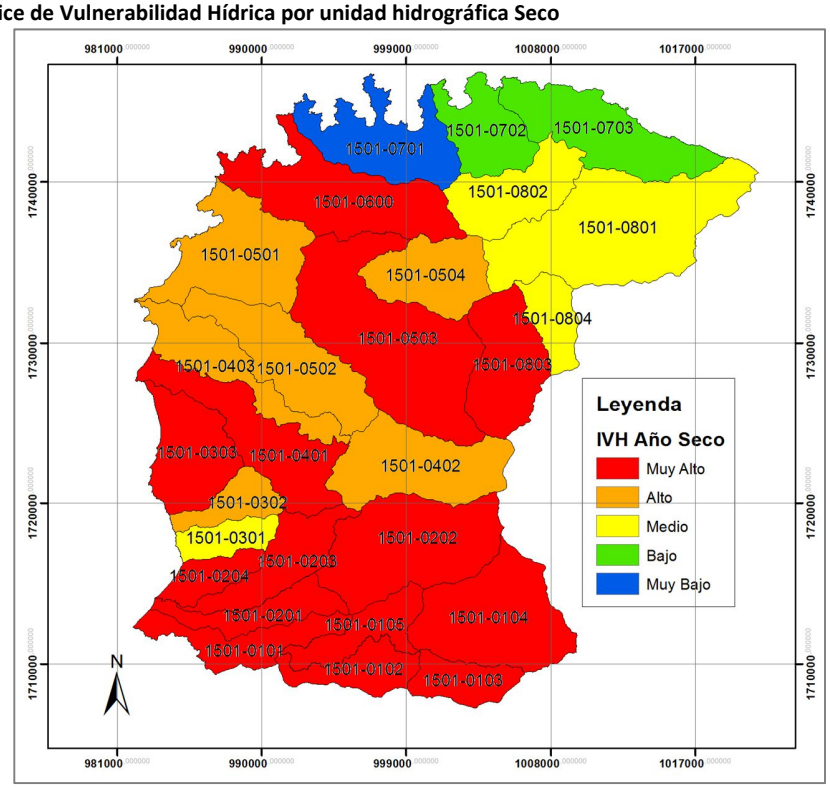
hídrico, mientras que el 27% restante del área se divide en 5 unidades con un IVH medio, 2 unidades con un índice bajo y la unidad restante con un índice muy bajo. En la Figura 8.42 se muestran el IVH por unidad hidrográfica en año normal.

Figura 8.42. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica normal



Para año seco la variación con respecto al año normal corresponde a la unidad de segundo nivel subsiguiente quebrada Don Jaca, la cual pasa de tener un IVH medio a un valor Alto, modificando el porcentaje de área que presenta un IVH Alto 16.3% para año normal a 14.9% para año seco en el rango medio y de 20.5% para año normal a 22% para año seco. En la Figura 8.43 se muestran el IVH por unidad hidrográfica en año seco.

Figura 8.43. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica Seco



8.9. Necesidades De Información Y Conocimiento.

Se sugiere mejorar la instrumentación de las subcuencas de los río Córdoba y Toribio, pues por su tamaño e importancia, la medición y registro de sus niveles y caudales con estaciones hidrológicas permitirá caracterizar su dinámica hidrológica y estimar con mayor precisión la oferta hídrica asociada a sus cuencas.

9. CALIDAD DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO

Un análisis integral y detallado del recurso hídrico con fines de planificación no puede centrarse únicamente en la cantidad de agua resultante del balance hídrico. La disponibilidad del agua es un concepto que involucra también el análisis de ciertos indicadores fisicoquímicos y microbiológicos que permiten establecer en forma precisa las afectaciones, limitaciones y condicionamientos que el uso del recurso hídrico puede llegar a tener en una zona y un momento particular, siendo las causas de estas alteraciones de la calidad de origen natural o por influencia antrópica. En todo caso, se requiere conocer su estado para evaluar los usos potenciales que se le pueden dar a tan valioso bien ambiental.

Es así como la elaboración del Plan de Ordenación para una cuenca hidrográfica implica determinar aquellos parámetros que, lejos de los valores permisibles, reducen la disponibilidad real del agua en la Cuenca, y a partir de ello localizar las áreas donde se presentan estos conflictos y determinar medidas de protección, corrección y mitigación que reduzcan la propagación de los efectos que la contaminación produce sobre los ecosistemas, y la salud y bienestar de las comunidades.

En el presente capítulo se realiza la caracterización de las condiciones de la calidad del recurso hídrico superficial en la Cuenca, incluyendo aquellas particularidades a escala semidetallada que inciden en ella. Así, primero se sintetizan los resultados de las redes de monitoreo existentes, para luego describir la situación actual en materia de abastecimiento de agua y saneamiento básico, para finalmente mostrar los resultados obtenidos de las campañas de monitoreo realizadas durante la fase de Diagnóstico, la estimación de las cargas contaminantes en la Cuenca y el cálculo de los Índices de Calidad de Agua y de Alteración Potencial de la Calidad del Agua.

9.1. Evaluación De Redes De Monitoreo Existentes En La Cuenca

9.1.1. Identificación y descripción de redes existentes.

A partir de la consulta realizada a la Corporación Autónoma Regional del Magdalena -CORPAMAG- acerca de la existencia de redes de monitoreo de la calidad del agua en el área de la Cuenca, se identificó que la Corporación no ha implementado a la fecha ninguna estación. Sin embargo, el INVEMAR como parte del programa REDCAM de monitoreo de la calidad del agua a nivel marino y costero, cuenta registros de 49 estaciones de monitoreo, las cuales se muestran en la Figura 9.1 y la Tabla 9.1. En la actualidad solo se encuentran activas 39 de esas estaciones, como se muestra en la Tabla 9.2.

La base estadística de información para estas estaciones se encuentra en el Anexo 01 del presente capítulo

Figura 9.1. Estaciones de monitoreo de INVEMAR con registros existentes

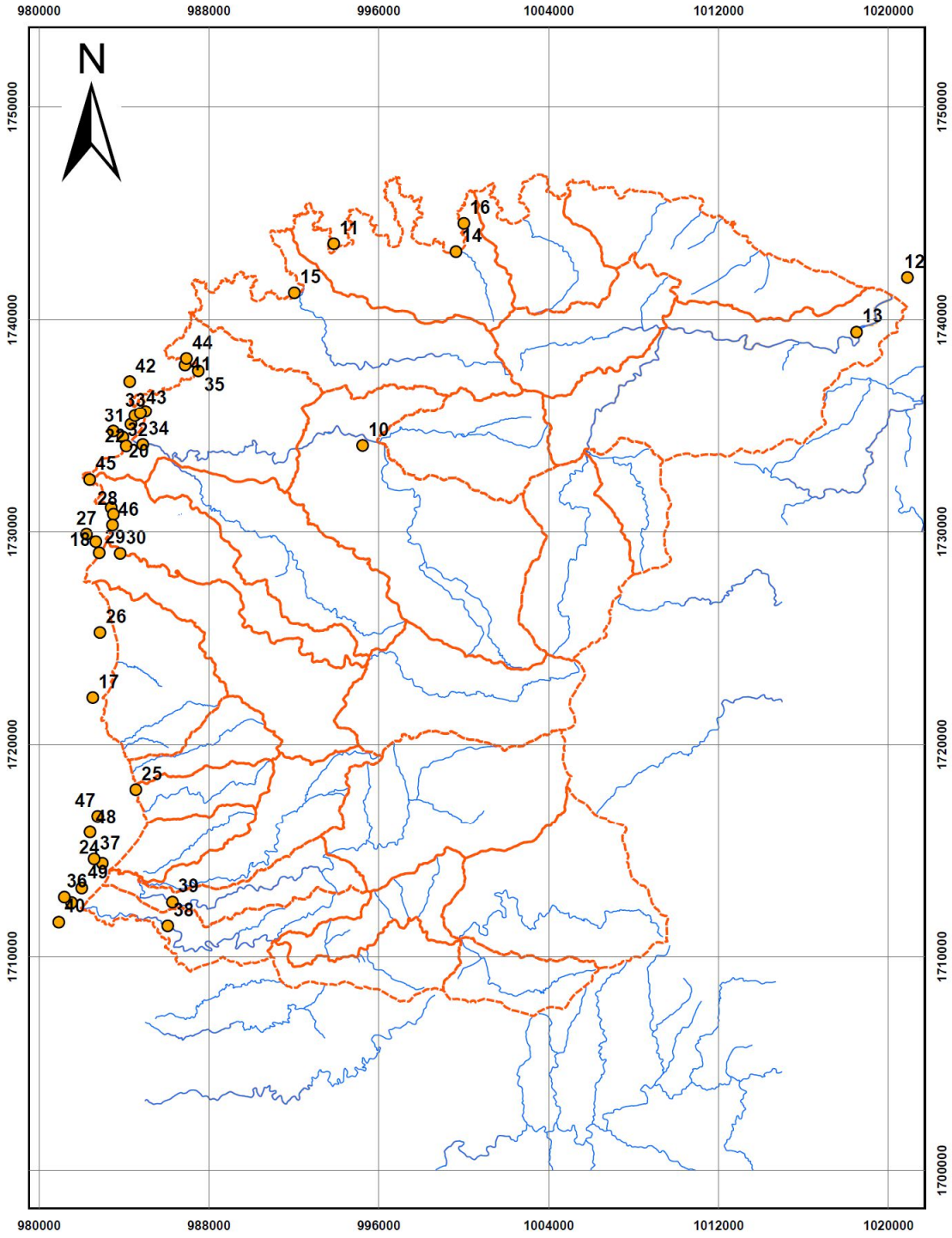


Tabla 9.1. Listado de estaciones INVEMAR con registros de monitoreo

SECTOR	ID	ESTACION	LUGAR	LATITUD	LONGITUD
Límite con la Guajira hasta Río Piedras	1	C47001004	Frente a Rio Buritaca	11° 14' 59.7" N	73° 45' 47.7" W
	2	C47001005	Frente a Rio Don Diego	11° 14' 23.3" N	73° 41' 48.7" W
	3	C47001006	Frente a Rio Guachaca	11° 14' 45.6" N	73° 50' 31.1" W
	4	C47001007	Rio Buritaca	11° 15' 20.7" N	73° 46' 9.7" W
	5	C47001008	Rio Don Diego	11° 15' 3.1" N	73° 42' 8.8" W
	6	C47001009	Rio Guachaca	11° 14' 55" N	73° 50' 45.7" W
	7	C47001010	Playa Buritaca	11° 16' 6.2" N	73° 46' 10.9" W
	8	C47001011	Playa Mendihuaca	11° 16' 44.5" N	73° 51' 24.5" W
	9	C47001012	Río Mendihuaca	11° 16' 7.7" N	73° 51' 40.8" W
	10	C47001013	Rio Manzanares (Bonda)_spsm	11° 14' .5" N	74° 7' 15.9" W
Río Piedras hasta la Isla Aguja	11	C47002002	Bahía Chengue	11° 19' 10.4" N	74° 8' .9" W
	12	C47002003	Frente a Rio Piedras	11° 18' 18.5" N	73° 53' 10" W
	13	C47002004	Rio Piedras	11° 16' 54.9" N	73° 54' 29" W
	14	C47002005	Playa Neguanje	11° 18' 58.2" N	74° 4' 51.1" W
	15	C47002006	Playa Bahia Concha	11° 17' 55.2" N	74° 9' 1.9" W
	16	C47002013	Playa Cristal	11° 19' 41.5" N	74° 4' 38.6" W
Isla Aguja hasta CGSM Boca de la Barra	17	C47003001	Aeropuerto Santa Marta	11° 7' 34.7" N	74° 14' 14.7" W
	18	C47003002	Boca del Rio Gaira	11° 11' 33.3" N	74° 14' 10.1" W
	19	C47003003	Canal de la Escollera	11° 12' 25.1" N	74° 13' 46.2" W
	20	C47003004	Boca del Rio Manzanares	11° 14' 13.3" N	74° 13' 28.3" W
	21	C47003006	Muelle de Cabotaje (Calle 10)	11° 14' 53.1" N	74° 12' 52.8" W
	22	C47003008	Puente de la calle 22	11° 14' 33.1" N	74° 13' 15.7" W
	23	C47003010	Boca del Rio Cordoba	11° 2' 20.2" N	74° 14' 47.5" W
	24	C47003011	Boca del Rio Toribio	11° 3' 20.2" N	74° 13' 59.7" W
	25	C47003012	Alcatraces	11° 5' 13.9" N	74° 13' 7.8" W
	26	C47003013	Pozos Colorados	11° 9' 14.3" N	74° 14' 3.5" W
	27	C47003014	Frente a Rio Gaira	11° 11' 44.9" N	74° 14' 24.6" W
	28	C47003015	Playa Central Rodadero	11° 12' 15.2" N	74° 13' 42.7" W
	29	C47003016	Playa Salguero	11° 11' 16.2" N	74° 14' 4.8" W
	30	C47003017	Rio Gaira	11° 11' 15.2" N	74° 13' 32.4" W
	31	C47003018	Frente a Rio Manzanares	11° 14' 22.5" N	74° 13' 43.2" W
	32	C47003019	Playa Batallón	11° 13' 59.6" N	74° 13' 22.9" W
	33	C47003020	Playa Municipal	11° 14' 46.3" N	74° 13' 9.5" W
	34	C47003021	Rio Manzanares (Puente Mayor)	11° 14' 1.8" N	74° 12' 57.3" W
	35	C47003022	Playa Bahía Taganga	11° 15' 55.7" N	74° 11' 31.1" W
	36	C47003023	Frente a Rio Cordoba	11° 2' 28.7" N	74° 14' 58.5" W
	37	C47003024	Frente a Rio Toribio	11° 3' 27" N	74° 14' 12.5" W
	38	C47003025	Rio Córdoba	11° 1' 44.9" N	74° 12' 18.2" W
	39	C47003026	Rio Toribio	11° 2' 21" N	74° 12' 11" W
	40	C47003027	Frente a Costa Verde	11° 1' 50.4" N	74° 15' 7.2" W
	41	C47003028	Taganga T1	11° 16' 4.6" N	74° 11' 51.8" W
	42	C47003037	Emisario 8	11° 15' 39.2" N	74° 13' 17.7" W

	43	C47003046	Boya 2 - Bahía de Santa Marta	11° 14' 50.3" N	74° 13' 1" W
	44	C47003049	Playa Grande - Taganga	11° 16' 14.8" N	74° 11' 49.6" W
	45	C47003050	Playa Blanca	11° 13' 8.1" N	74° 14' 19.6" W
	46	C47003051	Parque Acuático	11° 11' 58.7" N	74° 13' 44.3" W
	47	C47003087	Puerto Drumond	11° 4' 32.9" N	74° 14' 6.9" W
	48	C47003088	Puerto Nuevo	11° 4' 7.9" N	74° 14' 18.7" W
	49	C47003089	Puerto Córdoba (SPRC)	11° 2' 42.3" N	74° 14' 31.6" W

Fuente: INVEMAR

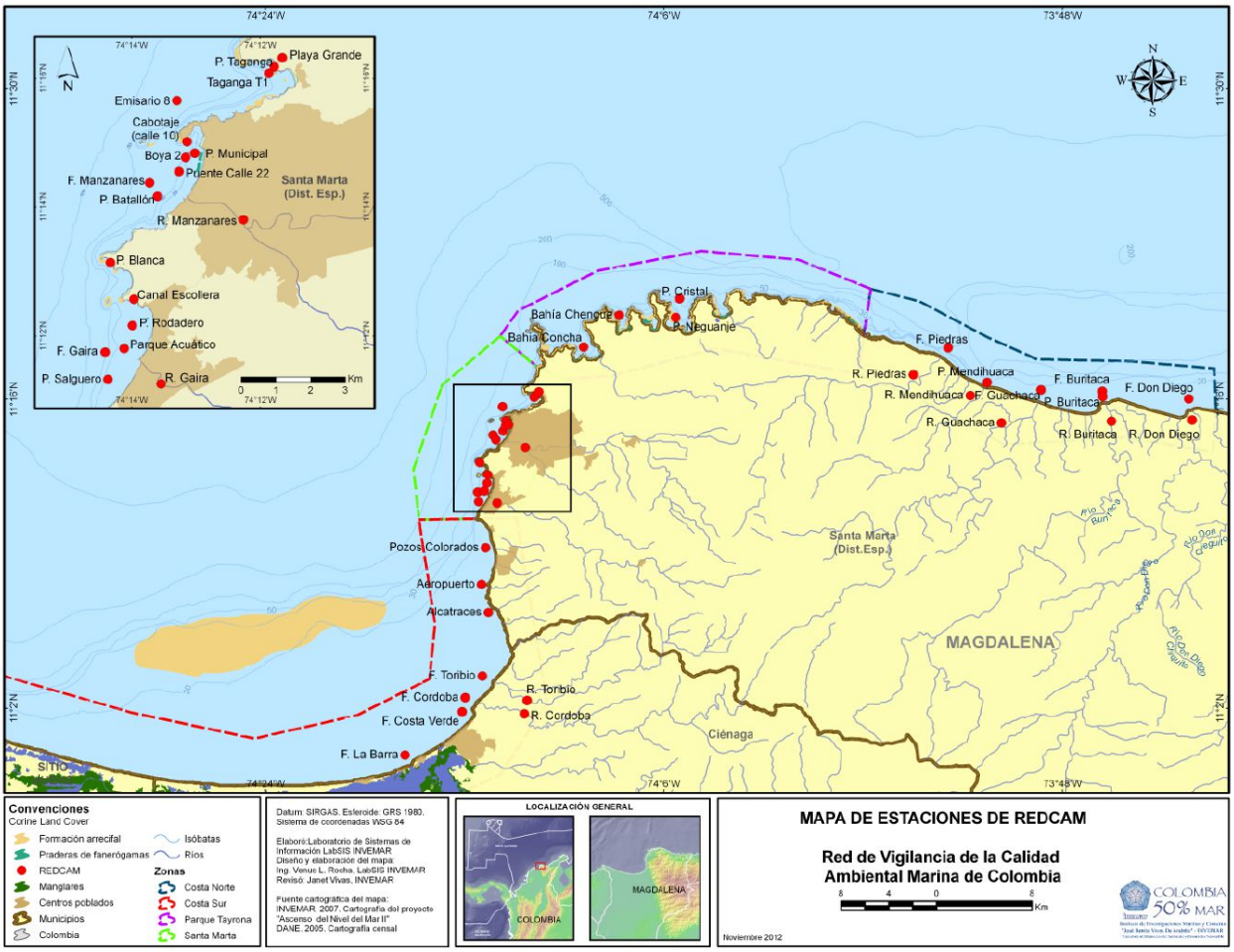
Tabla 9.2. Estaciones de INVEMAR activas para monitoreo de calidad del agua

ESTACION	LUGAR	LATITUD	LONGITUD
C47002002	Bahía Chengue	11° 19' 10.4" N	74° 8' .9" W
C47002003	Frente a Rio Piedras	11° 18' 18.5" N	73° 53' 10" W
C47002004	Rio Piedras	11° 16' 54.9" N	73° 54' 29" W
C47002005	Playa Neguanje	11° 18' 58.2" N	74° 4' 51.1" W
C47002006	Playa Bahia Concha	11° 17' 55.2" N	74° 9' 1.9" W
C47002013	Playa Cristal	11° 19' 41.5" N	74° 4' 38.6" W
C47003001	Aeropuerto Santa Marta	11° 7' 34.7" N	74° 14' 14.7" W
C47003002	Boca del Rio Gaira	11° 11' 33.3" N	74° 14' 10.1" W
C47003003	Canal de la Escollera	11° 12' 25.1" N	74° 13' 46.2" W
C47003004	Boca del Rio Manzanares	11° 14' 13.3" N	74° 13' 28.3" W
C47003006	Muelle de Cabotaje (Calle 10)	11° 14' 53.1" N	74° 12' 52.8" W
C47003008	Puente de la calle 22	11° 14' 33.1" N	74° 13' 15.7" W
C47003010	Boca del Rio Cordoba	11° 2' 20.2" N	74° 14' 47.5" W
C47003011	Boca del Rio Toribio	11° 3' 20.2" N	74° 13' 59.7" W
C47003012	Alcatraces	11° 5' 13.9" N	74° 13' 7.8" W
C47003013	Pozos Colorados	11° 9' 14.3" N	74° 14' 3.5" W
C47003014	Frente a Rio Gaira	11° 11' 44.9" N	74° 14' 24.6" W
C47003015	Playa Central Rodadero	11° 12' 15.2" N	74° 13' 42.7" W
C47003016	Playa Salguero	11° 11' 16.2" N	74° 14' 4.8" W
C47003017	Rio Gaira	11° 11' 15.2" N	74° 13' 32.4" W
C47003018	Frente a Rio Manzanares	11° 14' 22.5" N	74° 13' 43.2" W
C47003019	Playa Batallón	11° 13' 59.6" N	74° 13' 22.9" W
C47003020	Playa Municipal	11° 14' 46.3" N	74° 13' 9.5" W
C47003021	Rio Manzanares (Puente Mayor)	11° 14' 1.8" N	74° 12' 57.3" W
C47003022	Playa Bahía Taganga	11° 15' 55.7" N	74° 11' 31.1" W
C47003023	Frente a Rio Cordoba	11° 2' 28.7" N	74° 14' 58.5" W
C47003024	Frente a Rio Toribio	11° 3' 27" N	74° 14' 12.5" W
C47003025	Rio Córdoba	11° 1' 44.9" N	74° 12' 18.2" W
C47003026	Rio Toribio	11° 2' 21" N	74° 12' 11" W
C47003027	Frente a Costa Verde	11° 1' 50.4" N	74° 15' 7.2" W
C47003028	Taganga T1	11° 16' 4.6" N	74° 11' 51.8" W
C47003037	Emisario 8	11° 15' 39.2" N	74° 13' 17.7" W
C47003046	Boya 2 - Bahía de Santa Marta	11° 14' 50.3" N	74° 13' 1" W
C47003049	Playa Grande - Taganga	11° 16' 14.8" N	74° 11' 49.6" W

ESTACION	LUGAR	LATITUD	LONGITUD
C47003050	Playa Blanca	11° 13' 8.1" N	74° 14' 19.6" W
C47003051	Parque Acuático	11° 11' 58.7" N	74° 13' 44.3" W
C47003087	Puerto Drumond	11° 4' 32.9" N	74° 14' 6.9" W
C47003088	Puerto Nuevo	11° 4' 7.9" N	74° 14' 18.7" W
C47003089	Puerto Córdoba (SPRC)	11° 2' 42.3" N	74° 14' 31.6" W

Fuente: INVEMAR

Figura 9.2. Estaciones REDCAM de INVEMAR activas para monitoreo de la calidad del agua



Fuente: INVEMAR

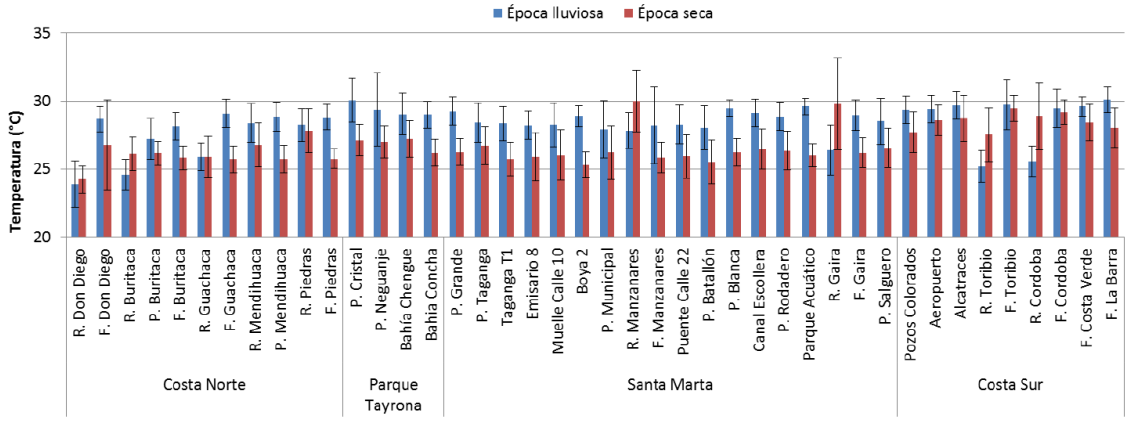
9.1.2. Resultados de monitoreo para las redes existentes

De acuerdo con los Informes de Evaluación de la Calidad del Agua presentados por el INVEMAR y los datos disponibles en su página web, a continuación, se resumen los principales resultados de calidad del agua para las estaciones en el área de la Cuenca.

9.1.2.1. *Temperatura*

De acuerdo con los registros, la temperatura media de las estaciones en el área de influencia de la Cuenca se encontró entre 25 y 30°C en época seca y entre 27 y 30°C en época lluviosa. A pesar del rango más estrecho que se evidencia en la época lluviosa, la tendencia general es al aumento de la temperatura en la época lluviosa respecto de la época seca, lo cual tiene relación con los procesos oceanográficos generados por los vientos alisios, así como la incidencia de vientos continentales aunados a las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical (INVEMAR, 2013)

Figura 9.3. Distribución espacial de temperatura en estaciones REDCAM (2001-2013)

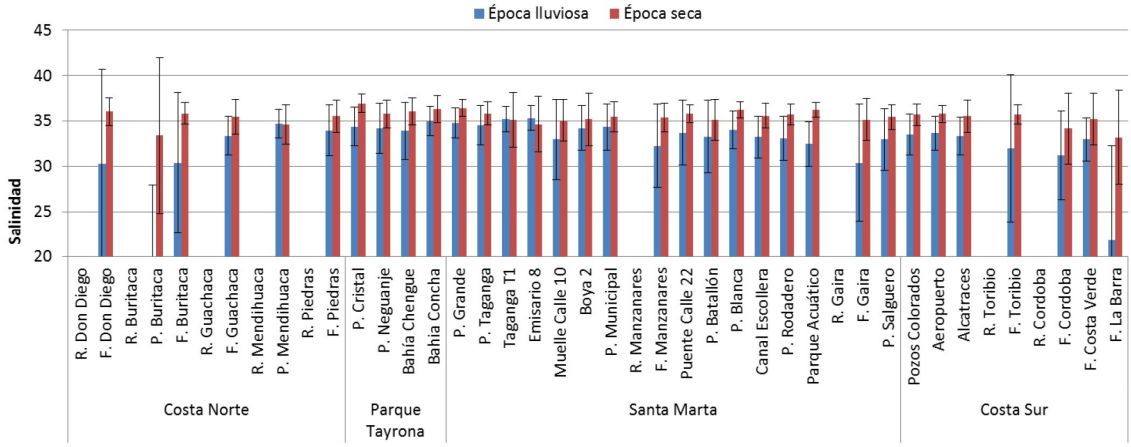


Fuente: INVEMAR

9.1.2.2. *Salinidad*

Como es de esperarse, este parámetro exhibe diferencias considerables según la estación de medición, si esta se encuentra sobre aguas continentales o marinas. Los resultados de promedios históricos dan cuenta que en la desembocadura de los ríos de la Cuenca la salinidad es muy baja, mientras que en el resto de las estaciones el valor medio llega a elevarse hasta aproximadamente 35 ppm (Figura 9.4)

Figura 9.4. Distribución espacial de salinidad para estaciones REDCAM (2001 – 2013)

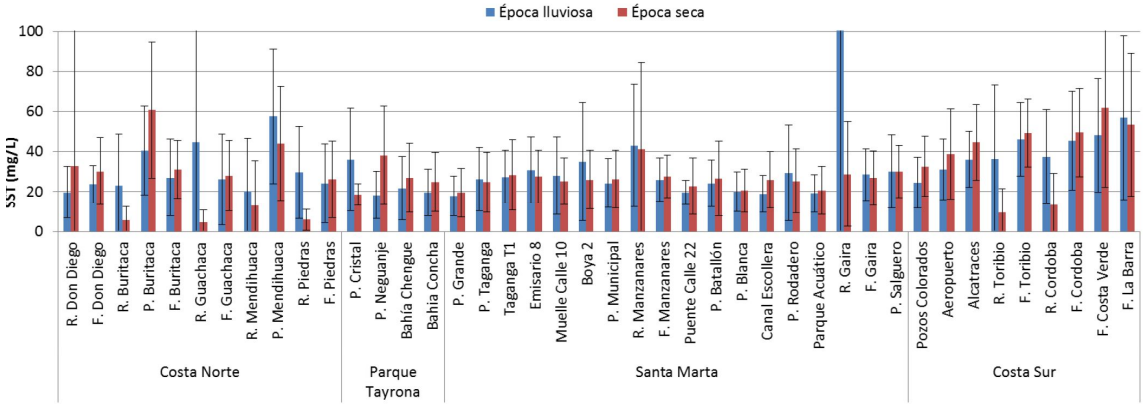


Fuente: INVEMAR

9.1.2.3. *Sólidos suspendidos totales*

Los registros de medición para sólidos suspendidos totales muestran que los ríos en el parque Tayrona tienen valores más bajos de concentración (19,2 ± 34,4 mg/L) que los de la zona de Santa Marta por la influencia del transporte de coloides en los ríos Manzanares y Gaira (62,9 ± 101,7 mg/L), aumentando aún más en las estaciones de la zona sur entre Pozos Colorados y la Boca de la Barra

Figura 9.5. Distribución espacial de SST para estaciones REDCAM (2001 – 2013)

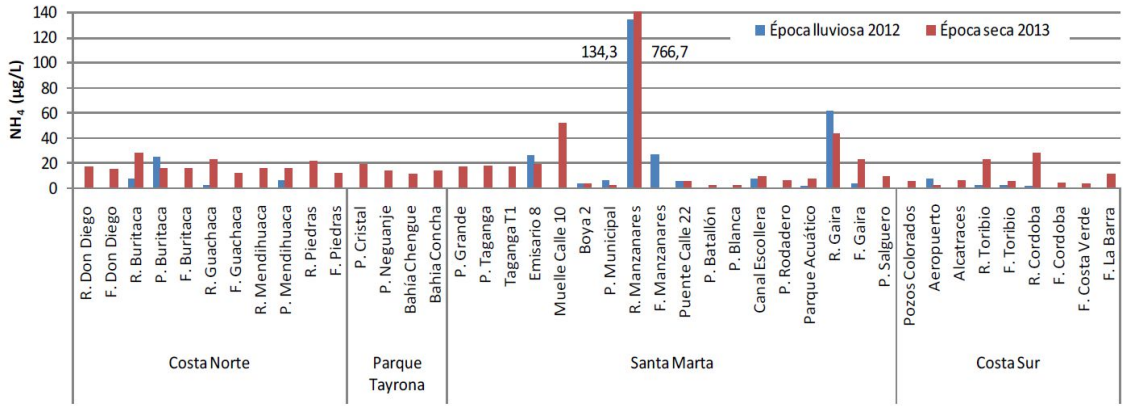


Fuente: INVEMAR

9.1.2.4. *Nutrientes*

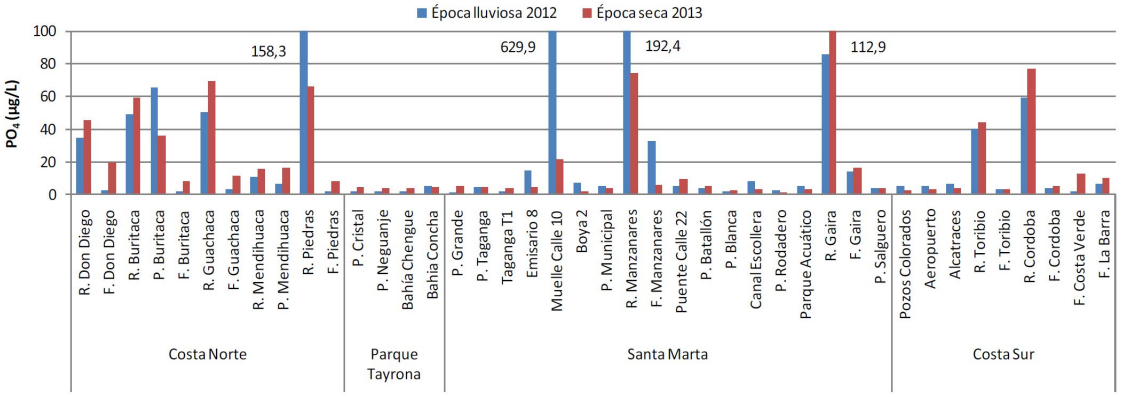
El análisis de las especies nitrogenadas y de fósforo en las muestras de agua para las estaciones de la red muestra claramente la incidencia de la descarga de las aguas domésticas sin tratar en el casco urbano del Distrito de Santa Marta, como se observa en las Figura 9.6 y Figura 9.7

Figura 9.6. Distribución espacial de nitrógeno amoniacal en estaciones REDCAM (2012-2013)



Fuente: INVEMAR

Figura 9.7. Distribución espacial de fósforo reactivo soluble para estaciones REDCAM (2012-2013)



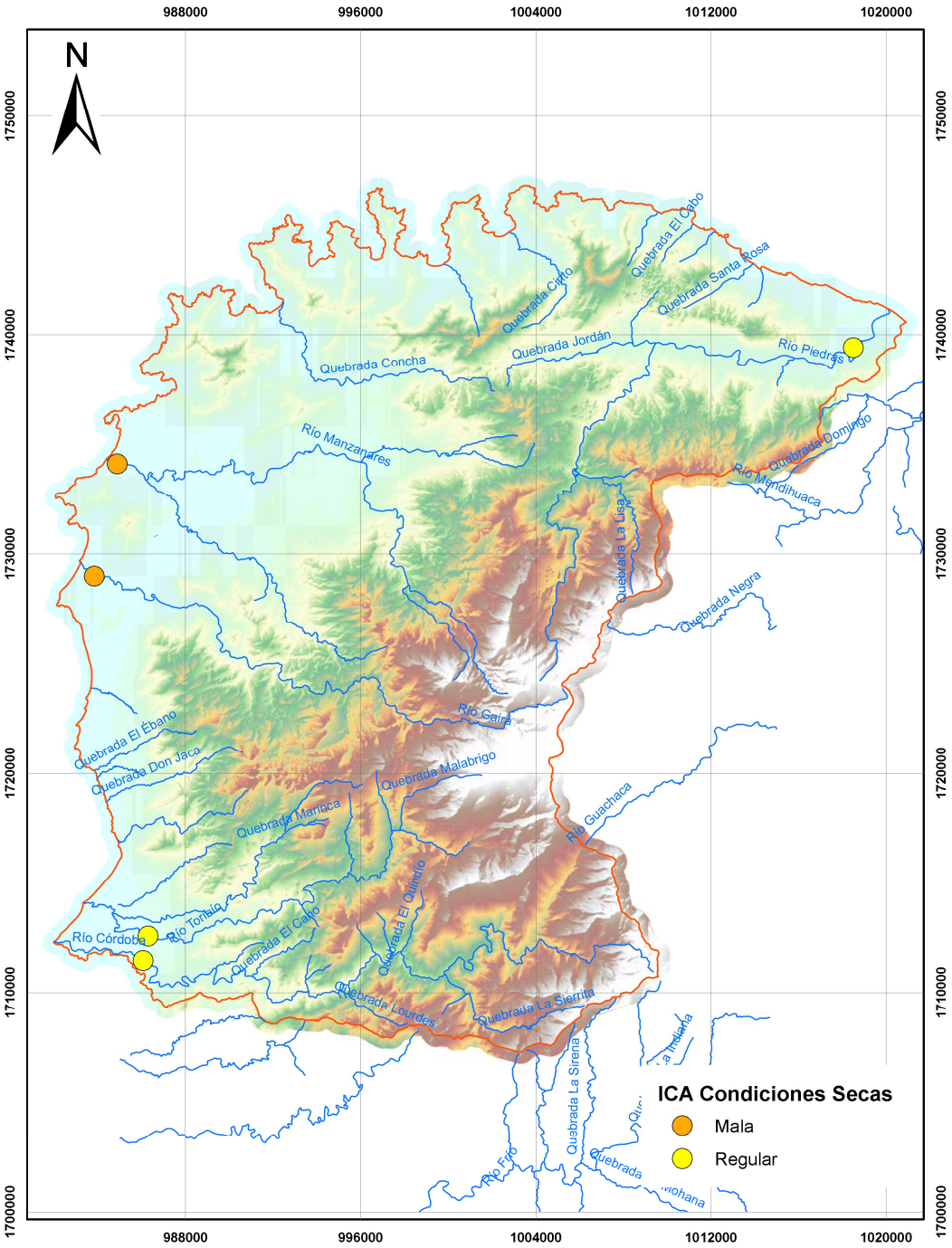
Fuente: INVEMAR

Adicionalmente, se puede identificar también el aporte significativo en épocas de lluvia el cual se encuentra relacionado con el aumento en el escurrimiento de fertilizantes desde las zonas alta y media de la Cuenca hacia el litoral (INVEMAR, 2013)

9.1.3. Evaluación del Índice de Calidad del Agua para las redes de monitoreo existentes

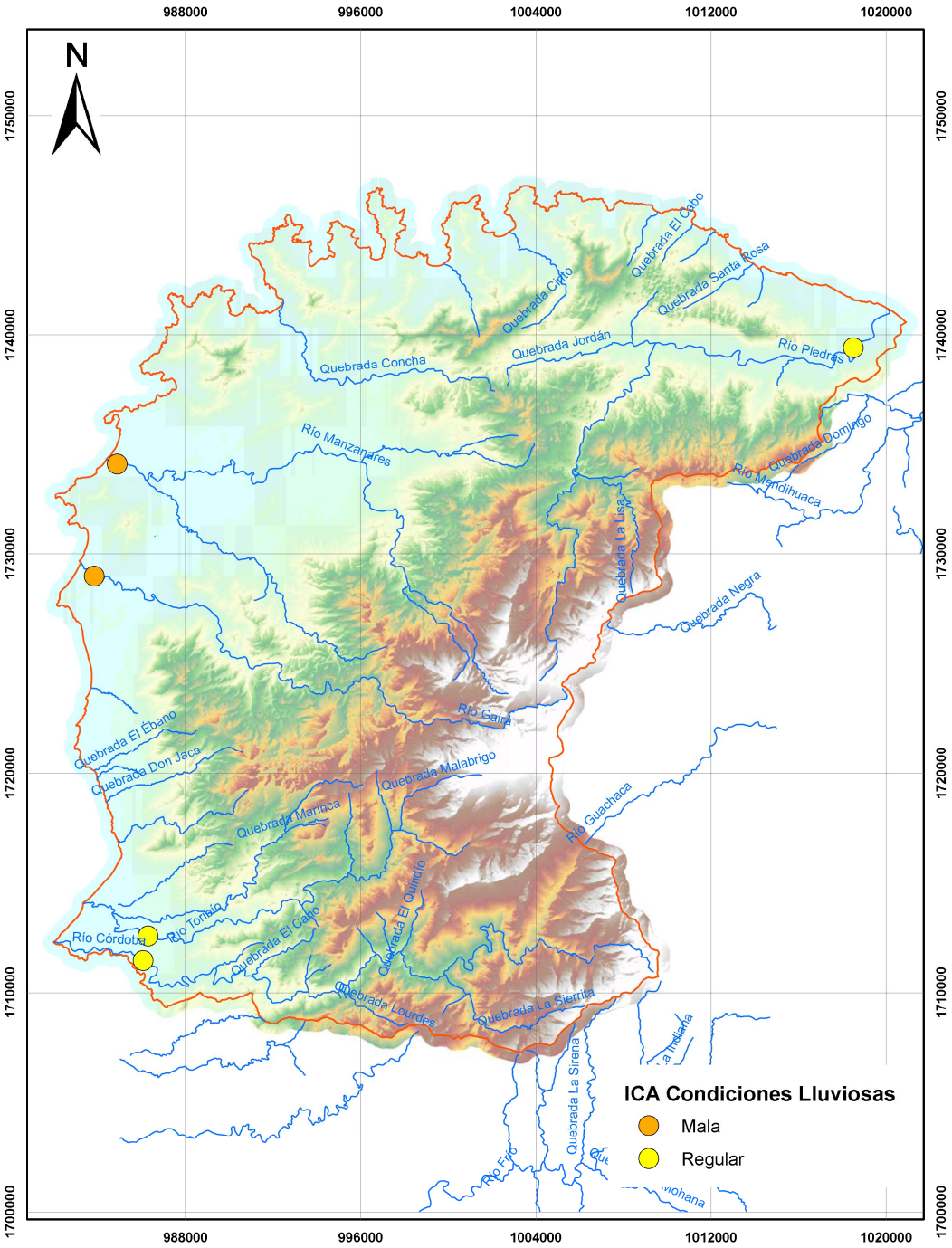
A efectos de contar con el antecedente de la calidad del agua en los puntos de monitoreo de la red de INVEMAR, ubicados en aguas continentales, se procedió al cálculo del ICA para aquellas estaciones pertenecientes a dicho grupo y que contaran con información suficiente en la base estadística disponible en la entidad. Los resultados se incluyen en el Anexo 01 en formato Excel y se representan espacialmente en la Figura 9.8 y Figura 9.9

Figura 9.8. ICA para condiciones secas en estaciones continentales de monitoreo de calidad del agua - INVEMAR



Fuente: Elaboración propia a partir de datos INVEMAR

Figura 9.9. ICA para condiciones de lluvia en estaciones continentales de monitoreo de calidad de agua - INVEMAR



Fuente: Elaboración propia a partir de datos INVEMAR

Se observa en las anteriores figuras que las condiciones de calidad de agua, en la parte baja de los ríos Piedras, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba, se mantiene bastante uniforme tanto en condiciones secas como de lluvia, tomando valores malos en los ríos Manzanares y Gaira, y regular en los demás. Resulta evidente en estos resultados la influencia del núcleo urbano del Distrito de Santa Marta donde las inadecuadas condiciones de saneamiento básico que se presentan en las áreas que rodean al Distrito, sumadas al mal manejo de residuos sólidos en barrios aledaños al cauce de los ríos, deterioran fuertemente la calidad del recurso. Estas condiciones también se replican, aunque en menor medida por la menor densidad de población, en las zonas de influencia de los otros 3 ríos más importantes de la cuenca.

9.2. Monitoreo De Cuerpos De Agua Superficial

De acuerdo con los Alcances Técnicos establecidos para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, se acordaron con la Corporación veinte (20) puntos de monitoreo que se indican en la Figura 9.10 y la Tabla 9.3.

Figura 9.10. Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca

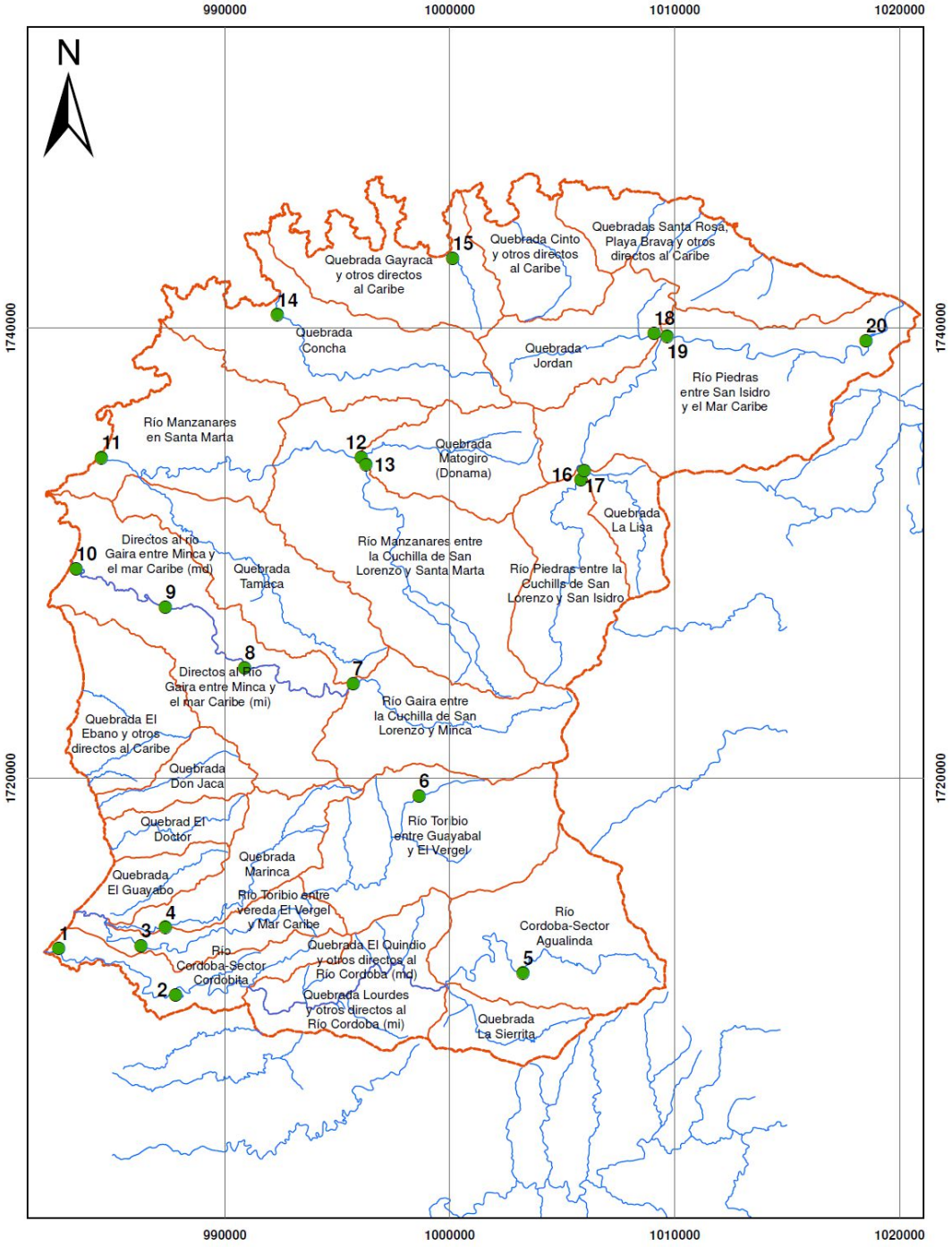


Tabla 9.3. Descripción de las estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca

ID	NOMBRE	COORD_X	COORD_Y	COTA
1	Desembocadura Rio Cordoba	982608,14310	1712447,68870	20
2	Rio Cordoba	987797,88120	1710386,66980	68
3	Rio Toribio	986250,65590	1712568,86020	42
4	Quebrada Marinca	987343,71040	1713398,03320	80
5	Rio Cordoba	1003248,82370	1711367,80190	791
6	Quebrada Malabrigo	998635,22910	1719202,91100	1173
7	Rio Gaira	995692,18580	1724180,87100	646
8	Rio Gaira	990867,87610	1724888,58490	236
9	Rio Gaira	987349,25260	1727624,44570	33
10	Desembocadura Rio Gaira	983375,62840	1729316,22060	14
11	Desembocadura Rio Manzanares	984500,51310	1734247,31760	14
12	Quebrada Matogiro o Donama	996057,53200	1734259,18260	73
13	Rio Manzanares	996269,82960	1733951,88930	82
14	Quebrada Concha	992328,04770	1740589,59250	20
15	Quebrada Gayraca	1000122,16410	1743077,55280	25
16	Rio Piedras	1005825,04200	1733276,21150	446
17	Quebrada La Lisa	1005976,63910	1733675,68760	439
18	Quebrada Jordan	1009068,97480	1739760,33130	145
19	Rio Piedras	1009645,24670	1739637,59230	135
20	Rio Piedras	1018501,23730	1739426,40160	28

El monitoreo fue realizado tanto para condiciones hidrológicas secas (mes de marzo de 2016) como normales (mes de agosto de 2016) y los resultados se muestran en las Tabla 9.4 y Tabla 9.5.

Tabla 9.4. Resultados de monitoreo en condiciones secas

ID	NOMBRE	PARAMETROS										
		T	PH	OD	COND	SST	DBO	DQO	NT	PT	COL FEC	COL TOT
1	Desembocadura Rio Cordoba	30,6	7,53	9,19	276,1	10	2	15	1	0,13	270	2400
2	Rio Cordoba	22,6	8,33	11,25	91,4	10	2	15	1	0,12	33	920
3	Rio Toribio	30,1	7,89	9,58	131,8	10	2	15	1	0,09	140	170
4	Quebrada Marinca											
5	Rio Cordoba	30,9	8,67	9,85	125,6	10	2	15	1	0,31	31	220
6	Quebrada Malabrigo	17,7	7,82	11,18	40	10	2	15	1	0,05	33	170
7	Rio Gaira	23,6	7,94	11,6	101,9	10	2	15	1	0,05	63	1600
8	Rio Gaira	26,9	8,03	9,84	164,3	10	2	15	1	0,1	70	920
9	Rio Gaira	29,1	7,54	7,75	212	10	2,1	15	1	0,23	33	140
10	Desembocadura Rio Gaira	27,6	7,81	1,8	10,71	28	27,3	86,7	1,06	0,62	330	330
11	Desembocadura Rio Manzanares	28,9	8,04	4,36	31,3	66	363	517	5,94	0,58	450	450
12	Quebrada Matogiro o Donama	27,9	7,38	5,38	438	10	2,7	15	1,46	0,12	70	920
13	Rio Manzanares											
14	Quebrada Concha	26,3	8,14	6,9	27,5	24,14	2,1	15	1,1	0,15	10	250
15	Quebrada Gayraca	27	8,07	7,24	30,1	34,54	2	15	1,3	0,18	11	330
16	Rio Piedras	23,6	7,96	10,61	163,1	10	2,9	15	1	0,05	23	1600
17	Quebrada La Lisa	24,1	7,99	10,97	189,2	10	2,8	15	1,12	0,05	70	1600
18	Quebrada Jordan	27,4	7,69	8,02	395	10	3	15	2,02	0,4	33	540
19	Rio Piedras	28,8	8,61	10,95	190,1	10	3,1	15	1,23	0,05	7,8	220
20	Rio Piedras	26,7	7,85	11,84	214,5	10	3,1	15	0,73	0,07	13	70

Tabla 9.5. Resultados de monitoreo en condiciones normales

ID	NOMBRE	PARAMETROS										
		T	PH	OD	COND	SST	DBO	DQO	NT	PT	COL FEC	COL TOT
1	Desembocadura Rio Cordoba	26,1	7,53	6,86	96,3	44	3,9	49,2	1	0,16	2200	16000
2	Rio Cordoba	24,4	7,8	5,96	84,8	34	2	15	1	0,05	460	16000
3	Rio Toribio	24,5	7,29	7,15	90,6	51,5	2	15	1	0,05	1700	35000
4	Quebrada Marinca	25,9	7,78	7,25	174,7	10	2	15	1	0,14	240	920
5	Rio Cordoba	21	7,19	7,25	68,4	10	2,3	28,6	1	0,08	490	16000
6	Quebrada Malabrigo	16,6	6,48	7,15	30,5	10	2	15	1	0,05	130	5400
7	Rio Gaira	21,2	7,24	7,35	73	10	2	15	1	0,05	3500	16000
8	Rio Gaira	24,1	7,61	7,74	91,2	10	2	15	1	0,05	2400	16000
9	Rio Gaira	26,3	7,58	7,55	100,1	21	2	15	1	0,05	2200	16000
10	Desembocadura Rio Gaira	24	7,37	6,96	106,5	10,2	2	15	1	0,11	9200	16000
11	Desembocadura Rio Manzanares	31	8,04	7,64	20700	35	123	379	2,13	0,05	9200	16000
12	Quebrada Matogiro o Donama	27,9	7,2	3,53	453	10	2	15	1	0,19	3500	16000
13	Rio Manzanares	28,6	7,38	5,78	168	10	2	15	1	0,14	3500	16000
14	Quebrada Concha	29	8,16	6,49	104,3	19,08	2	15	1	0,12	240	3070
15	Quebrada Gayraca	29,4	8,14	6,52	100,7	18,02	2	15	1	0,16	16	410
16	Rio Piedras	27,7	7,47	7,35	152,9	10	2	15	1	0,05	12	540
17	Quebrada La Lisa	24,5	7,38	7,74	156,6	10	2	15	1	0,05	220	3500
18	Quebrada Jordan	28,9	7,64	5,78	349	10	2	15	1	0,31	2400	9200
19	Rio Piedras	31,7	8,5	6,86	149,4	10	3	53,2	1	0,61	490	2400
20	Rio Piedras	29,7	8,27	7,74	166,5	10	2	15	1	0,09	430	9200

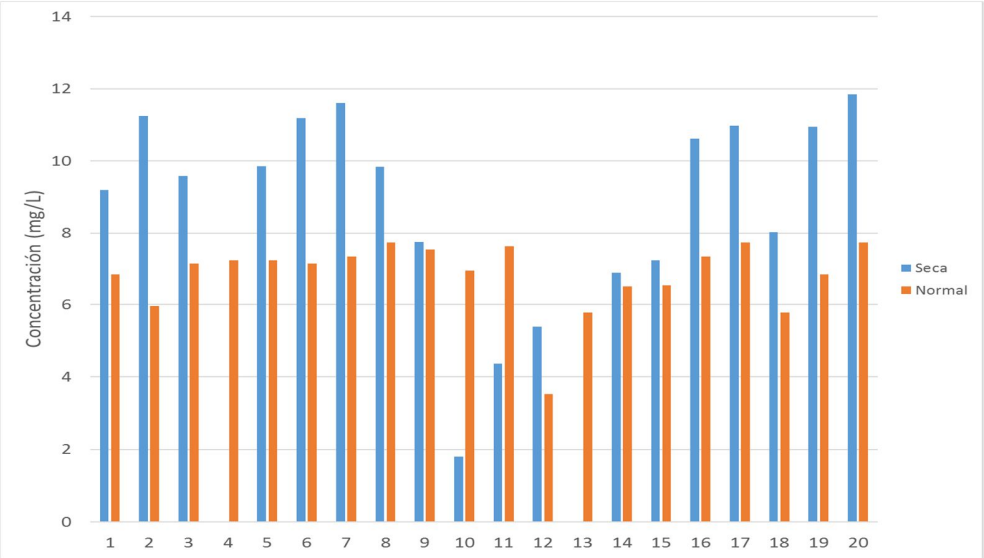
Cabe mencionar que originalmente se habían propuesto veintitrés (23) puntos de monitoreo, pero en las estaciones de las Quebradas Tamacá, Don Jaca, y Cinto, aún en condiciones normales, no fue posible la toma de la muestra debido a que no se evidenció flujo en un radio de 1 km a la estación. Los certificados de laboratorio para ambas campañas de monitoreo se recogen en el Anexo 02 del presente Capítulo.

9.2.1. Oxígeno disuelto (OD)

Se observa que, para las condiciones secas el oxígeno disuelto presenta concentraciones buenas en la parte alta de la Cuenca, aptas para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos (OD > 4 mg/L). Las altas pendientes en combinación con caudales bajos, hacen que se aumente la incorporación de oxígeno por aireación natural, lo que explica valores tan altos (OD > 10 mg/L). También se ve influenciado por la salinidad, la cual al aumentar hace disminuir la solubilidad del oxígeno, y por eso el valor desciende en cercanías al mar. También se observa que, para la época seca, el oxígeno disminuye drásticamente, como era de esperarse, al entrar en el área del casco urbano del Distrito de Santa Marta, debido a las condiciones de saneamiento básico de los asentamientos dispersos y al mal manejo de los residuos sólidos.

En la época con condiciones normales, la deficiencia de saneamiento básico combinado con la reciente inserción del corregimiento de Bonda al área metropolitana del Distrito, reflejan una carga importante que origina un brusco descenso del oxígeno en esta área, lo cual se combina con una mayor salinidad de las aguas en el sector.

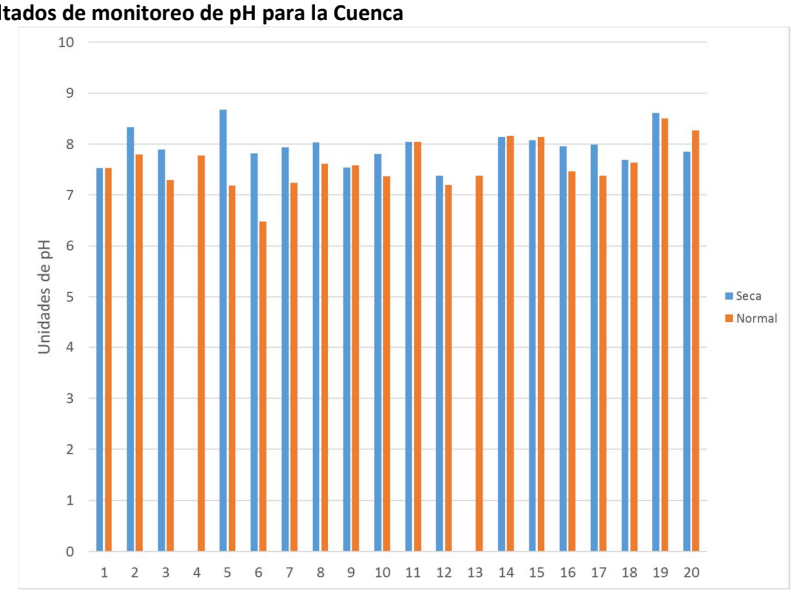
Figura 9.11. Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto para la Cuenca



9.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El comportamiento del pH es bastante uniforme para las épocas secas y normales. Tiende a ser mayor hacia el norte de la cuenca en condiciones normales debido a la disolución de carbonatos aportados en los sedimentos que tienden a concentrarse en esta área. En época seca este comportamiento se refleja en las áreas que recogen material erosionado proveniente de las laderas de la parte alta de la Cuenca (aguas arriba de Córdoba y en la Revuelta). Sin embargo, se mantiene en rangos adecuados para el desarrollo de la vida en el ecosistema (6 < pH < 8,5)

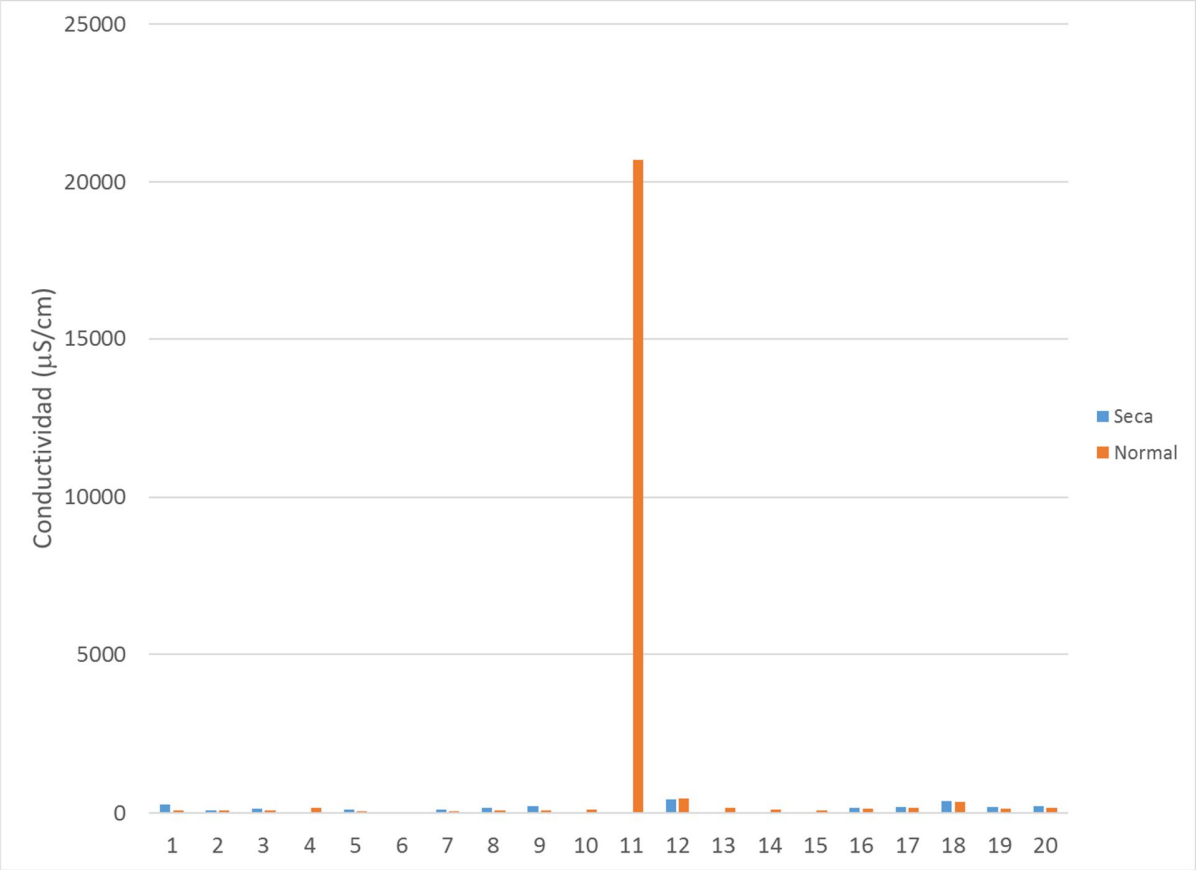
Figura 9.12. Resultados de monitoreo de pH para la Cuenca



9.2.3. Conductividad eléctrica

El comportamiento de la conductividad eléctrica, y por ende de la salinidad, está influenciado como es de esperarse por la cercanía al mar. En épocas secas cuando la infiltración de agua lluvia es escasa o nula, se presenta el fenómeno de intrusión salina; es decir, los suelos arenosos en el área de influencia del parque Tayrona hacen que el agua de mar penetre hacia la cuenca por debajo del suelo y luego esa agua aflore a la superficie desde el interior de la Cuenca. Esto se observa en lugares como La Revuelta y hasta el corregimiento de Bonda. Ya en condiciones normales, el único sector con condiciones altas de salinidad corresponde a la desembocadura del río Manzanares, en la cual el nivel del río está por debajo del mar y conlleva al ingreso del agua proveniente del Caribe hacia dentro de la Cuenca siguiendo el cauce del Manzanares.

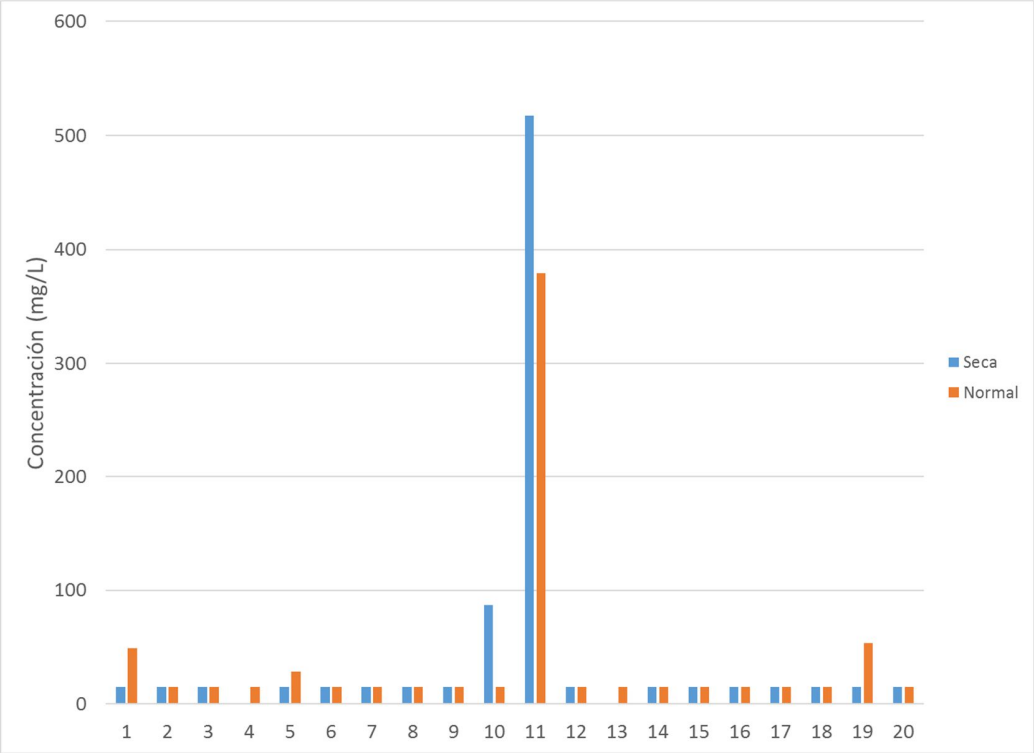
Figura 9.13. Resultados de monitoreo de Conductividad eléctrica para la Cuenca



9.2.4. Materia Orgánica (DBO_5 y DQO)

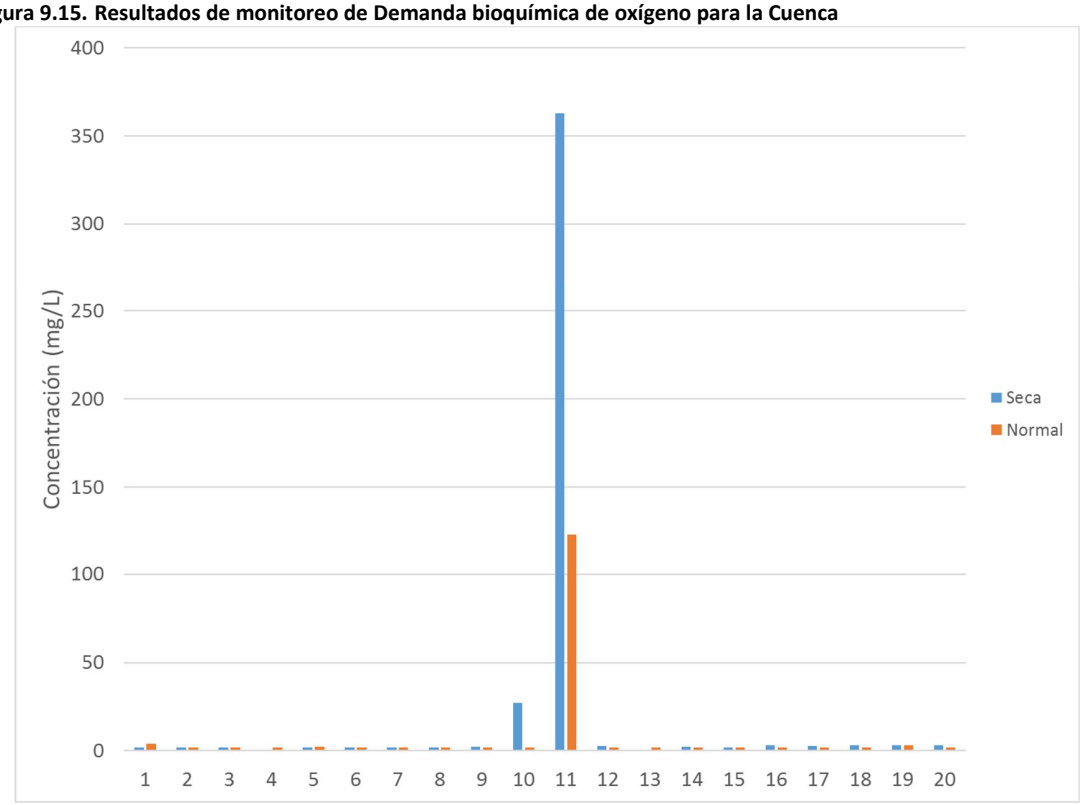
En lo que respecta a la materia orgánica total presente en la Cuenca, se observan patrones estables entre las condiciones secas y normales. Los principales aportes de materia orgánica en la Cuenca provienen del transporte de residuos de actividades domésticas y agropecuarias, que generan vertimientos a los cauces principalmente del río Manzanares y Gaira.

Figura 9.14. Resultados de monitoreo de Demanda Química de Oxígeno para la Cuenca



Se exhibe el mismo comportamiento con el contenido de materia orgánica biodegradable, tanto para épocas secas como normales. La proporción entre la DBO y DQO es muy variable en la Cuenca. En épocas secas, los valores muestran aportes de materia orgánica fresca, relacionados con descargas domésticas (DBO5/DQO >= 0,6); mientras que, en época normal, las precipitaciones y los mayores niveles de flujo arrastran los excedentes de esos agroquímicos en el suelo, lo que lleva a una reducción en la proporción DBO/DQO por debajo del 40% en toda el área de la Cuenca.

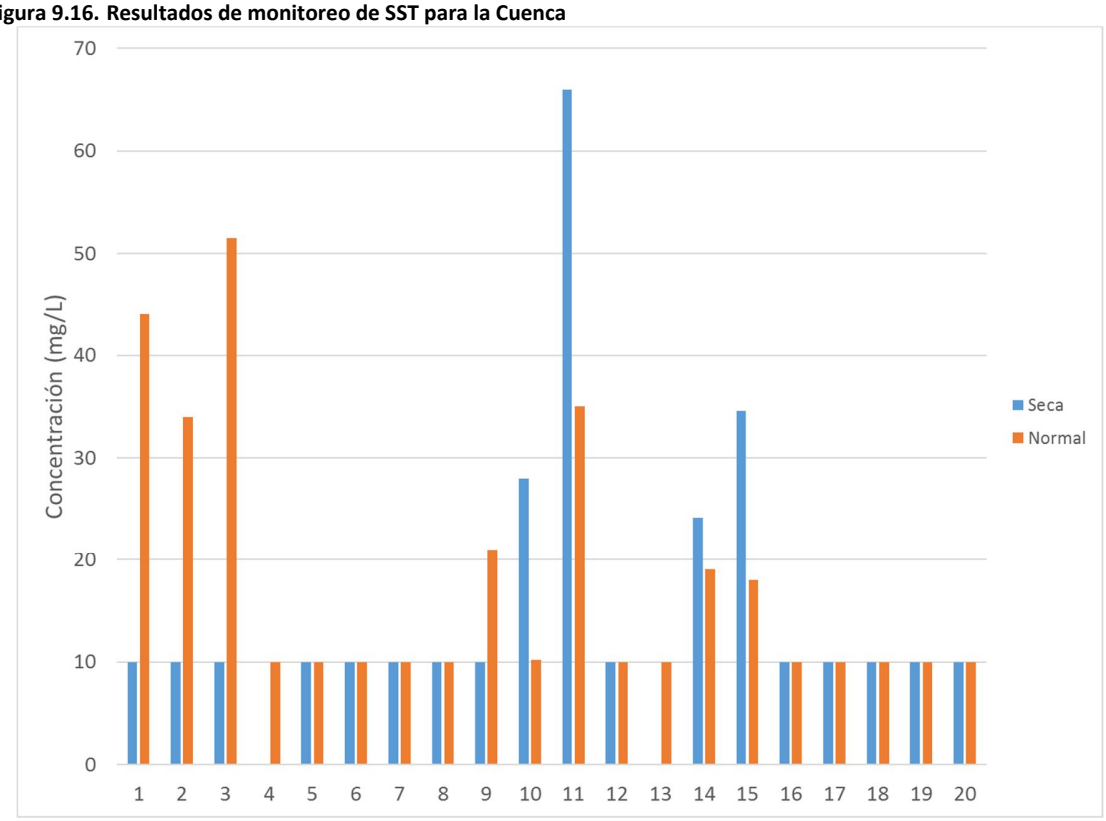
Figura 9.15. Resultados de monitoreo de Demanda bioquímica de oxígeno para la Cuenca



9.2.5. Sólidos suspendidos totales

En lo que respecta a los sólidos en suspensión, las principales incidencias se observan para la época seca nuevamente en la desembocadura del río Manzanares. En la época normal, cambia el régimen hacia el suroccidente y se observa un mayor aporte debido al arrastre de material de suelo erosionado; pero también y de manera eventual, a la deposición de material particulado fino proveniente de la actividad portuaria de acuerdo con lo que señala INVEMAR (2014).

Figura 9.16. Resultados de monitoreo de SST para la Cuenca



9.2.6. Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se presentan comportamientos influenciados por las actividades domésticas y productivas. El desbalance existente en los perfiles espaciales de nitrógeno y fósforo evidencia las diferencias en los modelos productivos de los municipios en la zona media y alta de la Cuenca. Los valores altos de nitrógeno y valor bajos de fósforo al sur de la Cuenca indican un mayor aporte relacionado con problemas de saneamiento básico, elevando la proporción de nitrógeno amoniacal sobre el nitrógeno asociado a la materia orgánica; de otra parte los niveles bajos de nitrógeno y altos niveles de fósforo hacia el centro de la Cuenca, especialmente en época seca, son indicativo del uso de agroquímicos en las zonas altas que, como ya se había mencionado, son lavados y transportados por las aguas hacia la desembocadura de los cauces en el mar.

Figura 9.17. Resultados de monitoreo de Nitrógeno Total para la Cuenca

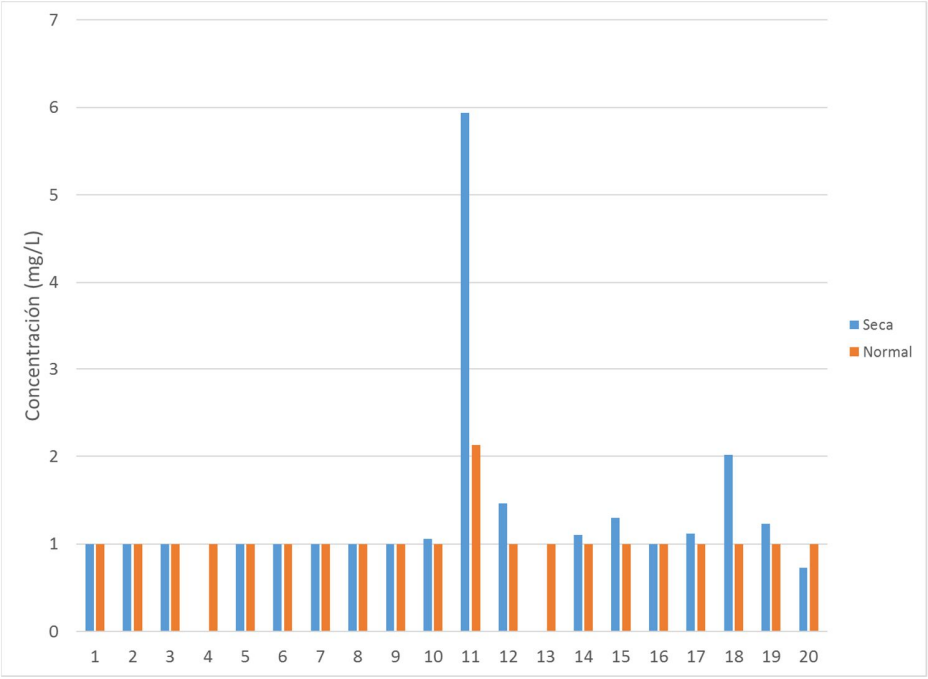
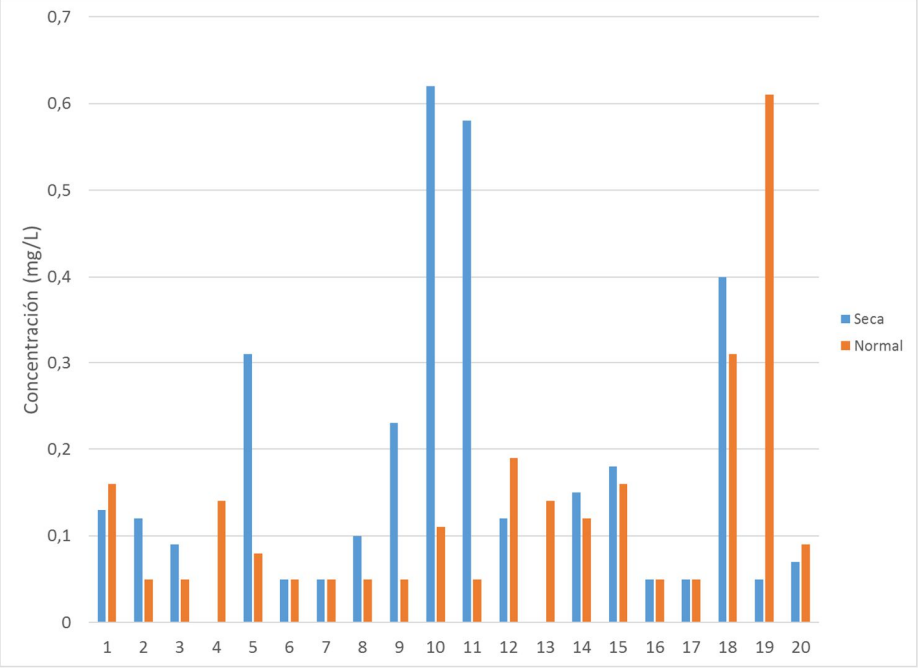


Figura 9.18. Resultados de monitoreo de Fósforo Total para la Cuenca



9.2.7. Coliformes

En el caso de las coliformes se puede apreciar el aporte significativo que tienen las descargas domésticas en importantes áreas rurales de la Cuenca como el corregimiento de Minca, la zona alta del río Piedras y la parte baja del río Córdoba. En época seca, los bajos niveles de flujo impiden el transporte de la contaminación fecal, reteniéndola en el suelo, excepto en las áreas donde se descarga directamente a cuerpos cenagosos como se aprecia en el área roja del mapa. Con la entrada de las lluvias, esta contaminación es arrastrada hacia el mar, aumentando el riesgo de enfermedades gastroentéricas por contacto secundario.

Figura 9.19. Resultados de monitoreo de Coliformes fecales para la Cuenca

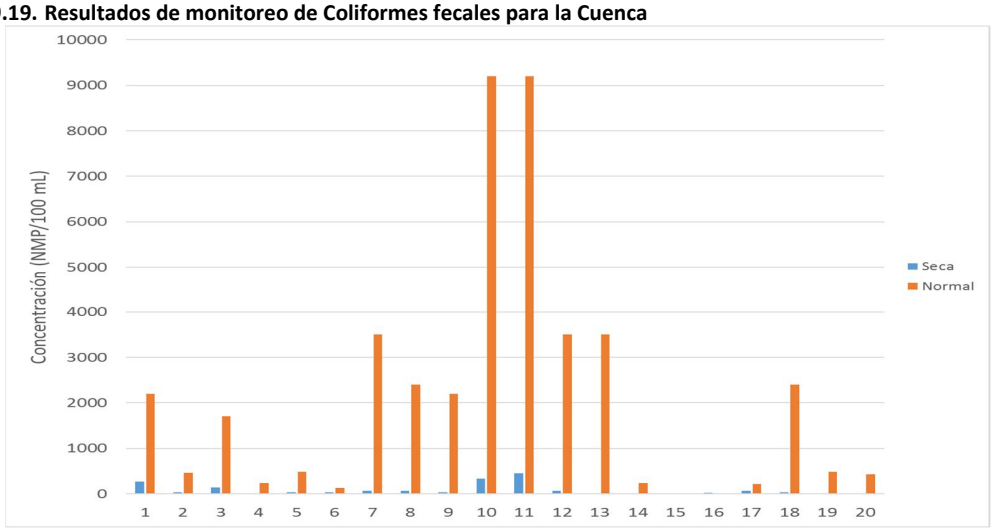
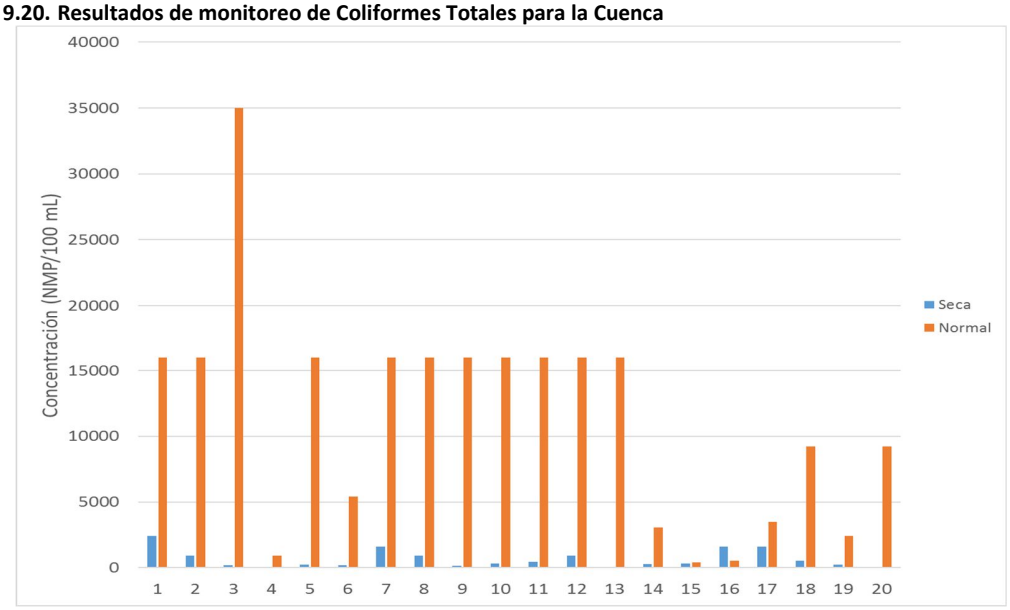


Figura 9.20. Resultados de monitoreo de Coliformes Totales para la Cuenca



9.3. Generación De Vertimientos

9.3.1. Descripción general de actividades generadoras de vertimiento en la Cuenca

Esta cuenca se sitúa entre los municipios de Santa Marta y Ciénaga, departamento del Magdalena, con el 81% de la cuenca se encuentra en el primero de estos. Durante el proceso de identificación de fuentes de vertido de sustancias ajenas a los cuerpos hídricos se hizo necesaria la recopilación de información referida a las actividades económicas y humanas predominantes descritas en los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Desarrollo Municipal de los municipios en mención, lo que se contrastó a su vez con el trabajo de campo realizado en la fase de aprestamiento e información secundaria, para llegar con esto a un mayor acercamiento de la dinámica de la calidad del agua en los puntos espaciales de interés y con las consideraciones adecuadas que permitan un análisis acertado de la calidad de agua de la cuenca.

Los tipos de vertimientos que reconoce la legislación colombiana se relacionan con los usos del agua contemplados en el Decreto 3930 del 2010, así: Consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático.

A continuación, se relaciona una tabla que muestra la clasificación de vertimientos encontrados y que potencialmente se pueden encontrar en la cuenca Río Piedras, Río Manzanares y otros al Caribe en cada uno de los municipios:

Tabla 9.6. Clasificación de vertimientos en la Cuenca

TIPO DE VERTIMIENTO	MUNICIPIO		DESCRIPCIÓN
	Santa Marta	Ciénaga	
Consumo humano y doméstico	x		Santa Marta, cuya cabecera municipal se encuentra dentro de la cuenca, y por ser una ciudad intermedia, escenario de actividades turísticas, portuarias y de otros sectores económicos, el vertido doméstico de aquellos sectores de la ciudad que no tienen servicio de alcantarillado y recolección debe ser de consideración. Es de mencionar, además, la situación de vertido de aguas negras de Metroagua, empresa de servicios públicos que opera los sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario, a través de un emisario submarino desde el casco urbano, y en las áreas de expansión, directamente sobre los cauces. De igual manera, el estado de los sistemas de saneamiento básico en el área rural de la Cuenca es malo, ya que o no existen u operan inadecuadamente, generando vertimientos domésticos con una carga considerable a los cuerpos de agua presentes.
Pesca, maricultura, acuicultura y Agricultura	x		A pesar de que la pesca y la agricultura son actividades que se han disminuido considerablemente en el municipio, persisten vertimientos directos a afluentes de la cuenca; en el caso de la agricultura, que cuenta con una mayor representatividad

TIPO DE VERTIMIENTO	MUNICIPIO		DESCRIPCIÓN
	Santa Marta	Ciénaga	
			económica, se encuentran escorrentías dispersas de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas por los cultivos de café y banano en el área rural.
Pecuario	x	x	Al igual que la agricultura y la pesca, el sector pecuario no es considerablemente fuerte en ninguno de los municipios; no obstante, se reporta la existencia de galpones, porquerizas y establos en las rondas hídricas de la cuenca, provocando vertido de estiércol de animales y compuestos químicos relacionados con la actividad.
Logística portuaria, navegación y transporte acuático	x		Los puertos ubicados en el área de la Cuenca como importante reglón en la economía samaria pueden ocasionar el vertido de materiales sólidos, sedimentables o en suspensión, e incluso de combustibles, dado algún derrame en el transporte. Además, se debe mencionar que las instalaciones locativas de un puerto se convierten en una fuente de residuos sólidos y líquidos domésticos (aguas grises y negras) e industriales (combustibles, grasas, aceites) que en algunos casos reciben tratamiento y en otros son descargados a la red de alcantarillado antes de su vertido final al mar.
Recreativo	x		El sector turístico se desarrolla principalmente en las cabeceras municipales, alrededores y en determinadas zonas del área protegida del Tayrona. Esto trae consigo aguas residuales domésticas y residuos sólidos provenientes de los hoteles que aún no cuentan con servicio de alcantarillado y aseo o recolección, pero además todos aquellos residuos y vertidos que llegan a los cauces directamente generados por los turistas.
Industrial	x	x	La industria de servicios comerciales y financieros ocasiona el vertido de aguas domésticas que son asimiladas en su mayoría a la red de alcantarillado del Distrito

Fuente: Elaboración propia con base en información INVEMAR (2014)

Como se evidencia en la anterior matriz, ambos municipios generan o potencialmente pueden generar vertimientos relacionados con actividades económicas como la industrial, recreativa, navegación y transporte, pecuario y pesca, maricultura y acuicultura, a pesar de que solo una de las cabeceras se encuentra dentro de la cuenca, las actividades relacionadas con el consumo humano y doméstico si se encuentran bajo su jurisdicción.

El análisis de estos episodios debe centrarse en las actividades recreativas, industrial y de logística portuaria, que por condiciones de educación ambiental y falta de regulación y protocolos puede considerarse una amenaza latente para la calidad del agua al interior de la cuenca.

9.3.2. Sistemas de manejo de vertimientos municipales

El manejo de los vertimientos en la cabecera del Distrito de Santa Marta está relacionado con el alcantarillado combinado, es decir, aguas lluvias y residuales son recolectadas y transportadas de manera simultánea. Dado que la cabecera del municipio de Ciénaga no se ubica al interior de la Cuenca, no se considerará en esta sección.

Santa Marta cuenta con un emisario submarino para la disposición de los vertimientos recolectados en la red de alcantarillado, razón por la cual las descargas del sistema no se encuentran dentro de la cuenca. No obstante, cabe mencionar que la cobertura actual de alcantarillado sanitario es de 75% (70.106 usuarios). Las redes tienen una longitud de 745,08 Km de los cuales 753,66 Km son de interceptores, colectores y redes menores y el restante (0,425 Km) corresponde al emisario submarino (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2013). Además, este sistema presenta problemas como rebosamientos de pozos y avería en las tuberías, generando derrame de aguas residuales en las vías urbanas. Hay sectores donde las tuberías son muy antiguas, y se presentan colmataciones por la acumulación de sedimentos arrastrados por las aguas lluvias o su sobre carga en época invernal, generando la interrupción del servicio, emisión de olores ofensivos (Alcaldía Distrital de Santa Marta D.T.C.H., 2012)

9.3.3. Manejo de vertimientos en áreas rurales y centros poblados

La generalidad del área rural de los municipios abarcados por esta cuenca es que no se cuenta con sistema de alcantarillado para la conducción de las aguas residuales domésticas. Durante la Ruta Veredal del Agua Fase II se identificaron los diferentes mecanismos que las comunidades usan para la disposición final de aguas negras y grises, así como para el vertido de aguas residuales de procesos agrícolas (Ver Anexo 02: Formatos de campo de ruta veredal). En el caso de Ciénaga no se reportó ningún sistema de manejo de vertimientos en el área rural.

A continuación, se relacionan las veredas visitadas del municipio de Santa Marta, y una descripción detallada del tratamiento a las descargas y la problemática reconocida por la población.

Tabla 9.7. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas rurales

Vereda	Existencia de alcantarillado	Receptor del Vertimiento	Cobertura %	Problemática
Rodadero	Si	Mar	78	Malos olores
Gaira	Si	Mar	80	Malos olores, rebose
La Tagua	No	NA	NA	No existe alcantarillado
Campano	No	NA	NA	No reportada
Jamonacal	No	Suelo	NA	No existe alcantarillado
La Tigrera	No	Suelo	NA	No existe alcantarillado
San Isidro	No	NA	NA	No reportada
Cantarrana	No	NA	NA	No reportada

Don Jaca	No	NA	NA	No existe alcantarillado, generación de malos olores
Masinga	No	NA	NA	No reportada
Jolonura	No	NA	NA	No existe alcantarillado
Minca	No	NA	NA	No existe alcantarillado, vertimiento directamente al río
Matogiro	No	NA	NA	No existe alcantarillado
Curvalito	No	NA	NA	No existe alcantarillado
Cacahualito	No	NA	NA	No reportada
Nuevo México	No	NA	NA	No reportada
La Revuelta	No	NA	NA	No existe alcantarillado, vertimiento directamente a la Quebrada El Jordán y otros cuerpos de agua
Calabaza	No	NA	NA	No existe alcantarillado

Fuente: Elaboración propia

Se hace importante resaltar que de las 18 veredas visitadas sólo 2 (correspondientes al 11%) cuentan con red de alcantarillado; no obstante, en ambas el sistema se encuentra en mal estado y genera problemas de contaminación y malos olores. Su disposición final es directamente al mar. Se evidencia además que la principal problemática reportada es la inexistencia del alcantarillado. Para aquellos corregimientos sin red de alcantarillado las aguas servidas terminan en su gran mayoría en el suelo y en cuerpos de agua aledaños, incluso en el mar.

9.3.4. Manejo de vertimientos por actividades productivas

Los permisos de vertimientos que se encuentran al interior de esta Cuenca se evaluaron a partir de la información referida por CORPAMAG, como los expedientes de permisos en los municipios de su jurisdicción; no obstante, en la información aportada no se incluyó la totalidad de los documentos soporte de cada expediente, ni análisis de vertimiento o seguimiento a los mismos.

Tabla 9.8. Descripción de permisos de vertimientos otorgados en la Cuenca.

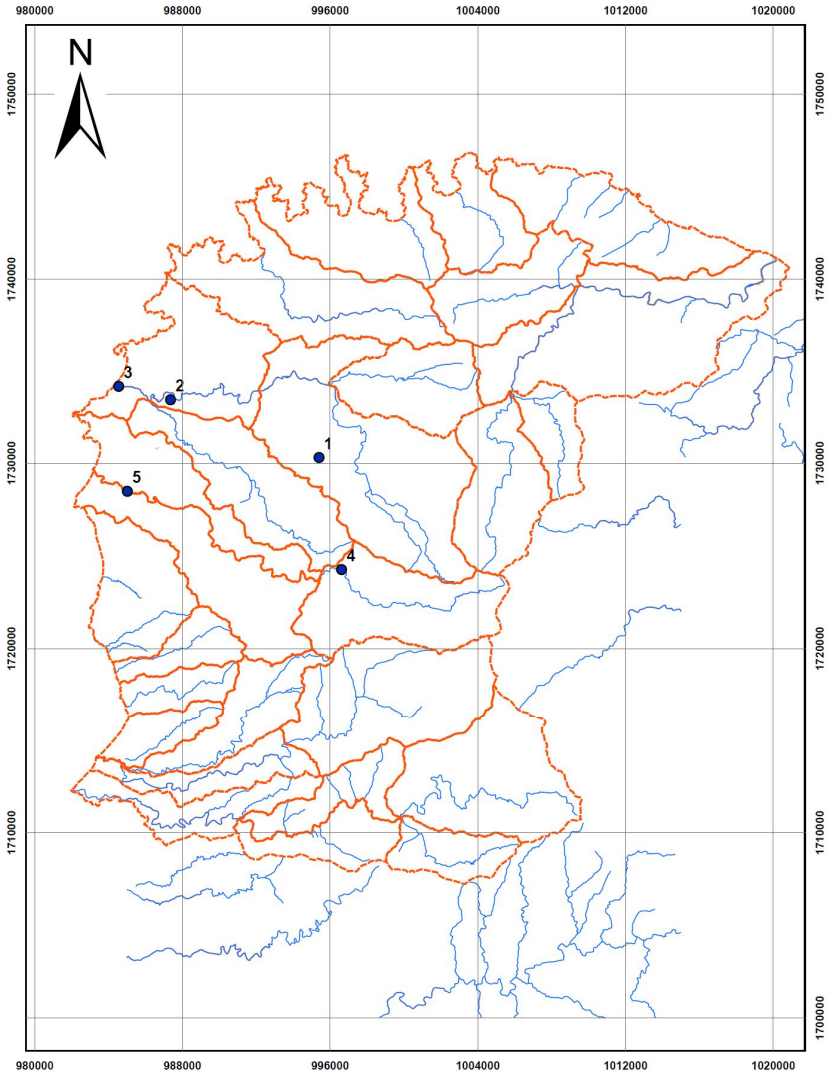
Sector Económico	Concepto	Ubicación	Fecha de expedición	Nombre de la empresa
Industrial	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos para las actividades de la agroindustria del banano a la finca el confite, ubicada en el municipio de Ciénaga, sector Córdoba, de propiedad de la Sra. Beatriz Martha Bruges"	Corregimiento Córdoba, Ciénaga	16/01/2003	Agropecuaria e inversiones COTES HABEYCH S.EN.C.
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos a favor de la concesión Santa Marta - Paraguachón S.A. para el tratamiento de las aguas residuales de la estación de peaje de Neguanje en el distrito de Santa Marta - departamento del Magdalena."	Santa Marta	20/03/2013	Concesión Santa Marta Paraguachon S. A.

Sector Económico	Concepto	Ubicación	Fecha de expedición	Nombre de la empresa
Industrial	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos a favor de la sociedad comercial QUADRATUM S.A.S. para el proyecto Monte Luna en el corregimiento de Bonda - Distrito de Santa Marta"	Corregimiento de Bonda, Santa Marta	4/04/2013	QUADRATUM S. A. S.
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimiento a la urbanización Santa Bárbara Campestre"	Cabecera Municipal, Santa Marta	30/05/2007	Jorge Iván Bedoya González
Recreativo	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimiento y se adoptan otras determinaciones a favor del Fondo Financiero De Proyectos De Desarrollo - FONADE para desarrollar el proyecto denominado Malecón De Taganga, en el Distrito De Santa Marta"	Taganga, Santa Marta	18/06/2008	Fondo Financiero De Proyectos De Desarrollo - FONADE
Agrícola	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos a la Sociedad Jurado Ramos & CIA. S. En C. S., para la planta de beneficio Granja Avicola Altair, ubicada en el Corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta"	Corregimiento Bonda, Santa Marta	12/09/2013	Granja Avicola Altair
Agrícola	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimientos a la Empresa Extractora FRUPALMA S.A."	Santa Marta	26/10/2012	Extractora FRUPALMA S. A.
Industrial	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimiento y se aprueba el Plan de Manejo Ambiental Condicionado al cumplimiento de una serie de obligaciones para el proyecto "*Construcción de la primera etapa del Alcantarillado Sanitario de Taganga present*""	Santa Marta	19/12/2002	Alcantarillado de Taganga Distrito Santa Marta
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga permiso de Vertimiento al Señor Edgar De La Cruz Almanza para desarrollar el proyecto SANTA BARBARA II ETAPA, ubicado en la margen derecha de la carretera que conduce al corregimiento de Bonda, departamento del Magdalena"	Santa Marta	28/11/2007	Edgardo De La Cruz Almanza
Recreativo	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimientos a favor de la empresa Salus Biomedical Center E.U. para la ejecución del proyecto denominado ECOLODGE TAYRONA."	Santa Marta	22/12/2011	Salus Biomedical Center S.A.S.
Navegación y transporte acuático	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos a la Sociedad Portuaria Regional De Santa Marta S.A."	Santa Marta	30/09/2015	Sociedad Portuaria Regional Santa Marta

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el lugar del vertimiento, se pudieron identificar cinco (5) puntos críticos de vertido de aguas residuales en el interior de la Cuenca, los cuales se muestran en la Figura 9.21 y la Tabla 9.9.

Figura 9.21. Ubicación de puntos de vertimiento significativos en la Cuenca



Fuente: Expedientes CORPAMAG y SIRH

Tabla 9.9. Puntos críticos de vertimiento al interior de la Cuenca

ID	CUERPO RECEPTOR	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
1		225,0	995399,0	1730313,0
2	Rio Manzanares	25,0	987359,0	1733432,0
3	Rio Manzanares	25,0	984549,0	1734148,0
4	Rio Gaira	700,0	996621,0	1724270,0
5	Rio Gaira	25,0	985021,0	1728486,0

Fuente: Expedientes CORPAMAG y SIRH

9.3.5. Instrumentos de gestión y control ambiental para vertimientos

En cuanto a los instrumentos de gestión de vertimientos, de acuerdo con la información consultada y aportada durante la fase de Diagnóstico por las autoridades ambientales, no se cuenta con Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos aprobados para ninguno de los municipios de la Cuenca.

Para el municipio de Ciénaga, se entregó en el año 2008 un documento preliminar a la Corporación, el cual ha sido objeto de sucesivas correcciones y observaciones por parte de esta, con las últimas visitas de revisión y verificación de las condiciones expresadas en el Plan durante el año 2013. Sin embargo, en el expediente entregado por la Corporación, no reposa una versión ajustada más reciente del documento.

Una situación similar se presenta con el Distrito de Santa Marta, el cual si bien cuenta con un Plan de Manejo relacionado con el vertido de las aguas residuales al Mar Caribe mediante emisario submarino, no ha presentado a la autoridad ambiental distrital -DADMA- el documento del PSMV para su revisión y aprobación, situación que ha sido objeto de quejas y denuncias por parte de la comunidad y otros actores de la zona preocupados por la situación actual del manejo de las aguas residuales en el Distrito, a cargo previamente de METROAGUA S.A. E.S.P y recientemente entregado a ESSMAR E.S.P. Este hecho se evidencia en diferentes documentos como en la Respuesta a la Observación N° 13 a la Invitación Pública a Ofertar ESSMAR – C.O. N° 001 de 2016, publicado el pasado 31 de enero en la página web de

Finalmente, durante la fase de Diagnóstico no fue posible obtener por parte de la Corporación información consolidada del cobro de tasas retributivas, por lo que tampoco se pudo constatar información de seguimiento a cargas contaminantes y la aplicación del respectivo control económico.

9.4. Estimación De Cargas Contaminantes

9.4.1. Metodología

Para la estimación de las cargas contaminantes en la Cuenca, se tomó como referencia la metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua (2014) la cual se fundamenta en la construcción de un inventario de cargas contaminantes a partir de la identificación de las actividades económicas de la Cuenca, determinándose el aporte doméstico, agrícola, pecuario, industrial, comercial y de servicios, entre otros sectores, en términos de materia orgánica biodegradable

(DBO_5), materia orgánica no biodegradable (DQO), sólidos en suspensión (SST) y nutrientes (NT y PT) en una base anual.

La evaluación de los aportes sectoriales de carga contaminante se realizó a partir de la adopción de factores de vertimiento aplicados a las fuentes de contaminación identificadas en cada segundo nivel subsiguiente de la Cuenca; estos factores de vertimiento se consultaron en la bibliografía referenciada por el Estudio Nacional del Agua (2014) para cada caso. En otros, donde no se conocía con detalle el factor de vertimiento, se emplearon los límites máximos permisibles de concentración de analitos en vertimientos establecidos por la Resolución 631 de 2015; si bien es cierto que con esta opción se tiende a subestimar la presión real que pueda tener el vertimiento, se asume que las diferentes actividades están o deberían estar cumpliendo con la legislación vigente.

El detalle de los cálculos se encuentra en archivo de Microsoft Excel, en el Anexo 04 del presente capítulo

9.4.2. Resultados de carga contaminante por nivel subsiguiente

9.4.2.1. *Cargas contaminantes de origen doméstico*
Para la estimación de las cargas de origen doméstico, se tomó como base los resultados del análisis demográfico realizado para la Cuenca, discriminando la población rural y la urbana según su presencia en cada uno de los niveles subsiguientes. En el caso de las áreas rurales dispersas, se empleó la densidad poblacional promedio para estimar la población que efectivamente pertenecía a cada nivel subsiguientes.

Luego, se aplicaron los factores de vertimiento según el caso, para la estimación de las cargas anuales según datos del Estudio Nacional del Agua -ENA (2010). Como para la presente cuenca no se cuenta con el reporte de plantas de tratamiento existentes, se mantienen los valores, tal como lo recomienda el ENA (2014). De acuerdo con la información ya analizada en el presente capítulo, se decidió no aplicar factor de remoción de carga contaminante debido a la inexistencia o mala operación de los sistemas de tratamiento para agua residual.

Es necesario indicar que no se contempló en el cálculo la carga contaminante generada en las cabeceras urbanas dado que la del municipio de Ciénaga se ubica fuera de la Cuenca, y las aguas generadas en la de Santa Marta tienen como destino de descarga el mar.

Los resultados por nivel subsiguiente se observan en la Tabla 9.10

Tabla 9.10. Resultados de carga contaminante de origen doméstico

CARGAS CONTAMINANTES		NIVEL SUBSIGUIENTE					
		1501-0101	1501-0102	1501-0103	1501-0104	1501-0105	1501-0201
Poblacíón	Rural	406	21	36	175	18	36
	Urbana						
DBO_5		2801,40	144,90	248,40	1207,50	124,20	248,40
DQO		3735,20	193,20	331,20	1610,00	165,60	331,20
DQO - DBO		933,80	48,30	82,80	402,50	41,40	82,80
SST		6496,00	336,00	576,00	2800,00	288,00	576,00
NT		156,57	8,10	13,88	67,49	6,94	13,88
PT		22,37	1,16	1,98	9,64	0,99	1,98

CARGAS CONTAMINANTES		NIVEL SUBSIGUIENTE					
		1501-0202	1501-0203	1501-0204	1501-0301	1501-0302	1501-0303
Poblacíón	Rural	228	36	35	28	74	274
	Urbana						
DBO_5		1573,20	248,40	241,50	193,20	510,60	1890,60
DQO		2097,60	331,20	322,00	257,60	680,80	2520,80
DQO - DBO		524,40	82,80	80,50	64,40	170,20	630,20
SST		3648,00	576,00	560,00	448,00	1184,00	4384,00
NT		87,92	13,88	13,50	10,80	28,54	105,66
PT		12,56	1,98	1,93	1,54	4,08	15,09

CARGAS CONTAMINANTES		NIVEL SUBSIGUIENTE					
		1501-0401	1501-0402	1501-0403	1501-0501	1501-0502	1501-0503
Poblacíón	Rural	232	465	152	1917	345	3214
	Urbana						
DBO_5		1600,80	3208,50	1048,80	13227,30	2380,50	22176,60
DQO		2134,40	4278,00	1398,40	17636,40	3174,00	29568,80
DQO - DBO		533,60	1069,50	349,60	4409,10	793,50	7392,20
SST		3712,00	7440,00	2432,00	30672,00	5520,00	51424,00
NT		89,47	179,32	58,62	739,25	133,04	1239,41
PT		12,78	25,62	8,37	105,61	19,01	177,06

CARGAS CONTAMINANTES		NIVEL SUBSIGUIENTE					
		1501-0504	1501-0600	1501-0701	1501-0702	1501-0703	1501-0801
Poblacíón	Rural	730	267	213	144	397	1264
	Urbana						
DBO_5		5037,00	1842,30	1469,70	993,60	2739,30	8721,60
DQO		6716,00	2456,40	1959,60	1324,80	3652,40	11628,80
DQO - DBO		1679,00	614,10	489,90	331,20	913,10	2907,20
SST		11680,00	4272,00	3408,00	2304,00	6352,00	20224,00
NT		281,51	102,96	82,14	55,53	153,09	487,43
PT		40,22	14,71	11,73	7,93	21,87	69,63

CARGAS CONTAMINANTES		NIVEL SUBSIGUIENTE		
		1501-0802	1501-0803	1501-0804
Poblacíón	Rural	620	204	87
	Urbana			
DBO_5		4278,00	1407,60	600,30
DQO		5704,00	1876,80	800,40
DQO - DBO		1426,00	469,20	200,10
SST		9920,00	3264,00	1392,00
NT		239,09	78,67	33,55
PT		34,16	11,24	4,79

Fuente: Cálculos propios a partir de información socioeconómica

Como era de esperarse, el efecto de las cargas contaminantes de origen doméstico es mayor en cercanías a los corregimientos de Minca y Bonda que actualmente están concentrando la población en el área rural de la Cuenca. De acuerdo con el monitoreo realizado, la situación se está tornando mucho más crítica en inmediaciones de la cabecera del corregimiento de Bonda, donde las deficiencias en saneamiento básico, y el crecimiento de la población tanto fija como flotante (bajo la modalidad de hostales ecoturísticos) están incrementando considerablemente la concentración de coliformes en las aguas del río Manzanares.

9.4.2.2. *Cargas contaminantes de origen agrícola.*

Para este caso, aunque la agricultura no se constituye como sector representativo en la generación de valor agregado de los municipios de la Cuenca, se observó un creciente desarrollo de cultivos de café desde a parte media y hacia la parte alta de la Cuenca; por esta razón se incluyó la estimación de las cargas contaminantes generadas por escorrentía en suelo agrícola, a partir de factores de vertimiento disponibles en la literatura especializada para condiciones similares (OMS, 1993; Villanueva, 2011). De esta manera, a partir del área con uso agrícola y el valor de la escorrentía promedio por nivel subsiguiente, se obtuvo la carga por lavado del área de suelo agrícola. Asimismo, se incluyó la carga generada por la poscosecha de café y banano, por ser los cultivos de mayor incidencia agroindustrial y que están haciendo presencia en el área de influencia de la Cuenca

Tabla 9.11. Cargas contaminantes de origen agrícola

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE					
	1501-0101	1501-0102	1501-0103	1501-0104	1501-0105	1501-0201
Area agrícola (Ha)	301,57	322,97	245,52	1475,52	573,19	283,99
Escorrentía (mm/año)	47,2788869	62,94508233	69,17038084	65,91050678	64,2858207	53,37533251
Total poscosecha (m^3/año)	21528,22	0,00	2085,28	9881,06	8242,22	23406,04
DBO5 (Kg/año)	1539,08	813,18	1469,62	7635,03	4597,73	1659,59
DQO (Kg/año)	5300,85	2032,96	2982,53	15810,75	8761,00	5728,88
DQO - DBO (Kg/año)	3761,77	1219,77	1512,91	8175,73	4163,27	4069,29
SST (Kg/año)	30595,54	40862,46	34896,64	199086,55	77075,44	32573,92
NT (Kg/año)	384,85	317,14	318,76	1772,22	787,61	413,06
PT (Kg/año)	74,53	73,19	68,83	386,55	163,05	79,80

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE					
	1501-0202	1501-0203	1501-0204	1501-0301	1501-0302	1501-0303
Area agrícola (Ha)	2444,78	478,46	13,88	6,85	59,68	0,00
Escorrentía (mm/año)	71,735614	57,81306436	47,83298656	10,86815123	11,57920446	4,145932654
Total poscosecha (m^3/año)	31608,38	4568,57	0,00	0,00	0,00	0,00
DBO5 (Kg/año)	18994,72	2837,94	26,55	2,98	27,64	0,00
DQO (Kg/año)	37004,65	5579,78	66,38	7,44	69,11	0,00
DQO - DBO (Kg/año)	18009,93	2741,85	39,83	4,46	41,46	0,00
SST (Kg/año)	364055,20	57267,52	1334,25	149,56	1389,02	0,00
NT (Kg/año)	3551,87	549,45	10,36	1,16	10,78	0,00
PT (Kg/año)	747,93	116,43	2,39	0,27	2,49	0,00

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE					
	1501-0401	1501-0402	1501-0403	1501-0501	1501-0502	1501-0503
Area agrícola (Ha)	1033,73	1908,41	181,34	115,25	205,07	1428,21
Escorrentía (mm/año)	481,2753388	627,6731007	527,3623463	125,3263628	123,5805468	138,8620309
Total poscosecha (m^3/año)	29103,89	30762,88	0,00	0,00	149,81	15563,87
DBO5 (Kg/año)	30930,67	59573,39	3825,36	577,75	1070,51	13831,66
DQO (Kg/año)	67675,08	138731,73	9563,39	1444,37	2626,59	29417,78
DQO - DBO (Kg/año)	36744,41	79158,34	5738,03	866,62	1556,08	15586,12
SST (Kg/año)	1010619,40	2418927,16	192224,14	29031,75	50994,71	404315,31
NT (Kg/año)	8512,43	19480,70	1491,89	225,32	399,22	3495,63
PT (Kg/año)	1898,36	4425,73	344,28	52,00	91,79	771,36

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE					
	1501-0504	1501-0600	1501-0701	1501-0702	1501-0703	1501-0801
Area agrícola (Ha)	99,81	136,87	11,43	49,01	120,35	1764,53
Escorrentía (mm/año)	152,3013426	50,12807053	1036,462727	584,8269164	725,7014432	576,610475
Total poscosecha (m^3/año)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9216,24
DBO5 (Kg/año)	608,07	274,44	473,95	1146,55	3493,62	44190,78
DQO (Kg/año)	1520,18	686,10	1184,86	2866,38	8734,04	107420,62
DQO - DBO (Kg/año)	912,11	411,66	710,92	1719,83	5240,42	63229,84
SST (Kg/año)	30555,71	13790,57	23815,75	57614,21	175554,20	2048431,98
NT (Kg/año)	237,15	107,03	184,84	447,16	1362,51	16110,07
PT (Kg/año)	54,73	24,70	42,66	103,19	314,43	3696,79

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE		
	1501-0802	1501-0803	1501-0804
Area agrícola (Ha)	252,70	142,77	137,26
Escorrentía (mm/año)	726,8397803	653,074166	627,4659008
Total poscosecha (m^3/año)	0,00	56,11	1146,59
DBO5 (Kg/año)	7347,03	3750,96	3879,65
DQO (Kg/año)	18367,57	9358,80	9318,88
DQO - DBO (Kg/año)	11020,54	5607,84	5439,23
SST (Kg/año)	369188,10	187437,86	173534,60
NT (Kg/año)	2865,34	1456,03	1373,18
PT (Kg/año)	661,23	335,88	314,29

Fuente: Cálculos propios a partir de información socioeconómica

Se observa en estos resultados que la carga contaminante de origen agrícola se encuentra afecta en mayor medida los cauces de los ríos Piedras y Gaira en su parte alta, y en menor medida la misma zona del río Toribio. También, por las cantidades de producción, se observa que los principales efectos provienen de las aguas residuales de la poscosecha tanto de café como banano, este último ubicado en el área de la Cuenca perteneciente al municipio de Ciénaga.

9.4.2.3. *Cargas contaminantes originadas de origen pecuario*

Partiendo de la estimación de animales por tipo de ganadería realizada en el capítulo del componente económico, la cual se fundamenta en los inventarios del Instituto Colombiano Agropecuario, así como las estadísticas de sacrificio del DANE y el listado de plantas de beneficio animal reportadas por el INVIMA, se realizó el cálculo de la carga contaminante potencial relacionada con la cría. Para este fin se emplearon los factores de vertimiento establecidos en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010; IDEAM, 2014) principalmente para especies bovinas y porcinas, así como la cría de aves de corral, identificadas en el área de la Cuenca. No se consideró en el análisis la carga orgánica generada por las actividades de sacrificio que se realizan en el Distrito de Santa Marta ya que se evidenció que sus vertimientos son realizados al sistema de alcantarillado cuyo destino final es el mar.

Tabla 9.12. Cargas contaminantes de origen pecuario

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE (Ha)					
		1501-0101	1501-0102	1501-0103	1501-0104	1501-0105	1501-0201
CRÍA	Ganado vacuno	24	8	29	385	39	11
	Ganado porcino	20	36	69	192	18	8
	Ganado bufalino	0	0	1	0	0	0
	Ganado caprino	0	0	0	0	0	0
	Ganado equino	0	6	17	3	0	0
	Ganado ovino	0	2	7	1	0	0
	Aves	0	0	0	0	0	0
DBO5 (Kg/año)		4594	3489,2	10080,9	69953,2	6988,2	2067,2
DQO (Kg/año)		6125,33333	4652,26667	13441,2	93270,9333	9317,6	2756,26667
DQO - DBO (Kg/año)		1531,33333	1163,06667	3360,3	23317,7333	2329,4	689,066667
SST (Kg/año)		30356	14024,9778	46296,2	478438,489	48270	13828
NT (Kg/año)		1197,2	1231	3598,8	18573,5	1839,6	540,2
PT (Kg/año)		317,2	284,8	822,7	4847,9	482,1	142,7

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE (Ha)					
		1501-0202	1501-0203	1501-0204	1501-0301	1501-0302	1501-0303
CRÍA	Ganado vacuno	16	0	1	94	142	252
	Ganado porcino	105	12	124	136	631	974
	Ganado bufalino	0	0	0	0	0	0
	Ganado caprino	0	0	0	0	0	0
	Ganado equino	0	2	0	1	7	2
	Ganado ovino	0	1	0	1	3	1
	Aves	337304	0	0	0	0	0
DBO5 (Kg/año)		1092197,38	745,2	4243,6	20094,8	45245,1	73723
DQO (Kg/año)		1456263,17	993,6	5658,13333	26793,0667	60326,8	98297,3333
DQO - DBO (Kg/año)		364065,793	248,4	1414,53333	6698,26667	15081,7	24574,3333
SST (Kg/año)		2860282,6	1498,93333	10256	123467,378	219159,356	375132,933
NT (Kg/año)		2430056,1	301,2	949	5228,3	11562	18361,4
PT (Kg/año)		347363,557	67	296,5	1398	3190,5	5127,2

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE (Ha)					
		1501-0401	1501-0402	1501-0403	1501-0501	1501-0502	1501-0503
CRÍA	Ganado vacuno	57	373	58	185	107	104
	Ganado porcino	515	285	286	553	853	644
	Ganado bufalino	0	0	0	0	1	0
	Ganado caprino	0	0	0	1	1	0
	Ganado equino	3	6	2	10	21	8
	Ganado ovino	1	3	1	5	9	4
	Aves	0	0	0	0	0	0
DBO5 (Kg/año)		26787,9	71599,7	19271,8	50344,1	49425,7	39645,2
DQO (Kg/año)		35717,2	95466,2667	25695,7333	67125,4667	65900,9333	52860,2667
DQO - DBO (Kg/año)		8929,3	23866,5667	6423,93333	16781,3667	16475,2333	13215,0667
SST (Kg/año)		107105,489	471765,8	91332,9333	266327,489	198789,889	174719,733
NT (Kg/año)		6565	19058,7	4841,8	13230,9	13188,6	10110,8
PT (Kg/año)		1884,4	4988,6	1352,6	3566	3592,7	2814

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE (Ha)					
		1501-0504	1501-0600	1501-0701	1501-0702	1501-0703	1501-0801
CRÍA	Ganado vacuno	153	0	0	18	1039	270
	Ganado porcino	275	6	0	31	1752	473
	Ganado bufalino	0	0	0	0	1	1
	Ganado caprino	0	0	0	0	3	1
	Ganado equino	7	0	0	0	49	25
	Ganado ovino	3	0	0	0	23	11
	Aves	0	0	0	0	0	0
DBO5 (Kg/año)		35336,7	197,4	0	3971,9	236873,2	64356,5
DQO (Kg/año)		47115,6	263,2	0	5295,86667	315830,933	85808,6667
DQO - DBO (Kg/año)		11778,9	65,8	0	1323,96667	78957,7333	21452,1667
SST (Kg/año)		206415,356	438	0	23935	1395473,6	368547,756
NT (Kg/año)		9445	43,8	0	1014,7	63609,3	17981,2
PT (Kg/año)		2496	13,8	0	274,7	16756,8	4639,4

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE (Ha)		
		1501-0802	1501-0803	1501-0804
CRÍA	Ganado vacuno	152	169	491
	Ganado porcino	565	98	9
	Ganado bufalino	0	0	1
	Ganado caprino	0	0	0
	Ganado equino	6	4	4
	Ganado ovino	3	2	2
	Aves	0	0	0
DBO5 (Kg/año)		44567,7	31641	81684,9
DQO (Kg/año)		59423,6	42188	108913,2
DQO - DBO (Kg/año)		14855,9	10547	27228,3
SST (Kg/año)		226121,8	211875,8667	594270,8667
NT (Kg/año)		11422,9	8544,8	22042,5
PT (Kg/año)		3135,3	2213,9	5659,1

Fuente: Cálculos propios a partir de información socioeconómica

9.4.2.4. *Cargas contaminantes originadas en otros sectores*

El análisis de cargas contaminantes incluyó también la estimación del aporte realizado por la actividad turística. Considerando que esta actividad se encuentra formalmente establecida en la cabecera del Distrito de Santa Marta, Taganga y en el área del PNN Tayrona, y solo en este último los vertimientos que se generan llegan a las corrientes hídricas continentales, la carga se estimó únicamente para las Cuencas en el área de influencia del Parque. El cálculo se realizó a partir del promedio diario de visitantes y los factores de vertimiento para la actividad, teniendo en cuenta la inexistencia de infraestructura de saneamiento básico.

Tabla 9.13. Cargas contaminantes de origen turístico

CARGAS CONTAMINANTES (Kg/año)	NIVEL SUBSIGUIENTE			
	1501-0600	1501-0701	1501-0702	1501-0703
Servicios (persona/año)	329,00	223,00	150,00	257,00
DBO5 (Kg/año)	1217,30	825,10	555,00	950,90
DQO (Kg/año)	2028,83	1375,17	925,00	1584,83
DQO - DBO (Kg/año)	811,53	550,07	370,00	633,93
SST (Kg/año)	2636,36	1786,96	1201,99	2059,41
NT (Kg/año)	221,94	150,43	101,19	173,37
PT (Kg/año)	62,55	42,39	28,52	48,86

Fuente: Cálculos propios a partir de información socioeconómica

Los resultados para cada uno de los tipos de carga contaminante se resumen en la Tabla 9.14. Es importante anotar que para el cálculo se tuvo en cuenta el panorama real de saneamiento básico evidenciado en la Ruta Veredal del Agua – Fase 2, suprimiendo cargas contaminantes que no son aplicadas a los cauces de la Cuenca (como los vertimientos del casco urbano de Santa Marta) y en el caso de los vertimientos domésticos no se aplicó reducción por tratamiento dado que no existen u operan ineficientemente de manera que prácticamente toda la carga contaminante bruta es vertida al cuerpo receptor.

Los resultados consolidados por nivel subsiguiente para cada uno de los tipos de carga contaminante se resumen en la Tabla 9.14. Para tener un mejor indicativo relacionado con el nivel de carga contaminante en cada parámetro, se efectuó la comparación por rangos en los límites indicados por el IDEAM en el Estudio Nacional del Agua, obteniéndose los resultados de la Tabla 9.15.

Tabla 9.14. Cargas contaminantes estimadas por nivel subsiguiente para la Cuenca

NIVEL SUBSIGUIENTE	CARGAS CONTAMINANTES (t/año)				
	DBO5	DQO - DBO	SST	NT	PT
1501-0101	8,93	6,23	67,45	1,74	0,41
1501-0102	4,45	2,43	55,22	1,56	0,36
1501-0103	11,80	4,96	81,77	3,93	0,89
1501-0104	78,80	31,90	680,33	20,41	5,24
1501-0105	11,71	6,53	125,63	2,63	0,65
1501-0201	3,98	4,84	46,98	0,97	0,22
1501-0202	1112,77	382,60	3227,99	2433,70	348,12
1501-0203	3,83	3,07	59,34	0,86	0,19
1501-0204	4,51	1,53	12,15	0,97	0,30
1501-0301	20,29	6,77	124,06	5,24	1,40
1501-0302	45,78	15,29	221,73	11,60	3,20
1501-0303	75,61	25,20	379,52	18,47	5,14
1501-0401	59,32	46,21	1121,44	15,17	3,80
1501-0402	134,38	104,09	2898,13	38,72	9,44
1501-0403	24,15	12,51	285,99	6,39	1,71
1501-0501	64,15	22,06	326,03	14,20	3,72
1501-0502	53,17	19,02	255,95	13,77	3,72
1501-0503	75,65	36,19	630,46	14,85	3,76
1501-0504	42,20	15,18	251,29	10,19	2,65
1501-0600	3,14	1,64	20,29	0,40	0,10
1501-0701	2,50	1,57	28,43	0,37	0,08
1501-0702	7,06	4,01	85,91	1,69	0,43
1501-0703	243,11	85,11	1577,38	65,12	17,09
1501-0801	117,27	87,59	2437,20	34,58	8,41
1501-0802	56,19	27,30	605,23	14,53	3,83
1501-0803	36,80	16,62	402,58	10,08	2,56
1501-0804	86,16	32,87	769,20	23,45	5,98

Tabla 9.15. Intensidad de la carga contaminante por nivel subsiguiente para la Cuenca

NIVEL SUBSIGUIENTE	CARGAS CONTAMINANTES (Kg/año)				
	DBO5	DQO - DBO	SST	NT	PT
1501-0101	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0102	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0103	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0104	Baja	Baja	Media Alta	Moderada	Moderada
1501-0105	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0201	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0202	Alta	Media Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0203	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0204	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0301	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0302	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0303	Baja	Baja	Moderada	Baja	Moderada
1501-0401	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja
1501-0402	Baja	Baja	Alta	Media Alta	Media Alta
1501-0403	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja
1501-0501	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja
1501-0502	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0503	Baja	Baja	Media Alta	Baja	Baja
1501-0504	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0600	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0701	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0702	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
1501-0703	Moderada	Baja	Alta	Alta	Alta
1501-0801	Baja	Baja	Alta	Media Alta	Moderada
1501-0802	Baja	Baja	Media Alta	Baja	Baja
1501-0803	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja
1501-0804	Baja	Baja	Alta	Moderada	Moderada

Puede observarse que la unidad hidrográfica que recibe una mayor intensidad por carga contaminante corresponde al Río Toribio entre Guayabal y el Vergel, seguida de las quebradas Santa Rosa, Playa Brava y otros directos al Caribe en el Parque Tayrona, siendo los parámetros que más se ven comprometidos los sólidos en suspensión y los nutrientes. El resto de la Cuenca puede considerarse que se encuentra bajo intensidades de carga contaminante no tan elevadas en comparación con las cargas generadas en otros lugares del país; sin embargo, la verdadera presión de los vertimientos viene dada por el equilibrio de la carga contaminante con la oferta hídrica total.

Se procedió entonces al cálculo de la presión por contaminante, y los resultados se muestran en la Tabla 9.16. Como era de esperarse, los bajos niveles de oferta hídrica, mezclados con el comportamiento torrencial de los cuerpos de agua, la presión es alta o muy alta para todos los parámetros en la mayoría de los niveles subsiguientes analizados; solo se cuenta con la excepción del área de influencia de la Quebrada Gayraca en el PNN Tayrona, la cual por su bajo nivel de intervención presenta un mejor equilibrio en la asimilación de los vertimientos en los cauces. Esta situación implica que en el corto plazo debe trabajarse en mejorar la situación de saneamiento básico y el control de los vertimientos de actividades productivas para no comprometer el estado de la calidad de los ríos y quebradas de la Cuenca.

Tabla 9.16. Presiones por carga contaminante en cada nivel subsiguiente para la Cuenca

NIVEL SUBSIGUIENTE	PRESIÓN POR CONTAMINANTE (t/MMC)					PRESIÓN POR CONTAMINANTE AÑO SECO (t/MMC)				
	DBO5	DQO-DBO	SST	NT	PT	DBO5	DQO-DBO	SST	NT	PT
1501-0101	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0102	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0103	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0104	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0105	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0201	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0202	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0203	Alta	Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta
1501-0204	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0301	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0302	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0303	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0401	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0402	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0403	Media Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta
1501-0501	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0502	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0503	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0504	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0600	Media Alta	Moderada	Alta	Media Alta	Media Alta	Media Alta	Media Alta	Alta	Alta	Alta
1501-0701	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja	Media Alta	Baja	Baja
1501-0702	Media Alta	Moderada	Alta	Media Alta	Media Alta	Media Alta	Moderada	Alta	Media Alta	Media Alta
1501-0703	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0801	Media Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0802	Media Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
1501-0803	Media Alta	Moderada	Muy Alta	Alta	Alta	Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta
1501-0804	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

9.5. Manejo De Residuos Sólidos

9.5.1. Descripción de Sistemas para el Manejo de los Residuos

El municipio de Ciénaga, cuenta con un operador privado para la recolección de los residuos sólidos, la cobertura es de aproximadamente el 88% de la población cuya producción se encuentra cerca de las 40,30 t/día que se recogen en dos carros compactadores y un tractor. La disposición final se hace a cielo abierto por medio de mecanismos de enterramiento y trincheras.

Las áreas que no cuentan con cobertura de este servicio disponen en lugares perimetrales o conforman rellenos improvisados, situación que se convierte en una amenaza sanitaria ambiental dados todos los riesgos que trae consigo un inadecuado manejo de residuos (Alcaldía de Ciénaga, 2003)

En el caso de Santa Marta, el área urbana y los corregimientos de Bonda y Taganga poseen el servicio de aseo con una cobertura cercana al 90%. Sin embargo, el 5% de la población aún usa mecanismos como las quemas, al igual que los corregimientos de Guachaca y Minca lo que podría aumentar riesgos asociados a enfermedades respiratorias y riesgos de incendio.

La situación se torna compleja si se tiene en cuenta que los principales generadores de residuos hospitalarios (clínicas, hospitales, droguerías, funerarias, universidades con programas de medicina y/o enfermería) exponen a su personal a riesgo de contagio de enfermedades dada la carencia de

programas integrales de manejo de desechos en estas instituciones (Alcaldía Distrital de Santa Marta D.T.C.H., 2012 - 2015)

A continuación, se relaciona la matriz resultado de la ruta, para las zonas rurales de estos municipios que detalla el mecanismo para la disposición de los residuos sólidos:

Tabla 1. Disposición de Residuos sólidos de los municipios de la Cuenca

Municipio	**Vereda**	**Disposición de Residuos sólidos**
Santa Marta	Rodadero	Servicio de Recolección
	Gaira	Servicio de Recolección
	La Tagua	Disposición a cielo abierto
	Campano	Disposición a cielo abierto y fuentes hídricas, quemas
	Jamonacal	Quemas, enterramientos
	La Tigrera	Servicio de Recolección, quemas
	San Isidro	Disposición a cielo abierto, quemas
	Cantarrana	Disposición a cielo abierto y pozos, quemas
	Don Jaca	Servicio de Recolección, quemas, disposición a cielo abierto
	Masinga	Servicio de Recolección
	Jolonura	Quemas, enterramientos
	Minca	Servicio de Recolección
	Matogiro	Disposición a cielo abierto, quemas
	Curvalito	Servicio de Recolección
	Cacahualito	Disposición a cielo abierto, quemas
	Nuevo México	Servicio de Recolección
	La Revuelta	Servicio de Recolección, disposición a cielo abierto
	Calabaza	Servicio de Recolección, disposición en fuentes hídricas
Ciénaga	Cordobita	Servicio de Recolección, disposición a cielo abierto

Fuente: Elaboración propia

Debido a la influencia del casco urbano de Santa Marta se identifica que en diferentes áreas rurales de la Cuenca se cuenta con servicio de recolección por lo menos 1 vez cada dos semanas. Sin embargo, persisten prácticas como la quema y la disposición a cielo abierto o en fuentes hídricas, lo cual se constituye en factores de riesgo para la calidad tanto del suelo como de los cauces, así como al equilibrio ecosistémico en un área que se puede considerar altamente sensible por la fragilidad actual de los servicios ambientales que ofrece.

9.5.2. Planes de Gestión de Residuos Sólidos

Al igual que con el alcantarillado y manejo de aguas residuales, los esfuerzos relacionados con residuos sólidos se concentran en el municipio de Ciénaga en su área urbana principalmente con una cobertura del 83% prestado por Operadores de la Sierra S.A. E.S.P., razón por lo cual no se encontraron directrices en instrumentos de planificación orientadas al manejo de los residuos

sólidos en el área rural de la Cuenca correspondiente a este municipio. El servicio de recolección que manifestó la comunidad en el sector de Cordobita se evidencia en las cercanías a la Red vial principal, principalmente como consecuencia del desarrollo de la actividad portuaria en la desembocadura del río Córdoba.

En cuanto a Santa Marta, la Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P. realizó actualización al PGIRS la cual fue adoptada por la Alcaldía Distrital en el año 2015. De acuerdo con la evaluación realizada al Plan anterior, se identificaron como ejes fundamentales en la continuidad de la gestión el mejoramiento de la eficiencia económica a través de economías de escala, y la ampliación de la cobertura del servicio para garantizar un mayor porcentaje de áreas rurales y suburbanas que cuenten con el servicio de recolección. Asimismo, se identificaron oportunidades para el mejoramiento en la gestión relacionadas con el aprovechamiento de los residuos sólidos, el incremento en la cultura ciudadana, y el manejo de los residuos de poda y corte de pasto en áreas públicas.

En virtud de estas conclusiones, el Distrito determinó los objetivos y estrategias que se resumen a continuación.

Tabla 9.17. Objetivos y Estrategias del PGIRS para el Distrito de Santa Marta

OBJETIVO	ESTRATEGIA
Implementar una estrategia de cultura ciudadana que, mediante acciones de sensibilización, comunicación, información, atención a quejas reclamos y educación ambiental formal, no formal e informal, fomente en los ciudadanos la cultura del manejo adecuado de los residuos sólidos.	Cultura ciudadana para la adecuada prestación del servicio de aseo
Garantizar la prestación del servicio de aseo en el sector rural contextualizando los componentes del servicio de aseo a las características, modo de ocupación y vocación del área rural de Santa Marta	Asistencia al sector rural
Orientar los componentes de generación, almacenamiento, presentación y recolección de residuos hacia la gestión diferenciada entre residuos aprovechables y no aprovechables, a fin de garantizar la recuperación de valor económico de materiales y minimizar la cantidad de residuos a manejar en el resto de componentes del servicio de aseo.	Separación y gestión diferencial de residuos ordinarios
Establecer mecanismos sostenibles que garanticen la adecuada prestación de los componentes de recolección y transporte, barrido y limpieza de vías y áreas públicas y servicios especiales, lavado de áreas públicas, corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, así como el aprovechamiento en el Distrito de Santa Marta de acuerdo a lo estipulados en el decreto 2981 del 2013 y con garantías de continuidad, cobertura adecuada y calidad en su ejecución.	Servicio continuo y de calidad en todos sus componentes
Propiciar una adecuada gestión de los residuos de acuerdo a su tipología y naturaleza, composición, estado y cantidad generada; de manera que se involucren y se	Gestión diferenciada para residuos especiales

OBJETIVO	ESTRATEGIA
cumplan los criterios de manejo adecuado para residuos especiales, peligrosos, hospitalarios, vegetales, lodos, animales muertos, escombros.	
Implementar acciones para la recuperación, tratamiento, aprovechamiento y comercialización de los residuos sólidos, con criterio de economías de escala, libre y sana competencia y fortalecimiento de los grupos de recicladores.	Recuperación del valor económico
Garantizara el cuidado del medio ambiente en todos los componentes de prestación del servicio de aseo, en especial en lo referente a la disposición final	Gestión ambiental en del servicio de Aseo
Propiciar el fortalecimiento de la Empresa de Servicio Público de Aseo de Santa Marta fin de garantizar su sostenibilidad y competitividad.	Fortalecimiento Institucional
Plantear estrategias de seguimiento y control con las cuales se evalué la ejecución del PGIRS y de esta forma se identifiquen problemas en el alcance y logro de las metas para su reajuste en forma oportuna como mecanismos que garanticen su cumplimiento.	Seguimiento, monitoreo y control del PGIRS.

Fuente: ESSMAR (2015)

Frente a los impactos que el esquema actual de manejo de residuos sólidos en la Cuenca tiene sobre el recurso hídrico se espera que, de cumplirse las metas planteadas por la Empresa, logre reducirse la contaminación potencial de los cuerpos de agua evidenciada en la disposición directa de residuos en los cauces, o por la acción indirecta de la lluvia al lixiviar sustancias contaminantes desde los lugares de disposición a cielo abierto.

9.6. Índice De Calidad Del Agua -ICA-

9.6.1. Metodología de cálculo

El índice de calidad físico-química del agua (ICA) es un indicativo de las condiciones de calidad física, química y microbiológica de las corrientes y cuerpos de agua. El indicador permite identificar problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y microbiológicas (IDEAM, 2013)

El índice de calidad del agua es el valor numérico que califica, en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de siete variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t.

El índice de calidad del agua es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de varias variables:

$$ICA=\sum_{i=1}^{n}(w_i \cdot I_i)$$

Donde, I_i: valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación de conversión correspondiente

w_i: ponderación de cada variable obtenida a partir de la Tabla 9.18.

Tabla 9.18. Variables involucradas en el cálculo del ICA

ICA (7 variables - Incluye coliformes fecales)		
Variable	**Expresada como**	**Peso de importancia**
Oxígeno disuelto, OD	% saturación	0.16
Sólidos en suspensión	mg/l	0.14
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l	0.14
Conductividad eléctrica	µS/cm	0.14
Relación N total/P total	(mg/l)/(mg/l)	0.14
pH	Unidades de pH	0.14
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0.14

Fuente: IDEAM (2013)

Una vez obtenido el valor del índice, se califica de acuerdo con las categorías de la Tabla 9.19.

Tabla 9.19. Categorías de descripción del ICA

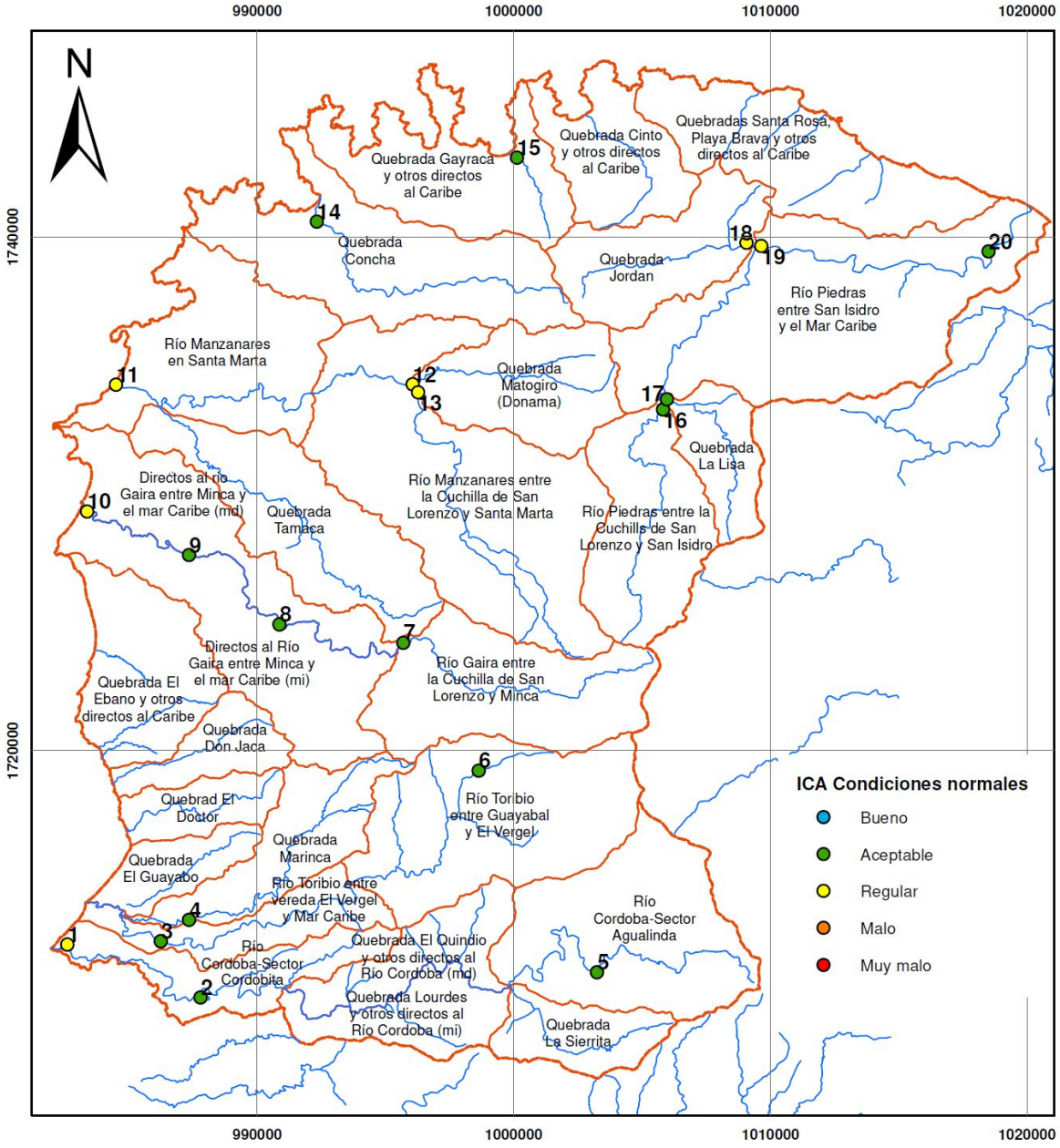
Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM (2013)

9.6.2. Resultados de evaluación del ICA

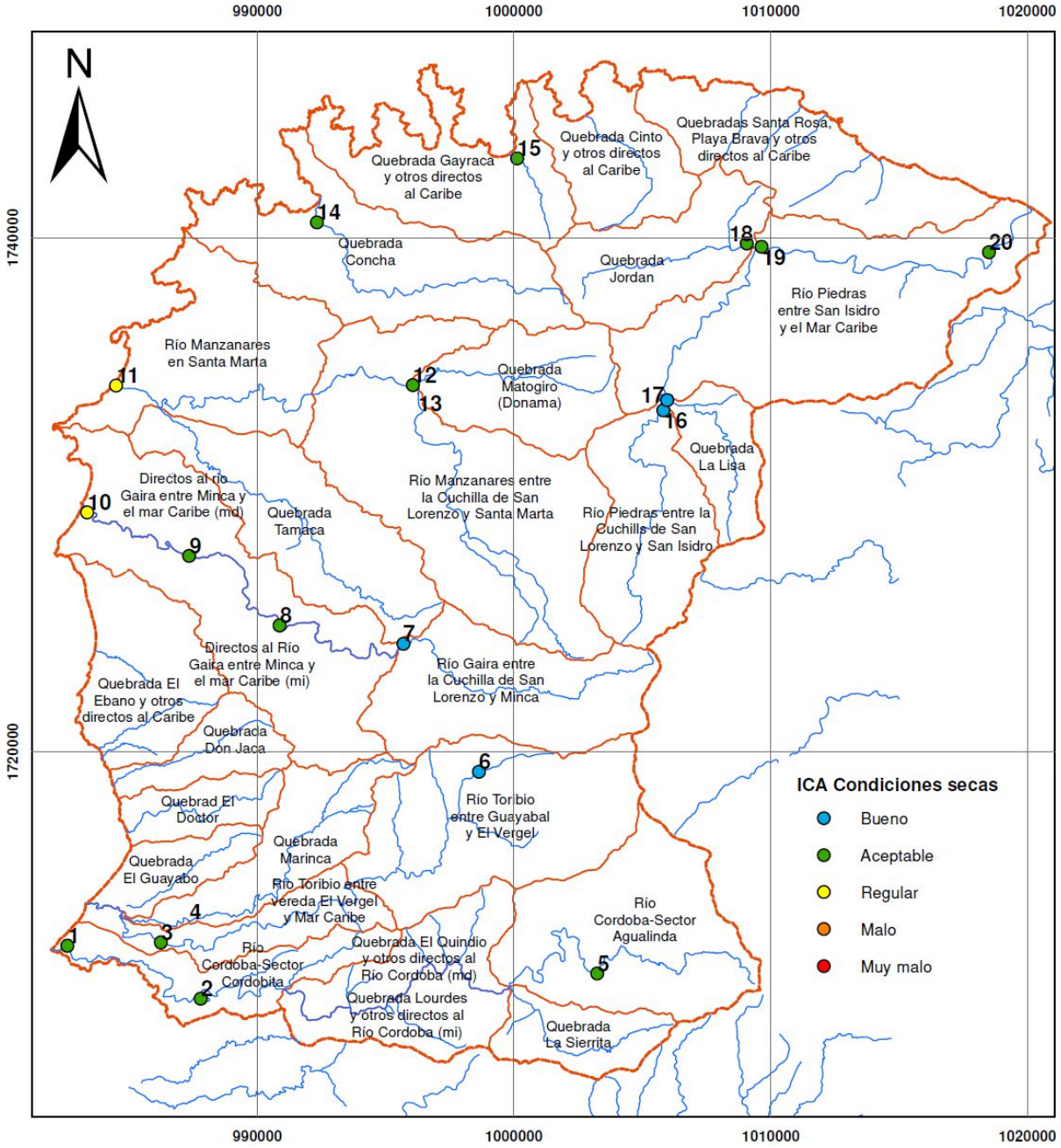
La aplicación de la metodología descrita determinó como resultado de la evaluación del Índice de calidad del agua para la Cuenca los valores que se muestran en la Figura 9.22 y la Figura 9.23.

Figura 9.22. Resultados de Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones normales



ID	COORD_X	COORD_Y	NOMBRE	ICA (Cond. Normal)	
1	982608,14	1712447,69	Desembocadura Rio Cordoba	0,60	Regular
2	987797,88	1710386,67	Rio Cordoba	0,82	Aceptable
3	986250,66	1712568,86	Rio Toribio	0,76	Aceptable
4	987343,71	1713398,03	Quebrada Marinca	0,77	Aceptable
5	1003248,82	1711367,80	Rio Cordoba	0,78	Aceptable
6	998635,23	1719202,91	Quebrada Malabrigo	0,88	Aceptable
7	995692,19	1724180,87	Rio Gaira	0,79	Aceptable
8	990867,88	1724888,58	Rio Gaira	0,79	Aceptable
9	987349,25	1727624,45	Rio Gaira	0,78	Aceptable
10	983375,63	1729316,22	Desembocadura Rio Gaira	0,70	Aceptable
11	984500,51	1734247,32	Desembocadura Rio Manzanares	0,57	Regular
12	996057,53	1734259,18	Quebrada Matogiro o Donama	0,54	Regular
13	996269,83	1733951,89	Rio Manzanares	0,66	Regular
14	992328,05	1740589,59	Quebrada Concha	0,79	Aceptable
15	1000122,16	1743077,55	Quebrada Gayraca	0,82	Aceptable
16	1005825,04	1733276,21	Rio Piedras	0,89	Aceptable
17	1005976,64	1733675,69	Quebrada La Lisa	0,86	Aceptable
18	1009068,97	1739760,33	Quebrada Jordan	0,56	Regular
19	1009645,25	1739637,59	Rio Piedras	0,62	Regular
20	1018501,24	1739426,40	Rio Piedras	0,80	Aceptable

Figura 9.23. Resultados del Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones secas



ID	COORD_X	COORD_Y	NOMBRE	ICA (Cond. Seca)	
1	982608,14	1712447,69	Desembocadura Rio Cordoba	0,76	Aceptable
2	987797,88	1710386,67	Rio Cordoba	0,89	Aceptable
3	986250,66	1712568,86	Rio Toribio	0,91	Buena
5	1003248,82	1711367,80	Rio Cordoba	0,85	Aceptable
6	998635,23	1719202,91	Quebrada Malabrigo	1,00	Buena
7	995692,19	1724180,87	Rio Gaira	0,99	Buena
8	990867,88	1724888,58	Rio Gaira	0,86	Aceptable
9	987349,25	1727624,45	Rio Gaira	0,77	Aceptable
10	983375,63	1729316,22	Desembocadura Rio Gaira	0,59	Regular
11	984500,51	1734247,32	Desembocadura Rio Manzanares	0,67	Regular
12	996057,53	1734259,18	Quebrada Matogiro o Donama	0,74	Aceptable
14	992328,05	1740589,59	Quebrada Concha	0,85	Aceptable
15	1000122,16	1743077,55	Quebrada Gayraca	0,86	Aceptable
16	1005825,04	1733276,21	Rio Piedras	0,94	Buena
17	1005976,64	1733675,69	Quebrada La Lisa	0,93	Buena
18	1009068,97	1739760,33	Quebrada Jordan	0,76	Aceptable
19	1009645,25	1739637,59	Rio Piedras	0,90	Buena
20	1018501,24	1739426,40	Rio Piedras	0,90	Buena

Del cálculo del ICA para la Cuenca, tanto en condiciones secas como normales, se podría inferir que el recurso hídrico se encuentra en condiciones muy buenas. Durante la época seca, son evidentes los aportes de contaminación que se concentran en el área de influencia del casco urbano de Santa Marta. Hay un área importante con calidad buena, especialmente en zonas altas de la Cuenca y el resto se encuentra con calidad aceptable; no obstante, los bajos niveles de flujo hacen que no haya una adecuada disponibilidad de recurso hídrico.

Ya en condiciones normales, se ve reflejada la realidad de la Cuenca. El recurso hídrico muestra una calidad aceptable en su mayor extensión, y una franja significativa en condiciones regulares que se extiende incluso al área del Parque Tayrona. Esto se relaciona con el lavado de los contaminantes retenidos en los suelos de la parte alta y media, que se van acumulando paulatinamente en la medida que el cauce se aproxima a su desembocadura en el mar.

9.6.3. Índice de Calidad de las Aguas Marinas y Costeras – ICAM

El INVEMAR, como entidad del SINA encargada del monitoreo de las aguas marinas y sus ecosistemas asociados, implementó en su Informe de *"Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico Colombianos"* a partir del año 2016 la evaluación del Índice de Calidad de las Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna -$ICAM_{PFF}$, el cual permite evaluar el estado de las condiciones naturales y el impacto de las actividades humanas sobre el recurso en una escala de cinco categorías de calidad, definidas entre 0 y 100, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9.20. Escala de valoración del ICAM

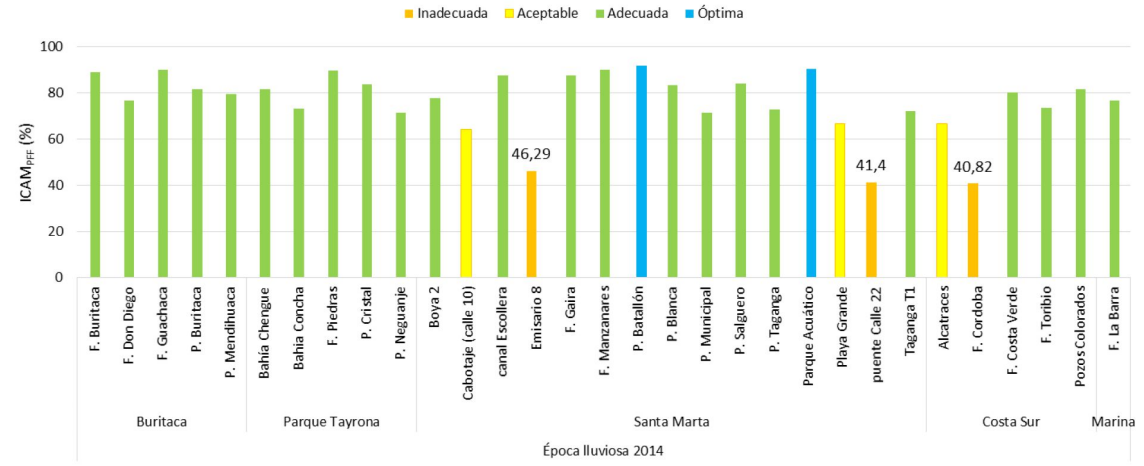
Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	Rojo	25-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

Fuente: INVEMAR (2016)

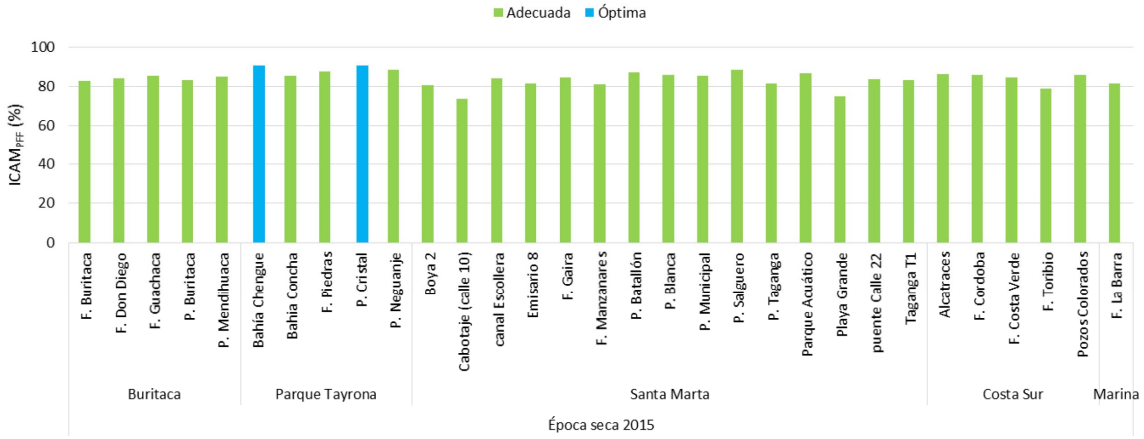
Este índice permite resumir la información de ocho variables (oxígeno disuelto, DBO_5, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales, hidrocarburos aromáticos totales, y coliformes termotolerantes -CTE-), integradas con ponderaciones en una ecuación de promedio geométrico ponderado (INVEMAR, 2016)

Acorde con la información de muestreos de la REDCAM entre 2014 y 2015, la calidad del agua evaluada con el $ICAM_{PFF}$ fluctuó entre una condición *Inadecuada* y *Óptima*, con mejores condiciones en la época seca de 2015 comparada con la época lluviosa 2014. En la época lluviosa 2014 las estaciones muelle Cabotaje (Calle 10), Playa Grande y Alcatraces -véase la Figura 9.2 y la Tabla 9.2 del presente documento- tuvieron calidad *Aceptable*, y Emisario 8 una condición *Inadecuada* atribuida a la concentración de Coliformes termotolerantes, que a pesar de no ser una playa, indica que las condiciones son poco favorables para la preservación de flora y fauna marinas; la estación Puente Calle 22 -incidencia de CTE- y Frente a Río Córdoba -incidencia de nitratos-, debido a la influencia de vertimientos de aguas residuales y de áreas agrícolas, presentaron también condiciones *inadecuadas*. En la época seca 2015, Bahía Chengue y Playa Cristal presentaron una óptima calidad y el restante de estaciones calidad *Adecuada*, mejorando las condiciones en comparación con el año 2014. A continuación, se muestran los resultados de la evaluación del $ICAM_{PFF}$ para las épocas mencionadas, en la totalidad de las estaciones activas para monitoreo del INVEMAR.

Figura 9.24. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento del Magdalena evaluadas con el $ICAM_{PFF}$ en las épocas (a) lluviosa 2014 y (b) seca 2015



(a)



(b)

Fuente: INVEMAR (2016)

Vale la pena mencionar dos conclusiones obtenidas de la evaluación realizada por INVEMAR: (i) se observa el mismo patrón detectado en la evaluación del ICA para las aguas continentales, esto es, las condiciones bajo época de lluvia tienden a desmejorarse por el arrastre o lavado de la contaminación que queda retenida en el suelo y que está asociado a las deficiencias en materia de saneamiento básico y al uso del suelo agrícola en la Cuenca; y (ii) a pesar de la fuerte dinámica socioeconómica que tiene la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, la mayor parte de los impactos que ocasiona la desembocadura de sus cauces principales en el mar son asimilables por el lecho marino, con excepción de las descargas del alcantarillado distrital, vía emisario submarino, para las cuales se precisa implementar un sistema de tratamiento que permita reducir la carga contaminante, y en particular la presencia de enteropatógenos que pongan en riesgo la estabilidad del ecosistema marino circundante.

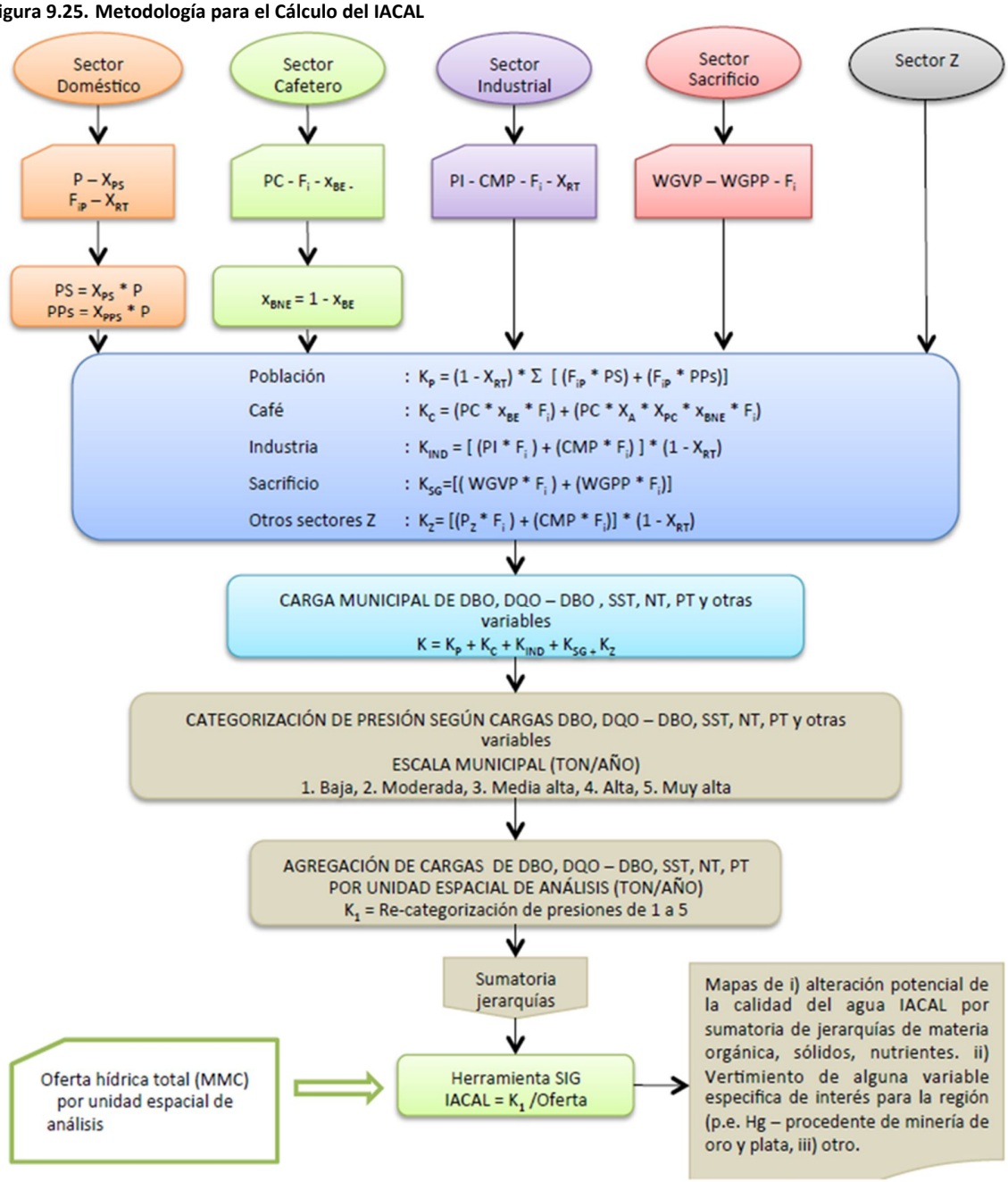
9.7. Índice De Alteración Potencial De La Calidad Del Agua -IACAL-

9.7.1. Metodología de Cálculo

La afectación de la calidad se puede expresar como una amenaza al considerar que, desde un punto de vista antropocéntrico, el sistema hídrico es más vulnerable a la afectación de la calidad en la medida de la disponibilidad natural y/o regulada de una cantidad suficiente para abastecer los usos de la población asentada en sus alrededores, la cual varía dinámica y paralelamente con la variabilidad climática. Así, se considera que la disponibilidad del agua se reduce en época seca y su calidad se ve afectada, tanto en época seca como en época lluviosa.

Para la generación del indicador de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL) como referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país con base en variables representativas. Este indicador, además de las estimaciones de actividades para DBO, incluye las variables de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT). La metodología para el cálculo del IACAL se resume en la Figura 9.25., para la cual se tomaron las presiones por carga contaminante determinadas en la sección correspondiente de este capítulo.

Figura 9.25. Metodología para el Cálculo del IACAL



Fuente: IDEAM (2014)

Para la categorización de la presión de cada una de las variables de calidad, se emplearon los rangos definidos por el IDEAM (2011) en su ficha metodológica para la elaboración del indicador, los cuales se resumen a continuación.

Tabla 9.21. Rangos para la clasificación de presión de carga contaminante

Rangos $iacal_{DBO-jt-añomed}$ $iacal_{DBO-jt-año\,sec}$	**Categoría de clasificación** $catiacal_{DBO}$	**Calificación de la amenaza**
$iacal_{DBO} < 0{,}14$	1	Baja
$0{,}14 \le iacal_{DBO} < 0{,}40$	2	Moderada
$0{,}40 \le iacal_{DBO} < 1{,}21$	3	Media-Alta
$1{,}21 \le iacal_{DBO} < 4{,}86$	4	Alta
$iacal_{DBO} \ge 4{,}86$	5	Muy Alta

Rangos $iacal_{DQO-DBO-jt-añomed}$ $iacal_{DQO-DBO-jt-año\,sec}$	**Categoría de clasificación** $catiacal_{DQO-DBO}$	**Calificación de la amenaza**
$iacal_{DQO-DBO} < 0{,}14$	1	Baja
$0{,}14 \le iacal_{DQO-DBO} < 0{,}36$	2	Moderada
$0{,}36 \le iacal_{DQO-DBO} < 1{,}17$	3	Media-Alta
$1{,}17 \le iacal_{DQO-DBO} < 6{,}78$	4	Alta
$iacal_{DQO-DBO} \ge 6{,}78$	5	Muy Alta

Rangos $iacal_{SST-jt-añomed}$ $iacal_{SST-jt-año\,sec}$	**Categoría de clasificación** $catiacal_{SST}$	**Calificación de la amenaza**
$iacal_{SST} < 0{,}4$	1	Baja
$0{,}4 \le iacal_{SST} < 0{,}8$	2	Moderada
$0{,}8 \le iacal_{SST} < 1{,}9$	3	Media-Alta
$1{,}9 \le iacal_{SST} < 7{,}7$	4	Alta
$iacal_{SST} \ge 7{,}7$	5	Muy Alta

Rangos $iacal_{NT-jt-añomed}$ $iacal_{NT-jt-año\,sec}$	**Categoría de clasificación** $catiacal_{NT}$	**Calificación de la amenaza**
$iacal_{NT} < 0{,}03$	1	Baja
$0{,}03 \leq iacal_{NT} < 0{,}06$	2	Moderada
$0{,}06 \leq iacal_{NT} < 0{,}14$	3	Media-Alta
$0{,}14 \leq iacal_{NT} < 0{,}56$	4	Alta
$iacal_{NT} \geq 0{,}56$	5	Muy Alta

Rangos $iacal_{PT-jt-añomed}$ $iacal_{PT-jt-año\,sec}$	**Categoría de clasificación** $catiacal_{PT}$	**Calificación de la amenaza**
$iacal_{PT} < 0{,}005$	1	Baja
$0{,}005 \leq iacal_{PT} < 0{,}014$	2	Moderada
$0{,}014 \leq iacal_{PT} < 0{,}036$	3	Media-Alta
$0{,}036 \leq iacal_{PT} < 0{,}135$	4	Alta
$iacal_{PT} \geq 0{,}135$	5	Muy Alta

Fuente: IDEAM (2011)

9.7.2. Resultados de IACAL para la Cuenca

La evaluación de la Alteración Potencial de la Calidad del Agua para la Cuenca dio como resultado, como se muestra en las Figura 9.26 y Figura 9.27, un panorama bastante crítico para la Cuenca. La única unidad hidrográfica que presenta niveles bajos de IACAL se ubica en el Parque Tayrona, en el área de influencia de la Quebrada Gayraca. El resto de la Cuenca muestra una alteración potencial de la calidad del agua entre alta y muy alta, lo cual evidencia los problemas que relató la comunidad en términos de la ausencia o ineficacia de los sistemas para el manejo de las aguas residuales domésticas, y la necesidad de aumentar los esfuerzos en la implementación de unidades de tratamiento para las actividades económicas actuales y futuras de la Cuenca.

Figura 9.26. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones normales

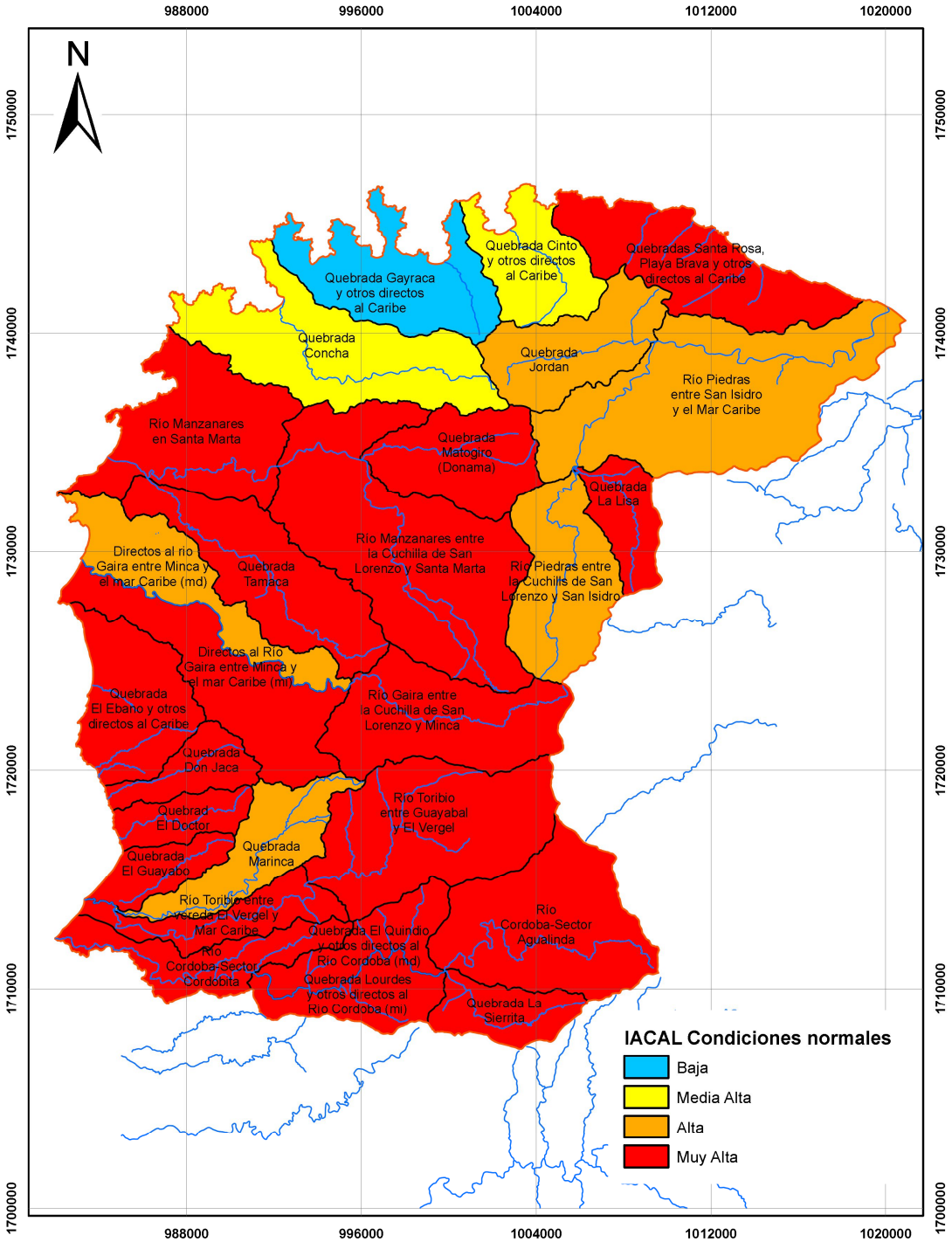
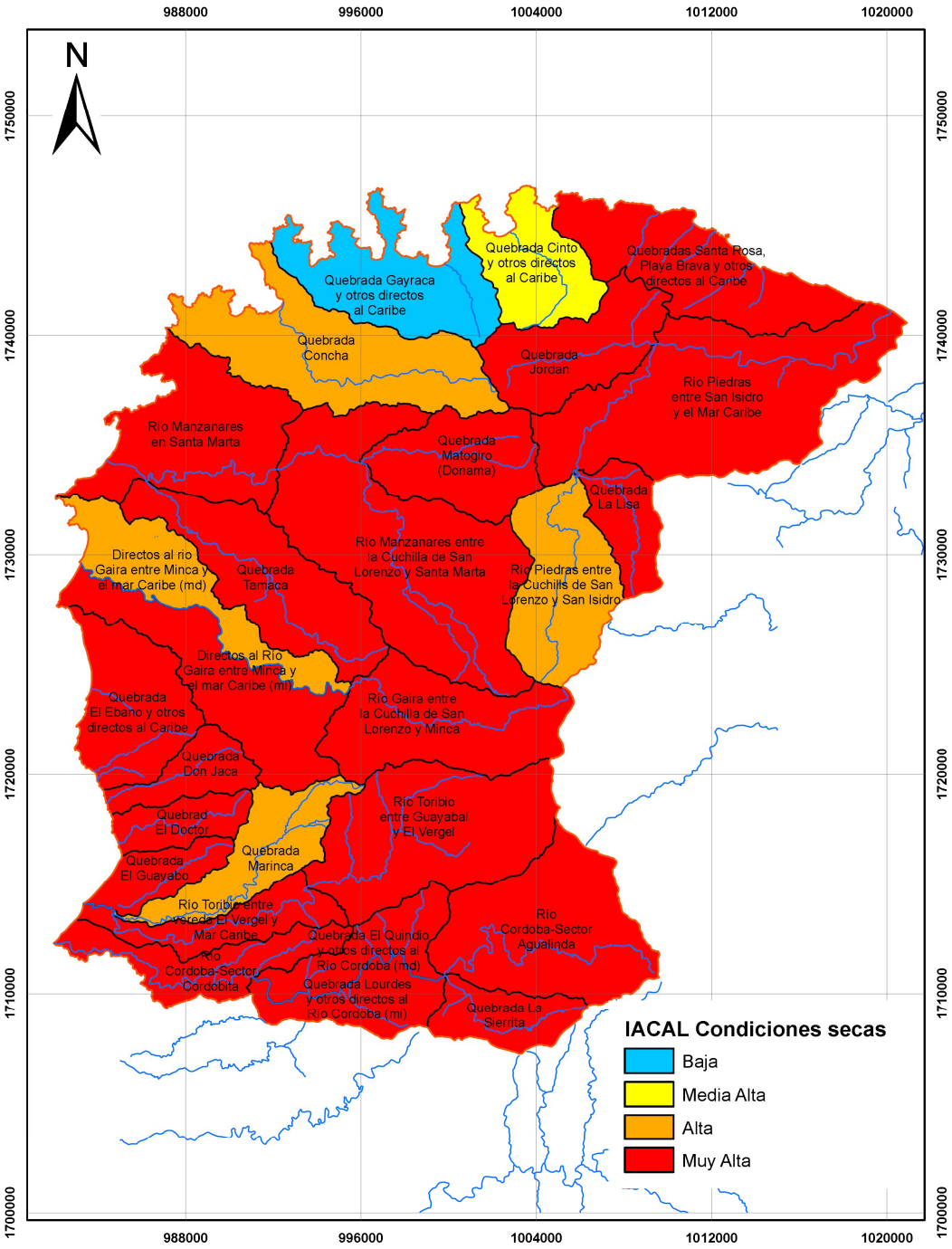


Figura 9.27. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones secas



9.8. Anexos

Como soporte de los análisis presentados en este capítulo, se incluyen en formato digital anexo los siguientes archivos.

9.8.1. Anexo 01. Datos INVEMAR

En esta carpeta se incluye un archivo comprimido con la información de calidad de agua para las estaciones de monitoreo de la REDCAM de INVEMAR en el área de influencia de la Cuenca, así como un archivo de Microsoft Excel con el consolidado de las variables de calidad en las estaciones ubicadas sobre aguas continentales y el cálculo de su correspondiente Índice de Calidad del Agua (ICA)

9.8.2. Anexo 02. Ruta Veredal

En esta carpeta se recogen los formatos empleados durante la Ruta veredal del agua para la recolección de información con las comunidades acerca de las condiciones de saneamiento básico, la existencia o no de sistemas para el manejo de las aguas residuales y los residuos sólidos, y las principales problemáticas en relación con el agua principalmente, con las siguientes características.

Tabla 9.22. Formatos anexos de Ruta Veredal

Nombre	Descripción
Ruta_Agua_PMODC	Corresponde a una pequeña encuesta orientada a indagar los usos e impactos al recurso hídrico en los lugares de monitoreo de la calidad del agua superficial; diligenciada por los actores que acompañaron la toma de muestras
San_Bas_PMODC	Formato de campo orientado a la descripción por parte de la comunidad de las condiciones actuales de saneamiento básico en su vereda
Inf_San_Bas_PMODC	Descripción detallada de la infraestructura existente para la dotación de agua para consumo y/o manejo de aguas residuales en el área rural. Diligenciada sólo por personal empleado o a cargo de la operación de la infraestructura identificada

9.8.3. Anexo 03. Laboratorios

En este grupo de archivos se incluyen los resultados de laboratorio emitidos por el laboratorio acreditado por el IDEAM, para las muestras de agua recolectadas en los puntos de monitoreo descritos en la sección 2 del presente capítulo. Los resultados se encentran organizados en dos carpetas, según correspondan al período hidroclimatológico normal (Cond_Normales) o seco (Cond_Secas)

9.8.4. Anexo 04. Cálculos

Esta carpeta incluye dos archivos de Microsoft Excel: el primero de ellos (IACAL_PMODC) contiene el cálculo de las cargas contaminantes por actividad y nivel subsiguiente para la Cuenca, así como la determinación del Índice de alteración potencial de la calidad del agua y la calificación de conflictos por uso del agua; el segundo (ICA_PMODC) corresponde a la evaluación de los resultados de

monitoreo de la calidad del agua para la determinación del Índice de calidad del agua, tanto para condiciones hidrometeorológicas normales y secas.

9.8.5. Anexo 04. ICA

En este anexo se encuentran en formato digital los mapas con la representación cartográfica del Índice de calidad del agua para la cuenca, para el período hidroclimatológico normal y seco.

9.8.6. Anexo 05. IACAL

En este anexo se encuentran en formato digital los mapas con la representación cartográfica del Índice de alteración potencial de la calidad del agua para la cuenca, para el período hidroclimatológico normal y seco.

10. GEOMORFOLOGÍA

La interacción de los componentes del medio caracteriza las particularidades de cada territorio, los limitantes en la oferta ambiental por alteraciones en el Sistema Terrestre, expresan desequilibrios en las interacciones que afectan de una u otra forma el desarrollo de las actividades socio-económicas.

En temas de ordenamiento del territorio, específicamente en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, se considera el análisis de los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos, bióticos, uso del suelo y riesgos naturales con el fin de identificar los desequilibrios (problemas) y potencialidades de la cuenca de interés.

A continuación se describen las características geomorfológicas de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe; explicando el marco geológico-geomorfológico regional, la metodología aplicada, las unidades identificadas asociándolas a los procesos morfodinámicos, finalmente se presenta la tabla síntesis (Tabla 10.7), la cartografía correspondiente se presenta como anexo.

10.1. Marco Geológico – Geomorfológico Regional.

La zona noroccidental de Colombia presenta una compleja configuración tectónica debido a la interacción entre la Placa Continental Suramericana y la placas oceánicas Caribe y Nazca (Taboada et al., 2000; Audemard y Audemard, 2002; Trenkamp et al., 2002; Cortés y Angelier, 2005, citados por Idárraga *et al.*, 2011), teniendo una serie de bloques tectónicos discretos o microplacas (Audemard et al., 2005). Entre estas microplacas se encuentra el Bloque Maracaibo (Audemard et al., 2005, citado por Idárraga *et al.*, 2011), el cual está limitado en Colombia por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga de tipo sinestral y en Venezuela por la Falla Boconó de tipo dextral, separado del Bloque Bonaire al Norte por medio de la Falla de Oca-Ancón (Audemard et al., 2005). Estos bloques están siendo desplazados hacia el Norte debido al choque y posterior sutura del Bloque Panamá contra el borde pacífico del Norte de Suramérica (Audemard et al., 2005 citado por Idárraga *et al.*, 2011).

10.1.1. Secuencia estratigráfica y unidades geológicas

En la cuenca se tienen formaciones geológicas desde el Proterozoico hasta el Holoceno, a continuación se menciona la composición litológica y de sedimentos, para ampliar en ello, se puede consultar el numeral 3 del presente volumen donde se explican las características geológicas y estructurales de la Cuenca.

10.1.1.1. *Formaciones del Proterozoico*

- Granulita de Los Mangos: rocas metamórficas compuestas por granulitas máficas a ultramáficas y granulitos graníticos, con capas delgadas de mármol diópsido o rocas calcosilicatadas.

10.1.1.2. *Formaciones del Pérmico*

- Neis de Buritaca: Roca metamórfica compuesta por los neises de horblenda – plagioclasa, anfibolitas y migmatitas con cuarzo, biotita y epidota baja en hierro, neises concordantes de cuarzodiorita o granodiorita biotíticas con feldespato potásico y biotita.

10.1.1.3. *Formaciones del Jurásico*

- Esquistos de San Lorenzo Inferior: Rocas metamórifcas conformadas por esquistos grafitosos, esquistos cuarzo micáceo y cuarcitas.

10.1.1.4. *Formaciones del Cretácico*

- Rocas ultramaficas intrusivas y metamórficas: rocas ígneas, configuradas por serpentinintas, talco tremolita, tremolita masiva posiblemente metamorfoseada, horblendas, piroxénos, periodotitos y rocas de talco serpentina o rocas de clorita talco-serpentina-tremolita, rocas intrusivas ultramáficas (con olivino) y mármoles ricos en magnesio o piroxenitas y serpentina.
- Esquistos de San Lorenzo Superior: rocas metamórficas compuestas por esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos; con cuarcitas micáceas.
- Mármoles de Ciénaga: rocas metamórficas compuestas por mármoles arenosos impuros, dolomitas y mármoles de diópsido.
- Esquistos de Gaira: rocas metamórficas configurada por esquistos anfibióticos, y micaesquistos (esquistos biotíticos y moscovita) con biotita y algunas capas de filita.
- Esquistos de Concha: rocas metamórficas compuestas por esquistos talcosos, filitas cloríticas y anfibolitas de actinolita.
- Filita de Taganga: roca metamórfica compuesta por filitas cloríticas y sericíticas con foliación pizarrosa, anfibolitas de grano fino y talco esquistos.

10.1.1.5. *Formaciones del Paleógeno (Eoceno)*

- Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca: rocas ígneas intrusivas de composición tonalitica y de rocas híbridas, configuradas por cuarzodiorita gris de biotita y horblenda masiva, moscovita y cuarzo monzonita, xenolitos de esquistos y rocas ultramáficas.

10.1.1.6. *Formaciones del Holoceno*

- Depósitos coluviales: gravas subredondeados y bloques de hasta de más de 1m de diámetro de diámetro, derivados de rocas ígneas y metamórficas, con escasa en matriz arenosa
- Depósitos aluviales: gravas y fragmentos de rocas metamórficas o ígneas y arenas gruesas.
- Depósitos de playa: arenas de playa de grano fino, compuestas por cuarzo y minerales pesados

10.1.2. Geología estructural regional (pliegues, fallas y lineamientos)

En el numeral 3 del presente volumen se explican ampliamente las características estructurales de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, motivo por el cual se mencionarán las fallas presentes en la cuenca:

- Fallas inversas: Taganga, Nenguanje, Florín, Rodadero.
- Fallas de rumbo: Jordán, El Carmén, Playa Brava, Bureche, Buritaca, El Limón, Tres Puentes, El Guaco, Cincinati, San Lorenzo, Nueva Granada, del Oriente, Santa Marta – Bucaramanga.
- Fallas normales: Chengue, Guayabal, Palangana, Río Piedras, Tolima, Río Córdoba, Orihueca, La Aguja.

10.1.3. Evolución geológica regional

La evolución geológica de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es muy compleja, se compone de bloques formados en lugares y ambientes diferentes durante el Proterozoico (2500-542± millones de años), que para la SNSM fueron influenciados por la colisión entre las placas Norteamericana (Laurentia) y Suramericana, originando el cinturón granulítico; con la separación de estas placas, se da la apertura del Atlántico y la fragmentación del cinturón granulítico (Reyes, *et al.,* 2004), dejando aislado el bloque que configura la Formación Granulita de Los Mangos, el cual se fue desplazando durante el Cenozoico (65-2 millones de años) hasta unirse con los otros bloques de la SNSM (que también se estaban desplazado), configurados por los Esquistos de San Lorenzo, Rocas ultramáficas intrusivas y metamórficas, Mármoles de Ciénaga, Esquistos de Gaira y Concha y Filita de Taganga. El desplazamiento fue la respuesta a la colisión oblicua de las placas Caribe y suramericana ocurrida durante el Paleoceno.

Durante el Eoceno se presentó un evento magmático que configuró el Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca, durante el Oligoceno se registraron pulsos de acumulación tectónica hacia el NW que causaron el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta, posiblemente por la activación del Sistema de Fallas de Bucaramanga – Santa Marta como fallas normales (Colmenares, *et al.,* 2007). El levantamiento continuó en el Mioceno, pero fue más intenso durante el Plioceno, logrando las alturas actuales aproximadamente.

Como consecuencia de las alturas logradas, la SNSM se vio afectada durante el Holoceno por los cambios climáticos (glaciaciones y deglaciaciones) y el incremento del potencial hidrogravitatorio, por lo tanto la disección profundizó las laderas, formando cañones y valles en “V”, generando sedimentos aluvio-torrenciales a manera de abanicos aluviales en la parte baja de la SNSM, que al Occidente y NorOccidente están en contacto con el mar Caribe, al Oriente y SurOriente con el Valle del río Cesar-Ranchería y al SurOccidente con la depresión deltaica del río Magdalena.

Adicionalmente, los cambios climáticos y el consecuente ascenso del nivel del mar (transgresión marina) en períodos interglaciales y descenso del nivel mar (períodos glaciales) han retocado los relieves, formado terrazas fluvio-marinas durante el Holoceno. Actualmente los sedimentos aluviales presentan características torrenciales.

10.1.4. Información geomorfológica a escala regional

A escala regional, se revisaron los siguientes documentos:

- Estudio geomorfológico del sector comprendido entre Bocatocino, Atlántico y Ciánaga, Magdalena. Memoria de los mapas geomorfológicos a escala 1:25.000 de las planchas 17-

III-A, 17-III-C, 17-I-B, 17-I-D, 17-III-B, 17-III-D, 17-II-A, 17-II-C, 17-IV-A Y 17-IV-C, 17_II_B, 17_II_D; 18_I_A, 18_I_C, 18_I_D, 18_II_A, 18_II_C,18_II_B y 18_II_D (Carvajal, *et. al*., 2010)

En este estudio se mencionan unidades geomorfológicas de origen estructural denudativo como ladera de colina denudada con pendiente inclinada, colina remanente, unidades geomorfológicas de origen fluvial: abanico aluvial activo, llanura de inundación, zona inundable, cauce principal y unidades geomorfológicas de origen marino-costero: llanura costera, pantano de manglar, plataforma de abrasión, playón, playas. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC. Como proceso morfodinámico solo se menciona inundaciones. La escala de análisis es regional.

- Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Gaira (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena, 2013).

Se consideró pertinente mencionarlo ya que corresponde a lo publicado en un estudio anterior para un sector de la cuenca de interés. En este documento se definieron tres unidades de paisajes (montaña, piedemonte y planicies) y seis tipos de relieve: filas y vigas, lomas, lomas y colinas, vallecitos, abanicos terraza y planos de marea. La metodología seguida corresponde a la planteada por Alfred Zinck (1987) aplicada en levantamientos de suelos, no tuvo en cuenta la metodología planteada por el SGC (Carvajal, 2011). El proceso morfodinámico identificado se asocia principalmente a escurrimiento difuso. La escala de análisis es regional.

- Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Manzanares (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena, 2013).

Se consideró pertinente mencionarlo ya que corresponde a lo publicado en un estudio anterior para un sector de la cuenca de interés. En este documento se indican tres unidades de paisajes (montaña, piedemonte y planicies) y seis tipos de relieve: filas y vigas, lomas, lomas y colinas, vallecitos, abanicos terraza y planos de marea; la metodología seguida corresponde a la planteada por Alfred Zinck (1987) aplicada en levantamientos de suelos, no tuvo en cuenta la metodología planteada por el SGC (Carvajal, 2011). Como proceso morfodinámico se menciona el escurrimiento difuso. La escala de análisis es de nivel regional.

- Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Piedras (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena, 2013).

Se consideró pertinente mencionarlo ya que corresponde a lo publicado en un estudio anterior para un sector de la cuenca de interés. En este documento se precisan tres unidades de paisajes (montaña, piedemonte y planicies) y seis tipos de relieve: filas y vigas, lomas, lomas y colinas, vallecitos, abanicos terraza y planos de marea. La metodología seguida corresponde a la planteada por Alfred Zinck (1987) aplicada en levantamientos de suelos, no tuvo en cuenta la metodología planteada por el SGC (Carvajal, 2011). El proceso morfodinámico identificado corresponde a escurrimiento difuso. La escala de análisis es de nivel regional.

- Mapa geomorfológico de la cuenca del río Manzanares, escala 1:100.000 (Guzmán, et al., 2008).

En este documento se mencionan unidades geomorfológicas de origen estructural denudativo terraza fluvial: ladera estructural de sierra homoclinal denudada, ladera de contrapendiente de sierra homoclinal denudada; unidades geomorfológicas de origen denudativo: ladera de montículos de pendiente inclinada fuertemente disectada, ladera de colina de pendiente inclinada moderadamente disectada, ladera de colina de pendiente abrupta moderadamente disectada, ladera de colina de pendiente abrupta fuertemente disectada, ladera de colina de pendiente escarpada moderadamente disectada, ladera de colina de pendiente escarpada fuertemente disectada, cerro remanente o relicto, cono o lóbulo coluvial; unidades geomorfológicas de origen fluvial: abanico aluvial, terraza fluvial antigua, terraza fluvial reciente no diferenciada, cursos actuales del río Manzanares y la quebrada Tamacá, terraza fluvial reciente de la quebrada Tamacá, terraza fluvial reciente del río Manzanares; unidad geomorfológica de origen marino-costero: playa y; unidad geomorfológica de origen antrópico: puerto marítimo. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC. No se indican procesos morfodinámicos. La escala de análisis es de nivel regional.

- Geomorfología de la zona costera adyacente al piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre los sectores de Pozos Colorados y el río Córdoba, caribe colombiano (Idárraga, et al., 2011).

En este estudio se identifican unidades geomorfológicas de origen estructural-denudativo: montañas con pendientes fuertemente inclinadas, colinas altas con pendientes moderadas a fuertemente inclinadas, colinas bajas con pendientes suaves a moderadamente inclinadas; unidades geomorfológicas de origen fluvial: abanicos aluviales, terraza fluvial, llanura de inundación actual; unidades geomorfológicas de origen costero: llanura costera, llanura fluviolacustre, pantanos de manglar; unidades geomorfológicas de origen marino: plataforma de abrasión elevada y playas antiguas. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC, por medio de análisis fisiográfico. No se indican procesos morfodinámicos. La escala de análisis es de nivel regional.

- Sistemas morfogénicos del territorio colombiano (IDEAM, 2010).

En este documento se identifican tres unidades macro: depresiones tectónicas, montaña media y montaña baja, dentro de ellas se diferencian: valles coluvio-aluviales, piedemontes, escarpes en retroceso con pendiente cóncava y vertientes, cañones. Se aplicó la metodología del enfoque geosistémico. Sedimentación, inundación y aluvionamiento, flujo y reflujo marino, subsidencia, escurrimiento superficial difuso y concentrado y, acreción por sedimentación son los procesos morfodinámicos definidos para la cuenca. La escala de análisis es de nivel nacional.

- Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano, sector Bocas de Ceniza - Parque Tayrona (Martínez y Molina, 1992).

En este estudio se indican unidades geomorfológicas pertenecientes a la costa baja: barreras litorales, cuerpos de dunas, espigas, lagunas costeras, llanura costera, llanuras de manglar, planicies aluviales, plataformas y barras arrecifales, playas, salares y zonas de inundación, y unidades pertenecientes a la costa alta como colinas y montañas. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC. Como proceso morfodinámico solo se menciona las inundaciones. La escala de análisis es de nivel regional.

- Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano (Molina, et al., 1996)

En este estudio no se indica la distribución de los rasgos geomorfológicos, por lo tanto no se pueden identificar las geoformas presentes en la cuenca. No se precisa la metodología seguida. No se indican procesos morfodinámicos. La escala de análisis es de nivel regional.

- Diagnóstico de la erosión en la zona costera del caribe colombiano (Posada y Henao, 2008).

En este estudio se mencionan las siguientes unidades geomorfológicas: acantilados con flujos de escombros, cavernas, superficies de abrasión, playas, costas lodosas, sistemas deltaicos, costas urbanizadas. No se precisa la metodología seguida. No se indican procesos morfodinámicos. La escala de análisis es de nivel regional.

- Amenazas naturales asociadas al ascenso del nivel del mar en el caribe colombiano (Robertson, et al., 2003).

En este documento se indican las siguientes unidades geomorfológicas: cuchillas, colinas, terrazas fluvio-marinas bajas, terrazas fluvio-marinas altas, terraza marina calcárea, playa activa, playa inactiva, arrecife coralino, marismas activos bajos, marismas transicionales, ciénagas litorales, llanura aluvial, delta activo, delta inactivo bajo y delta inactivo alto. Se aplicó un enfoque morfodinámico. Los procesos morfodinámicos identificados corresponden a abrasión e inundaciones litorales. La escala de análisis es de nivel regional.

- Atlas geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano (SGC, 1996).

El documento no identifica las unidades geomorfológicas presentes en la cuenca debido a la ausencia de etiquetas en la cartografía. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC, por medio de análisis fisiográfico. Como procesos morfodinámicos se mencionan la erosión y acreción. La escala de análisis es de nivel regional.

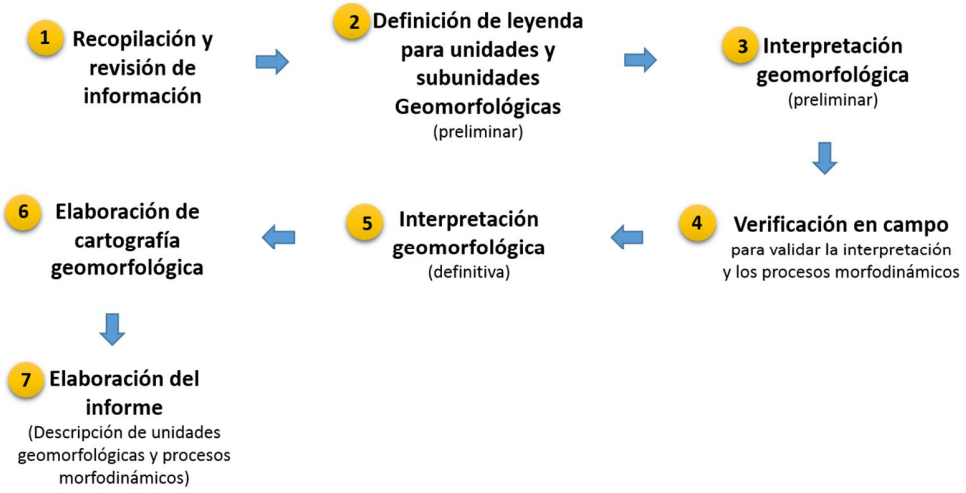
10.2. Metodología para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica.

Para el análisis geomorfológico se siguió la metodología planteada por el Servicio Geológico Colombiano -SGC- (Carvajal, 2011) con el fin de apoyar el análisis de las amenazas naturales en la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe. Por lo tanto se consideraron aspectos como geomorfoestructura, provincia geomorfológica y región geomorfológica para la identificación de las unidades y subunidades geomorfológicas, cuyo nivel de detalle corresponde a la escala 1:25.000 (Carvajal, 2011).

- **Geomorfoestructura**: corresponde a extensas áreas que se caracterizan por las estructuras geológicas, entre ellas se tienen: escudos, bloques de origen continental, grandes cuencas de sedimentación, valles en "rift". El nombre que se le asigna depende de su ubicación tanto de la gran unidad de relieve (macrorelieve) como del nombre geográfico de la región.
- **Provincia geomorfológica**: conjunto de regiones con geoformas similares en macrorelieves y génesis geológica, por lo tanto se tienen: cinturones montañosos, llanuras, peneplanicies, cordilleras y serranías.
- **Región geomorfológica**: conjunto de ambientes morfogenéticos cuyas condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas determinan y caracterizan las geoformas. Se tienen ambientes como morfoestructural, volcánico, denudacional, marino y costero, glaciar y periglaciar, eólico, kárstico y antropogénico.
- **Unidad geomorfológica**: geoforma genéticamente homogénea configurada en un ambiente morfogenético determinado.
- **Subunidad geomorfológica**: corresponde a la subdivisión de las unidades geomorfológicas por contrastes morfológicos o morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los materiales.

El proceso metodológico consideró la ejecución de siete etapas, las cuales incluían recopilación y revisión de información secundaria, definición preliminar de la leyenda para interpretación, interpretación con su validación y verificación en campo, ajustes respectivos, elaboración de la cartografía geomorfológica (subunidades y procesos morfodinámicos) y memoria técnica con la descripción y caracterización de unidades y subunidades geomorfológicas (ver Figura 10.1 y Tabla 10.7)

Figura 10.1. Fases metodológicas para la caracterización geomorfológica



La cartografía geomorfológica constituye un insumo fundamental para el análisis de amenazas naturales, para su desarrollo se soportó tanto para la interpretación como la elaboración de los mapas en Sistemas de Información Geográfica – SIG, a continuación se explica el procedimiento cartográfico.

10.2.1. Métodos de obtención de las salidas cartográficas

Para la obtención de las salidas cartográficas se realizó en primer lugar la búsqueda y recopilación de información que permitiera identificar las zonas susceptibles a inundaciones. Se recopilaron imágenes de satélite, cartografía básica a escala 1:25.000, modelo digital de elevación del terreno - DEM (30 m y 12,5 m), información temática de geomorfología y geología a escalas 1:500.000 y 1:100.000 respectivamente, con el fin de obtener el panorama general de la geomorfología de la Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Afluentes Directos al Caribe y la elaboración de la leyenda geomorfológica preliminar. Posteriormente se realizó el procesamiento digital de imágenes de satélite (combinación de bandas y realce), elaboración de mapas de sombras y pendientes a partir del DEM. Se continuó con la interpretación geomorfológica, diferenciando las geoformas por su origen y se identificaron los procesos morfodinámicos preliminares; insumos que se verificaron y complementaron con la información de campo. Finalmente se realizaron los ajustes y correcciones a las unidades geomorfológicas para concluir con su presentación final estandarizada (Figura 10.2) al igual que los procesos morfodinámicos (ver Anexos).

Figura 10.2. Procedimiento para la generación de cartografía geomorfológica



10.2.2. Insumos

Para la delimitación de las unidades geomorfológicas se tuvo en cuenta la información básica contenida en geodatabase del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la información temática de los mapas geológicos del Servicio Geológico y el Modelo Digital del Terreno con resolución de 30 m (NASA) y de 12,5 m descargado en https://vertex.daac.asf.alaska.edu/. El DEM de 12,5 m es el resultado de la integración de las siguientes imágenes PALSAR (Tabla 10.1):

La interpretación se realizó considerando el DEM, las imágenes de satélite RapidEye y el orto-fotomosaico suministrado por la Corporación. En el Tabla 10.2 se presenta el listado de los mapas e imágenes de satélite que se utilizaron para el análisis geomorfológico.

Tabla 10.1. Relación de imágenes PALSAR

Código	Fecha
ALPSRS052303400	17 de enero de 2014
AP_04990_FBS_F0200	01 de marzo de 2015
AP_21342_FBS_F0180	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0190	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0200	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0210	15 de febrero de 2015
AP_26462_FBS_F0180	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0190	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0200	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0210	18 de junio de 2015

Tabla 10.2. Información utilizada para el análisis geomorfológico

Material		Fuente
Cartografía básica 1:25.000	Geodatabase	IGAC
Mapas geológicos escala 1:100.000	Planchas 11, 12, 18 y 19	SGC
Imágenes de satélite RapidEye: 14775271_173606, 14772909_173606 y 13797912_168296	Tomadas: 16 de noviembre de 2013, 29 de octubre de 2013 y 27 de enero de 2013	CORPAMAG
Ortofotomosaico 1:25.000	Planchas 11, 12, 18 y 19	CORPAMAG

10.2.3. Descripción de atributos

Los atributos de las geoformas son aquellas características que permite diferenciar unas geoformas de otras. Se consideraron los siguientes atributos (Leiva, *et al*., 2012):

10.2.3.1. *Morfología*

Está relacionado con los aspectos de la geometría e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.

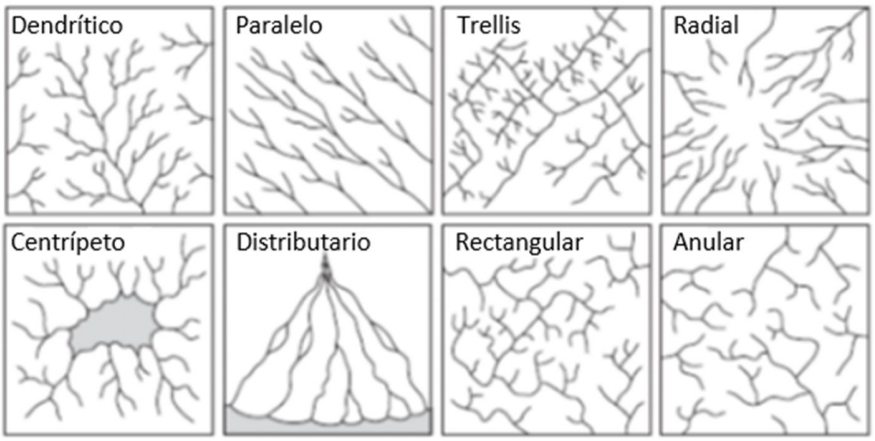
10.2.3.2. *Morfometría*

Se refiere a las características cuantitativas en términos absolutos de longitud, área, forma y pendiente. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales (Leiva, *et al*., 2012). Se describen considerando:

- Contraste de relieve o relieve relativo: corresponde a la diferencia de altitud de la geoforma entre la zona más alta y más baja, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Las categorías se indican en el Tabla 10.3.
- Inclinación de la ladera: Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal, influye en la susceptibilidad a los movimientos en masa. Los rangos se indican el Tabla 10.4.
- Longitud de la ladera: es un indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas; puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos. Los rangos se incidan en el Tabla 10.5.
- Forma de la ladera: Refleja la homogeneidad en la resistencia de los materiales, y la presencia o control de estructuras geológicas. También condiciona los tipos de movimientos en masa que pueden desarrollarse en una ladera. En el Tabla 10.6 se presentan las formas de la ladera.

- Patrón de drenaje: Es la distribución de todos los canales de drenajes superficiales en un área que esté ocupada o no por aguas permanentes. Los diferentes tipos de patrones de drenaje se presentan en la Figura 10.3.

Figura 10.3. Patrones de drenaje



Tomado de Huggett, 2007

- Forma de crestas y valles. Las divergencias entre las formas características que presenta el relieve se considera como un parámetro de agrupamiento establecido en la apariencia superficial de la geoforma. Las crestas pueden presentar formas agudas, redondeadas, convexa amplia, convexa plana, plana y plana disectada; los valles pueden ser en forma de artesa, en "V" y en "U".

10.2.3.3. *Morfogénesis*

Corresponde a la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al relieve. El origen del paisaje depende de los procesos endógenos y el retoque de los agentes exógenos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre (Leiva, *et. al.*, 2012).

Tabla 10.3. Rangos de relieve relativo

Rango	Descripción del relieve
< 50 m	Muy bajo
50 - 250 m	Bajo
250 - 500 m	Moderado
500 - 1000 m	Alto
1000 – 2500 m	Muy alto
> 2500 m	Extremadamente alto

Tabla 10.4. Rangos de inclinación de la ladera

Inclinación	Descripción
< 5°	Plana a suavemente inclinada
6 – 10°	Inclinada
11 – 15°	Muy inclinada
16 – 20°	Abrupta
20 – 30°	Muy abrupta
31 – 45°	Escarpada
> 45°	Muy escarpada

Tabla 10.5. Rangos de longitud de la ladera

Rango	Descripción
< 50 m	Muy corta
50 - 250 m	Corta
250 - 500 m	Moderadamente larga
500 - 1000 m	Larga
1000 – 2500 m	Muy larga
> 2500 m	Extremadamente larga

Tabla 10.6. Forma de la ladera

Clase	Material
Recta	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente
Cóncava	Material blando y disposición estructural no diferenciado
Convexa	Materiales blandos y disposición casi horizontal
Irregular o escalonada	Materiales con resistencia variada. Disposición estructural en contra de la pendiente
Compleja	Mezcla de materiales. Disposición no definida

10.2.3.4. *Morfoestructura y Litología*

Indica el modelado del relieve, según su composición, disposición y la dinámica interna de la tierra. La morfoestructura influye en el modelado de la superficie terrestre de dos maneras, la primera, de manera pasiva cuando las geoformas son el resultado de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) y la segunda, de manera activa cuando las geoformas son el resultado de procesos endógenos asociados a la deformación y fracturamiento por tectónica y al vulcanismo (Leiva, *et al*., 2012).

10.2.3.5. *Morfodinámica*

Corresponde a los procesos geodinámicos externos que retocaron y retocan la superficie terrestre (Leiva, *et. al.*, 2012), en general se trata de movimientos en masa tanto lentos como rápidos, escurrimiento superficial y/o subsuperficial, avenidas torrenciales y procesos erosivos entre otros (IDEAM, 2010).

10.3. Caracterización Geomorfológica de la Cuenca.

A continuación se presenta la caracterización geomorfológica de acuerdo con la jerarquización planteada en la metodología, el nivel al que se llegó corresponde a unidades y subunidades geomorfológicas, que hacen parte de una región geomorfológica específica, esta a su vez hace parte de una provincia geomorfológica y ésta, de una geomorfoestructura, motivo por el que se realiza la caracterización desde lo general hasta lo detallado.

10.3.1. Geomorfoestructura

Como se mencionó anteriormente, las geomorfoestructuras son extensas áreas que se caracterizan por las estructuras geológicas con procesos de deformación o basculamiento (Carvajal, 2011). En la Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se identificaron dos geomorfoestructuras: la megacuenca de sedimentación, configurada tanto por los sedimentos provenientes de la erosión de la Sierra Nevada de Santa Marta, la sedimentación de los ríos Manzanares, Piedras, Toribio y Cordobita y, la sedimentación marina y costera. La segunda megaestructura es la cordillera que corresponde a la SNSM. En la Figura 10.4 se presenta la ubicación de la geomorfoestructura en el área de estudio.

10.3.2. Provincias geomorfológicas

Las provincias geomorfológicas representan un conjunto de geoformas definidas por un macro-relieve y una génesis geológica similar, en este sentido la Cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe pertenece a las provincias geomorfológicas: Sierra Nevada de Santa Marta y plataforma continental caribe.

10.3.3. Regiones geomorfológicas

Para la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se identificaron las siguientes regiones geomorfológicas:

- Ambiente estructural: se refiere a zonas dominadas por bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y/o macizos ígneos – metamórficos, con geoformas derivadas de la dinámica interna, muy relacionadas con plegamientos y fallamientos.
- Ambiente denudacional: son geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes.
- Ambiente fluvial y lacustre: está dominado por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre, con geoformas resultantes de la sedimentación de ríos, quebradas, lagos y lagunas.
- Ambiente marino y costero: geoformas construidas por los procesos marinos de oleaje y la acción de las mareas sobre los elementos continentales tales como la estructura y la litología local, al igual que, los aportes fluviales deltaicos y las formaciones arrecifales.

Figura 10.4. Geomorfoestructura de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe



10.3.4. Unidades y subunidades geomorfológicas

10.3.4.1. *Unidades y subunidades en ambiente estructural*

El ambiente estructural representa el 61,47% del área total de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, presenta alturas desde los 0 msnm hasta los 2850 msnm. En general se tienen divisorias agudas y subagudas, laderas con pendientes que oscilan entre inclinadas a muy escarpadas. La influencia del sistema de fallas geológicas es evidente en la inclinación de las formaciones geológicas, el drenaje y los procesos de disección observados.

El complejo sistema de fallas ejerce control estructural en varios drenajes como es el caso de la quebrada de Concha con la Falla del mismo nombre en el sector de Jordán (en Santa Marta), o la quebrada Jordán y río Piedras con la Falla Jordán en el sector desde Remedios hasta su desembocadura o la quebrada El Palmar con la Falla del Limón o la quebrada Boquerón con la Falla Orihueca en el corregimiento de Minca.

Adicionalmente a la influencia del control estructural en el drenaje, el sistema de fallas junto con la disección hídrica y las características climáticas, inciden en el debilitamiento de las capas y la denudación de las vertientes, por lo tanto se presentan movimientos en masa como derrumbes y deslizamientos en las partes altas de la cuencas de los ríos Manzanares, Piedras, Toribio y Cordobita, configurando valles en “V”, con laderas rectilíneas y fuerte pendiente. Considerando las condiciones

húmedas al centro-oriente de la cuenca, la inestabilidad de las laderas aporta material detrítico al drenaje, que por su capacidad de carga, desencadena avenidas torrenciales, así como lo ha realizado, como evidencia de ello se tienen modelados compuestos por sedimentos aluvio-torrenciales contiguos a la parte baja de este ambiente.

A continuación se describen las unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente estructural.

10.3.4.1.1. *Vertientes en escarpes estructurales (Seel)*
Las laderas de escarpes estructurales corresponden a superficies en declive, de morfología regular a irregular, los buzamientos pueden presentarse concordantes o no con el sentido de la inclinación del terreno. La unidad está compuesta por esquistos, filitas, cuarzodioritas, neises y mármol, la superficie presenta relieve moderado, alto y muy alto (250 - 500 m, 500 - 1000 m y de 1000 a 2500 m), con pendiente topográfica abrupta, muy abrupta y escarpada, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En estas geoformas se presentan derrumbes, deslizamientos y desprendimientos.

Las laderas de escarpes estructurales representan el 58,13% del área total de la cuenca, se encuentran en las veredas Jonolura, La Reserva, Lourdes y los corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga, en los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

10.3.4.1.2. *Laderas de lomas estructurales (Sle)*
Corresponden a los bordes de las prominencias topográficas de morfología alomada o colinada. La unidad está compuesta por cuarzodioríta, granodioríta, diorítica, plagioclasa, hornblenda y biotita, la superficie presenta relieve bajo y moderado (50 - 250 m y 250 - 500 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada, inclinada y muy inclinada, larga y muy larga, de forma convexo cóncava. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

Las laderas de lomas estructurales representan el 0,63% del área total de la cuenca y se encuentra en el corregimiento de Bonda del municipio de Santa Marta.

Figura 10.5. Vertientes en escarpes estructurales



Vertientes en escarpes estructurales, vereda El Campano. Santa Marta. Coordenadas X: 998410, Y:1720355

Figura 10.6. Laderas de lomas estructurales



Vista de laderas de lomas estructurales en granodioritas. Vía Santa Marta - Riohacha
Coordenadas X: 1005904, Y: 1739233

10.3.4.1.3. *Glacis de acumulación (Sga)*
Corresponde al modelado inclinado ubicado entre las lomas, sierras, montañas y la parte plana y originado por la sedimentación de depósitos provenientes de la erosión de las laderas vecinas. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de gravas, arenas medias y finas, la superficie presenta relieve muy bajo y bajo (< 50 m y 50 - 250 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada e inclinada, corta y moderadamene larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

El glacis de acumulación representa el 2,71% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, Momonal, corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

10.3.4.2. *Unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente denudacional*
El ambiente denudacional en la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe representa el 22,06% del área total, presenta alturas entre los 700 y 25 msnm, en la zona montañosa al NorOriente de la cuenca y entre los 1800 y 50 msnm al centro y entre los 1200 y 10 msnm al SurOccidente de la cuenca.

La zona se caracteriza por presentar procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que van suavizando los relieves existentes, las cimas pueden ser angostas o cortas de forma aguda o convexa, el drenaje es de tipo dendrítico. En este ambiente se encuentran los corregimientos de Bonda, Minca, alrededores de Gaira y Alcamar, coincide en gran medida con la distribución de población rural hacia el Oriente, centro y SurOccidente de la cuenca, explicado en parte, por la topografía menos abrupta, menor pendiente y la disponibilidad de los recursos hídricos, que facilita la ocupación de estas áreas.

A continuación se describen las unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente denudacional.

10.3.4.2.1. *Laderas de lomas denudacionales (Dlr)*
Corresponden a los lados de las prominencias topográficas de morfología alomada afectados por procesos erosivos. La unidad está compuesta por esquistos, filitas, cuarzodioritas y mármol, la superficie presenta relieve bajo y moderado (50 - 250 m y 250 - 500 m), con pendiente topográfica inclinada, muy inclinada, abrupta y muy abrupta, moderadamente larga, larga y muy larga, de forma convexo cóncava. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

Las laderas de lomas denudacionales representan el 17,48% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, Momonal y corregimientos de Bonda, Guachaca, Minca y Taganga, de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

Figura 10.7. Laderas de lomas denudacionales



Vista de lomas denudacionales desde Paliangana hacia Bonda. Santa Marta. Coordenadas X:994921 Y:1733370

10.3.4.2.2. *Laderas y cimas de lomas y colinas denudacionales (Dkr)*
Se refiere a tanto a los lados como las cimas de las prominencias topográficas de morfología alomada o colinada afectados por procesos erosivos. La unidad está compuesta por cuarzodioritas de biotita y hornblenda, plagioclasa, biotita, esquistos, neises, anfibolitas y mármoles, la superficie presenta relieve bajo (50 - 250 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada e inclinada, moderadamente larga, de forma convexa. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

Las laderas y cimas de lomas y colinas denudacionales representan el 2,21% del área total de la cuenca, se encuentra en los corregimientos de Bonda, Guachaca y Minca del municipio de Santa Marta.

10.3.4.2.3. *Laderas de cerros residuales (Dcr)*
Corresponde a prominencias topográficas sobresalientes y aisladas con morfología alomada o colinada, cimas redondeadas a planas y algunas veces agudas. La unidad está compuesta por esquistos, filitas, cuarzodioritas, hornblenda, biotita y mármoles, la superficie presenta relieve bajo (50 - 250 m), con pendiente topográfica muy inclinada, abrupta, muy abrupta y escarpada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

Las laderas de cerros residuales representan el 2,37% del área total de la cuenca, se encuentra en los corregimientos de Guachaca y Minca del municipio de Santa Marta.

Figura 10.8. Ladera de cerro residual



Vista de cerro residual, Cerro del Morro. Rodadero. Coordenadas X: 938493, Y; 1730246

10.3.4.3. *Unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente fluvial y lacustre*

En este ambiente se incluyen las geoformas originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes. Este ambiente representa el 12,63% del área total de la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, se asocia con los procesos de desprendimiento de los materiales en las laderas y vertientes, transporte de materiales y sedimentación en las zonas intermedias y bajas; por la extensión de las subcuencas, la variedad de alturas, la inestabilidad de las laderas y el drenaje dendrítico, los ríos y quebradas de la zona montañosa tienen la suficiente capacidad de carga para depositar sedimentos de manera torrencial en períodos de intensa lluvia, lo que representa una amenaza por avenidas torrenciales para las zonas bajas, principalmente al Norte y NorOccidente de la cuenca. Los ríos Manzanares, Piedras, Toribío y Córdoba al igual que la Quebrada La Concha presentan evidencias de torrencialidad reciente, asociadas a las condiciones húmedas en las partes altas de estas subcuencas, mientras que subcuencas pequeñas al Occidente presentan modelados torrenciales, el proceso no opera actualmente, en parte por las condiciones secas y las bajas variaciones altitudinales, en períodos lluviosos o durante lluvias intensas si es frecuente que se excedan los niveles de los cauces presentándose inundaciones rápidas.

Las características torrenciales operaron con mayor frecuencia durante el Pleistoceno, en condiciones más húmedas y con mayor inestabilidad, con la ocurrencia de eventos torrenciales más frecuentes, que sedimentaron en forma semicircular formando pequeños abanicos, los cuales fueron un poco levantados, basculados por tectónica y retocados en parte por la disección hídrica y los cambios en el nivel del mar.

La sedimentación aluvial reciente de los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y Piedras, y las quebradas Concha, Paliangana y Jordán, ha configurado geoformas agradacionales como terrazas aluviales disectadas por el mismo drenaje y planos de inundación, geoformas afectadas por inundaciones y avenidas torrenciales.

A continuación se describen las unidades y subunidades geomorfológicas identificadas en el ambiente fluvial y lacustre.

10.3.4.3.1. *Parte proximal de abanico aluvial (Faap)*
Los abanicos aluviales son geoformas semicirculares en la parte baja de la zona montañosa (con levantamiento tectónico) y las depresiones o zonas planas; estas superficies son configuradas por los depósitos torrenciales provenientes de ríos y quebradas, cuyas microcuencas son inestables y por procesos denudacionales (movimientos en masa) aportan material de diferente tamaño al drenaje, el cual las transporta por los valles intramontanos, una vez la topografía varía a plana, al pie de la zona montañosa, los sedimentos se depositan a manera de arco, de ahí el nombre “abanico aluvial”, esta unidad hace referencia a la parte más próxima a la zona de montaña, donde se inició la sedimentación torrencial. Se asocia a la dinámica del río Toribío y quebradas Marinca, Tamacá y La Tigrera, La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas gruesas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte proximal de abanico aluvial representa el 0,23% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Jonolura y el corregimiento de Minca, municipios de Ciénaga y Santa Marta, respectivamente. En el sector La Tigrera se encuentran depósitos torrenciales que se incluyeron en ésta unidad.

10.3.4.3.2. *Parte medial de abanico aluvial (Faam)*
Corresponde a la zona intermedia de los abanicos aluviales de los ríos Toribío, Córdoba, Manzanares y las quebradas Marinca, del Guayabo, El Doctor, Don Jaca, El Limón, Mamarón, Tamacá y Mojada. La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas medias, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte medial de abanico aluvial representa el 1,91% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, Momonal y en los corregimientos de Bonda y Minca en los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

Figura 10.9. Vista de la parte medial del abanco aluvial



Vista de la parte medial del abanico de la Quebrada La Lengua. Santa Marta. Coordenadas X: 985051 Y:1722108

10.3.4.3.3. *Parte distal del abanico aluvial (Faad)*
Se refiere a la zona más distante del punto inicial del abanico aluvial, asociada para los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y las quebradas El Doctor, Don Jaca, Mamorón y Tamaca. La unidad está compuesta por depósitos de arenas medias y finas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

La parte distal del abanico aluvial representa el 1,59% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Mamonal y corregimiento de Minca de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

10.3.4.3.4. *Talud del abanico aluvial (Faat)*
Corresponde al límite de los depósitos aluvio-torrenciales, formado por el levantamiento tectónico, está en contacto con la línea de costa se identificó para las quebradas Seca y El Doctor. La unidad está compuesta por depósitos de gravas subredondeadas y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, corta, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial, derrumbes por la erosón causada por las olas.

Talud del abanico aluvial representa el 0,02% del área total de la cuenca, se encuentra en jurisdicciones de las veredas Jonolura y Mamonal en el municipio de Ciénaga y el corregimiento de Minca del municipio de Santa Marta.

10.3.4.3.5. *Plano de terraza aluvial (Fta)*
La terraza aluvial corresponde a una superficie plana formada por la anterior sedimentación de un río o quebrada, para la cuenca se asocia a la sedimentación de los ríos Córdoba, Toribío, Gaira,

Manzanares y Piedras, y las quebradas Matogiro (o Donoma), Concha, Paliangana y Jordán. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta y moderamente larga, de forma recta, el drenaje actual ha disectado estos depósitos. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

El plano de terraza aluvial representa el 0,82% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Mamonal y los corregimientos de Bonda, Guachaca y Minca, municipios de Ciénaga y Santa Marta. En el sector de Paliangana la geoforma es configurada por la quebrada del mismo nombre como por sus afluentes, motivo por el que la superficie es amplia (ancha).

10.3.4.3.6. *Cuencas de decantación (Fcd)*
Superficie plano-cóncava pobremente drenada que se localiza dentro del plano de la terraza. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de arenas finas y limos, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica suavemente inclinada, muy corta, corta, de forma cóncava. En esta geoforma se presenta encharcamientos.

Las cuencas de decantación representan el 0,01% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta.

10.3.4.3.7. *Talud de la terraza aluvial (Ft)*
Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica inclinada, corta, de forma recta. En esta geoforma se presentan derrumbes de pequeña escala por retroceso de bermas.

El talud de la terraza aluvial representa el 4% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta.

Figura 10.10. Cultivo de maíz en la terraza aluvial del río Piedras



Cultivo de maíz en la terraza aluvial del río Piedras. Vía Santa Marta – Riohacha. Coordenadas X: 1014040 Y:1738952

10.3.4.3.8. *Cauce de río principal (Fc)*

Canal amplio de forma irregular y amplia por donde escurren los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares y Piedras y las quebradas Concha y Jordán, se caracterizan por su carga de sedimentos medianos, el caudal, no recorren amplias distancias y está en zonas con topografía suave y baja. La unidad está compuesta por cantos, gravas, arenas y limos, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

El cauce de los ríos representa el 0,23% del área total de la cuenca, administrativamente se encuentra en los corregimientos de Bonda y Guachaca del municipio de Santa Marta.

Figura 10.11. Cauce del río Piedras



Cauce del río Piedras, nótese los fragmentos de roca angulosos y subangulosos

10.3.4.3.9. *Cauce de quebradas (Fcq)*

Se refiere a la geoforma angosta, alargada e irregular por donde escurren las quebradas, se encuentran asociadas con zonas de montañosas y lomas; se asocia a toda la red de drenaje. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos; para la zona de montaña se presentan bloques heterométricos subredondeados y redondeados, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

El cauce de las quebradas representa el 7,68% del área total de la cuenca, se encuentra en las veredas Jonolura, La Reserva, Mamonal y los corregimientos Bonda, Guachaca, Minca y Taganga de los municipios de Ciénaga y Santa Marta.

10.3.4.3.10. *Planicie de inundación (Fpi)*

Corresponde a superficies planas y bajas, colindantes a los ríos y quebradas, donde son frecuentes las inundaciones. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de arenas finas, limos y

arcillas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta, de forma recta. En esta geoforma se presentan encharcamientos e inundaciones.

La planicie de inundación representa el 0,10% del área total de la cuenca, se encuentra en la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga, asociado a los ríos Córdoba y Toribío.

10.3.4.4. *Unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente marino y eólico*
Dentro de estos ambientes se incluyen las geoformas construidas por procesos marinos de oleaje y la acción de las mareas del Mar Caribe al igual que, los aportes fluviales y las geoformas originadas por la acción del viento asociados a la deposición de las arenas y limos.

El ambiente marino y eólico en la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe representa el 3,86% del área total, presenta alturas entre los 0 y 20 msnm al Occidente de la cuenca y de 0 a 40 msnm al Norte (Parque Tayrona). En este ambiente se encuentra el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta, las zonas turísticas de Rodadero, Taganga, las playas del Parque Nacional Natural Tayrona, por lo tanto adquiere una importancia estratégica, tanto por la oferta de servicios como por la presión a los recursos en estas áreas.

A continuación se describen las unidades y subunidades geomorfológicas en ambiente marino y eólico.

10.3.4.4.1. *Playa (Mpy)*
Corresponde a superficies de arenas no consolidadas, presentes en la interface mar-continente, formadas por la sedimentación del mar. La unidad está compuesta por depósitos de arenas de grano fino, cuarzo, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana y suavemente inclinada, corta (angosta), de forma recta. En esta geoforma se presenta erosión por oleaje en algunos sectores y sedimentación en otros.

La playa representa el 0,14% del área total de la cuenca, administrativamente se encuentra en los corregimientos de Bonda, Guachaca y Taganga del municipio de Santa Marta y la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga. Configuran atractivos turísticos de la cuenca, las playas visitadas por los turistas se pueden mencionar las del Rodadero, Taganga, Bello Horizonte, Bahía Concha, Playa Grande, Cabo San Juan de Guía, Gairaca y Nenguaje, entre muchas otras. En el municipio de Ciénaga las playas presentan actuales procesos de erosión por oleaje.

10.3.4.4.2. *Barra espiga (Mbe)*
Corresponde a superficies elongadas de arena construidas por las olas y las corrientes litorales de poca profundidad, separa pequeños cuerpos de aguas salobres con el mar. La unidad está compuesta por depósitos de arenas de grano fino a medio, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta, de forma convexa. En esta geoforma se presentan inundaciones por oleaje.

La geoforma de barra espiga representa el 0,12% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, Santa Marta y en la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga.

10.3.4.4.3. *Laguna costera (Ml)*
Se refiere a depresiones ocupadas parcial o totalmente por agua, separadas del mar por una barrera, zonas de manglar o cordones litorales y está en comunicación con el mar. La unidad está compuesta por depósitos de arenas finas, limos y arcillas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones.

La laguna costera representa el 3% del área total de la cuenca, se encuentra en el corregimiento de Bonda, Santa Marta, sitio conocido como la Ensenada de Chengue.

10.3.4.4.4. *Manto de arena (Ema)*
Capa de arena que se extiende por la línea de costa, formada por la acumulación de arena transportada por el viento. La unidad está compuesta por depósitos de arenas finas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta inundaciones por oleaje.

El manto de arena representa el 0,37% del área total de la cuenca y se encuentra en la vereda Mamonal del municipio de Ciénaga.

10.3.4.4.5. *Plano de terraza fluvio marina (Mtml)*
Las terrazas son superficies elevadas horizontales a subhorizontales con un suave desnivel respecto al nivel del mar, el origen de este desnivel puede ser tectónico o por cambios en el nivel del mar. Su formación se da por la alternancia de procesos marinos y aluviales en superficies que pueden variar de nivel desde un metro hasta 4 en cortas distancias (<100 m), motivo por el cual no se diferencian estas unidades, en concordancia con la escala de análisis.

La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de gravilla, arenas medias y finas y, limos, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana a suavemente inclinada, moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga, de forma recta. En esta geoforma se presentan inundaciones ya sea por las mareas o por la dinámica de los ríos Gaira, Manzanares y las quebradas de Concha, Cinto, Santa Rosa y Don Diego.

El plano de terraza fluvio marina representa el 3,19% del área total de la cuenca, se encuentra en corregimientos de Bonda, Guachaca y Taganga del municipio de Santa Marta. Los sectores de Gaira y el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta se encuentran en esta unidad.

Figura 10.12. Terraza fluvio marina



Vista de la terraza fluvio marina, la ciudad de Santa Marta se encuentra sobre esta geoforma.
Coordenadas X:985248 Y:1732153

10.4. Procesos Morfodinámicos

10.4.1. Movimientos en masa

Corresponden a movimientos hacia abajo de rocas y suelos por influencia de la fuerza de gravedad combinado con factores como las lluvias, la sismicidad y la socavación, en la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, estos procesos se presentan en la zona montañosa en vertientes muy inclinadas, afectan principalmente la infraestructura y las vías de acceso como es el caso de la vía que comunica del corregimiento de Bonda al sector de Vista Nieves, en la que se encuentran varios derrumbes.

Los deslizamientos en varios casos corresponden a movimientos lentos en laderas moderadamente inclinadas y están asociados al incremento del gradiente topográfico derivado de la incisión del drenaje. Hacia el Norte y Oriente de la cuenca las condiciones húmedas inciden en que las geoformas sean susceptibles a deslizarse, al occidente de la cuenca, a pesar que las condiciones son secas, la escasa cobertura vegetal no protege la superficie de la erosión causada por las lluvias intensas, que eventualmente ocurren y sumado a las fuertes pendientes topográficas, las geoformas también presentan susceptibilidad a los movimientos en masa.

Figura 10.13. Derrumbe



Derrumbe que afecta la vía en el sector Campano. Santa Marta. Coordenadas X= 998230, Y=1720580

10.4.2. Avenidas torrenciales

Es un tipo de movimiento en masa caracterizado por el flujo rápido de una mezcla caótica de sólidos y agua que pueden desplazarse a grandes velocidades (Caballero, 2011). En la Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe, por presentar vertientes de montaña con fuertes gradientes de pendiente, condiciones húmedas con lluvias intensas e inestabilidad en las laderas las avenidas torrenciales afectan principalmente las áreas bajas de la cuenca al Norte, Noroccidente y Suroccidente. Los cauces que presentan este fenómeno corresponden a los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares, Piedras y las quebradas Concha y Jordán.

10.4.3. Inundaciones

Son fenómenos hidrológicos frecuentes altamente destructivos, las lluvias generan el aumento del nivel de los cauces y cuerpos de agua, que sobrepasa la altura de los diques naturales o artificiales, provocando el desbordamiento de las aguas y la paulatina inundación de las zonas planas adyacentes a los cauces. Por la ubicación de la cuenca y la influencia marina, en épocas de mareas altas se presentan inundaciones del mar sobre la línea de costa.

Las inundaciones de origen fluvial, se asocian al desbordamiento de los ríos Córdoba, Toribío, Gaira, Manzanares, Piedras y a las quebradas Concha, Tamaca y eventualmente Don Jaca.

10.4.4. Erosión costera

La erosión costera es el avance del mar sobre la tierra, medido en un periodo de tiempo suficientemente amplio para eliminar las fluctuaciones del clima, de las tormentas y de los procesos sedimentarios a nivel local (Posada *et al*., 2008). Este tipo de erosión se encuentra al Sur de la

Ensenada de Gaira, entre la desembocadura de los ríos Córdoba y Toribío al Occidente de la cuenca y en los sectores del Playa Luna, Cañaveral, Los Naranjos y Berlín al Norte.

10.5. Conclusiones.

La Cuenca del Río Piedras, Río Manzanares y Otros Directos al Caribe se caracterizó mediante la definición y delimitación de unidades geomorfológicas a escala 1:25.000, permitiendo identificar las áreas con procesos morfodinámicos como movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, que sirven de insumo en el análisis del componente de riesgos.

Las características geomorfológicas, litológicas, climáticas y los procesos morfodinámicos que operan en la cuenca, la hacen inestable hacia la zona montañosa, haciendo que se presenten características aluvio-torrenciales en la parte baja de la cuenca, la sedimentación aluvial y marina determinan procesos agradacionales (inundaciones) que condicionan la ocupación de algunas áreas, muchas de ellas en zonas urbanas y turísticas.

La erosión costera puede afectar no solo la infraestructura, sino algunos sitios de interés turístico tanto en el municipio de Ciénaga como en Santa Marta.

Tabla 10.7. Síntesis explicativa para unidades y subunidades geomorfológicas

Región geomorfológica	Unidad y subunidad geomorfológica	Litología	Relieve	Pendiente	Longitud de la pendiente	Forma de la pendiente	Procesos morfodinámicos	Código	AREA (Ha)	%	
Ambiente Estructural	Laderas de escarpes estructurales	Esquistos, filitas, cuarzodioritas, neises y mármol	moderado, alto y muy alto	abrupta, muy abrupta y escarpada	larga, muy larga y extremadamente larga	recta	derrumbes, deslizamientos y desprendimientos	Seel	53947,57	58,13	61,47
	Laderas de lomas estructurales	Cuarzodioríta, granodioríta, diorítica, plagioclasa, hornblenda y biotita	bajo y moderado	suavemente inclinada, inclinada y muy inclinada	larga y muy larga	convexo cóncava	escurrimiento superficial difuso	Sle	586,77	0,63	
	Glacis de acumulación	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas medias y finas	muy bajo y bajo	suavemente inclinada e inclinada	corta y moderadamene larga	recta	escurrimiento superficial difuso	Sga	2511,43	2,71	
Ambiente Denudacional	Laderas de lomas denudacionales	Esquistos, filitas, cuarzodioritas y mármol	bajo y moderado	inclinada, muy inclinada, abrupta y muy abrupta	moderadamente larga, larga y muy larga	convexo cóncava	escurrimiento superficial difuso	Dlr	16220,30	17,48	22,06
	Laderas y cimas de lomas y colinas denudacionales	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda, plagioclasa, biotita, esquistos, neises, anfibolitas y mármoles	bajo	suavemente inclinada e inclinada	moderadamente larga	convexa	escurrimiento superficial difuso	Dkr	2054,22	2,21	
	Laderas de cerros residuales	Esquistos, filitas, cuarzodioritas, hornblenda, biotita y mármoles	bajo	muy inclinada, abrupta, muy	moderadamente larga y larga	recta	escurrimiento superficial difuso	Dcr	2197,34	2,37	

				abrupta y escarpada							
Ambiente Fluvial	Parte proximal de abanico aluvial	Depósitos de gravas subredondeadas y arenas gruesas	muy bajo	inclinada	moderadamente larga y larga	recta	escurrimiento superficial difuso	Faap	212,20	0,23	12,63
	Parte medial de abanico aluvial	Depósitos de gravas subredondeadas y arenas medias	muy bajo	inclinada	moderadamente larga y larga	recta	escurrimiento superficial difuso	Faam	1774,16	1,91	
	Parte distal del abanico aluvial	Depósitos de arenas medias y finas	muy bajo	suavemente inclinada	moderadamente larga y larga	recta	escurrimiento superficial difuso	Faad	1471,19	1,59	
	Talud del abanico aluvial	Depósitos de gravas subredondeadas y arenas	muy bajo	inclinada	corta	recta	escurrimiento superficial, derrumbes	Faat	16,01	0,02	
	Plano de terraza aluvial	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas	muy bajo	plana	corta y moderamente larga	recta	inundaciones y avenidas torrenciales	Fta	760,20	0,82	
	Cuencas de decantación	Depósitos sin consolidar de arenas y limos	muy bajo	suavemente inclinada	muy corta, corta	convexa	encharcamientos	Fcd	7,68	0,01	
	Talud de la terraza aluvial	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas	muy bajo	inclinada	corta	recta	escurrimiento superficial	Ft	33,08	0,04	
	Cauce de río	Cantos, gravas, arenas y limos	muy bajo	plana	larga, muy larga y extremadamente larga	recta	inundaciones y avenidas torrenciales	Fc	215,29	0,23	
	Cauce de quebradas	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos	muy bajo	plana	larga, muy larga y extremadamente larga	recta	inundaciones y avenidas torrenciales	Fcq	7123,03	7,68	
	Planicie de inundación	Depósitos sin consoidar de	muy bajo	plana	corta	recta	encharcamientos e inundaciones	Fpi	91,93	0,1	

		arenas finas, limos y arcillas									
Ambiente Marino y Eólico	Playa	Depósitos de arenas de grano fino, compuestas por cuarzo	muy bajo	plana y suavemente inclinada	corta	recta	erosión por oleaje	Mpy	140,81	0,15	3,86
	Barra espiga	Depósitos de arenas de grano fino a medio	muy bajo	plana	corta	convexa	inundaciones por oleaje	Mbe	109,54	0,12	
	Laguna costera	Depósitos de arenas finas, limos y arcillas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	inundaciones	Ml	25,62	0,03	
	Manto de arena	Depósitos de arenas	muy bajo	plana	moderadamente larga y larga	recta	inundaciones por oleaje	Ema	345,02	0,37	
	Plano de terraza fluvio marina	Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	inundaciones	Mtml	2956,06	3,19	

11. CAPACIDAD DE USOS DE LAS TIERRAS

El suelo como componente fundamental del medio físico-biótico de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe es muy variado como consecuencia de la diversidad geológica, climática, geomorfológica, ecológica y ambiental; la dinámica de la Sierra Nevada ha generado unas condiciones muy propias de la cuenca; sin embargo, en sectores extensos está afectado por procesos de degradación debido al uso inadecuado de los suelos, éste uso obedece a la implementación de cultivos en zonas de ladera (algunos ilegales), con lo cual se generan cambios en la estructura de la vegetación y en la calidad de las aguas y los suelos, este hecho y la necesidad de implementar programas de recuperación de áreas erosionadas y de conservación de ecosistemas estratégicos señalan la necesidad de ordenar el territorio para que la unidad hidrográfica retome plenamente su papel no solo como protectora y captadora de agua, sino como espacio oferente de otros servicios ambientales imprescindibles para el bienestar de sus habitantes.

Para efectos del ordenamiento ambiental de la cuenca, el conocimiento del mosaico edáfico centra la atención en la identificación de las limitaciones de cada una de las poblaciones de suelos presentes mediante la consulta del estudio agrológico del departamento de Magdalena (IGAC, 2009) cuya percepción y análisis de la edafodiversidad, genera vacíos de conocimiento, e insuficiencia en el grado de discriminación de la expresión cartográfica de los fenómenos que afectan la capacidad de uso de las tierras, a la luz de las exigencias de la Autoridad Ambiental de analizar el componente suelo a un nivel de detalle compatible con la escala 1: 25.000.

La aproximación metodológica utilizada para el análisis del recurso suelo en el área de estudio tiene como objetivo complementar la visón del medio edáfico y del patrón de distribución en la cuenca, ejecutando tareas adicionales de tipo cartográfico (mapa de pendientes) de interpretación de imágenes de percepción remota (fotografías áreas, imágenes de satélite) y de observaciones de los suelos en el campo (descripción de perfiles, evaluación in situ de la erosión y pedregosidad), todo ello en el marco del razonamiento pedológico para obtener, finalmente, un censo completo de las limitaciones de los suelos descritas a todo lo largo y ancho de la cuenca; esta caracterización permite definir, con suficiente certeza, la aptitud de uso y manejo de las tierras involucradas en el análisis agrologico.

11.1. Objetivos

11.1.1. General.

Determinar la Capacidad de Uso de las Tierras con fines ambientales mediante la implementación del enfoque metodológico propuesto por el MADS y la Guía Técnica para la Elaboración de POMCAS MADS 2013

11.1.2. Específicos

- Determinar las limitantes de los suelos mediante trabajo de campo acorde con los vacíos de conocimiento detectados a partir del análisis del Estudio General de Suelos del departamento de Magdalena.

- Elaborar el mapa de Capacidad de Uso de las Tierras escala 1:25.000 con fines ambientales

- Asociar los mapas de Capacidad de Uso de las Tierras y Usos Actuales con el fin de obtener el mapa de Conflictos de Uso de las Tierras.

11.2. Metodologia Para El Análisis De La Capacidad De Usos De Las Tierras

Los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) requieren para su elaboración el análisis del componente suelo, no solo para conocer los elementos que forman el mosaico edáfico de la unidad hidrológica, sino para definir la capacidad de uso de las tierras e identificar los conflictos de uso generados con relación al recurso suelo.

El alcance de estos propósitos se traduce en la necesidad de representar la distribución espacial de las clases de tierras, así como la susceptibilidad de los suelos al deterioro a una escala cartográfica compatible con la exigencia señalada por la Autoridad Ambiental. Es importante señalar que la comparación, a la misma escala, de las unidades agrologicas (capacidad de uso) con las de utilización actual del suelo muestran los sectores de la cuenca en los que el hombre ha generado desorden en el entorno físico, haciendo caso omiso de la oferta edáfica para producir alimentos y/o de la necesidad de los suelos en términos de conservación y/o recuperación de las áreas altamente vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad humana.

11.2.1. Marco conceptual.

Los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) requieren para su elaboración el análisis del componente suelo, no solo para conocer los elementos que forman el mosaico edáfico de la unidad hidrológica, sino para definir la capacidad de uso de las tierras e identificar los conflictos de uso generados en relación con el recurso suelo.

El alcance de estos propósitos se traduce en la necesidad de representar la distribución espacial de las clases de tierras a una escala cartográfica compatible con la exigencia señalada por la Autoridad Ambiental. Es importante señalar que la comparación, a la misma escala, de las unidades agrologicas (capacidad de uso) con las de utilización actual del suelo muestran los sectores de la cuenca en los que el hombre ha generado desorden en el entorno físico, haciendo caso omiso de la oferta edáfica para producir alimentos y/o de la necesidad de los suelos en términos de conservación y/o recuperación de las áreas altamente vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad humana.

11.2.2. El problema de la escala 1:25.000 exigida para elaborar el estudio edafológico.

La exigencia de la autoridad ambiental de presentar los resultados del estudio del componente suelo en cartas temáticas de escala 1:25.000, creó un problema debido a que el país carece, actualmente, de estudios de suelos semidetallados en la mayor parte del territorio nacional, lo que deja como única fuente de conocimiento del mosaico edáfico de las cuencas hidrográficas a los levantamientos agrológicos de tipo general, cuya percepción de la edafodiversidad y la correspondiente representación cartográfica obedece a las especificaciones de la escala 1:100.000.

El reconocimiento de los suelos en un estudio general, si bien es una fuente importante de información sobre el componente edáfico, se ejecuta, por la naturaleza de la escala, mediante el ejercicio mental de generalizar, agrupar o asociar en torno a las poblaciones de suelos, en tanto que el levantamiento a escala 1:25.000 exige separar, detallar y precisar los componentes del mosaico edáfico.

Estas dos concepciones de la edafodiversidad concentradas en las diferencias de escala, se traducen en cambios fundamentales en la aproximación metodológica, no solo para el trabajo de campo (densidad de observaciones, creación de UCS, y nivel categórico en la pirámide taxonómica), sino en la etapa preparatoria del levantamiento en la oficina como son la identificación de los ambientes edafogenéticos en el marco de un nivel de abstracción geomorfológico apropiado (formas de la tierra) y de la identificación de los materiales parentales de los suelos con la precisión exigida por la naturaleza del estudio a la escala requerida).

11.2.3. Estrategia para obtener el conocimiento requerido por la escala 1:25.000.

En congruencia con lo expuesto, el conocimiento sobre los suelos de la cuenca se obtiene consultando el estudio general de suelos elaborado por el IGAC en el año 2009 el cual es de carácter general (escala 1:100.000) y ejecutando acciones para lograr que las características del medio edáfico, que obran como limitaciones para la utilización plena de las tierras de la unidad hidrográfica, estén discriminadas a un nivel de detalle compatible con las exigencias de la escala 1:25.000.

Para obtener el conocimiento requerido por la escala 1:25.000 se siguieron los pasos sugeridos en el enfoque metodológico suministrado por el Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible (MADS 2015), el cual permite la comprensión del conjunto de suelos de la cuenca que enfoque su objetivo en la definición de la capacidad del uso y en la identificación de su vulnerabilidad ante la acción de las fuerzas de la naturaleza y la intervención antrópica.

11.2.3.1. *Limitaciones para el uso y manejo de las tierras*

Las limitaciones que funcionan como características de diferenciación de las clases y subclases agrologicas y de las unidades de tierras definidas de acuerdo al grado de vulnerabilidad ante los factores naturales y antrópicos que obran en la cuenca son cinco principales como se muestra a continuación:

- La inclinación del terreno (clase de pendiente): **p**
- La erosión actual: **e**

- El drenaje impedido (exceso de humedad): **h**
- Condiciones climáticas adversas (clima extremo): **c**
- Problemas de anclaje y desarrollo de las plantas (limitaciones en el perfil del suelo y/o sobre la superficie): **s**

Es importante resaltar que en esta clasificación no se tienen en cuenta consideraciones legales derivadas de la asignación de categorías especiales, de reservas naturales y parques nacionales naturales que existan en la cuenca. En este caso, las mismas **priman sobre cualquier uso alternativo que se planteé en el presente documento**.

A la luz de lo expuesto anteriormente, se propone llenar los vacíos de conocimiento del medio edáfico y corregir errores e inconsistencias que se detectaron en el levantamiento general, haciendo énfasis y poniendo la mayor atención en las limitaciones de los suelos que, por su naturaleza, magnitud y nivel de importancia, se convierten en características de diferenciación de las clases, subclases agrologicas y de las agrupaciones que resultan de la evaluación de la susceptibilidad de los suelos al deterioro.

De esta manera el proceso metodológico seguido se expone a continuación.

11.3. Etapas y Actividades

El lineamiento metodológico que se presenta a continuación busca complementar la información que presenta el estudio general de suelos del departamento de Magdalena, concentrando la atención en las características que fungen como limitantes de los suelos y llevándolo mediante un proceso lógico a la escala requerida.

El objetivo es realizar un análisis del componente suelos partiendo del análisis de la leyenda del estudio general, con el fin de mejorar la información suministrada por éste, de tal manera que con la ayuda de diferentes insumos se pueda tener una información más detallada de las características de los suelos; para lograr este objetivo, es necesario realizar tareas adicionales de tipo cartográfico como la interpretación de imágenes de sensores remotos, las cuales tienen salidas a escalas 1:25.000, para poder obtener información como el mapa de pendientes, la geomorfología, el mapa de clima y el de geología; estos insumos servirán para poder llegar al nivel de detalle exigido en el proceso de ordenamiento de la cuenca.

11.3.1. Etapa 1: Análisis y evaluación del estudio general de los suelos del departamento de Magdalena, elaborado en el año 2009.

Sobre el análisis propuesto se desarrollaron las siguientes acciones:

- Sobre la cartografía de suelos 1:100.000 del estudio en mención, se delimitó el área de la cuenca suministrada por la corporación (**Figura 11.1**).

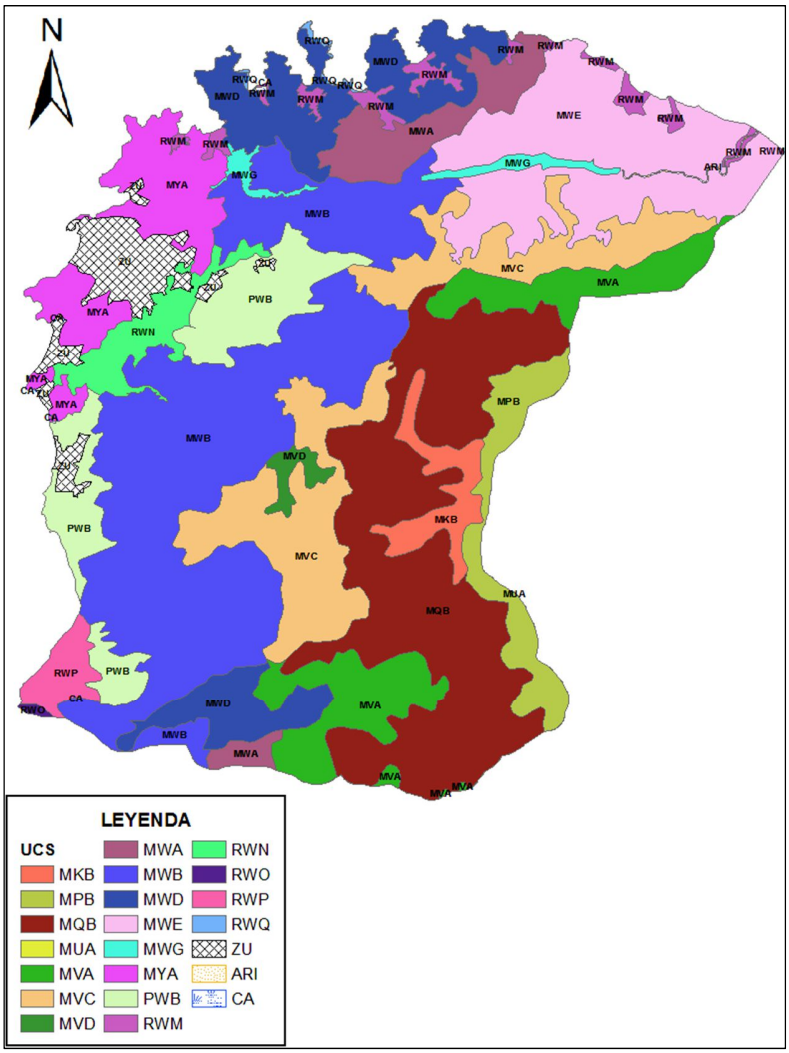
- Luego de realizada la anterior acción, se procedió a hacer el inventario de símbolos de las Unidades Cartográficas de Suelos y con estos se elaboró la leyenda del mapa general de suelos de la cuenca tomando la información del IGAC la cual se puede apreciar en el **(Anexo1).**

- Elaborada la leyenda de suelos del estudio general y que es específica para la cuenca, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los componentes del mosaico edáfico con énfasis en la identificación de asociaciones de suelos contrastantes desde el punto de vista del uso y el manejo; este análisis se puede apreciar en el numeral **(11.3.1.1)** del presente informe.

- Del análisis de la leyenda se obtuvo como resultado la identificación de unidades que no tienen perfiles modales dentro de la cuenca; esto permitió, la planeación del trabajo de campo para poder realizar descripciones de suelos en calicata y la toma de muestras para análisis de laboratorio. Las 11 unidades cartográficas reportados por IGAC (2009) tienen perfiles en la zona de estudio. Por lo anterior el trabajo de campo se direccionó a la identificación de las características que limitan el uso en tales unidades; pero se aclara que en todas las unidades descritas por el IGAC se realizaron observaciones de reconocimiento y se identificaron los suelos no reportados en el estudio general. Para delimitar los suelos faltantes se recurrió a las formas del terreno, esto ocasionó que las unidades de suelos fueran mucho más de las descritas por el IGAC, sin embargo, a todas las unidades se les tomo un suelo modal que fuera representativo de las limitantes.

- Una vez revisadas y analizadas las unidades cartográficas del estudio general se identificaron unos vacíos de conocimiento que son propios en la mayoría de los casos del nivel al que fue realizado el estudio general (a escala 1:100.000); dichos vacíos o inconsistencias son desarrollados en el numeral **(11.3.1.2)** del presente informe y serán la base para diseñar el trabajo de campo.

Figura 11.1. Unidades de suelos ubicadas dentro de la cuenca del río Piedras Manzanares



11.3.1.1. *El componente edáfico de la cuenca del río Piedras, río Manzanares en el marco del Estudio General de Suelos IGAC (2009)*

El análisis del levantamiento agrologico de IGAC (2009) en el sector del departamento del Magdalena que corresponde al territorio de la cuenca del Río Piedras – Manzanares permitió conocer no solo las poblaciones de suelos que constituyen el mosaico edáfico de la unidad hidrográfica, sino las características del entorno físico – biológico que definen los ambientes edafogenéticos en los que el IGAC (Opus Cit) conformó las unidades cartográficas de suelos (UCS) de la carta temática respectiva, como son el clima ambiental, la diversidad geomorfológica y los materiales geológicos que fungen como punto de partida de la formación de los suelos.

11.3.1.1.1. *El clima en la cuenca.*

Los suelos en la cuenca han evolucionado bajo las condiciones climáticas propias de los pisos térmicos frío, templado y cálido. Los dos primeros ocurren en el paisaje de montaña y se caracterizan por presentar una provincia húmeda y otra muy húmeda lo cual no incide en la clasificación taxonómica ya que el régimen de humedad edáfico en ambas situaciones es údico. Sin embargo, el incremento de humedad de un sector de la zona de estudio a otro si impacta la clasificación de las tierras por su capacidad de uso por el efecto que la excesiva humedad tiene en el comportamiento fitosanitario de los cultivos. Es importante resaltar que en el piso basal (<1.000 msnm) ocurre una situación climática similar. Ver **(Tabla 11.1)**

En el piso térmico cálido se presenta una provincia seca extensa en la que está ubicada la totalidad del paisaje de planicie marina, un sector del pie de monte y otro de la montaña. Es interesante señalar que en el sector seco de la cuenca ocurren tres fenómenos importantes: erosión con tendencia a ser severa en la montaña, contenidos altos de sales y/o sodio y suelos con drenaje impedido en la planicie. En el primero hay alta influencia de la escasa humedad la cual afecta la densidad de la cobertura vegetal; en la segunda la poca precipitación pluvial impide el lavado de elementos químicos del perfil del suelo, pero los sedimentos marinos aportan cantidades importantes de sales y en el tercero la topografía plana depresionales es la causa principal del avenamiento impedido.

Un caso particular desde el punto de vista climático es la existencia de un área muy seca (semiárida) en la franja cálida del paisaje de montaña.

Tabla 11.1. Distribución climática en la Cuenca del Río Piedras – Manzanares Departamento del Magdalena

PISO TÉRMICO	PROVINCIA DE HUMEDAD	PAISAJE
Frío	Muy húmeda	Montaña
Templado	Muy húmeda	Montaña
	Húmeda	
Cálido	Muy húmeda	Montaña
	Húmeda	Montaña
	Seca	Montaña, Pie de Monte, Planicie
	Semiárida	Montaña

11.3.1.1.2. *Diversidad geomorfológica.*

La diversidad geomorfológica en la cuenca del río Piedras – Manzanares se refleja en la estructura de la **(Tabla 11.2)** en la que los tres paisajes: montaña, pie de monte y planicie marina están conformados por los tipos de relieve denominados filas, vigas, lomas, colinas y vallecitos en el primero, abanicos – terrazas, en el segundo y plano de marea en el tercero.

Desde el punto de vista topográfico la montaña se caracteriza por presentar áreas fuertemente quebradas y escarpadas con pendientes 25 – 50%, 50 – 75% y mayores de 75% que se suavizan un poco en sectores colinados (pendientes 12 – 25%) hasta convertirse en terrenos planos a ligeramente inclinados, (pendientes 0 – 3% y 3 – 7%) en los vallecitos intermontanos y en el pie de monte.

La zona plana a ligeramente plana más extensa de la cuenca corresponde al plano de marea de la planicie en la cual ocurren fenómenos de inundaciones, fluctuaciones del nivel freático y de afectación por sales y/o sodio cuya distribución espacial debe identificarse con la mayor precisión posible.

Para llevar a efecto la separación de las formas del terreno en el plano de marea es necesario acudir a la técnica de la fotointerpretación y a la observación directa de las limitaciones mencionadas de suelos las cuales impactan significativamente la capacidad de uso de las tierras.

Es importante tener en cuenta a manera de guía que el IGAC (2009) hace referencia a las siguientes formas del terreno dentro del plano de marea: cubetas, barras marinas, napas de desborde, napas de explayamiento, partes bajas e intermedias del playón, marismas y cordón litoral.

Tabla 11.2. Diversidad geomorfológica en la Cuenca del Río Piedras – Manzanares

PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	TOPOGRAFIA	
		CLASE	PENDIENTE %
Montaña	Filas y Vigas	Fuertemente quebrada y escarpada	25 - 50 50 - 75 >75
	Lomas y colinas	Moderadamente quebrada fuertemente quebrada moderadamente escarpada	12 - 25 25 - 50 50 - 75

PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	TOPOGRAFIA	
		CLASE	PENDIENTE %
	Vallecitos	Plana a ligeramente inclinada	0 - 3 3 - 7
Pie de Monte	Abanico Terraza	Plana hasta moderadamente quebrada	0 - 3 3 - 7 7 - 12 12 - 25
Planicie Marina	Plano de marea	Plana a ligeramente inclinada	0 - 3 3 - 7

11.3.1.1.3. *Materiales geológicos formadores de suelos.*
En la **(Tabla 11.3)** se indica que en la montaña los materiales parentales de los suelos están constituidos por esquistos, neis, cuarzomonzonitas, cuarzodioritas, granodioritas y granitos. En el resto de la cuenca (Pie de monte y planicie marina) los suelos se formaron a partir de sedimentos aluviales y depósitos fluvio – marinos de diferente granulometría y composición mineralógica.

En la tabla **(Tabla 11.4)** se presentan los resultados de relacionar el material parental, el drenaje natural y el clima ambiental con la saturación de bases de los suelos de la zona de estudio. En forma resumida el ejercicio demostró que solo cinco UCS del estudio general del IGAC (Opus cit.) están conformadas por suelos distróficos, bien drenados derivados de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, ubicados en clima húmedo a muy húmedo.

En el resto del área los suelos son eutróficos (alta saturación de bases), pero el clima ambiental es seco y muy seco y en la planicie marina este fenómeno ocurre en condiciones de buen y mal drenaje. En dos UCS (RWO, RWP) hay contenidos altos de sales y/o sodio.

Tabla 11.3. Materiales geológicos (Litología / sedimentos) a partir de los cuales se formaron los suelos en la cuenca

LITOLOGIA / SEDIMENTOS	PAISAJE
Esquistos y Neises	Montaña
Cuarzomonzonitas, cuarzodioritas, granodioritas granitos	
Depósitos coluvio - aluviales con fragmentos gruesos en el abanico	Montaña (vallecito), Pie de Monte (abanico - terrazas)
Depósitos fluvio - marinos finos, medios, gruesos (arenosos)	Planicie Marina

Tabla 11.4. Relación entre saturación de bases (alta y baja), material parental, drenaje y clima (húmedo y seco) de los suelos de la cuenca

CLASES DE SUELOS	UCS INVOLUCRADAS	GRAN GRUPO
1. Suelos distróficos bien drenados, ubicados en clima húmedo y muy húmedo del paisaje de montaña, derivados de rocas metamórficas (esquistos, neises) e ígneas (cuarzomonzonitas, cuarzodioritas y granodioritas).	MKV, MPB MQB, MVC MUA	Udorthents Dystrudept
2. Suelos eutróficos, bien drenados derivados de los materiales parentales de la clase 1, localizados en el paisaje de montaña y lomerío en condiciones climáticas seca y muy seca	MWA, MWB MWD, MWE MWG, MYA PWB	Ustorthent Ustifluvent Torriorthent Haplustept Haplustoll

CLASES DE SUELOS	UCS INVOLUCRADAS	GRAN GRUPO
3. Suelos eutróficos bien drenados, derivados de rocas metamórficas e ígneas que ocurren en el paisaje de montaña en clima húmedo	MVA MVD	Udorthents Eutrudept Hapludoll
4. Suelos eutróficos, bien drenados derivados de sedimentos fluvio - marinos del paisaje de planicie en clima seco	RWN RWO*	Ustifluvent Quarzipsamments Haplustept
5. Suelos eutróficos, mal drenados derivados de sedimentos fluviomarinos del paisaje de planicie en clima seco	RWM RWP* RWQ	Fluvaquent Psammaquent Haplustept ácuico Endoaquepts

* Los suelos de estas asociaciones tienen altos contenidos de sales y/o sodio

11.3.1.1.4. *Los suelos en la pirámide taxonómica.*

Los suelos de la cuenca del río Piedras, río Manzanares pertenecen a los órdenes Inceptisol, Entisol, Mollisol y Vertisol. En los dos primeros hay suelos de régimen de humedad údico, ústico, acuico y arídico (este último solo ocurre en los Entisoles). Los Mollisoles son údicos y ústicos y el Vertisol (Haplusterts crómico) es, como lo señala su nomenclatura, ústico. Ver **(Tabla 11.5)**

Una visión rápida a las clases de suelos a nivel de subgrupos indica las presencias de suelos eutróficos, distróficos con contacto lítico, bien, imperfectas y pobremente drenados, muy arenosas y muy arcillosas.

El grado de evolución de los suelos a la luz de la taxonomía es escaso (entisoles) y moderado (inceptisoles, mollisoles, vertisoles).

Tabla 11.5. Los suelos de la cuenca en la Pirámide Taxonómica

ORDEN	REGIMEN DE HUMEDAD	SUBGRUPO
Inceptisol	Údico	Dystrudepts típicos - húmicos Eutrudepts típicos
	Ústico	Haplustepts típicos, fluvénticos, ácuicos
	Ácuico	Endoaquepts aéricos
Entisol	Údico	Udorthents típicos, líticos
	Ústico	Ustorthents típicos, líticos
		Ustifluvents típicos, ácuicos
		Ustipsamments típicos
		Quartzipsamments típicos
	Ácuico	Fluvaquents típicos, aéricos
	Tórrico (arídico)	Psammaquents típicos Torriorthents líticos
Mollisol	Údico	Hapludolls típicos, fluvénticos

ORDEN	REGIMEN DE HUMEDAD	SUBGRUPO
	Ústico	Haplustolls típicos, líticos, énticos
Vertisol	Ústico	Haplusterts crómicos

11.3.1.1.5. *Erosión pedregosidad, salinidad y/o sodicidad.*
La ocurrencia de fases cartográficas que impactan significativamente la definición de la capacidad de uso de las tierras en la cuenta objeto del presente estudio, como las que se relacionan en la **(Tabla 11.6)**, obliga a concentrar la atención en discriminar los fenómenos de acuerdo a la escala 1:25.000, tal como lo exige la autoridad ambiental.

La recomendación para alcanzar el objetivo mencionado es la utilización del mapa de pendientes elaborado a partir de un DEM a la escala 1:25.000 no solo para discriminar adecuadamente el patrón de inclinación de la diversidad fisiográfica, sino para definir cada una de las fases por pendiente, el grado de erosión, la ocurrencia de fragmentos gruesos sobre la superficie del terreno en el paisaje de montaña que es en el que suele ocurrir particularmente, aunque no exclusivamente, la perdida de suelo por erosión.

En el caso del paisaje de planicie marina la atención de los edafólogos debe enfocarse a identificar las áreas inundables y aquellas afectadas por sales y/o sodio delimitándolas con la precisión exigida por la escala, lo cual solo puede lograrse con la ayuda de la foto interpretación basada esencialmente en criterio geomorfológico (identificación de formas del terreno) y con observaciones de los suelos en el campo acompañadas por encuestas hechas entre los agricultores, ganaderos y profesionales encargados de la asistencia técnica en la zona.

En la **(Tabla 11.6)** es evidente que el fenómeno erosivo correlaciona muy bien con la inclinación de las pendientes y un poco con la sequedad del clima; la erosión severa reportada por IGAC (2009) tiende a concentrarse en la provincia seca de la cuenca. La inundabilidad la cual está relacionada con el drenaje impedido, la salinidad y/o sodicidad aparecen en sectores importantes de la planicie, bajo condiciones climáticas exclusivamente secas.

Tabla 11.6. Suelos afectados por erosión, pedregosidad, inundabilidad, salinidad y/o sodicidad

TIPO DE AFECTACIÓN Y UBICACIÓN	UCS INVOLUCRADAS
1. Erosión moderada, suelos ubicados en las filas, vigas y lomas de la montaña con topografía quebrada (pendientes 12 - 25%), muy quebrada (25 - 50%) y escarpada (pendientes 50 - 75%) en clima frío, templado y cálido húmedo y/o muy húmedo	MPB f2 MQB f2 MUA f2 MVA e2, f2 MVC e2 MVD d2
2. Erosión moderada y/o severa. Suelos en las filas, vigas, lomas y colinas de la montaña con topografía quebrada (pendientes 12 - 25%), muy quebrada (25 - 50%), y escarpada (50 - 75%) en clima cálido seco y muy seco	MWA f2 MWB d2, d3, e3, f2, f3 MWD e3, f2 MWE d2, e2 MYA e3, f2, f3
3. Erosión moderada, severa y pedregosidad superficial; suelos en el abanico - terraza del pie de monte con topografía plana (pendientes 0 - 3%), ligera a moderadamente inclinada (pendiente 3 - 7 - 12%), y ondulada (pendiente 12 - 25%), en clima cálido seco	PWB b2, c3p, d2
4. Sin erosión o erosión ligera, suelos afectados por inundaciones (i) periódicas, sales y/o sodio (t,n), localizados en la planicie marina con topografía plana (pendiente 0-3%), en clima cálido seco	RWM ai RWN ai RWQ ai RWO at RWP an

11.3.1.1.6. *Grado de acidez y nivel de fertilidad de los suelos en la cuenca.*
En la **(Tabla 11.7)** muestra que los suelos de la cuenca oscilan desde muy ácidos con un nivel de fertilidad baja y muy baja, hasta neutros y muy alcalinos con fertilidad alta y muy alta. Solo en dos sectores (uno en el pie monte y otro en la planicie marina) hay suelos neutros a moderadamente alcalinos con fertilidad media y baja.

Es interesante resaltar que la acidez del suelo es la máxima en la provincia húmeda del paisaje de montaña, mientras que la menor acidez, la neutralidad y la alcalinidad aparecen en la provincia seca de la montaña, el pie de monte y la planicie marina.

Tabla 11.7. Clases de suelos por grado de acidez y nivel de fertilidad en la cuenca

ACIDEZ / FERTILIDAD	UCS INVOLUCRADAS	PAISAJE / CLIMA
1. Suelos muy ácidos con fertilidad natural baja y muy baja	MKB, MPB MQB, MVA MVC	Montaña / húmedo
2. Suelos muy ácidos con fertilidad natural media	MUA MVD	Montaña / húmedo
3. Suelos ligera a moderadamente ácidos con fertilidad natural media a alta	MWA, MWB MWD, MWE MWG, RWM	Montaña Planicie / seco
4. Suelos ligeramente ácidos a neutros con fertilidad natural alta	MYA, RWN	Montaña/semiárido Planicie/seco
5. Suelos con reacción neutra a moderadamente alcalina con fertilidad natural media a baja	RWQ**, PWB	Planicie Pie de Monte / seco
6. Suelos con reacción neutra a muy alcalina con fertilidad natural alta y muy alta	RWO* RWP**	Planicie / seco

* Suelos con sales y sodio
** Suelos con sodio y relación Ca/Mg invertida

11.3.1.2. *Vacíos de conocimiento, dudas y ambigüedades detectadas en el estudio general de IGAC (2009)*

Una de las tareas importantes que se ejecutó durante el análisis y la evaluación del estudio general de suelos IGAC (2009) fue la de detectar vacíos de conocimiento, dudas y ambigüedades que se deben llenar, aclarar y precisar como paso previo y obligado para identificar la capacidad de uso y la susceptibilidad de las tierras al deterioro.

En la **(Tabla 11.8)** aparecen seis deficiencias detectadas, a las cuales es necesario agregar la necesidad de discriminar debidamente las fases cartográficas, con las Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) involucradas y los paisajes en los que se concentra el respectivo fenómeno.

Las deficiencias se refieren a la ocurrencia de suelos disimiles desde el punto de vista del uso y el manejo (superficiales y profundos) asociados; las limitantes de la profundidad efectiva señaladas por el IGAC (2009) son de cuatro tipos: 1. Contacto lítico, 2. Fragmentos gruesos en el perfil del suelo, 3. Condiciones redoximórficas (drenaje impedido) y 4. Presencia de sales y/o sodio.

Adicionalmente el fenómeno de las inundaciones no está definido, ni suficientemente delimitado en la dimensión espacial; hace falta indicar frecuencia y duración del desbordamiento de las aguas ya que si es superior a 90 días acumulativos durante el año las tierras podrían ubicarse en la clase **5** subclase **h**, mientas que si son más cortas podrían integrar la subclase **4hs**, para citar solo un ejemplo.

La definición de los ambientes edafogenéticos es muy deficiente en la escala 1:100.000 (tipo de relieve: plano de marea, con materiales parentales vagamente definidos) por lo que es necesario relacionar, en el caso del paisaje de planicie, las clases de drenaje natural (bueno, imperfecto y pobre) a las formas del terreno en las que se divide el plano de marea.

La ocurrencia de sales y/o sodio, de acuerdo al estudio general, solo permite definir fases cartográficas, pero queda la duda sobre si este fenómeno podría reflejarse en la taxonomía de los suelos.

El incremento de la humedad del clima en los pisos térmicos templado y cálido, cuando el material parental y el tipo de relieve son iguales, no explica el contenido pedológico de las UCS. Buscar explicaciones a estos hechos, en el marco del razonamiento pedológico, lleva al edafólogo a conocer mejor los suelos de la cuenca lo cual redunda en una mayor comprensión del componente suelo y, por ende, en una mayor y más eficaz contribución de la edafología al plan de ordenamiento de la Cuenca Hidrográfica del río Piedras – Manzanares.

Finalmente, la presencia en la unidad hidrográfica de fragmentos gruesos sobre la superficie del terreno, de erosión, inundabilidad y sales y/o sodio exige un trabajo arduo para discriminarlos de acuerdo a las exigencias de la escala 1:25.000. La pedregosidad superficial y la erosión se pueden precisar espacialmente valiéndose en el campo del mapa de pendientes para determinar si la calificación de estos fenómenos varía o permanece constante cuando la inclinación del terreno se incrementa o disminuye.

Tabla 11.8. Vacíos de conocimiento, dudas y/o ambigüedades en la identificación de los ambientes edafogenéticos y la conformación de UCS en el marco del estudio general consultado

DEFICIENCIA	UCS INVOLUCRADAS	PAISAJE
1. Asociaciones de suelos superficiales y profundos:		
1.1. Contacto lítico	MUA, MWA MWB, MWD MWE	Montaña
1.2. Fragmentos gruesos en el perfil del suelo	MQB, MVC MVD, MWG PWB	Montaña, Pie de Monte
1.3. Condiciones redoximórficas, drenaje impedido	RWM RWP	Planicie Marina
1.4. Presencia de sales y/o sodio	RWO, RWP RWQ	Planicie Marina

DEFICIENCIA	UCS INVOLUCRADAS	PAISAJE
2. Indefinición de la frecuencia y la duración de las inundaciones	RWM, RWN RWQ	Planicie Marina
3. Desconocimiento de la relación drenaje natural: formas del terreno en el plano de marea	RWM, RWN RWO, RWP RWQ	Planicie Marina
4. La ocurrencia de sales y/o sodio en los suelos genera duda sobre su efecto en la taxonomía	RWO RWE	Planicie Marina
5. Los materiales parentales de los suelos del plano de marea están vagamente definidos	RWM, RWN RWO, RWP RWQ	Planicie Marina
6. El incremento de la humedad del clima en los pisos térmicos templado y cálido, cuando el material parental y el tipo de relieve son iguales, no explica el contenido pedológico de las UCS	MPB, MQB MUA, MVA	Montaña

11.3.2. Etapa 2: Oferta de Información generada por el POMCA

Para mejorar la interpretación del mapa general de suelos se recurrió a productos entregados por otros componentes dentro del POMCA como el mapa de pendientes, la interpretación geomorfológica a nivel de forma de la tierra de acuerdo con la metodología de Alfred Zinck, el mapa de clima y el mapa de geología, adicional a estos productos, la consultoría elaboro un mapa de erosión para la cuenca el cual fue base fundamental para determinar las unidades de capacidad. Dentro de esta actividad se siguieron los siguientes pasos.

11.3.2.1. *Pendientes*

Se realizó una superposición cartográfica entre el mapa de pendientes generado a escala 1:25.000 por el POMCA **(Figura 11.2)** y las unidades de suelos del estudio general (linderos edafológicos en escala 1:100000) de la carta temática del IGAC para facilitar el reconocimiento de los suelos en el campo.

Las fases por pendientes que se generaron digitalmente fueron comprobadas en campo; de igual manera, el texto y la respectiva capa cartográfica pueden ser consultados en el capítulo de pendientes**.**

11.3.2.2. *Geología*

Se consultó el informe y la geología básica producida para el POMCA en escala 1:25.000, de este se tomó la descripción de las unidades geológicas, estratigrafía y tectónicas presentes en la cuenca y todo lo que permitiera determinar el material parental que dio origen a los suelos. (**Figura 11.3)**

11.3.2.3. *Geomorfología*

Se consultó el informe y la cartografía de geomorfología para suelos siguiendo la metodología de Alfred Zinck elaborada por el POMCA en escala 1:25000; de esta se tomaron las clasificaciones hechas a nivel de paisaje, tipo de relieve y forma del terreno, que son condiciones fundamentales para llevar el mapa de suelos a escala 1:25.000, la leyenda de interpretación hasta nivel de forma de la tierra se puede apreciar en la **(Anexo2)** y la representación cartográfica en la **(Figura 11.14)**, el informe puede ser consultado más adelante**.**

El componente geomorfológico con criterios edáficos de acuerdo con la guía metodológica fue generado por el POMCA y se describe en el numeral **(11.3.2.6)**.

11.3.2.4. *Clima*

Se consultó el informe y la zonificación climática, elaborada por el POMCA para tomar de este el piso térmico y la provincia de humedad ver **(Figura 11.5).**

11.3.2.5. *Erosión*

Mediante el uso y la integración en un ambiente SIG de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 se construyó el mapa de erosión el cual fue usado para la generación de fases cartográficas y como insumo para la clasificación de tierras por su capacidad de uso **(Figura 11.4).**

Figura 11.2. Figura del mapa de pendientes de la cuenca.

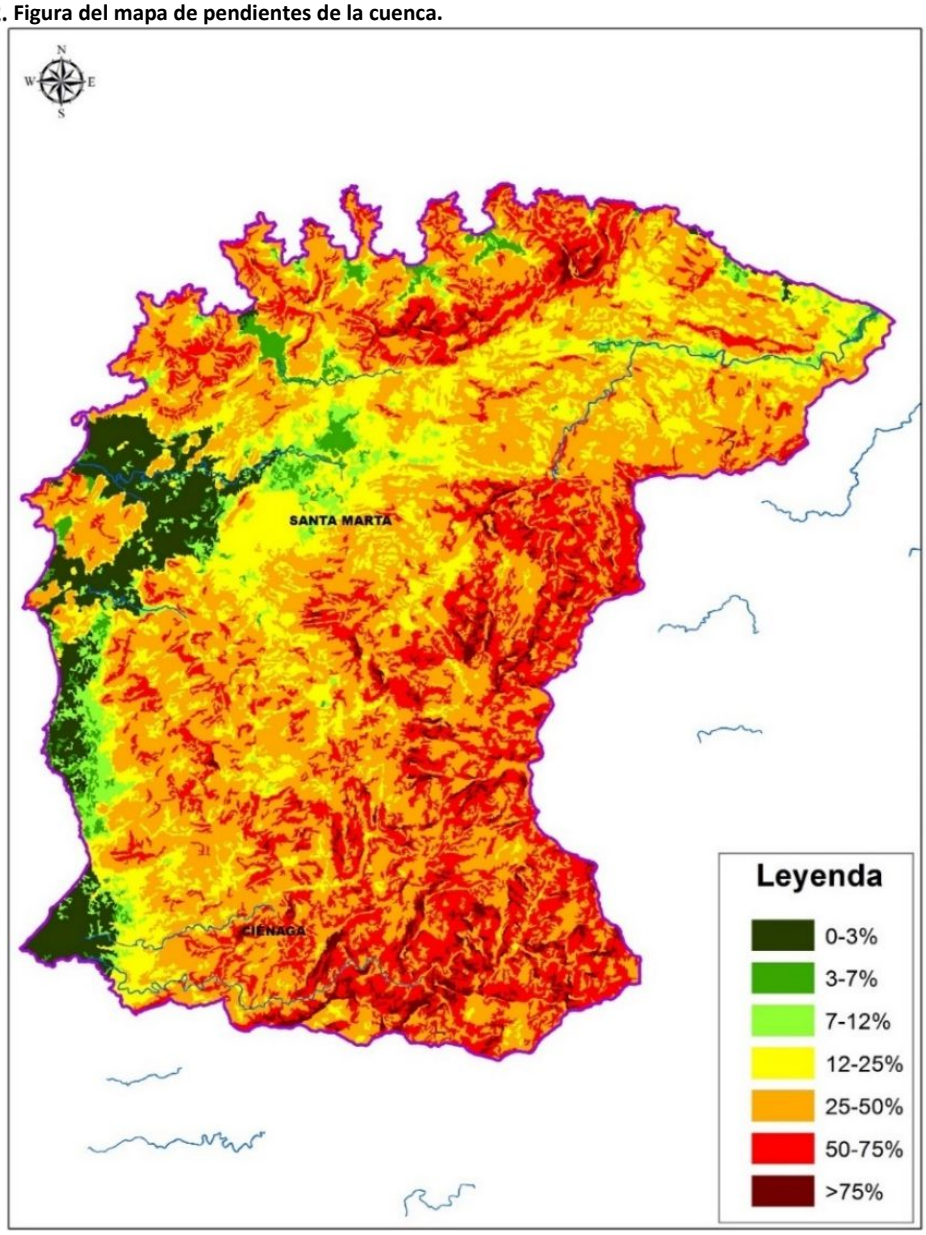


Figura 11.3. Figura del mapa geológico de la cuenca

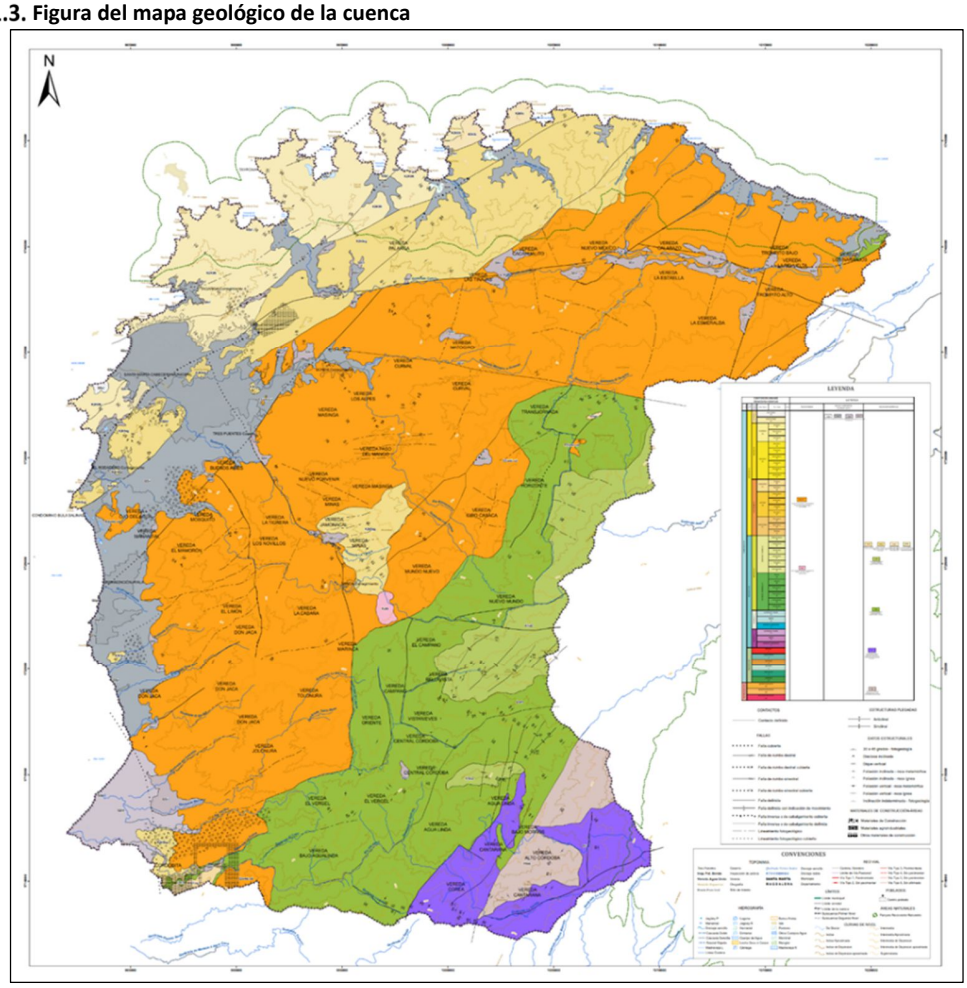


Figura 11.4. Figura del mapa de erosión de la cuenca

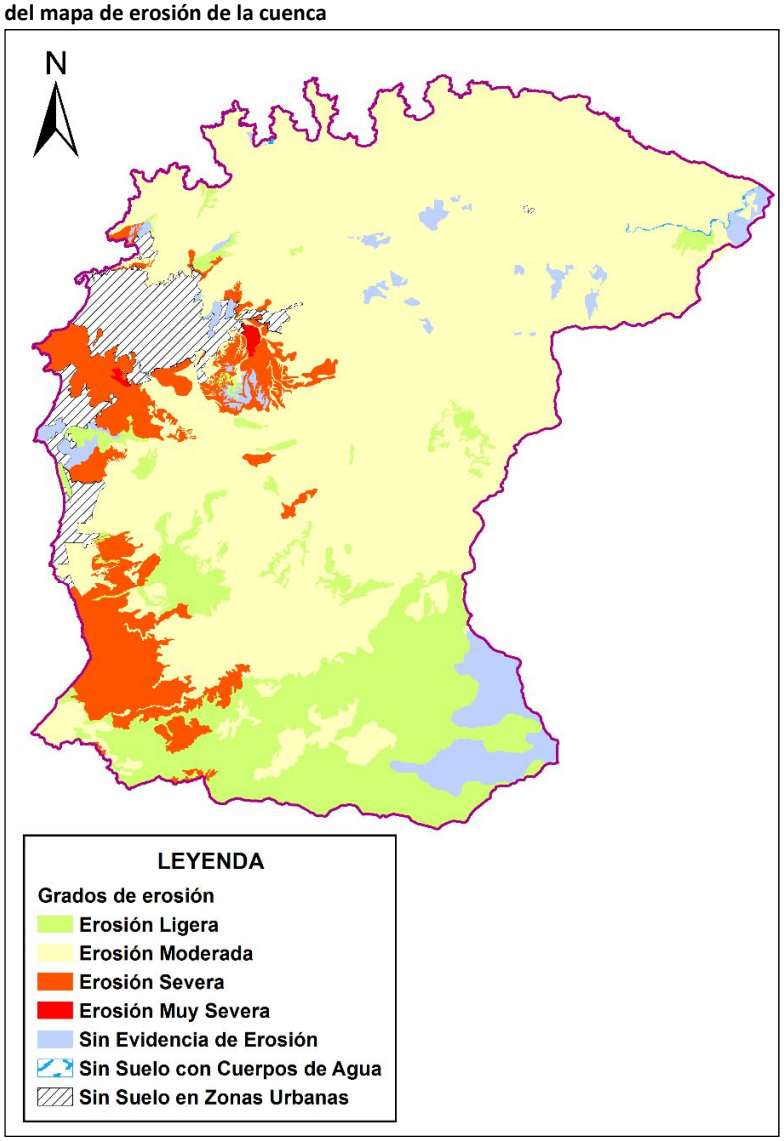
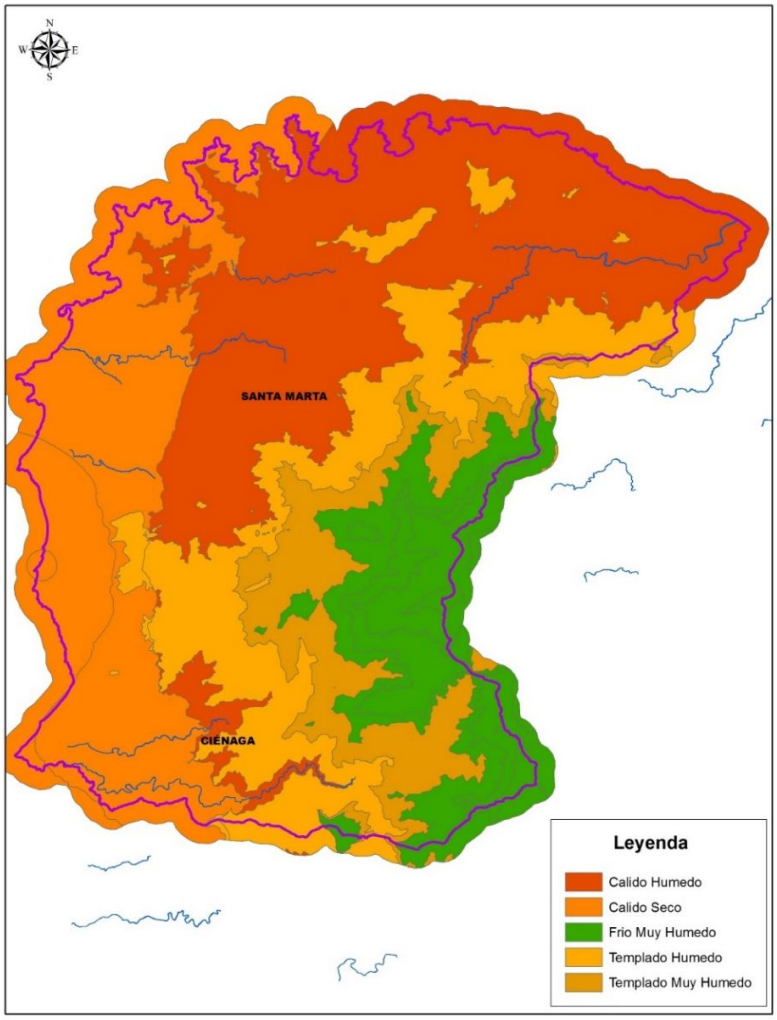


Figura 11.5. Figura del mapa climático de la cuenca



11.3.2.6. *Geomorfología con criterios edafológicos.*

La geomorfología es la ciencia que se encarga de investigar las formas del relieve de la superficie de la tierra; se interesa por describirlas, profundizar en su origen y determinar su evolución a través del tiempo; así como en establecer las fuerzas, agentes y procesos responsables de la morfología actual.

La geomorfología está interrelacionada con la formación de los suelos por medio del relieve, la morfodinámica de superficie, el contexto morfoclimático, los materiales no-consolidados o alterados que sirven de material parental a los suelos, y el factor tiempo. En este sentido, las geoformas y los suelos están vinculados con las dinámicas y procesos ocurridos en la litosfera, biosfera, hidrosfera y atmósfera, cualquier alteración ya sea positiva o negativamente los afecta, provocando ajustes (cambios) en esas interrelaciones.

El modelamiento de las actuales geoformas al interior de la cuenca son el resultado de largos procesos tecto-orogénicos (ocurridos en la sierra nevada desde principios del Mesozoico) que determinaron su altura actual. Afloran en esta unidad rocas de diferentes edades geológicas. En su cara occidental se encuentran yacimientos correspondientes al Paleozoico e incluso más antiguos localizados a partir del suroeste de Ciénaga hasta el mar Caribe.

En este numeral se presentan las características de las geoformas del área de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, considerando la génesis, evolución y litología que ayudaron a configurar los suelos identificados.

11.3.2.6.1. *Generalidades*

La Sierra Nevada es un macizo aislado e independiente de la cordillera de los Andes, que aparenta ser una formación geológica bastante uniforme; sin embargo, las rocas que la constituyen son de diversas edades y su formación dependió de una gran cantidad de eventos orogénicos altamente diferenciados, que se iniciaron hace unos 400 millones de años, durante el Predevónico, a juzgar por las características de su basamento de tipo metamórfico. Su constitución y su modelado se realizaron durante los últimos 200 millones de años y alcanzó su altura actual —5.775 msnm— durante el Pleistoceno, hace 100.000 años.

A finales del Período Terciario, luego de un largo proceso de orogénesis, la Sierra Nevada de Santa Marta, se terminó de levantar, lo hizo al igual que todo el sistema andino pero independiente de él, lo cual, en términos biogeográficos, le ha dado el carácter de una isla dentro del continente. Su origen comienza con un basamento metamórfico que data del Pre–Devónico, hace unos 400 millones de años. Posteriormente, por procesos tecto-orogénicos a principios del Mesozoico, en los períodos Triásico y Jurásico (225–135 millones de años), alcanzó mayor altura, así como una nueva localización dentro del país. Finalmente, procesos orogénicos Plio–Pleistocénicos (11–1 millones de años) determinaron su altura actual, que alcanza los 5.684 msnm en los picos Cristóbal Colón y Simón Bolívar. Los procesos orogénicos y el posterior fracturamiento y fallamiento de la Sierra Nevada, determinaron el relieve actual.

El desplazamiento de la Sierra ocasionó toda una reorganización de la cuenca baja del río Magdalena; desplazó su desembocadura mucho más hacia el occidente, donde se encuentra en la actualidad y formó todo el sistema estuarino y deltaico de Salamanca, un dique-isla que dio a su vez origen a la Ciénaga Grande de Santa Marta. La llanura magdalenense se fue modelando con muchos depósitos no consolidados fluvio-lacustres —depósitos de arcillas y limos de carácter ribereño— que cicatrizaron los movimientos de esta gran mole montañosa.

La cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se encuentra localizada en la región caribe colombiana y comprende la parte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y una pequeña franja costera adyacente a la misma; por este motivo se puede decir que la cuenca de estudio se puede dividir en dos grandes dominios: uno en el sector oriental, que comprende la parte montañosa de la SNSM caracterizado por presentar una topografía abrupta y escarpada; el otro, al occidente, correspondiente a la planicie de depositación aluvial y marina

11.3.2.6.2. *Metodología.*

La metodología empleada para la interpretación geomorfológica corresponde a la planteada por Alfred Zinck y ajustada para Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Zinck, 1987 y Zinck, 2012) para la realización de levantamientos de suelos, la cual integra las geoformas con la formación de los suelos; para ello dicha metodología propone una taxonomía de las geoformas de tipo jerárquico en seis niveles categóricos que corresponden a diferentes escalas de análisis, de desde una general hasta una detallada, se tienen las siguientes categorías:

- Geoestructura: Extensa porción continental caracterizada por su macro-estructura geológica, para el caso de la cuenca de los ríos Piedra y Manzanares se encuentran dos geoestructuras, la primera la Sierra Nevada de Santa Marta; esta geoestructura se caracteriza por presentar un ambiente predominantemente estructural, suplementariamente se observan procesos erosivos que le imprimen una influencia denudativa, inherente al levantamiento de éste gran sistema montañoso y a los procesos de incisión propios de la red de drenaje; la segunda es una cuenca de sedimentación del río Manzanares; aunque se debe aclarar que ésta última se encuentra en su gran mayoría urbanizada por el casco urbano de Santa Marta y los centros poblados de Bonda y Minca.

- Ambiente morfogenético: Amplio tipo de medio biofísico originado y controlado por un estilo de geodinámica interna y/o externa, para la cuenca se presentan los siguientes ambientes: estructural en la montaña y el lomerío, denudacional en el lomerío y deposicional en la planicie y el valle.

- Paisaje geomorfológico: Gran porción de terreno caracterizada por sus rasgos fisiográficos; corresponde a una repetición de tipos de relieve similares o a una asociación de tipos de relieve disímiles; en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se presentan los paisajes de montaña, planicie aluvial y valle aluvial.

- Relieve/modelado: Tipo de relieve originado por una determinada combinación de topografía y estructura geológica (p.e. cuesta, crestones, espinazos etc.). Tipo de modelado determinado por específicas condiciones morfoclimáticas o procesos morfogenéticos (p.e. glacis, terraza, delta, etc.).

- Litología/facies: Naturaleza petrográfica de las rocas duras (p.e. gneis, caliza, etc.) u origen/naturaleza de las formaciones no-consolidadas de cobertura (p.e. periglaciar, lacustre, aluvial, etc.)

- Forma de terreno: Tipo básico de geoforma caracterizado por una combinación única de geometría, historia y dinámica.

Luego de identificada la forma del terreno, ésta se convierte en el lindero dentro del cual ocurre la edafogénesis; es decir sobre ésta posición geomorfológica es que ocurren los factores y procesos

formadores de suelos que conllevan a que ocurra una evolución específica. Por este motivo, es que a partir de este momento se identifican las unidades de suelos a partir de la forma del terreno, con un clima específico y una geología las que conforman las unidades geomorfopedológicas, las cuales se explicarán más adelante.

En la **(Tabla 11.9)** se puede apreciar de manera resumida lo explicado anteriormente.

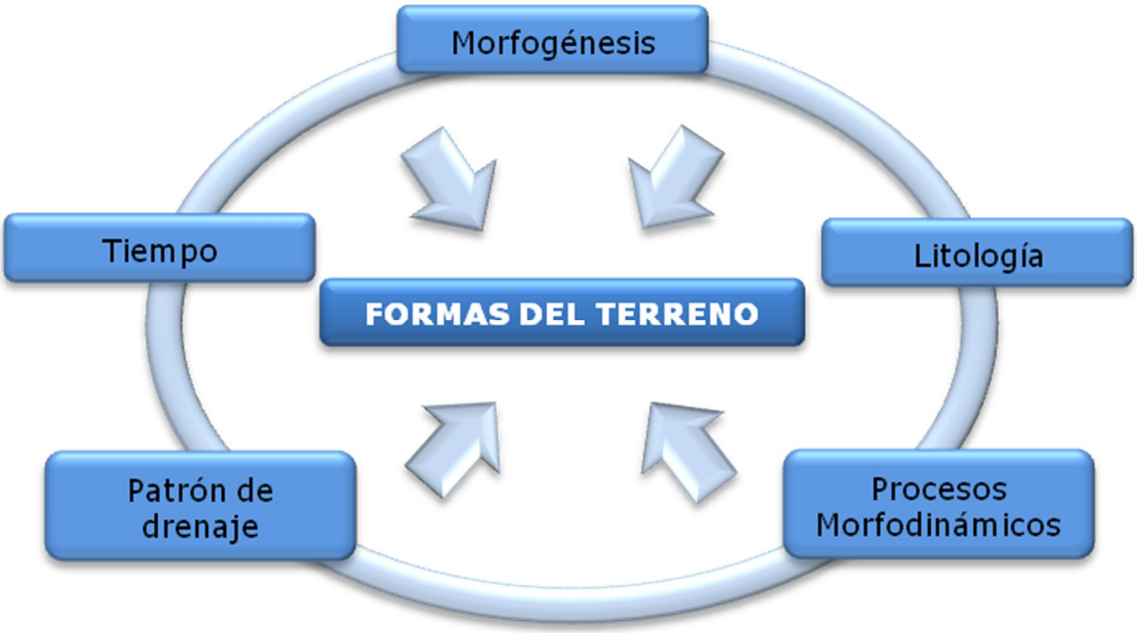
Tabla 11.9. Sistema taxonómico de las geoformas. Modificado de Zinck, 2012.

Nivel	Categoría	Concepto genérico	Definición	Escala
6	Orden	Geoestructura	Extensa porción continental caracterizada por su macro-estructura geológica (p.e. cordillera, geosinclinal, escudo)	General ↓ Detallada
5	Suborden	Ambiente morfogenético	Amplio tipo de medio biofísico originado y controlado por un estilo de geodinámica interna y/o externa (p.e. estructural, deposicional, erosional, etc.)	
4	Grupo	Paisaje geomorfológico	Gran porción de terreno caracterizada por sus rasgos fisiográficos; corresponde a una repetición de tipos de relieve similares o a una asociación de tipos de relieve disímiles (p.e. valle, altiplanicie, montaña, etc.)	
3	Subgrupo	Relieve/modelado	Tipo de relieve originado por una determinada combinación de topografía y estructura geológica (p.e. cuesta, horst, etc.).	
			Tipo de modelado determinado por específicas condiciones morfoclimáticas o procesos morfogenéticos (p.e. glacis, terraza, delta, etc.).	
2	Familia	Litología/facies	Naturaleza petrográfica de las rocas duras (p.e. gneis, caliza, etc.) u origen/naturaleza de las formaciones no-consolidadas de cobertura (p.e. periglaciar, lacustre, aluvial, etc.)	
1	Subfamilia	Forma de terreno	Tipo básico de geoforma caracterizado por una combinación única de geometría, historia y dinámica	

Fuente: Zinck, 2012

Las unidades geomorfológicas que se identificaron para la cuenca de los ríos Piedra y Manzanares se encuentran al nivel de formas de terreno; para su definición se tuvo en cuenta la morfogénesis que es el conjunto de procesos que originan geoformas, el tiempo (evolución), la litología (minerales), los procesos morfodinámicos actuales, la topografía y el patrón del drenaje; la manera en que interactúan estos factores se puede apreciar en la **(Figura 11.6).** Como resultado de ello se identificaron los paisajes geomorfológicos de Montaña, Lomerío, Piedemonte, Planicie Aluvial y Valle aluvial, dentro de los cuales se identificaron los tipos de modelados y sus respectivas formas del terreno y litología.

Figura 11.6. Factores considerados en la identificación de las formas del terreno



Fuente: Zinck, 2012

11.3.2.6.3. *Insumos.*

Para la interpretación de unidades geomorfológicas identificadas dentro de la cuenca de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, fueron tenidas en cuenta la información básica contenida en los mapas topográficos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la información temática de los mapas geológicos del Servicio Geológico y el Modelo Digital del Terreno con resolución de 30m (NASA) y de 12,5m descargado en https://vertex.daac.asf.alaska.edu/; se emplearon las imágenes de satélite Palsar que se mencionan a continuación en la **(Tabla 11.10)**.

Tabla 11.10. Relación de imágenes PALSAR

Código	Fecha
ALPSRS052303400	17 de enero de 2014
AP_04990_FBS_F0200	01 de marzo de 2015
AP_21342_FBS_F0180	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0190	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0200	15 de febrero de 2015
AP_21342_FBS_F0210	15 de febrero de 2015
AP_26462_FBS_F0180	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0190	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0200	18 de junio de 2015
AP_26462_FBS_F0210	18 de junio de 2015

De igual manera, en la **(Tabla 10.2)** se hace la relación de insumos como cartografía e imágenes de satélite que fueron utilizadas para el proceso de interpretación.

Tabla 11.11. Información utilizada para el análisis geomorfológico

Material		Fuente
Cartografía básica 1:25.000	Geodatabase	IGAC
Mapas geológicos escala 1:100.000	Planchas 11, 12, 18 y 19	SGC
Imágenes de satélite RapidEye: 14775271_173606, 14772909_173606 y 13797912_168296	Tomadas: 16 de noviembre de 2013, 29 de octubre de 2013 y 27 de enero de 2013	CORPAMAG
Ortofotomosaico 1:25.000	Planchas 11, 12, 18 y 19	CORPAMAG

11.3.2.6.4. *Información secundaria*

Para la cuenca de los ríos Piedra y Manzanares se encontró un estudio de geomorfología a nivel semidetallado, realizado por el centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (DIMAR), además de este documento, fueron tenidos en cuenta documentos generales de la región como: PMA de la Sierra Nevada de Santa Marta, el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Ciénaga y el POT de Santa Marta y por último el documento publicado por el IDEAM denominado Sistemas morfogénicos del territorio colombiano , a partir de la revisión de estos documentos junto con la información geológica disponible se comprendieron las características generales de la cuenca como su evolución, los modelados, la litología y los procesos morfodinámicos dominantes, permitiendo la definición preliminar de las unidades geomorfológicas que posteriormente fueron interpretadas y verificadas con trabajo de campo. A continuación, se presenta una breve descripción para cada texto.

11.3.2.6.5. *Unidades geomorfológicas identificadas en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares*

De acuerdo con la metodología de Zinck (2012), para la cuenca hidrográfica de los ríos Piedras y Manzanares se identificaron seis niveles jerárquicos: geoestructura, ambiente morfogenético, paisaje, relieve/modelado, litología y formas del terreno. Los cuales son explicados a continuación. **(Figura 11.7)**

Figura 11.7. Leyenda de Geomorfología (Metodología Alfred Zinck)

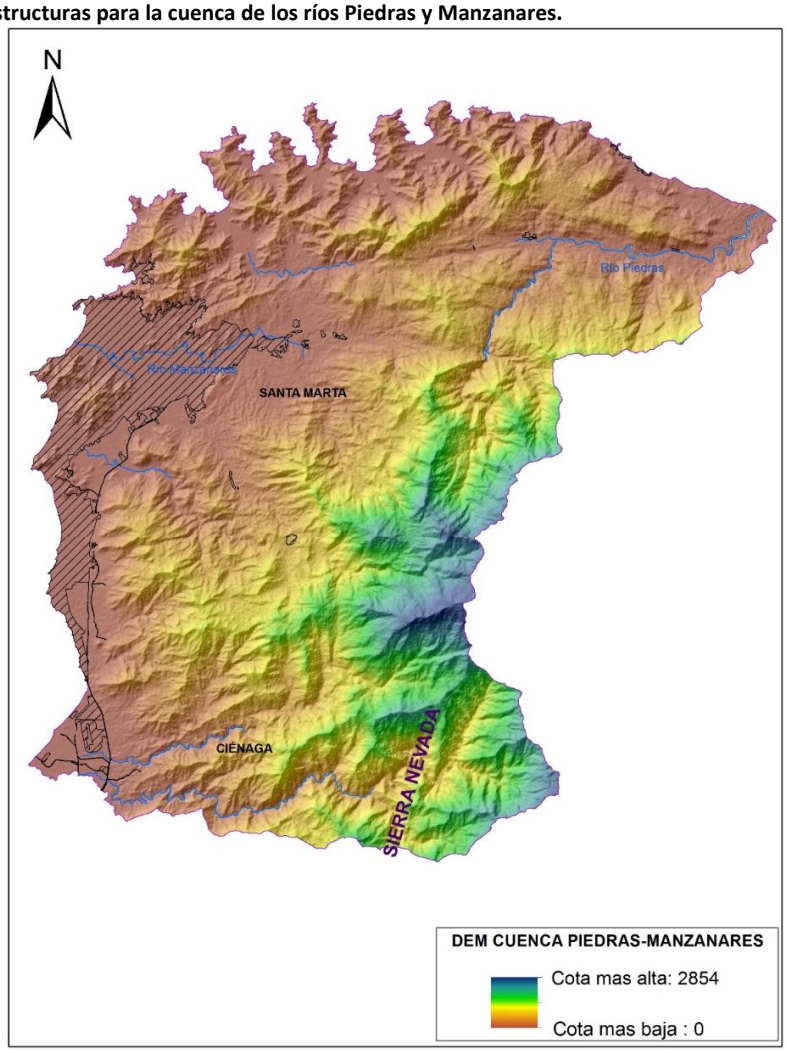
LEYENDA DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA CUENCA DE LOS RÍOS PIEDRAS, MANZANARES Y OTROS (Zinck)									
Paisaje	**Ambiente morfogenético**	**Relieve**	**Terreno**	**UGM**	**Litología**	**Lit**	**Símbolo**	**Área ha**	**% Área**
Montaña	Estructural	Filas y vigas	Laderas	MEL	Esquistos micáceos anfibolíticos y mármoles	b	MELb	53 948.46	58.1
					Cuarzodioritas de biotita y hornblenda	c	MELc		
					Neises cuarzo feldespáticos, anfibolitas verdes con hornblenda y plagioclasa, neises esquistosos, esquistos con moscovita y biotita	d	MELd		
					Esquistos verdes, filitas cloríticas, filitas de epidota, mica, cuarzo y calcita	c	MELc		
					Filitas cloríticas	f	MELf		
					Esquistos graníticos, micáceos y anfibólicos	g	MELg		
					Mármoles y materiales calcáreos (posiblemente caliza)	m	MELm		
					Neis, esquistos compuestos por anfíbol, plagioclasa, cuarzo y biotita	n	MELn		
					Esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos con cuarcitas	o	MELo		
					Neises compuestos por plagioclasa y anfíbol	p	MELp		
					Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	t	MELt		
					Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)	v	MELv		
					Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica	z	MELz		
		Resalto	Cima y laderas	MRL	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	t	MRLt	586.77	0.6
					Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica	z	MRLz		
	Denudacional	Lomas	Laderas	MLL	Esquistos micáceos anfibolíticos y mármoles	b	MLLb	16 220.30	17.5
					Cuarzodioritas de biotita y hornblenda	c	MLLc		
					Filitas cloríticas	f	MLLf		
					Mármoles y materiales calcáreos (posiblemente caliza)	m	MLLm		
					Esquistos grafitosos, micáceos y anfibólicos con cuarcitas	o	MLLo		
					Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	t	MLLt		
					Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)	v	MLLv		
					Cuarzodiorítica, granodiorítica a diorítica	z	MLLz		
			Laderas y cimas bajas	MLC	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda	c	MLCc	2 054.22	2.2
					Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	t	MLCt		
					Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas)	v	MLCv		
	Estructural	Cerros	Laderas	MCL	Esquistos micáceos anfibolíticos y mármoles	b	MCLb	2163.48	2.33
					Cuarzodioritas de biotita y hornblenda	c	MCLc		
					Filitas cloríticas	f	MCLf		
					Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	t	MCLt		
	Deposicional	Glacis	Plano-inclinado	MGP	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas medias y finas		MGP	2 468.43	2.7
		Vallecito coluvio-aluvial	Fondo y vega	MVW	Depósitos de material aluvial con aportes laterales		MVW	7 355.61	8

LEYENDA DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA CUENCA DE LOS RÍOS PIEDRAS, MANZANARES Y OTROS (Zinck)									
Paisaje	**Ambiente morfogenético**	**Relieve**	**Terreno**	**UGM**	**Litología**	**Lit**	**Símbolo**	**Área ha**	**% Área**
Valle aluvial	Deposicional	Abanico terraza	Plano	VAP	Depósitos de cantos y gravas subredeondeados, arenas		VAP	3 403.60	3.7
			Talud	VAX	Depósitos de gravas subredondeadas y arenas		VAX	16.01	0.02
		Terraza aluvial	Plano	VTP	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas		VTP	229.84	0.2
		Plano de inundación	Vega (cauce)	VPV	Cantos, gravas, arenas y limos		VPV	78.39	0.08
			Vallecito angosto	VPJ	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos		VPJ	609.03	0.7
			Napa de desborde	VPD	Depósitos sin consoidar de arenas finas, limos y arcillas		VPD	88.33	0.1
Planicie fluvio-marina		Marisma	Playa	RMY	Depósitos de arenas de grano fino, compuestas por cuarzo		RMY	140.81	0.2
			Barra	RMB	Depósitos de arenas de grano fino a medio		RMB	109.54	0.1
			Albufera (laguna costera)	RMK	Depósitos de arenas finas, limos y arcillas		RMK	25.62	0.03
			Manto de arena	RMR	Depósitos de arenas		RMR	344.93	0.4
		Terraza fluvio-marina	Plano	RZP	Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos		RZP	2 956.06	3.2
TOTAL								92 799.45	100.0

- Geoestructura

La geoestructura es definida por Zinck (2012) como una extensa porción continental que se caracteriza por su estructura geológica, la naturaleza de las rocas –litología-, la edad de las rocas y sus deformaciones –tectónica-. Por lo tanto, las unidades de geoestructura están directamente relacionadas con la tectónica de placas. Como se mencionó anteriormente, para la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se identificaron dos geoestructuras: la cordillera, representada por la Sierra Nevada de Santa Marta y la cuenca de sedimentación del río Manzanares. **(Figura 11.8)**

Figura 11.8. Geoestructuras para la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares.



- La cordillera.

está conformada por un gran macizo rocoso que se encuentra aislado del sistema montañoso andino, denominado Sierra Nevada de Santa Marta; se caracteriza por presentar un ambiente estructural, pues este complejo triangular es la consecuencia de tres orogénesis y de su ubicación en la intersección de tres fallas regionales que son la de Santa Marta, la de la Oca y el Lineamiento del Cesar, ocurridos durante el mesozoico y el Terciario.

- Ambientes morfogenéticos

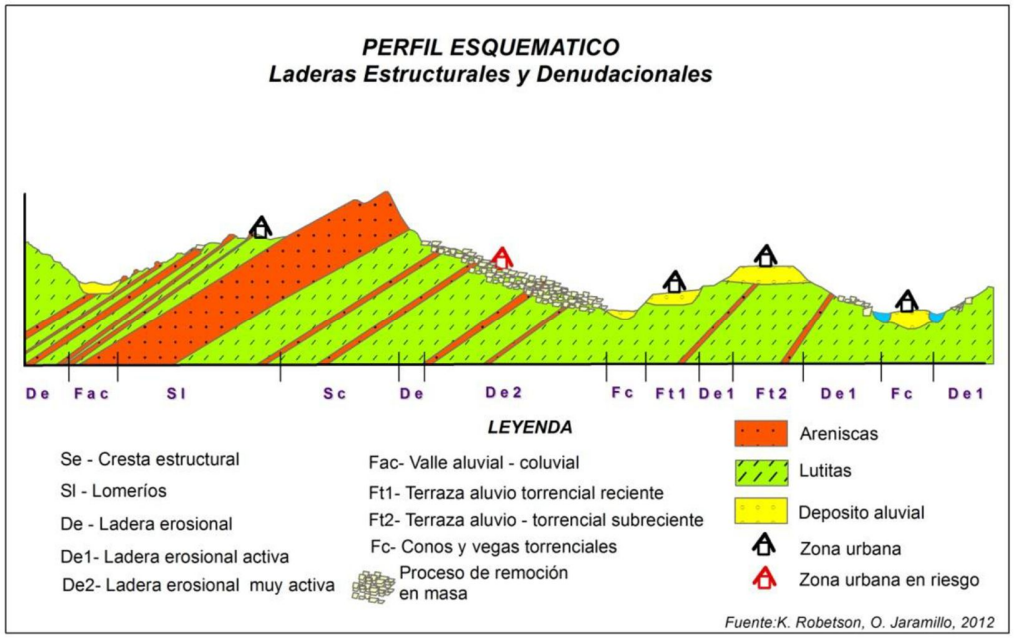
Los ambientes morfogenéticos son tipos del medio biofísico, originados y controlados por características geodinámicas internas y externas específicas; se diferencian cinco tipos de ambientes: estructural, deposicional, denudacional (o erosional), disolucional y residual (Zinck,

2012). En la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se tienen como ambientes morfogenéticos el denudacional, el estructural y el deposicional.

- Denudacional

Predominan procesos de disección por erosión hídrica, el escurrimiento superficial y sub-superficial es una característica de este ambiente; la disección de los paisajes por los procesos exógenos se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos. Bajo condiciones climáticas secas, las formas erosivas relacionadas con disección y perdida del suelo generan fenómenos de erosión en forma laminar, surcos y cárcavas, es decir terrenos eriales. En cambio, condiciones húmedas favorecen la meteorización del subsuelo y los movimientos gravitatorios con sus deslizamientos y flujos de suelos y escombros; en la **(Figura 11.9)** se puede apreciar un perfil esquemático de los ambientes denudacionales.

Figura 11.9. Perfil esquemático con laderas estructurales y denudacionales



Fuente: IDEAM, guía para mapas geomorfológicos (2013).

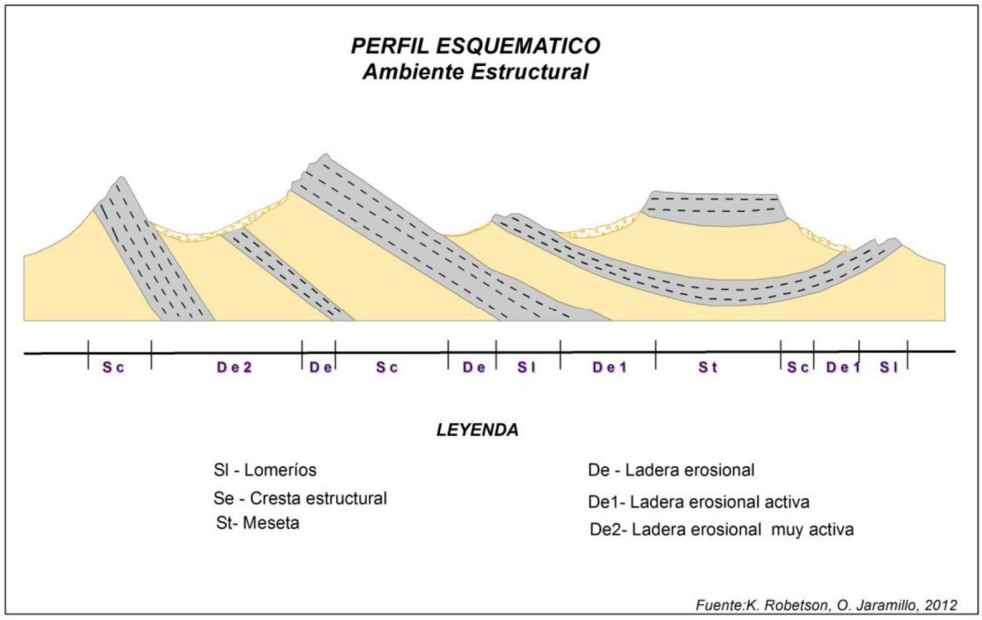
- Deposicional.

presenta acumulación de materiales aluviales y coluvio-aluviales bajo la influencia de la sedimentación de la red de drenaje, son frecuentes los vallecitos coluvio-aluviales que favorecen la disección de las lomas y mesas y las áreas donde se desborda el río Opón y el Magdalena.

- Estructural – Erosional

El ambiente morfogenético estructural-erosional en el paisaje de lomerío se asignó a los modelados con formación geológica del Terciario que fueron levantados por aspectos estructurales y topográficamente se encuentran más elevados. **(Figura 11.10)**

Figura 11.10. Perfil esquemático de ambientes estructurales.



Fuente: IDEAM, guía para mapas geomorfológicos (2013).

- Paisajes geomorfológicos

Un paisaje geomorfológico es una "amplia porción de terreno caracterizada por su expresión fisiográfica; corresponde a una repetición de tipos de relieve/modelados similares o a una asociación de tipos de relieve/modelados disímiles" (Zinck, 2012:70). Para la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se definieron tres paisajes geomorfológicos: Montaña, Planicie aluvial y Valle aluvial, los cuales son explicados a continuación, la ubicación dentro de la cuenca y el porcentaje de estos se puede apreciar en las figuras **(Figura 11.11)** y **(Figura 11.12)**.

Figura 11.11. Localización de los diferentes paisajes en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares.

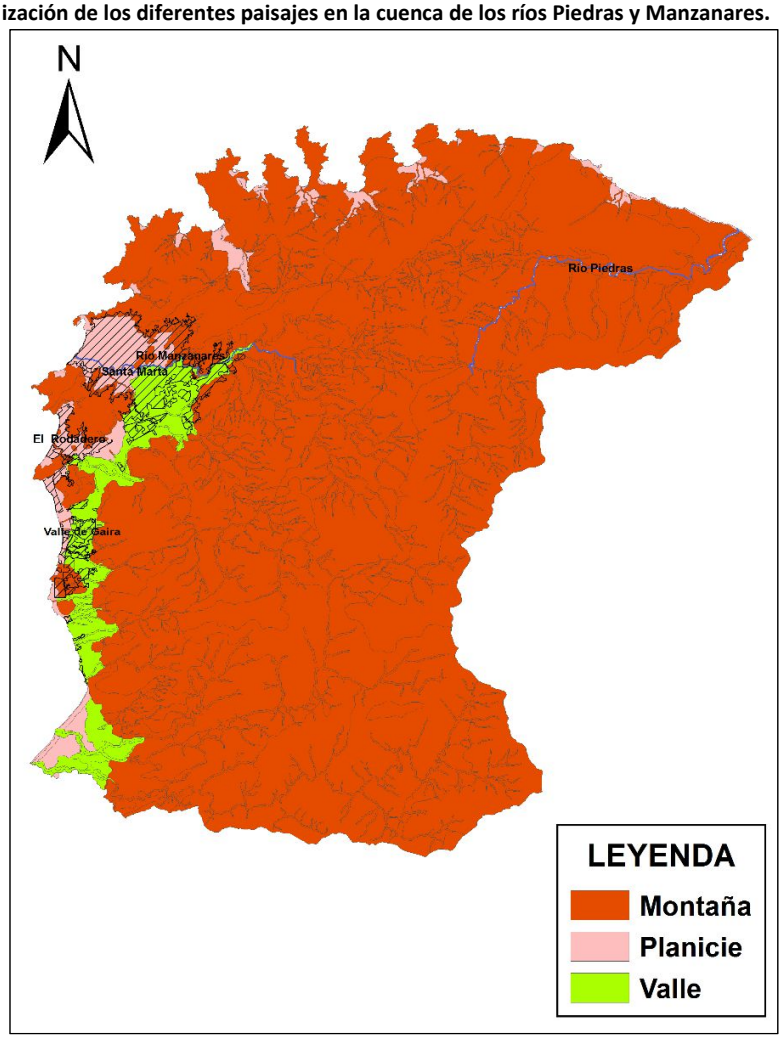
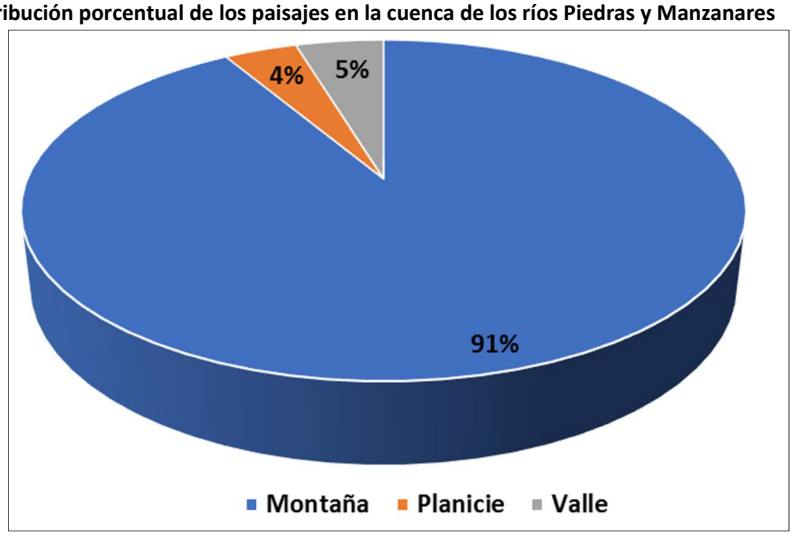


Figura 11.12. Distribución porcentual de los paisajes en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares



- Paisaje de montaña y sus tipos de relieve

El paisaje de montaña corresponde a una porción de terreno elevada, profundamente disectada y que limita con zonas topográficamente más bajas (Zinck, 2012); de igual manera, el IGAC la define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, semirredondeada o redondeada; para la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares se cumplen estas condiciones en el 83% de su área con 77.517 hectáreas en este paisaje.

En general, este paisaje se encuentra distribuido en la mayor parte de la cuenca, entre los 300 y los 2800 msnm; se caracteriza por presentar una topografía abrupta, con pendientes superiores a 12%, con cuchillas en dirección SW-NE que se encuentran separadas por valles en forma de V.

Este paisaje es el resultado de una compleja mezcla de procesos relacionados con la tectodinámica (procesos endógenos) y se ha originado en principio por fenómenos orogénicos como levantamientos y hundimientos, así como plegamientos y fallamientos; por la intensa actividad tectónica y el vulcanismo. Posterior a estos ciclos, la montaña ha estado expuesta por largos periodos de tiempo a procesos degradacionales (exógenos), como la meteorización, la erosión y en un grado mínimo la sedimentación; estos procesos mencionados son los que han ido labrando la forma como conocemos actualmente la Sierra Nevada.

- Filas y Vigas (ME)

Están localizadas entre los 300 y 2800 msnm, su inclinación es en general superior al 50%, con longitudes que varían entre 30 y 80 metros, con formas rectas.
Las formas de terreno determinadas para este tipo de relieve corresponden a las laderas,

- Lomas (ML)

Son relieves o modelados que presentan una forma alargada con alturas inferiores a los 300 m, cimas angostas o amplias de forma convexa (3-12%) y laderas convexo-cóncavas con pendientes entre el 3 y el 50%. Para el área de interés, las lomas se componen de areniscas, calizas, conglomerados y limolitas.

- Cerros (MC)

Corresponde a prominencias topográficas sobresalientes y aisladas con morfología alomada o colinada, cimas redondeadas a planas y algunas veces agudas. La unidad está compuesta por esquistos, filitas, cuarzodioritas, hornblenda, biotita y mármoles, la superficie presenta relieve bajo (50 - 250 m), con pendiente topográfica muy inclinada, abrupta, muy abrupta y escarpada, moderadamente larga y larga, de forma recta. En esta geoforma se presenta escurrimiento superficial difuso.

- Glacis (MG)

Corresponde a depósitos de detritos y sedimentos transportados por efecto de la fuerza de gravedad y el escurrimiento superficial, se encuentran localizados en la base de los relieves elevados y presentan una forma plano-inclinada y/o convexo-cóncava, se compone de Depósitos coluvio-aluviales compuestos por bloques, cantos, arenas y arcillas.

➢ Paisaje de Planicie fluvio marina

El paisaje de planicie aluvial corresponde a una porción del terreno plana, no confinada, de posición baja, con poca energía del relieve y pendientes suaves (Zinck, 2012); para el caso específico es una forma de tipo agradacional con aportes de origen marino y aluvial que posee una pequeña porción de la cuenca (4%) formada por el río Cordobita y el Manzanares, la planicie de este último río ha sido totalmente cubierta por la construcción de la ciudad de Santa Marta.

Los tipos de relieve encontrados en este paisaje son:

- Marismas (RM)

Las marismas son tipos de relieve que tienen una pendiente contraria a la dirección del mar, por lo cual se dificulta la evacuación del agua; por lo general en el interior de las marismas aparecen grandes cantidades de musgos y cañaverales; las marismas se inundan por desbordamiento del río Magdalena, las marismas presentan diversos niveles de estancamiento, que se pueden asemejar con diferentes niveles de terrazas.

- Terraza fluvio marina (RZ)

Las terrazas corresponden a una superficie plana formada por la anterior sedimentación de un río o quebrada, para la cuenca se asocia a la sedimentación de los ríos Manzanares y Piedras, y las quebradas Matogiro (o Donoma), Concha, Paliangana y Jordán. La unidad está compuesta por depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, la superficie presenta relieve muy bajo (< 50 m), con pendiente topográfica plana, corta y moderadamente larga, de forma recta, el drenaje actual ha disectado estos depósitos. En esta geoforma se presenta inundaciones y avenidas torrenciales.

- Valle aluvial

Alfred Zinck define el paisaje de Valle como una porción de terreno alargada y plana ubicada entre dos zonas de relieve más alto (Zinck, 2012), en la cuenca de interés se encontraron modelados aluviales formados por los ríos Córdoba y Manzanares compuestos por Depósitos poco consolidados de gravas, arenas y limos en matriz arcillosa. La superficie presenta una pendiente topográfica de plana a ligeramente plana (0-3%); el paisaje de valle ocupa un área de 11.704 hectáreas que corresponden al 13%.

En el paisaje de valle se identificaron como tipos del relieve las terrazas y el plano de inundación.

- Terraza aluvial (VT).

Se localizan entre 20 y 100 msnm, con inclinaciones que no superan el 7% y longitudes mayores a 100 metros, presentan un patrón de drenaje sub paralelo a dendrítico con una densidad baja, el grado de disección es ligero al punto de llegar a presentar taludes como formas del terreno.

- Plano de inundación (VP).

Se localiza entre 0 y 50 msnm, con inclinaciones que no superan el 3%, con formas planas y plano cóncavas; como formas de la tierra presentan vegas y napas de desborde; se encuentran asociadas a los principales drenajes de la cuenca, pero, las únicas cartografiables son las del río Córdoba y el Manzanares.

El resultado de la labor de interpretación sobre imágenes satelitales y posterior comprobación de campo, permitió identificar las formas anteriormente descritas **(Figura 11.14)**, los diferentes tipos de relieve encontrados en la cuenca se pueden apreciar en la **(Figura 11.13)**, de igual manera, la interpretación hasta la forma de terreno permitió realizar un análisis junto con la geología y el clima, para poder llegar a tener como resultado el mapa gemorfopedológico, el cual se puede apreciar en la **(Figura 11.15)**; así mismo se generó una leyenda geomorfopedológica en donde se resumen todos los componentes que conformaron las unidades de suelos.

En la leyenda geomorfopedológica, la cual es el resultado de la unión de los cuatro primeros pasos del enfoque metodológico, se plasman las características de los suelos encontrados en cada unidad, la unidad de suelos tuvo como límite cartográfico la forma del terreno y sobre ésta se determinaron las fases por pendiente, erosión y humedad. La leyenda se puede apreciar con los diferentes aspectos descritos anteriormente en EL **(Anexo3)**. Se recuerda que la salida cartográfica (shp), se puede ver en la gdb del POMCA.

Figura 11.13. Distribución de los tipos de relieve encontrados en la cuenca de los ríos Piedras y Manzanares.

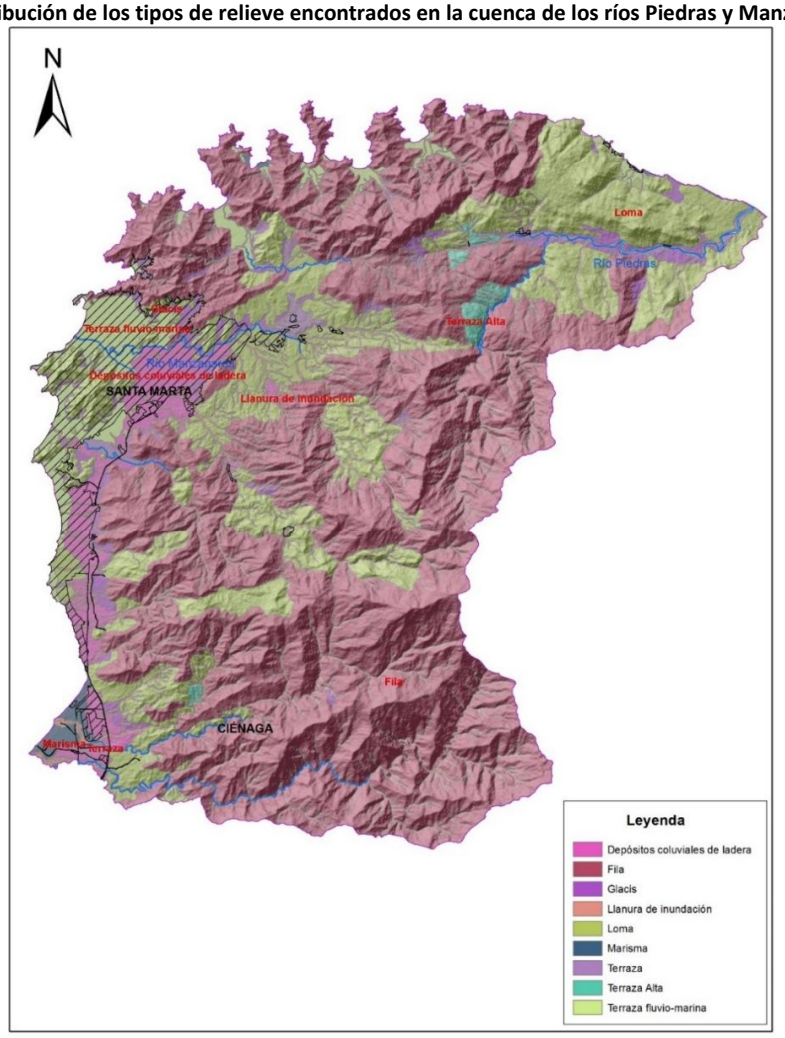
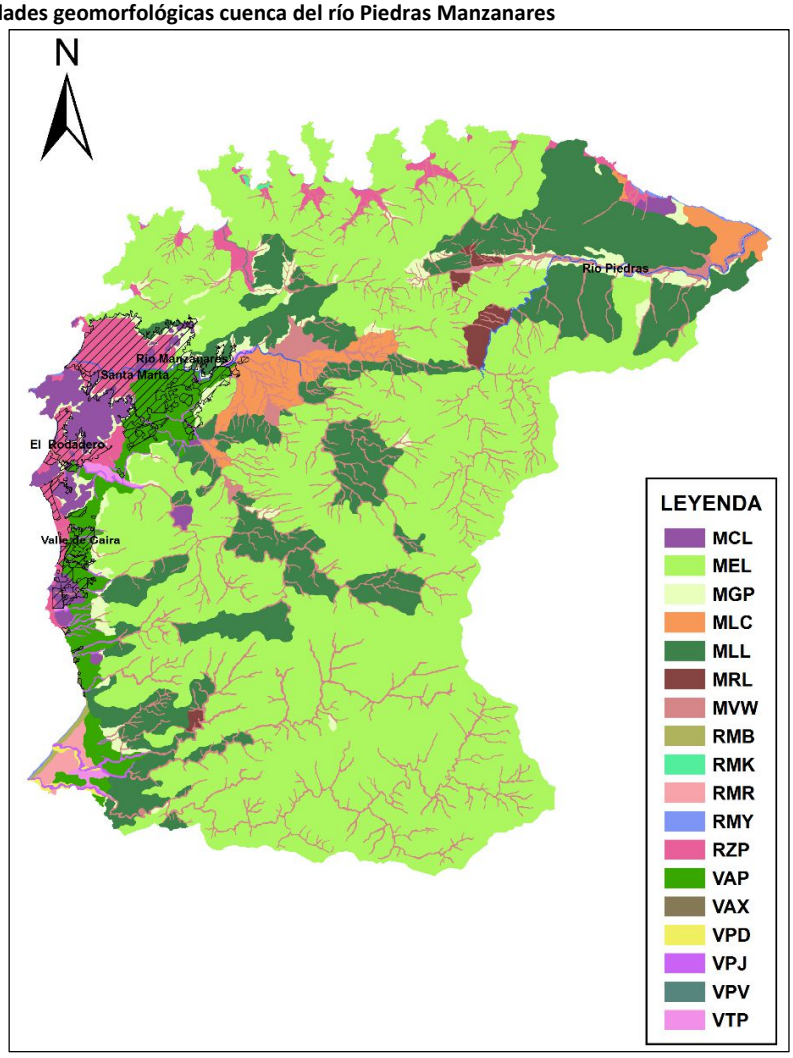


Figura 11.14. Unidades geomorfológicas cuenca del río Piedras Manzanares



11.3.3. Mosaicos edáficos de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe modificado y complementado con los mapas generados por el POMCA

Las capas cartográficas de los componentes temáticos mencionados anteriormente, fueron cruzados (superposición) para obtener una capa cartográfica preliminar de suelos a escala 1:25.000 esta acción cartográfica se puede apreciar en la **(Figura 11.15),** la cual fue utilizada en la fase de verificación de campo.

Se llevó a efecto el trabajo de campo, previa elaboración de un plan de actividades ver numeral **(11.3.3.2)** del análisis del componente suelo a partir del Estudio de IGAC (2009)

Las tareas ejecutadas en el campo se enfocaron a la solución de los vacíos de conocimiento y a la aclaración de dudas e inconsistencias y en consecuencia las observaciones tanto de las propiedades

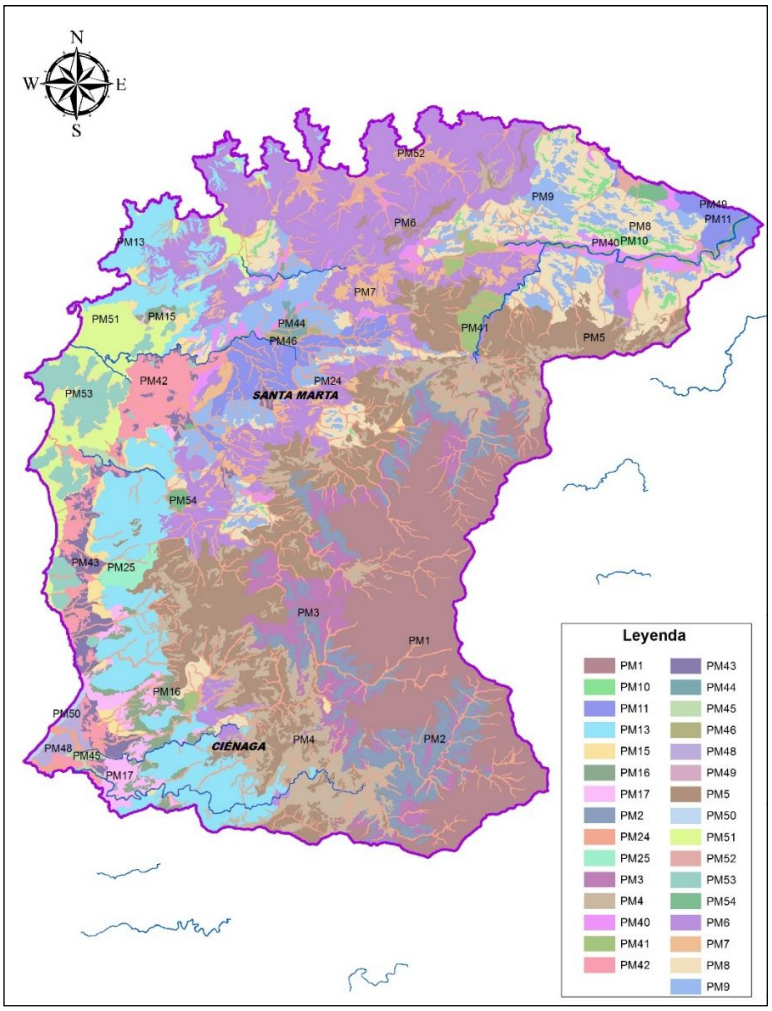
de los suelos reflejadas en la morfología de los perfiles que tipifican las poblaciones edáficas, como de las características externas conocidas en el lenguaje de los edafólogos reconocedores como fases cartográficas (pendientes del terrenos, grados de erosión, ocurrencia de fragmentos gruesos en la superficie del suelo, inundabilidad – frecuencia y duración de los desbordamientos de los ríos). Estas se suman a la identificación y evaluación de los impactos de la alteración del medio natural por la acción antrópica (destrucción de las ciénagas por su desecación) para ampliar la frontera de la ganadería y/o de la agricultura con efectos muy preocupantes en el equilibrio de la naturaleza.

Para cumplir con los objetivos del estudio (Elaboración del mapa de capacidad de uso de las tierras aplicado al POMCA) se realizaron en el área de interés 688 observaciones del medio edáfico, éstas fueron realizadas en un 60% en cajuelas (huecos de 40 * 40 * 60 cm) y en calicatas (excavaciones de 1.20 x 1.20 x 1.50 m) y el resto se realizaron como observaciones de verificación de las fases cartográficas, como por ejemplo, identificación de áreas con pedregosidad en superficie, áreas con procesos erosivos y sitios en donde se identificó la duración y frecuencia de las inundaciones, todas se llevaron a efecto en distintos sitios de la cuenca, debidamente georreferenciados.

Es necesario resaltar que las observaciones hechas en el campo cumplieron, además de llenar los vacíos de conocimiento y de aclarar las dudas que se detectaron en el estudio de IGAC (2009), a fortalecer y profundizar el conocimiento de los componentes del mosaico edáfico de la cuenca estudiada a tal punto que es perfectamente posible calificar el efecto de las limitaciones del recurso en la definición de la capacidad de uso de las tierras y que la carta temática resultante es, sin lugar a duda, el mejor indicador de éxito en el cumplimiento del objetivo del estudio realizado.

Como se puede apreciar en la leyenda a validar en campo **(Anexo3)** y a manera de ejemplo en la tabla, La unidad MWB que provenía del estudio general se dividió en tres nuevas unidades (PM15, PM17, PM54) teniendo en cuenta los cruces cartográficos de los diferentes insumos generados por el POMCA (Mapas: geomorfología, pendientes, clima) y el análisis que se hizo del Estudio General de Suelos del Departamento de Magdalena; de esta misma manera se realizó para todas las UCS (Unidades Cartográficas de Suelo) el procedimiento expuesto; como se mencionó, este ejercicio se realizó para todas las unidades que venían del estudio general.

Figura 11.15. Figura del mosaico edáfico de la cuenca



11.3.3.1. *Trabajo de campo.*

Se realizó un plan de trabajo de acuerdo con las condiciones de accesibilidad a las diferentes zonas de la cuenca y teniendo en cuenta las unidades del estudio general que se revisarían, este plan de trabajo se puede apreciar en la **(Tabla 11.12)** en la cual se realizó este plan de trabajo de una manera efectiva gracias a la valiosa colaboración de entidades municipales, a la población en general y especialmente a las juntas de acción comunal.

Tabla 11.12. Cronograma de actividades definido para la ruta de la tierra

RUTA VEREDAL CUENCA RÍO PIEDRAS, RÍO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE			
Día	**Municipio**	**Veredas**	**UCS**
1	Ciénaga	Región Cordobita	MWB MWD
2	Ciénaga	Jolonura	PWB MWB
3	Santa Marta	Corregimiento Minca	MVC MVD
4	Santa Marta	Corregimiento Minca	MVC MQB
5	Santa Marta	Corregimiento Minca	MQB
6	Santa Marta	Corregimiento Minca	MQB MKB
7	Santa Marta	Corregimiento Minca	MWB PWB
8	Santa Marta	Corregimiento Minca	RWN MYA
9	Santa Marta	Corregimiento Bonda	MWB MWG
10	Santa Marta	Corregimiento Bonda	MWB MWG MWE
11	Ciénaga	Mamonal Jolonura	MWB PWB RWP
12	Santa Marta	Corregimiento Minca	MWB PWB
13	Santa Marta	Santa Marta	MYA RWN
14	Santa Marta	Corregimiento Guachaca	RWN MWE
15	Santa Marta	Corregimiento Bonda	PWB MWB

11.3.3.2. *Estrategias para llenar vacíos de conocimiento, mejorar la definición de los ambientes edafogenéticos y precisar y/o discriminar las fases cartográficas de acuerdo a las exigencias de la escala 1:25.000 (plan de trabajo)*

Una vez identificados los problemas y/o deficiencias del estudio general de suelo (IGAC 2009) se establecieron las estrategias para complementar y/o precisar el conocimiento del medio edáfico de la Cuenca del Río Piedras, río Manzanares, como paso obligado para conocer, con suficiente profundidad, las fortalezas y las limitaciones de las poblaciones de suelos que conforman su territorio y cuya comprensión es fundamental para clasificar las tierras por su capacidad de uso y manejo.

En la tabla **(Tabla 11.13)** se relacionan los problemas a resolver, las unidades cartográficas de suelos (UCS) involucradas y las acciones que se deben ejecutar en la oficina, como en el campo para lograrlo. En el caso, por ejemplo, de las asociaciones de suelos superficiales y profundos se tuvo en cuenta el tipo de limitación (contacto lítico, presencia de fragmentos gruesos, condiciones redoximórficas, contenidos de sales y/o sodio) para sugerir las tareas a cumplir con el fin de corroborar la existencia del problema, precisar su alcance en cuanto a limitar las relaciones suelo: planta y encontrar el camino más expedito para ubicar, en la dimensión espacial, la limitación de la profundidad efectiva. Todo parece indicar que el mapa de pendientes facilita el trabajo en el paisaje de montaña y la fotointerpretación combinada con observaciones de los suelos en el campo hacen el mismo efecto en los paisajes de planicie y pie de monte.

La estrategia seleccionada para definir la frecuencia y duración de las inundaciones así como las variaciones del drenaje natural (bueno, imperfecto y pobre) y del contenido de sales y/o sodio implica un trabajo intenso en el terreno el cual debe hacerse en el marco del razonamiento pedológico para que produzca resultados que facilite la evaluación de la capacidad de uso de las tierras que sirva llevar a efecto proyectos agrícolas, ganaderos, forestales, y agrosilvo – pastoriles, acordes con el paradigma del desarrollo sostenible, lo mismo que programas de conservación y/o recuperación de la naturaleza.

Tabla 11.13. Estrategias para llenar vacíos de conocimiento mejorar la definición de los ambientes edafogenéticos y precisar y/o discriminar las fases cartográficas de acuerdo a las exigencias de la escala 1:25.000 (PLAN DE TRABAJO)

PROBLEMAS A RESOLVER	UCS INVOLUCRADAS	ACCIONES A EJECUTAR
1. Asociaciones de suelos superficiales y profundos:		
1.1. Contacto lítico	MUA, MWA MWB, MWD MWE	Corroborar con los perfiles modales del estudio general y/o con observaciones directas en el campo. Utilizar el mapa de pendientes 1:25.000 y, si es necesario, la fotointerpretación para separar los suelos con y sin contacto lítico

PROBLEMAS A RESOLVER	UCS INVOLUCRADAS	ACCIONES A EJECUTAR
1.2. Fragmentos de roca en el perfil	MQB, MVC MVD, MWG PWB	Corroborar con observaciones en el campo y estimar el porcentaje de fragmentos gruesos (< 35%; 35 - 90%; >90) estableciendo, en cada caso, si los fragmentos de roca realmente impiden la penetración de las raíces
1.3. Condiciones redoximórficas (drenaje impedido)	RWM RWP	Corroborar el drenaje natural en los perfiles modales del estudio general consultado y/o en las observaciones en el campo utilizando, en cada caso, fotointerpretación para separar formas del terreno estableciendo la relación de estas con el drenaje natural
1.4. Presencia de sales y/o sodio	RWO RWP RWQ	Corroborar la afectación por sales y/o sodio en los resultados de los análisis químicos del estudio general. Comprobar el fenómeno en el campo identificando las áreas afectadas y la localización de las sales en el perfil del suelo; se deben tomar muestras de los perfiles modales de los suelos afectados para cuantificar la salinidad y/o sodicidad

PROBLEMAS A RESOLVER	UCS INVOLUCRADAS	ACCIONES A EJECUTAR
2. Indefinición de la frecuencia y la duración de las inundaciones	RWM RWN RWQ	Precisar frecuencia y duración del fenómeno estableciendo, en el segundo caso, si permanece < 1mes, 1 a 3 meses y más de 3 meses. Identificar y delimitar fases drenadas; es importante tratar el tema con los propietarios de los predios y con los profesionales de asistencia técnica
3. Desconocimiento de la relación drenaje natural: formas del terreno en el plano de marea	RWM, RWN RWO, RWP RWQ	Utilizar fotointerpretación y trabajo de campo (observaciones detalladas) para separar las formas de la tierra en el plano de marea estableciendo, en cada caso, la clase de drenaje natural: bueno, imperfecto, pobre, muy pobre
4. Dudas sobre la taxonomía de los suelos afectados por sales y/o sodio	RWO RWE	Corroborar con los análisis de laboratorio del estudio general consultado y con los correspondientes al muestreo de suelos durante la fase de campo la magnitud del fenómeno para comprobar la condición de fase cartográfica o el impacto de la afectación en la taxonomía de los suelos

PROBLEMAS A RESOLVER	UCS INVOLUCRADAS	ACCIONES A EJECUTAR
5. Materiales parentales vagamente definidos	RWM, RWN RWO, RWP RWQ	Determinar en condiciones de campo las características principales de los depósitos de sedimentos que fungen como materiales formadores de suelos; buscar apoyo de un experto (geólogo, sedimentólogo) si es necesario; correlacionar familia textural con granulometría de los sedimentos
6. Dudas sobre si el incremento en la humedad del clima en los pisos térmicos templado y cálido, cuando los materiales parentales y los tipos de releve son iguales, realmente explica el contenido pedológico de las UCS	MPB MQB MUA MVA	Definir, en condiciones de campo y en el marco del razonamiento pedológico, si es realmente necesario diferenciar climas húmedos y muy húmedos, desde el punto de vista taxonómico; determinar el factor responsable de la diferencia taxonómica

PROBLEMAS A RESOLVER	UCS INVOLUCRADAS	ACCIONES A EJECUTAR
7. Discriminación de las fases por erosión pedregosidad, inundabilidad, salinidad y/o sodicidad en el marco de la exigencia de la escala 1:25.000	EROSIÓN* MPB, MQB MUA, MVA MVC, MVD MWA, MWB MWD, MWE MYA, PWB INUNDABILIDAD* RWM RWN RWQ SALES Y/O SODIO* RWO RWP	Para la discriminación de la erosión se debe utilizar el mapa de pendientes como apoyo a la labor de fotointerpretación y del trabajo de campo; la pedregosidad se identifica en el campo en relación con la misma carta temática. Las fases por inundabilidad, salinidad y/o sodicidad se detallan por fotointerpretación y trabajo de campo (observaciones y muestreo)

11.3.3.3. *Complemento del conocimiento del componente suelo de la cuenca río Piedras, río Manzanares mediante actividades de oficina y trabajo de campo*

De acuerdo con los vacíos de conocimiento detectados durante el análisis realizado al Estudio General de Suelos del Departamento de Magdalena, a continuación, se presentan los resultados obtenidos en la solución de las incongruencias y permite definir a la escala requerida las limitantes para el uso de los suelos.

En la tabla **(Tabla 11.14)** se relacionan en forma sintética los problemas (vacíos de conocimiento, dudas y deficiencias detectados en el estudio IGAC 2009) que se solucionaron no solo durante el trabajo de campo, sino en la oficina utilizando, en este caso, las salidas de tipo geológico, climático y geomorfológico producidas por el POMCA.

Tabla 11.14. Actividades realizadas para complementar el conocimiento del componente suelos de la cuenca río Piedras, río Manzanares en el marco de la elaboración del mapa de capacidad de uso de las tierras escala 1:25 000

DEFICIENCIA A SOLUCIONAR	RESULTADOS OBTENIDOS
Asociaciones de suelos superficiales y profundos	Mediante trabajo de campo se pudo identificar unidades que presentan un contacto lítico como las localizadas en las laderas de los cerros, en las laderas fuertemente inclinadas de las lomas, en el paisaje de montaña en climas cálidos secos y semi árido.

DEFICIENCIA A SOLUCIONAR	RESULTADOS OBTENIDOS
Fragmentos de roca en el perfil	Mediante trabajo de campo fueron identificadas unidades que presentan fragmentos en el perfil, éstas están localizadas en las laderas de los cerros y lomas en el paisaje de montaña.
Condiciones redoximórficas (drenaje impedido)	Mediante fotointerpretación y trabajo de campo se delimitaron las áreas ligeramente inclinadas que por génesis forman suelos imperfectamente drenados, estas se localizan en las napas del plano de inundación del paisaje de valle
Presencia de sales y/o sodio	De acuerdo con los resultados de laboratorio no se encontraron suelos afectados por sales al punto que influyera en su taxonomía o en su clasificación de capacidad
Indefinición de la frecuencia y la duración de las inundaciones	Las zonas inundables dentro de la cuenca son muy pocas y se localizan especialmente en cercanías al mar donde algunas quebradas se encuentran con el cambio de pendiente, la duración de estas inundaciones es corta, por lo que los suelos ubicados en esas unidades se clasificaron en la clase 4h
Desconocimiento de la relación drenaje natural: formas del terreno en el plano de marea	Mediante fotointerpretación se delimitaron las formas del terreno asociadas al tipo de relieve de marisma (playas, barras y mantos de arena), se aclara que los marismas estaban en el estudio general como una forma del terreno
Dudas sobre la taxonomía de los suelos afectados por sales y/o sodio	Como se mencionó anteriormente, los resultados de laboratorio permitieron comprobar que las sales no afectaron la taxonomía de los suelos de la cuenca
Materiales parentales vagamente definidos	Mediante análisis del componente de geología se le asignó a cada forma de la tierra un material parental, esto se puede apreciar en la leyenda geomorfopedológica
Dudas sobre si el incremento en la humedad del clima en los pisos térmicos templado y cálido, cuando los materiales parentales y los tipos de releve son iguales, realmente explica el contenido pedológico de las UCS	Los componentes taxonómicos fueron iguales en las formas de terreno cuando éstas cambiaron de condición de humedad, pero no así en la capacidad de uso de las tierras, por este motivo se determinaron grupos de manejo cuando el clima cambió aún con la misma taxonomía.
Discriminación de las fases por erosión pedregosidad, inundabilidad, salinidad y/o sodicidad en el marco de la exigencia de la escala 1:25.000	Para suplir esta deficiencia presentada en el estudio general, se elaboró un mapa de erosión, el cual se complementó con el de pendientes para determinar las fases cartográficas de suelos

11.3.3.4. *Descripción de las unidades geomorfopedológicas*

De acuerdo con el análisis del estudio general de suelos y la interpretación geomorfológica, geológica y climática se conformaron las unidades de suelos hasta el nivel de forma del terreno, a cada una de éstas formas se les realizó un trabajo de identificación del suelo dominante mediante los recorridos de campo, posteriormente se seleccionó el sitio para la recolección de las muestras para llevar al laboratorio.

Aunque la cuenca tiene un área de 92961 ha, los recorridos de campo se realizaron sobre el área efectiva de trabajo que corresponde a 78600 ha (restando Parques Nacionales Naturales, cuerpos de agua y cascos urbanos) tanto en zonas inclinadas como planas en función del área total del

proyecto, para este caso del POMCA se realizaron 690 observaciones y se describieron 21 calicatas distribuidas de acuerdo con la guía metodológica y fue usada la información de seis 6 perfiles del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Magdalena, como se puede apreciar en la **(Tabla 11.15)**.

Tabla 11.15. Número de observaciones realizadas en la cuenca.

	AREA TOTAL ha	AREA PILOTO		AREA EXTRAPOLACION	
		AREA ha	# OBS	AREA ha	# OBS
ZONA PLANA	8162	1020	61	7141	29
ZONA INCLINADA	70438	8805	352	61633	248
ÁREA EFECTIVA TRABAJO	78600	9825	413	68774	277
TOTAL					690

La localización de las unidades se realizó mediante empleo del mapa preliminar impreso y la observación se georreferenció con la ayuda de un GPS, el cual llevaba cargada la cartografía base oficial, además se estableció la ruta de recorrido de acuerdo con la programación dada en la tabla 12.12 Rutas veredales. Como resultado del trabajo de campo, se ubicaron los puntos de las coordenadas para las calicatas descritas sobre la cartografía final para hacer fácil la identificación del sitio donde se realizó el muestreo.

La descripción de los perfiles dominantes se realizó mediante calicatas, de esta manera se hace una observación detallada y completa de la morfología y características físicas y químicas (reacción por colorimetría) del perfil de suelo en el campo; de ésta manera se pueden caracterizar los suelos, de tal manera que esta información sea útil en el proceso de clasificación por capacidad de uso.

Los suelos encontrados en la cuenca se describen a continuación en el orden en que se ubican en la leyenda geomorfopedológica **(Figura 11.16)**, la nomenclatura asignada se hace arbitrariamente con las iniciales PM y comenzando desde la parte más alta de la cuenca en clima frío y terminando en la parte más baja en clima cálido; la descripción es resumida ya que no corresponde a la descripción de una unidad cartográfica como tal, sino a la descripción de las características dominantes de los suelos enmarcados generalmente en la forma del terreno. Se hace la aclaración que algunas unidades Geomorfopedológicas fueron identificadas con el mismo perfil, puesto que durante el trabajo de campo se pudo comprobar que las limitantes de los suelos eran muy similares por lo tanto se dejó un perfil para dos unidades geomorfopedológicas. **(Tabla 11.16)**

Tabla 11.16. Unidades Geomorfopedológicas con sus respectivos perfiles de suelos

UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	**PERFIL REPRESENTATIVO**
PM1	P56
PM2	SN-122*
PM3	SN-99*
PM4	P9

UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	PERFIL REPRESENTATIVO
PM5	P10
PM6	P12
PM7	MG-91*
PM8	P7
PM9	P5
PM10	P-5*
PM11	P51
PM40	P52
PM41	MG68*
PM54	MG-91*
PM13	P1
PM15	P4
PM16	P3
PM17	P50
PM53	SN-121*
PM24	P2
PM25	SN-121*
PM44	P8
PM46	P53
PM42	SN116*
PM43	MG-79*
PM45	SN-120*
PM49	015*
PM52	SN-150*
PM48	015*
PM50	P-38*

*Perfiles del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Magdalena (IGAC 2009) utilizados para el POMCA.

Basados en los insumos producidos por los componentes geológicos, climatológico y geomorfológico, a continuación, se presenta la leyenda geomorfopedológica, la cual expresa de una manera resumida dichos componentes; esta es la base para poder determinar la dominancia de los suelos en cada unidad y así permitir la respectiva clasificación de capacidad. La cartografía en formato PDF se puede apreciar en los **Anexos 7 y 8**

Figura 11.16. Leyenda Geomorfopedológica

LEYENDA GEOMORFOPEDOLOGICA CUENCA DEL RÍO PIEDRAS-MANZANARES											
PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	LITOLOGÍA Y SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	TAXONOMIA DE CAMPO	PERFIL REPRESENTATIVO	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	FASES	ÁREA ha	% ÁREA
	Frío muy húmedo	Filas y vigas	Laderas fuertemente inclinadas	Esquistos grafitosos y anfibolíticos	Ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, extremadamente ácidos y fertilidad natural baja. Hay erosión severa y moderada.	Typic Udorthents Familia franca gruesa isotérmica	F11	PM1	PMLd1 PMLd2 PM1e PM1eC PM1eD2 PM1I PM1F1 PM1F2 PM1g PM1g2 PM1g3	11 778.09	14
	Templado muy húmedo	Filas y vigas	Laderas fuertemente inclinadas	Esquistos micáceos y cuarzosos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas. De baja fertilidad natural y baja capacidad de intercambio catiónico.	Typic Eutrudepts Familia franca fina isotérmica	SN-122*	PM2	PMLf PM2F1 PM2F2 PM2g PM2g2 PM2g3	4 228.46	5
			Laderas moderadamente inclinadas	Esquistos micáceos y cuarzosos	Moderadamente profundos a bien drenados, de texturas moderadamente gruesas. Extremadamente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión moderada.	Humic Dystrudepts Familia franca fina isotérmica	SN-05*	PM3	PM3d1 PM3d2 PM3e PM3eD2	3 447.03	4
	Templado húmedo	Filas y vigas	Laderas fuertemente inclinadas	Esquistos grafitosos y anfibolíticos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o severa y muy superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, muy fuertemente ácidos y fertilidad media	Typic Dystrudepts Familia franca gruesa sobre fina	F3	PM4	PM4F1 PM4F2 PM4F3 PM4g PM4g3	6 673.65	7
			Laderas moderadamente inclinadas	Esquistos grafitosos y anfibolíticos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja.	Typic Dystrudepts Familia franca gruesa esquelética sobre fina	F12	PM5	PM5d3 PM5d1 PM5d2 PM5d4 PM5e PM5eC PM5e2	10 190.86	12
	Cálido Húmedo	Filas y vigas	Laderas fuertemente inclinadas.	Conglomerados de gravilla y cantos	Ligeramente profundos cuando están afectados por erosión ligera y moderadamente profundos cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja.	Typic Udorthents Familia franca gruesa esquelética isotérmica	F12	PM6	PM6eC PM6e2 PM6e3 PM6f1 PM6f2 PM6g3	13 010.38	15
			Laderas moderadamente inclinadas.	Cuarzoarenitas, lodolitas y conglomerados	Superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, generalmente ácidos, fertilidad baja. Hay erosión moderada y severa	Lithic Hapludolls Familia franca gruesa esquelética sobre fina isotérmica	F66-91*	PM7	PM7k3 PM7d2 PM7d4	1 511.75	2
		Lomas	Laderas fuertemente inclinadas.	Metalimolitas y metareniscas cuarzosas	Ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa	Typic Udorthents Familia franca gruesa isotérmica	F7	PM8	PM8e PM8e2 PM8e3 PM8e4	5 693.03	7
			Laderas moderadamente inclinadas.	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente alcalinos y fertilidad baja.	Typic Udorthents Familia franca gruesa isotérmica	F1	PM9	PM9e2 PM9d PM9d1 PM9d2	4 495.23	5
			Laderas fuertemente inclinadas.	Cuarzoarenitas, hornblenda y biotita	Moderadamente profundos a bien drenados, de texturas moderadamente gruesas. Fuertemente ácidos y fertilidad baja.	Typic Dystrudepts Familia franca fina sobre franca	F-5*	PM10	PM10d PM10d2	356.42	1
		Lomas	Laderas moderadamente inclinadas	Esquistos grafitosos verdosos, micáceos, cuarzosos, anfibolíticos (rocas calcáreas)	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa y muy superficiales en cualquiera afectados por erosión muy severa. Bien drenados, de texturas medias a finas, muy fuertemente ácidos, fertilidad media y baja.	Typic Dystrudepts Familia franca fina sobre franca	F51	PM11	PM11e2 PM11e2 PM11e4 PM11eC PM11f2 PM11L3 PM11r4 PM11s1 PM11d2 PM11d3	1 537.58	2

LEYENDA GEOMORFOPEDOLOGICA CUENCA DEL RÍO PIEDRAS-MANZANARES											
PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	LITOLOGÍA Y SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	TAXONOMIA DE CAMPO	PERFIL REPRESENTATIVO	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	FASES	ÁREA ha	% ÁREA
Montaña		Glacis	Plano de glacis	Depósitos sin consolidar de gravas y arenas medias	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, moderadamente ácidos y fertilidad baja.	Typic Hapludepts Familia franca gruesa isohipertérmica	P52	PM40	PM40b2 PM40c3 PM40e1 PM40c2 PM40c3 PM40d PM40d1 PM40d2 PM40d3	1 184.57	1
		Resalto	Laderas	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita.	Moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja.	Humic Dystrudepts familia franca gruesa isohipertérmica	MG68*	PM41	PM41d2 PM41e2	585.80	1
		Cerros	Laderas	Cuarzodioritas de biotita y hornblenda.	Muy superficiales, texturas gruesas , moderadamente ácidos y fertilidad natural moderada a alta. Hay erosión moderada.	Lithic Hapludolls Familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica	MG-91*	PM54	PM54d2 PM54e2 PM54f2	257.09	0.3
	Cálido seco	Filas y vigas	Laderas fuertemente inclinadas	Cuarzodiorítica, granodiorítica a dioríticа	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente ácidos, fertilidad media y baja.	Typic Ustorthents familia franca gruesa isohipertérmica	P1	PM13	PM13e1 PM13e2 PM13e3 PM13f1 PM13f2 PM13f3 PM13g1 PM13g2	7 337.76	8
		Glacis	Plano de glacis	Granodioritas, cuarzodioritas y granitos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural moderada.	Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica	P4	PM15	PM15a PM15a1 PM15a2 PM15c2 PM15c3 PM15d PM15d1 PM15d2 PM15d3	813.88	1
		Lomas y colinas	Laderas fuertemente inclinadas	Cuarzodiorítica, granodiorítica a dioríticа	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos, y fertilidad baja.	Typic Haplustepts Familia franca fina isohipertérmica	P3	PM16	PM16e1 PM16e2 PM16e3 PM16f2	872.77	1
		Lomas y colinas	Laderas moderadamente inclinadas	Cuarzodiorítica, granodiorítica a dioríticа	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, texturas gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural media y baja.	Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica	P50	PM17	PM17e1 PM17e3 PM17f PM17d1 PM17d2 PM17d3	1 122.09	1
		Cerros	Laderas	Cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa o muy superficiales cuando están afectados por erosión muy severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, fertilidad alta.	Typic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica	SN-121*	PM53	PM53d1 PM53d2 PM53d3 PM53d4 PM53e1 PM53e3 PM53f5	1 565.58	2
		Vallecitos	Talud y Fondo	Depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, excesivamente drenados, de texturas gruesas, ligeramente ácidos y fertilidad baja.	Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica	P2	PM24	PM24ay PM24a1y PM24a2y PM24by PM24c2y PM24c PM24c1 PM24c2 PM24d PM24d1 PM24d2 PM24e PM24e1 PM24e2 PM24f PM24f1 PM24f2 PM24g1	7 045.08	8

LEYENDA GEOMORFOPEDOLOGICA CUENCA DEL RÍO PIEDRAS-MANZANARES											
PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	LITOLOGÍA Y SEDIMENTOS	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	TAXONOMIA DE CAMPO	PERFIL REPRESENTATIVO	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	FASES	ÁREA ha	% ÁREA
	Cálido semiárido	Lomas y colinas	Laderas fuertemente inclinadas	Mármoles y materiales calcáreos (posiblemente caliza)	Muy superficiales limitados por roca dura y consolidada, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural alta. Hay erosión moderada y severa.	Lithic Torriorthents Familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica	SN-121*	PM25	PM25d1 PM25d2 PM25d3 PM25e1 PM25e2 PM25e3 PM25f3	843.50	0.4
Valle aluvial	Cálido húmedo	Terraza	Plano	Depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas.	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada y superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad media.	Typic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica	P8	PM44	PM44a3 PM44a2	223.15	0.3
		Terraza	Talud	Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos	Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente ácidos, fertilidad baja.	Typic Udifluvents Familia arenosa isohipertérmica	P55	PM46	PM46c PM46c1 PM46c2 PM46d PM46d2	308.08	0.3
	Cálido seco	Abanico terraza	Plano	Depósitos de cantos y gravas subredondeados, arenas.	Moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad media, alta.	Typic Haplustolls Familia franca gruesa isohipertérmica	SN-116*	PM42	PM42a PM42a1 PM42a2 PM42a3 PM42b PM42b2 PM42b3	1 298.17	1
		Abanico terraza	Talud	Depósitos de gravas subredondeados y arenas	Muy superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos y fertilidad natural moderada.	Typic Udorthents Familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica	MG-79*	PM43	PM43c2 PM43c3 PM43d1 PM43d2 PM43d3	399.20	1
		Terraza	Plano	Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos.	Ligeramente profundos, imperfectamente drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad alta.	Fluventic Haplusteots familia franca gruesa isohipertérmica	SN-120*	PM45	PM45ax PM45a1x	206.60	0.2
Planicie fluvio marina	Cálido húmedo	Marisma	Playa	Depósitos de arena de grano fino	Superficiales, de texturas arenosas, limitados por la presencia de sales y sodio, moderadamente drenados y de fertilidad muy baja.	Typic Psammaquents familia arenosa isohipertérmica.	015*	PM49	PM49a PM49c PM49d	57.39	0.1
		Terraza fluvio marina	Plano	Depósitos sin consolidar de gravilla	Moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas medias a gruesas, reacción moderadamente ácida, fertilidad natural moderada.	Fluventic Haplusteots familia franca gruesa isohipertérmica	SN-150*	PM52	PM52ax PM52a1x PM52bx PM52b1x PM52cx PM52c1x	1 319.01	2
	Cálido seco	Marisma	Playas y montos de arena	Depósitos de arena de grano fino	Superficiales, de texturas arenosas, limitados por la presencia de sales y sodio, moderadamente drenados y de fertilidad muy baja.	Typic Psammaquents familia arenosa isohipertérmica.	015*	PM48	PM48a PM48c	475.09	0.4
			Barras	Depósitos de arena de grano medio	Moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas gruesas, muy fuertemente ácidos y fertilidad natural baja.	Aquic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica	P 88*	PM50	PM50ay PM50by	111.15	0.1
TOTAL										88462.6417	100

FASES POR:	Pendiente		Erosión		Inundabilidad	
	Clase	%	Grado	Símbolo	Duración	Símbolo
	a	0 3	Moderado	2	Menor a dos meses	x
	b	3 - 7	Severo	3	Dos a seis meses	y
	c	7 - 12	Muy severo	4	Mayor a seis meses	z
	d	12 - 25				
	e	25 - 50				
	f	50 -75				
	g	>75				

11.3.3.4.1. *Suelos de la Montaña.*

- Unidad PM1.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima frío muy húmedo, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Esquistos grafitosos y anfibolíticos y se clasifican taxonómicamente como Typic Udorthents Familia franca gruesa Isomésica; presentan como características ser ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, extremadamente ácidos y fertilidad natural baja. Hay erosión ligera y moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM1d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM1d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM1e: fase ligeramente escarpada.

PM1e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM1e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM1f: fase moderadamente escarpada.
PM1f1: fase moderadamente escarpada erosión ligera.
PM1f2: fase moderadamente escarpada erosión moderada.
PM1g: fase fuertemente escarpada.
PM1g1: fase fuertemente escarpada, erosión ligera.
PM1g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM2.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima templado muy húmedo, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de esquistos micáceos y mármoles y se clasifican taxonómicamente como Typic Eutrudepts Familia franca fina isotérmica; presentan como características ser Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, bien drenados, de texturas moderadamente finas, fuertemente ácidos y fertilidad media.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM2f: fase moderadamente escarpada.
PM2f1: fase moderadamente escarpada erosión ligera.
PM2f2: fase moderadamente escarpada erosión moderada.
PM2g: fase fuertemente escarpada.
PM2g1: fase fuertemente escarpada, erosión ligera.
PM2g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM3.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima templado muy húmedo, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta ligeramente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Esquistos micáceos y mármoles, se clasifican taxonómicamente como Humic Dystrudepts Familia franca fina isotérmica; presentan como características ser moderadamente profundos y superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:
PM3d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM3d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM3e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM3e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM4.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima templado húmedo, las pendientes varían desde moderadamente escarpadas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Esquistos grafitosos y anfibolíticos y se clasifican taxonómicamente como Typic Dystrudepts Familia franca gruesa isotérmica; presentan como características ser profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, muy fuertemente ácidos y fertilidad media.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM4f1: fase moderadamente escarpada erosión ligera.
PM4f2: fase moderadamente escarpada erosión moderada.
PM4f3: fase moderadamente escarpada erosión severa.
PM4g1: fase fuertemente escarpada, erosión ligera.
PM4g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM5.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima templado húmedo, las pendientes varían desde moderadamente inclinadas hasta ligeramente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Esquistos grafitosos y anfibolíticos, se clasifican taxonómicamente como Typic Dystrudepts familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM5c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa
PM5d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM5d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM5d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.
PM5e: fase ligeramente escarpada.
PM5e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM5e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM6.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde ligeramente escarpadas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Cuarzodioritas, biotita y hornblenda y se clasifican taxonómicamente como Typic Udorthents familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser ligeramente profundos cuando están afectados por erosión ligera y moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada y severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM6e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM6e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM6e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.
PM6f1: fase moderadamente escarpada erosión ligera.
PM6f2: fase moderadamente escarpada erosión moderada.
PM6g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM7.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde moderadamente inclinadas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita, se clasifican taxonómicamente como Lithic Hapludolls familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica; presentan como características ser Superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad baja. Hay erosión moderada y severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM7c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa
PM7d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM7d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM8.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las lomas del paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes son ligeramente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de mármoles y materiales calcáreos y se clasifican taxonómicamente como Lithic Udorthents Familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM8e: fase ligeramente escarpada.
PM8e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM8e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM8e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.

- Unidad PM9.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las lomas en el paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde ligeramente inclinadas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de cuarzodioritas, biotita y hornblenda, se clasifican taxonómicamente como Typic Udorthents familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM9b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
PM9c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM9d: fase fuertemente inclinada.
PM9d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM9d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM9d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM10.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las lomas del paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes son moderada a fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Cuarzo y plagioclasas, hornblenda y biotita y se clasifican taxonómicamente como Typic Dystrudepts familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, fuertemente ácidos y fertilidad baja, presentan erosión moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM10f2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.
PM10g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM11.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las lomas en el paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde ligeramente inclinadas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Esquistos grises verdosos, micáceos, neises, anfibolitas. Mármoles (rocas calcáreas), se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustepts Familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa o muy superficiales cuando están afectados por erosión muy severa, bien drenados, de texturas medias , ligeramente ácidos, fertilidad media y baja., bien drenados, de texturas medias, ligeramente ácidos, fertilidad media y baja. Se presenta erosión moderada, severa y muy severa

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM11b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
PM11b3: fase ligeramente inclinada, erosión severa.
PM11b4: fase ligeramente inclinada, erosión muy severa.
PM11c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM11c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.
PM11c4: fase moderadamente inclinada, erosión muy severa
PM11d: fase fuertemente inclinada.
PM11d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM11d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM40.

Esta unidad se localiza en los planos de glacis en el paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde ligeramente inclinadas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos sin consolidar de arenas medias, se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, moderadamente ácidos y fertilidad baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM40b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
PM40b3: fase ligeramente inclinada, erosión severa.
PM40c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
PM40c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM40c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.
PM40d: fase fuertemente inclinada.
PM40d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.

PM40d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM40d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM41.

Esta unidad se localiza en las laderas de los resaltos en el paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta ligeramente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita., se clasifican taxonómicamente como Humic Dystrudepts familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM41d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM41e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM54.

Esta unidad se localiza en las laderas de los cerros en el paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde ligeramente escarpadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de cuarzodioritas, biotita y hornblenda, se clasifican taxonómicamente como Lithic Hapludolls familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica; presentan como características ser muy superficiales, de texturas gruesas, moderadamente ácidos y fertilidad natural moderada a alta. Hay erosión moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM54e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM54f2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM13.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las filas y vigas en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde ligeramente escarpadas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de rocas cuarzodioritas y granodioritas, se clasifican taxonómicamente como Typic Ustorthents familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente ácidos, fertilidad media y baja..

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM13e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM13e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM13e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.
PM13f1: fase moderadamente escarpada, erosión ligera.
PM13f2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.
PM13f3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.
PM13g1: fase fuertemente escarpada, erosión ligera.
PM13g2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM15.

Esta unidad se localiza en los planos de glacis en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de granodioritas, cuarzodioritas y granitos, se clasifican taxonómicamente como Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente Profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM15a: fase plana.
PM15a1: fase plana, erosión ligera.
PM15a2: fase plana, erosión moderada.
PM15c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM15c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.
PM15d: fase fuertemente inclinada.
PM15d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM15d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM15d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM16.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las lomas y colinas en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde ligeramente escarpadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de rocas cuarzodioritas y granodioritas, se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustepts Familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos, y fertilidad baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM16e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM16e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM16e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.
PM16f2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.

- Unidad PM17.

Esta unidad se localiza en las laderas moderadamente inclinadas de las lomas en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de cuarzodioritas y granodioritas, se clasifican taxonómicamente como Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cunado están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, texturas gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural media y baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:
PM17c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
PM17c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.
PM17d: fase fuertemente inclinada.
PM17d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM17d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM17d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM53.

Esta unidad se localiza en las laderas de los cerros en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita, se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa o muy superficiales cuando están afectados por erosión muy severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, fertilidad alta. Hay erosión moderada y severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM53d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM53d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM53d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.
PM53d4: fase fuertemente inclinada, erosión muy severa.
PM53e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM53e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.
PM53f3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.

- Unidad PM24.

Esta unidad se localiza en los fondos y taludes de los vallecitos en el paisaje de montaña, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos sin consolidar de gravas, arenas y limos., se clasifican taxonómicamente como Typic Ustorthents familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, excesivamente drenados, de texturas gruesas, ligeramente ácidos y fertilidad baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM24ay: fase plana, inundaciones de dos a seis meses.
PM24a1y: fase plana, erosión ligera, inundaciones de dos a seis meses.
PM24a2y: fase plana, erosión moderada, inundaciones de dos a seis meses.
PM24by: fase ligeramente inclinada, inundaciones de dos a seis meses.
PM24b2y: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones de dos a seis meses.
PM24c: fase moderadamente inclinada.
PM24c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
PM24c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM24d: fase fuertemente inclinada.
PM15d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM15d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM24e: fase ligeramente escarpada.
PM24e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM24e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM24f: fase moderadamente escarpada.
PM24f1: fase moderadamente escarpada, erosión ligera.
PM24f2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.
PM24g1: fase fuertemente escarpada, erosión ligera.

- Unidad PM25.

Esta unidad se localiza en las laderas fuertemente inclinadas de las lomas en el paisaje de montaña, en clima semiárido, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Mármoles y materiales calcáreos (posiblemente caliza), se clasifican taxonómicamente como Lithic Torriorthents Familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica; presentan como características ser muy superficiales limitados por roca dura y coherente, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, neutros, saturación de bases alta y fertilidad natural alta. Hay erosión moderad y severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM25d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM25d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM25d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.
PM25e1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera.
PM25e2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.
PM25e3: fase ligeramente escarpada, erosión severa.
PM25f3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.

11.3.3.4.2. *Suelos del Valle*

- Unidad PM44.

Esta unidad se localiza en los planos de terraza en el paisaje de valle, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos sin consolidar de cantos, gravas, gravilla y arenas, se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser modernamente profundos cuando están afectados por erosión moderada y superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad media. Hay erosión moderada y severa.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM44a3: fase plana, erosión severa.
PM44b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.

- Unidad PM46.

Esta unidad se localiza en los taludes de las terrazas en el paisaje de valle, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde planas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos, se clasifican taxonómicamente como Typic Udifluvents Familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser profundos o moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente ácidos, fertilidad baja. Hay erosión ligera y moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM46c: fase moderadamente inclinada.
PM46c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
PM46c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM46d: fase fuertemente inclinada.
PM46d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.

- Unidad PM42.

Esta unidad se localiza en los planos de los abanicos terraza en el paisaje de valle aluvial, en clima cálido seco, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de Depósitos de cantos y gravas subredondeados, arenas, se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustolls familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos cuando están afectados por erosión moderada o superficiales cuando están afectados por erosión severa, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad media, alta.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM42a: fase plana.
PM424a1: fase plana, erosión ligera.
PM42a2: fase plana, erosión moderada.
PM42b: fase ligeramente inclinada.
PM42b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
PM42b3: fase ligeramente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM43.

Esta unidad se localiza en los taludes de los abanicos terrazas en el paisaje de valle, en clima cálido seco, las pendientes varían desde moderadamente inclinadas hasta fuertemente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de gravas subredondeadas y arenas, se clasifican taxonómicamente como Typic Ustorthents Familia franca gruesa esqueletal isohipertérmica; presentan como características ser muy superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos y fertilidad natural moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM43c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
PM43c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.
PM43d1: fase fuertemente inclinada, erosión ligera.
PM43d2: fase fuertemente inclinada, erosión moderada.
PM43d3: fase fuertemente inclinada, erosión severa.

- Unidad PM45.

Esta unidad se localiza en los planos de las terrazas en el paisaje de valle aluvial, en clima cálido seco, las pendientes son planas.

Los suelos se originaron a partir de Depósitos sin consolidar de gravilla, arenas y limos, se clasifican taxonómicamente como Fluvaquentic Haplustepts familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser ligeramente profundos, imperfectamente drenados, de texturas moderadamente gruesas, ligeramente ácidos, fertilidad alta.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:
PM45ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses
PM45a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses

11.3.3.4.3. *Suelos de la Planicie fluvio marina*

- Unidad PM49.

Esta unidad se localiza en algunos sectores de las playas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde planas hasta fuertemente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Depósitos de arena de grano fino, se clasifican taxonómicamente como Typic Psammaquents familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser Superficiales, de texturas arenosas, limitados por la presencia de sales y sodio, moderadamente drenados y de fertilidad muy baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM49a: fase plana.
PM49c: fase moderadamente inclinada.
PM49d: fase fuertemente inclinada.

- Unidad PM52.

Esta unidad se localiza en los planos de las terrazas fluvio marinas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido húmedo, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Depósitos sin consolidar de gravillas finas, se clasifican taxonómicamente como Fluvaquentic Dystrudepts familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas medias a gruesas, reacción moderadamente ácida, fertilidad natural moderada.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM52ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses.
PM52a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
PM52bx: fase ligeramente inclinada, inundaciones menores a dos meses.
PM52b1x: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
PM52cx: fase moderadamente inclinada, inundaciones menores a dos meses.
PM52c1x: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.

- Unidad PM48.

Esta unidad se localiza en las playas y mantos de arena en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arena de grano fino, se clasifican taxonómicamente como Typic Psammaquents familia arenosa isohipertérmica; presentan como características ser superficiales, de texturas arenosas, limitados por la presencia de sales y sodio, moderadamente drenados y de fertilidad muy baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM48a: fase plana.
PM48a1: fase plana, erosión ligera.
PM48c: fase moderadamente inclinada.

- Unidad PM50.

Esta unidad se localiza en las barras en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas a ligeramente inclinada.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arena de grano fino, se clasifican taxonómicamente como Aquic Haplustepts Familia franca gruesa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas gruesas, muy fuertemente ácidos y fertilidad natural baja.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

PM50ay: fase plana, inundaciones de dos a seis meses.
PM50by: fase ligeramente inclinada, inundaciones de dos a seis meses.

11.3.4. Capacidad de Uso y Manejo de las Tierras

11.3.4.1. *El sistema de clasificación.*
La capacidad de uso de las tierras, además de determinar la potencialidad para actividades agropecuarias y forestales con base a la identificación y el análisis de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas particularmente de aquellas que fungen como limitaciones de los suelos y de factores como el clima y la topografía que también pueden influir en la utilización del componente suelo, se utiliza para definir áreas en las que su condición de deterioro y/o de vulnerabilidad ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre, exige medidas adicionales para la conservación y/o recuperación de la naturaleza.

El sistema de clasificación de las tierras por su capacidad de uso comprende tres categorías: clases, subclases y grupos de manejo.

Las clases son ocho y se designan con números arábigos (1 al 8); la numeración señala el aumento progresivo de las limitaciones de las tierras. Cada clase agrupa suelos con el mismo grado de limitaciones y con similares cualidades (fortalezas) para la producción agropecuaria y forestal; la agrupación está relacionada también con la factibilidad de mecanización y con el requerimiento de prácticas de manejo para alcanzar el desarrollo sostenible en la producción de alimentos, fibras, productos forestales y bioenergía.

Las subclases especifican las principales limitantes en cada una de las clases, lo que significa que esta unidad agrologica agrupa tierras con los mismos problemas los que, de acuerdo a su importancia, aparecen en el símbolo cartográfico en el siguiente orden: pendiente (p), erosión (e), exceso de humedad (h), limitaciones en la zona de anclaje y desarrollo de raíces (s) y clima extremo (c).

Los subgrupos de manejo corresponden a subdivisiones de las subclases que reúnen suelos que pueden dedicarse a los mismos cultivos con prácticas similares de labranza; en este punto es necesario anotar que, de acuerdo con los requerimientos de los planes de ordenación de las cuencas hidrográficas, el criterio utilizado para crear grupos de manejo es la condición climática.

11.3.4.2. *Factores que limitan la capacidad de uso de las tierras*

El desarrollo pleno del recurso suelo en la cuenca río Piedras, río Manzanares y otros directos al caribe está limitado por factores tales como la pendiente muy inclinada, la que a su vez, disminuye significativamente la profundidad efectiva; este fenómeno ocurre en las laderas de las montañas; también limita la presencia de pedregosidad dentro del perfil.

En la agrupación de ambientes edafogenéticos cuyo factor que direcciona la génesis es la topografía quebrada, se presentan suelos con alta susceptibilidad a los procesos erosivos; por lo tanto la mayoría de estas zonas se deben utilizar bajo loa condición de tener adecuadas prácticas de recuperación y la implementación de cultivos permanentes y/o densos bosques protectores y sistemas agroforestales. Para incorporarlos a la actividad agropecuaria por sus condiciones particulares de relieve y las características de las inundaciones (frecuencia y duración); pero hay otros con problemas de avenamiento y presencia de sales tan severos que los convierte en parte integral de un humedal y, por lo tanto, hacen parte de un ecosistema estratégico para el equilibrio hídrico, biológico y ambiental de la cuenca estudiada; el valor de esta área radica en que los humedales son responsables de la recarga de los acuíferos; cuando el agua desciende a las capas subterráneas ayudando a mitigar las inundaciones, controlan la erosión y la sedimentación y absorben el nitrógeno y el fósforo provenientes de los fertilizantes; a nivel ecológico son refugio de la biodiversidad (especies vegetales y animales) y hábitat idóneo para las especies de aves migratorias.

El relieve quebrado y ligeramente escarpado con pendientes 12-25% y 25-50% en donde también hay áreas extensas afectadas por procesos de erosión moderada y severa, laminar y con formaciones de surcos, activada en las épocas de lluvia por la escorrentía (escurrimiento difuso y concentrado) también es un limitante severo en el paisaje de lomerío.

La mayoría de los suelos tienen problemas de acidez y niveles bajos y muy bajos de fertilidad; solo en las napas y albardones de la planicie aluvial hay suelos ligera a moderadamente alcalinos **(Tabla 11.17).**

Tabla 11.17. Limitaciones e impacto sobre la capacidad de uso

LIMITACIONES	IMPACTO SOBRE LA CAPACIDAD DE USO
Gleización; régimen ácuico, drenaje pobre y muy pobre.	Escasa a nula profundidad efectiva. Condiciones de anaerobiosis. -Adecuables de acuerdo a la relación costo/beneficio-.
	Inundaciones muy prolongadas, estas áreas conforman un humedal.
Topografía quebrada, erosión moderada.	Susceptibilidad alta a la erosión. Se requieren de prácticas de recuperación: Cultivos permanentes y/o densos bosques protectores y sistemas agroforestales.
Topografía quebrada, fertilidad baja, acidez alta.	Cultivos permanentes y semipermanentes. Se requieren prácticas de fertilización y encalado.
Topografía suave, fertilidad baja, acidez alta, erosión moderada.	Susceptibilidad alta a la erosión. Se requieren prácticas de fertilización y encalado.
Topografía plana, fertilidad baja, acidez alta	Se requieren prácticas de fertilización y encalado.
Fertilidad baja y moderada	Se requieren prácticas de fertilización.

11.3.4.3. *Fortalezas del componente edáfico para el uso agropecuario sostenible.*
La cuenca objeto de estudio se encuentra en los pisos térmicos frio, templado, cálido, el régimen de humedad de los suelos es ústico, údico y, de acuerdo con la distribución de lluvias, la precipitación es suficiente en las zonas altas de la cuenca donde predominan las provincias de humedad húmedas y muy húmedas esta condición permite el desarrollo de labores agrícolas sin la necesidad de riego complementario, caso contrario sucede en la provincia de humedad seca donde el déficit de humedad es alto y las actividades agropecuarias deben ir acompañadas de riego complementario.

Parte de las tierras que conforman la planicie fluvio marina son plenamente mecanizables y presentan condiciones aptas para la explotación intensiva de cultivos y pastos propios del medio, con algunas restricciones que se deben corregir; estas se localizan principalmente en las cercanías al río Magdalena en la parte sur de la cuenca, específicamente en las napas que formas el río. El uso potencial de estos suelos es la agricultura intensiva con cultivos transitorios como tomate, maíz,

algodón, sorgo, ajonjolí, soya y frijol; cultivos permanentes y semipermanentes como tabaco, plátano, yuca, cacao, palma africana; frutales como papaya, cítricos, aguacate, melón, patilla, mango, mamoncillos, anones y cocotero.

11.3.4.4. *Clases y subclases de tierras.*
Una vez conocidas las poblaciones de suelos en cada uno de los ambientes edafogenéticos de la Cuenca hidrográfica del río medio y bajo Lebrija e identificadas las limitaciones de todo orden (edáficas, topográficas y climáticas) que, con mayor o menor rigor, impactan la capacidad de uso de las tierras se estableció que en la unidad hidrológica hay áreas aptas para agricultura y ganadería intensiva (Clase 3) y semi-intensiva (Clase 4); Tierras para ganadería extensiva, Sistemas Agroforestales, Reforestación y Agricultura de subsistencia (Clase 6); Tierras para la conservación de la vegetación natural protectora (Clase 7) y Tierras para la recuperación de la naturaleza por su avanzado estado de deterioro (Clase 8). Ver **(Figura 11.17) y (Figura 11.18).** La Leyenda Capacidad de Uso de las Tierras se puede apreciar en la **(Figura 11.19)** y en el **(Anexo 4)**.

Con el fin de distinguir los usos propuestos de acuerdo con los pisos térmicos se diseñó una nomenclatura donde se le adiciona al símbolo del uso propuesto un número del 1 al 3, siendo 1 Frío, 2 Templado.

TIERRAS APTAS PARA AGRICULTURA Y GANADERÍA

a. **Con cultivos transitorios intensivos y ganadería semi intensiva: clase 3:** ocupa el 0.01% del área total de la cuenca

b. **Con cultivos transitorios semi intensivos y ganadería extensiva clase 4:** es el 9% del área total de la cuenca

TIERRAS PARA GANADERÍA EXTENSIVA CULTIVOS PERMANENTES SISTEMAS AGROFORESTALES Y REFORESTACIÓN

c. **Clase 6:** corresponde al 49% del área total de la cuenca

TIERRAS QUE REQUIEREN COBERTURA VEGETAL PERMANENTE DE MÚLTIPLES ESTRATOS

d. **Clase 7:** es el 30% del área total de la cuenca

TIERRAS PARA LA CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN DE LA NATURALEZA

e. **Clase 8:** corresponde al 12% del área total de la cuenca

Figura 11.17. Distribución porcentual de las clases de tierras por su capacidad de uso en la cuenca

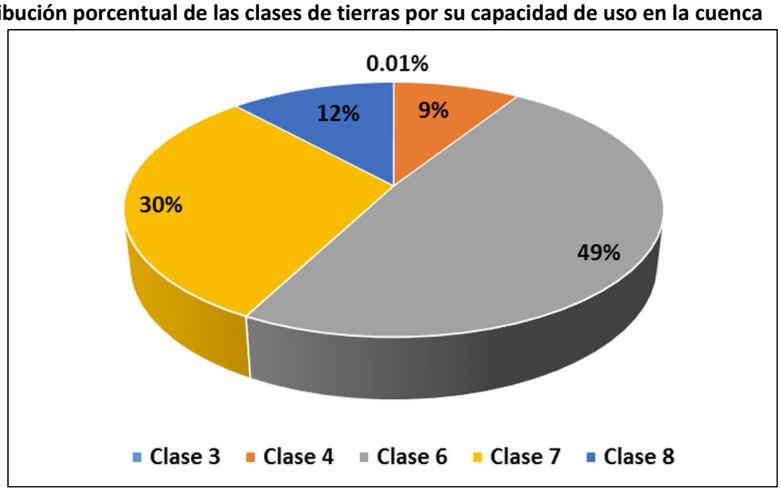


Figura 11.18. Clases agrologicas que ocurren en la cuenca

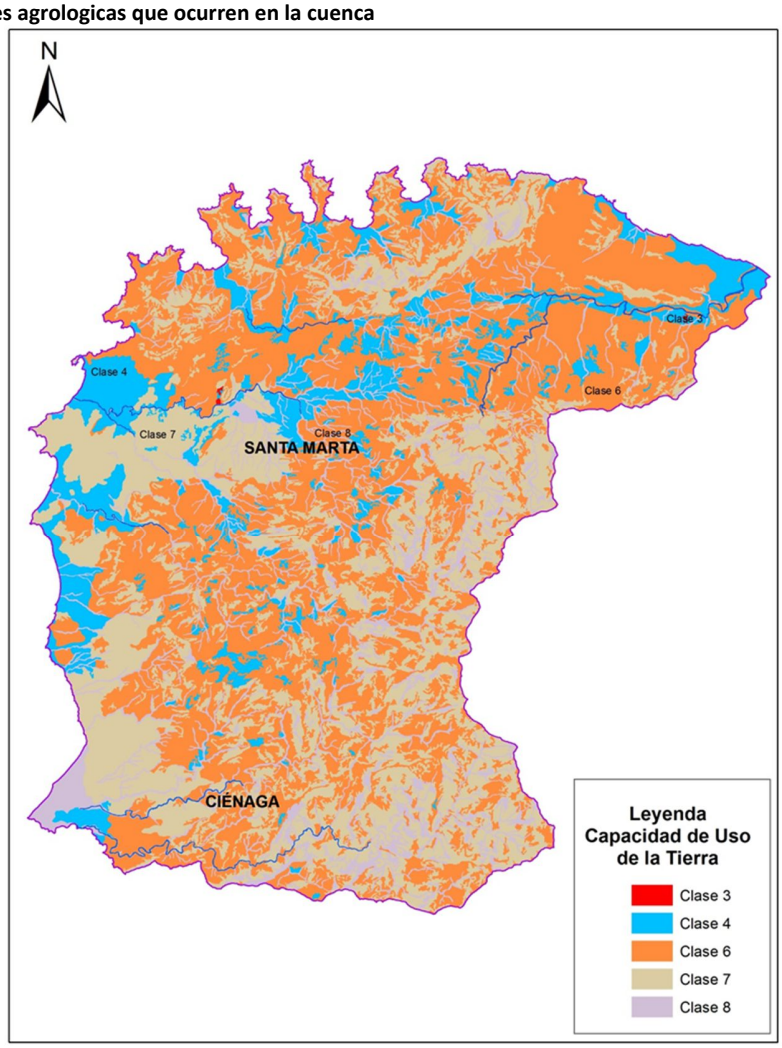


Figura 11.19. Leyenda Capacidad de Uso de las Tierras

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
3	3s	3s-1	PM40c1	La profundidad efectiva y la baja fertilidad.	Cálido húmedo	TIERRAS PARA AGRICULTURA Y GANADERIA	Cultivos transitorios intensivos	CTI-3	8.45	0.01
4	4c	4c-1	PM42a, PM42a1, PM42b	La provincia de humedad seca.	Cálido seco		Cultivos Permanentes Semi-intensivos	CPS-3	8 010.81	9
	4e	4e-1	PM44b2, PM44b2	La erosión moderada.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4ec	4ec-1	PM42a2, PM42b2,PM43c2	La erosión moderada y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4es	4es-1	PM11a2, PM11b2, PM11b2, PM11c2, PM11c2, PM40b2, PM40b2, PM40c2, PM40c2	La erosión moderada, la profundidad efectiva (léase moderadamente profundos) y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4pc	4pc-1	PM43d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4pe	4pe-1	PM11d2, PM11d2, PM40d2, PM40d2, PM41d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y la erosión moderada.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4pec	4pec-1	PM43d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4pes	4pes-1	PM7d2, PM7d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la profundidad efectiva (léase superficial) y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			CPS-3		
		4pes-2	PM5d2, PM5d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la profundidad efectiva (léase superficial) y la fertilidad baja.	Templado húmedo			CPS-2		
	4pesc	4pesc-1	PM1d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la fertilidad baja y el clima.	Frio muy húmedo			CPS-1		
	4pesc	4pesc-2	PM3d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la fertilidad baja y el clima.	Templado muy humedo			CPS-2		
	4psc	4psc	PM1d1, PM3d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la fertilidad baja y el clima.	Frio muy húmedo			CPS-1		
	4h	4h-1	PM52ax, PM52a1x, PM52bx, PM52b1x, PM52cx, PM52c1x	El drenaje impedido y las inundaciones frecuentes de corta duración.	Cálido húmedo		Cultivos Transitorios Semi-intensivos	CTS-3		
	4hc	4hc-1	PM45ax, PM45a1x	El drenaje impedido, las inundaciones frecuentes de corta duración y el clima.	Cálido seco			CTS-3		
	4p	4p-1	PM11d, PM40d, PM40d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%).	Cálido húmedo			CTS-3		
	4ps	4ps-1	PM5d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y la fertilidad baja.	Templado húmedo			CTS-2		

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
6	6es	6es-1	PM15a2, PM15a2, PM15c2, PM15d2, PM17d2, PM53d2	La erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido seco	TIERRAS APTAS PARA SISTEMAS AGROFORESTALES CULTIVOS PERMANENTES Y PASTOREO EXTENSIVO	Sistemas Agro-Silvícolas	AGS-3	43 012.48	49
		6es-2	PM46c2, PM46d2, PM46d2, PM54d2, PM54d2, PM9b2, PM9c2, PM9c2, PM9d2, PM9d2	La erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido húmedo			AGS-3		
	6pe	6pe-1	PM5e2 PM5e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Templado húmedo			AGS-2		
		6pe-2	PM41e2, PM6e2, PM6e2, PM8e2, PM8e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Cálido húmedo			AGS-3		
		6pe-3	PM1e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Frio muy húmedo			AGS-1		
		6pe-4	PM3e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Templado muy húmedo			AGS-2		
		6pe-5	PM13e2, PM16e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Cálido seco			AGS-3		
	6pes	6pes-1	PM54e2, PM54e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%), la erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido húmedo			AGS-3		
	6ps	6ps-1	PM53e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y las texturas gruesas.	Cálido seco		Sistemas Agro-Silvo-Pastoriles	AGS-3		
	6s	6s-1	PM46c, PM46c1, PM46d, PM46d, PM9d, PM9d1	Las texturas gruesas y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			AGS-3		
		6s-2	PM15a, PM15a1, PM15d, PM15d1, PM17c1, PM17d, PM17d1, PM53d1	Las texturas gruesas y la fertilidad baja	Cálido seco			AGS-3		
	6p	6p-1	PM1e, PM1e, PM1e1, PM1e1, PM3e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Frio muy húmedo		Cultivos Permanentes Intensivos	CPI-1		
		6p-2	PM5e, PM5e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Templado húmedo			CPI-2		
		6p-3	PM6e1, PM8e, PM8e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Cálido húmedo			CPI-3		
		6p-3	PM13e1, PM16e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Cálido seco			CPI-3		

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
7	7p	7p-1	PM1f, PM1f1, PM1f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Frio muy húmedo	TIERRAS QUE REQUIEREN COBERTURA VEGETAL PERMANENTE MULTI ESTRATA	Sistema Forestal Productor	FPD-1	26 767.12	30
		7p-2	PM2f, PM2f1, PM2f2, PM4f1, PM4f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Templado húmedo Templado muy húmedo			FPD-2		
		7p-3	PM54f2, PM6f1, PM6f2, PM6f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Cálido húmedo			FPD-3		
		7p-4	PM13f1, PM13f2, PM16f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Cálido seco			FPD-3		
	7ps	7ps-1	PM10f2	Las pendientes escarpadas (50-75%) y abundantes fragmentos gruesos en el perfil.	Cálido húmedo			FPD-3		
	7c	7c-1	PM25d1, PM25d2, PM25e1, PM25e2	La provincia de humedad semiárida.	Cálido semiárido		Sistema Forestal Protector	FPR-3		
	7e	7e-1	PM13e3, PM15c3, PM15d3, PM16e3, PM17c3, PM17d3, PM42a3, PM42b3, PM43c3, PM43d3 PM53d3, PM53e3	La erosión severa.	Cálido seco			FPR-3		
		7e-2	PM11c3, PM11d3	La erosión severa.	Templado húmedo			FPR-2		
		7e-3	PM11b3, PM40b3, PM40c3, PM40d3, PM44a3, PM5c3, PM5d3, PM6e3, PM7c3, PM7d3, PM8e3, PM9d3	La erosión severa.	Cálido húmedo			FPR-3		
	7ec	7ec-1	PM25d3, PM25e3	La erosión severa y el clima.	Cálido semiárido			FPR-3		
	7pe	7pe-1	PM13f3, PM53f3	Las pendientes escarpadas (50-75%) y la erosión severa.	Cálido seco			FPR-3		
		7pe-2	PM4f3	Las pendientes escarpadas (50-75%) y la erosión severa.	Templado húmedo			FPR-2		
	7pec	7pec-1	PM25f3	Las pendientes escarpadas (50-75%), la erosión severa y el clima.	Cálido semiárido			FPR-3		
8	8e	8e-1	PM11b4, PM11c4, PM53d4	La erosión muy severa	Cálido húmedo Cálido seco	TIERRAS PARA LA CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN DE LA NATURALEZA	Áreas para la Conservación y/o para la Recuperación de la Naturaleza	CRE-3	10 285.59	12
	8hs	8hs-1	PM24ay, PM24a1y, PM24a2y, PM24by, PM24b2y, PM24c, PM24c1, PM24c2, PM24d, PM24d1, PM24d2, PM24e, PM24e1, PM24e2, PM24f, PM24f1, PM24f2, PM24g1, PM50ay, PM50by	El drenaje impedido, las inundaciones frecuentes de larga duración, las texturas moderadamente finas y la fertilidad baja.	Cálido seco			CRE-3		
	8p	8p-1	PM1g, PM1g1, PM1g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Frio muy húmedo			CRE-1		
		8p-2	PM2g, PM2g1, PM2g2, PM4g1, PM4g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Templado húmedo Templado muy húmedo			CRE-2		
		8p-3	PM10g2, PM6g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%	Cálido húmedo			CRE-3		
		8p-4	PM13g1, PM13g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Cálido seco			CRE-3		
	8s	8s-1	PM48a, PM48c, PM49a, PM49c, PM49d	Las texturas extremadamente gruesas y la fertilidad muy baja.	Cálido húmedo Cálido seco			CRE-3		

Dado que el territorio de la cuenca estudiada pertenece a 2 municipios es pertinente relacionar, como se puede apreciar en la **(Tabla 11.18),** las áreas que ocupa cada una de las clases agrologicas identificadas dentro de los límites políticos municipales.

Tabla 11.18. Clases agrológicas identificadas y su distribución (Has) en los municipios que participan en La cuenca.

HECTAREAS POR CLASE AGROLOGICA					
MUNICIPIO	**CLASE AGROLOGICA**				
	3	**4**	**6**	**7**	**8**
CIÉNAGA		465.08	8 973.82	8 806.80	3 676.17
SANTA MARTA	8.45	7 598.37	37 855.99	20 857.84	7 429.24

11.3.4.5. *Definición de las unidades de capacidad de uso de las tierras*

11.3.4.5.1. *Tierras aptas para agricultura y ganadería con cultivos transitorios intensivos, semi-intensivos y ganadería semi-intensiva, clase 3.*
Las tierras de la clase 3 se encuentran ubicadas en las laderas moderadamente inclinadas, en los tipos de relieve de glacis en clima cálido húmedo; presentan restricciones ligeras para su uso agropecuario, debido a la profundidad efectiva que se calificó como moderadamente profunda, la fertilidad natural muy baja y por estar en algunos sectores en el límite de inclinación de la pendiente (7-12%).

Estas tierras son aptas para usos agropecuarios intensivos; sin embargo, este uso debe estar acompañado por un manejo agronómico adecuado, debido a que generalmente son sometidas en la cuenca a ganadería con prácticas inadecuadas, lo que incrementa el riesgo de degradación de los suelos.

Dentro de la cuenca el área total que ocupa esta clase agrológica es de 8.45 Hectáreas, las que corresponden al 0.01% del total, en la **(Figura 11.20)** se puede apreciar la distribución espacial de esta clase dentro de la cuenca.

La clase tres se subdivide en una subclase que es 3s y en estas se distinguen 1 grupos de capacidad, que se escriben a continuación:

Figura 11.20. Distribución de las tierras de la clase 3 en la cuenca



- ❖ Subclase 3s.

- ➢ Grupo de capacidad 3s-1.

Las tierras de esta clase se presentan en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas y glacis, en la forma de terreno de laderas moderadamente inclinadas, en clima cálido húmedo; presentan restricciones debidas al suelo como la moderada profundidad efectiva y la baja fertilidad natural.

Por las limitaciones mencionadas estas tierras tienen posibilidad de uso en cultivos transitorios semi-intensivos y permanentes intensivos y semi-intensivos; dada la oferta nutricional de los suelos para la producción agrícola, se recomienda que las prácticas de fertilización se realicen de manera fraccionada con el fin de mitigar problemas de contaminación de las fuentes hídricas por el excesivo

uso de abonos y agroquímicos que al no ser fijados por el suelo se pierden por escorrentía e infiltración.

El uso intensivo en estas tierras hace necesario realizar prácticas de conservación de suelos que propendan por el incremento de la materia orgánica disponible a fin de aumentar las superficies de intercambio catiónico mediante el uso de abonos verdes e incorporación de compost.

11.3.4.5.2. *Tierras aptas para cultivos transitorios semi-intensivos y ganadería clase 4.*
Las tierras de la clase 4 se encuentran localizadas en los paisajes de montaña, planicie fluvio marina y valle aluvial, en climas cálido húmedo, cálido seco, frio muy húmedo, templado húmedo, templado muy húmedo con regímenes seco y húmedo; el relieve es plano hasta fuertemente inclinado, con pendientes inferiores a 25%.

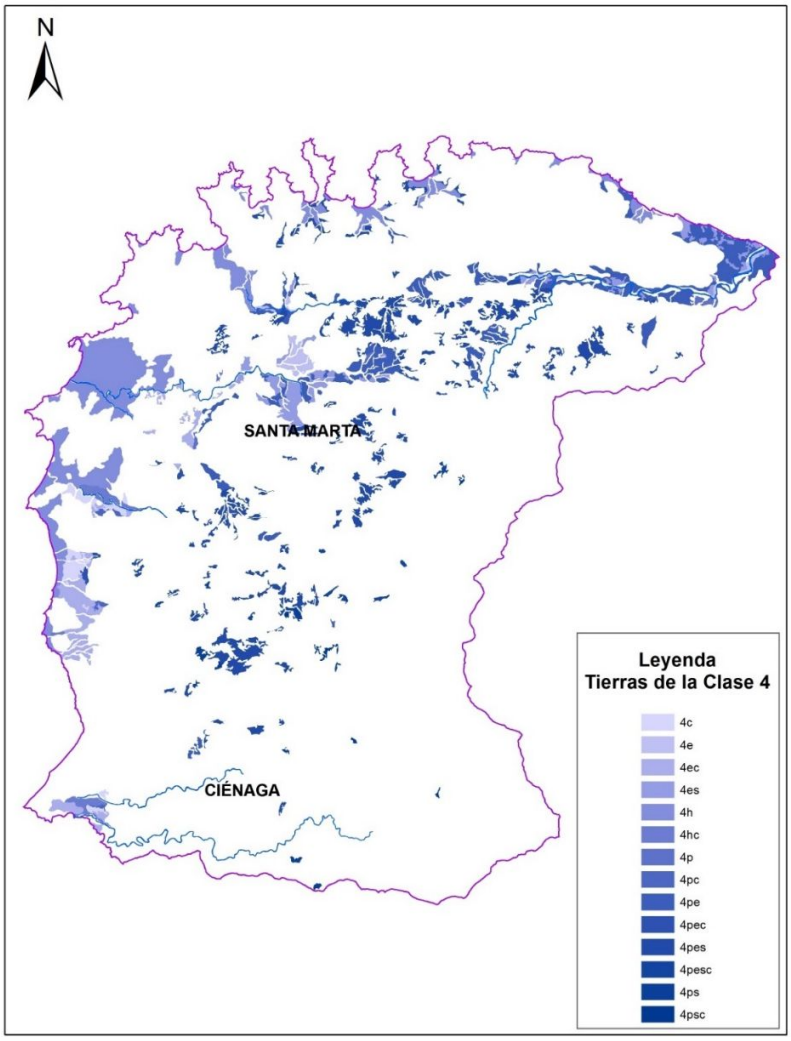
Las tierras de esta clase tienen restricciones para el uso agropecuario debido a problemas como la pendiente, procesos erosivos, profundidad efectiva, distribución de las lluvias durante el año y fertilidad baja; estos factores se pueden presentan solos o combinados.

Aun cuando las tierras agrupadas en esta clase son aptas para usos agrícolas semi-intensivos y explotación ganadera, estos usos deben llevarse a efecto mediante prácticas intensivas de conservación de suelos que mitiguen los problemas erosivos crecientes por las inadecuadas prácticas agronómicas.

Dentro de la cuenca, el área correspondiente a tierras de clase 4 es de 8 010.81 Ha, que corresponden al 9% del total del área; en la **(Figura 11.21)** se aprecia la distribución de la clase en la cuenca.

Las tierras de clase 4 dentro del área de la cuenca presentan las siguientes subclases y grupos de capacidad:

Figura 11.21. Distribución de las tierras de la clase 4 en la cuenca



- ❖ Subclase 4p.

- ➢ Grupo de capacidad 4p-1.

Las tierras correspondientes a esta unidad agrológica ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, glacis, en las formas de terreno de laderas moderadamente inclinadas y talud en clima cálido húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son bien drenados, de texturas moderadas finas y gruesas, moderada y ligeramente profundos y con fertilidad moderada.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como la inclinación de la pendiente 12-25%; esta condición puede potenciar otros problemas como la susceptibilidad a la erosión, lo que representa un limitante para la mecanización de los suelos.

Las tierras son aptas para cultivos transitorios semi-intensivos de ciclo corto para aprovechar la temporada invernal y para ganadería con pasturas de corte, especialmente para ganado de levante con ceba intensiva en condiciones de estabulación y evitando la sobrecarga y el sobrepastoreo.

- ❖ Subclase 4pes.

- ➢ Grupo de capacidad 4pes-1.

Las tierras correspondientes a esta unidad ocurren en el paisaje de montaña, en el tipo de relieve de filas y vigas y forma de terreno de laderas moderadamente inclinadas, en clima cálido húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos, son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad natural alta.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como la inclinación de la pendiente 12-25%, la profundidad efectiva, los procesos erosivos de grado moderado y factores inherentes a los suelos como las texturas moderadamente gruesas y la fertilidad baja.

El grado de erosión y la pendiente indican que estas tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos, de preferencia densos; la ganadería debe ser de tipo estabulada con corte del pasto mediante maquinaria para evitar el pisoteo y no aumentar el problema erosivo; los cultivos se deben sembrar en contorno a través de la pendiente; lo mismo se debe hacer con las labores de labranza.

- ➢ Grupo de capacidad 4pes-2.

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en el paisaje de montaña, en el tipo de relieve de filas y vigas y forma de terreno de laderas moderadamente inclinadas, en clima templado húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son bien drenados, de texturas moderadamente gruesos, profundos y con fertilidad natural baja.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como la inclinación de la pendiente, la cual es 12-25% fuertemente inclinada, procesos erosivos de grado moderado y factores inherentes a los suelos como el grupo textural moderadamente grueso y fertilidad baja.

El grado de erosión y la pendiente indican que estas tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos, de preferencia cultivos densos, la ganadería debe ser de tipo estabulada con corte del pasto mediante maquinaria y llevarlo al establo para evitar el pisoteo y no aumentar el problema erosivo; los cultivos se deben sembrar en contorno a través de la pendiente; lo mismo se debe hacer con las labores de labranza.

- ❖ Subclase 4ps.

- ➢ Grupo de capacidad 4ps-1.

Las tierras correspondientes a esta unidad ocurren en el paisaje de montaña, en el tipo de relieve de filas y vigas y forma de terreno de laderas, en clima templado húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, con fertilidad baja y relación calcio magnesio estrecha.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como la inclinación de las pendientes fuertemente inclinada (12-25%) y algunos factores edáficos como la relación calcio magnesio, en la cual el magnesio es muy deficiente y la fertilidad baja.

Las tierras son aptas para cultivos transitorios semi-intensivos de ciclo corto para aprovechar la temporada invernal y para pasturas de corte; las actividades ganaderas se deben estabular y evitar el tránsito de animales por las laderas, especialmente cuando el suelo esté húmedo; también se debe eliminar la sobrecarga y el sobrepastoreo en los potreros.

- ❖ Subclase 4es.

- ➢ Grupo de capacidad 4es-1.

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, glacis y formas de terreno de laderas moderadamente inclinadas y planas, en clima cálido húmedo, con pendientes 0-3%, 3-7%, 7-12%; los suelos son bien drenados, de texturas moderadas, profundos, moderadamente profundos, con fertilidad media y baja.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como la presencia de procesos erosivos de grado moderado y factores edáficos como la poca profundidad efectiva y la relación calcio magnesio, en la cual el magnesio es muy deficiente y la fertilidad baja.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos y semipermanentes intensivos con prácticas de conservación, evitando actividades de laboreo continuas para protegerlos de la erosión; las actividades ganaderas no se recomiendan por los procesos erosivos; sin embargo, si se realizan se debe estabular el ganado y evitar el tránsito de animales por las laderas, especialmente cuando el suelo esté húmedo; también se debe eliminar la sobrecarga y el sobrepastoreo en los potreros.

- ❖ Subclase 4e.

- ➢ Grupo de capacidad 4e-1.

Las tierras correspondientes a esta unidad ocurren en el paisaje de valle aluvial, en el tipo de relieve de terraza y forma de terreno de planos de terraza, en clima cálido húmedo con pendientes 3-7%; los suelos son bien drenados, moderadamente gruesos, profundos y con fertilidad natural media.

La principal limitante del uso está relacionada con factores como la presencia de procesos erosivos de grado moderado.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos y semipermanentes con prácticas intensivas de conservación, evitando actividades de laboreo continuas para protegerlos de la erosión; las actividades ganaderas no se recomiendan por los procesos erosivos; sin embargo, si se realizan se debe estabular el ganado y evitar el tránsito de animales, especialmente cuando el suelo esté húmedo; también se debe eliminar la sobrecarga y el sobrepastoreo en los potreros.

- ❖ Subclase 4h.

- ➢ Grupo de capacidad 4h-1

Las tierras correspondientes a esta unidad agrológica ocurren en el paisaje de planicie fluvio marina, en el tipo de relieve de terraza y forma de terreno de planos de terraza, en clima cálido húmedo, con pendientes inferiores al 12%; los suelos son moderadamente profundos, imperfectamente drenados, moderadamente gruesos y con fertilidad alta.

Las principales limitantes para el uso de esta unidad son el drenaje natural imperfecto y las frecuentes inundaciones de corta duración.

Las tierras son aptas para cultivos transitorios semi-intensivos con prácticas intensivas de conservación, y utilizándolos en época seca, se recomienda una ganadería estacional en las épocas de verano; se deben controlar las inundaciones mediante la construcción de drenajes; se recomienda implementar prácticas de manejo como selección de cultivos y aplicación de fertilizantes en forma fraccionadas.

- ❖ Subclase 4hc.

- ➢ Grupo de capacidad 4hc-1.

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en los paisajes de planicie fluvio marina y valle aluvial, en el tipo de relieve de terrazas y forma de terreno de planos de terraza, en clima cálido seco, con pendientes 0-3%; los suelos son ligeramente profundos, imperfectamente drenados, moderadamente gruesos y con fertilidad alta.

Las principales limitantes para el uso de esta unidad son el drenaje natural imperfecto, las frecuentes inundaciones de corta duración y el ambiente seco.

Las tierras son aptas para cultivos transitorios semi intensivos con prácticas intensivas de conservación, utilizándolos en época seca; se recomienda una ganadería estacional en las épocas de verano, se debe controlar las inundaciones mediante la construcción de drenajes, se deben implementar prácticas de manejo específicas como selección de cultivos ya aplicación de fertilizantes fraccionados.

- ❖ Subclase 4c

- ➢ Grupo de capacidad 4c-1.

Las tierras correspondientes a este grupo ocurren en el paisaje de valle aluvial, en los tipos de relieve de abanico terraza, y forma de terreno de plano de terraza con pendientes 0-3% y 3-7%; el clima es cálido seco, los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad alta.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores climáticos correspondientes a un régimen seco, en el cual durante un semestre las lluvias son insuficientes para sostener cultivos intensivos.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos de ciclo corto para aprovechar la temporada invernal y para pasturas de corte, especialmente para ganado de levante con ceba intensiva en condiciones de semi-estabulación y evitando la sobrecarga y el sobrepastoreo.

Es necesario realizar prácticas de conservación de suelos, como aplicaciones permanentes de enmiendas, al igual que materia orgánica compostada; , la fertilización de cultivos debe considerar las condiciones químicas de los suelos para suministrar nutrientes, en forma fraccionada ya que la relación calcio magnesio invertida no permite un aprovechamiento adecuado de los nutrientes.

- ❖ Subclase 4psc.

- ➢ Grupo de capacidad 4psc-1.

Tierras localizadas en las laderas moderadas y fuertemente inclinadas de las filas y vigas del paisaje de Montaña, en clima frio muy húmedo y templado muy húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son profundos y moderadamente profundos , bien drenados, de texturas moderadas y fertilidad baja.

Las principales limitantes de usos están relacionadas con las pendientes fuertemente inclinadas, la fertilidad baja y el clima muy húmedo.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos con prácticas de conservación; se recomienda una ganadería estabulada o semi estabulada con pastos de corte; se deben implementar prácticas de manejo específicas como selección de cultivos propios del clima y aplicación de fertilizantes fraccionados.

- ❖ Subclase 4pesc.

- ➢ Grupo de capacidad 4pesc-1.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad ocurren en el paisaje de montaña, en el tipo de relieve de filas y vigas, en la forma de terreno de laderas moderadamente inclinadas, en clima frio muy húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y con fertilidad natural baja. Hay erosión ligera y moderada.

Las principales limitantes para el uso de esta unidad son las pendientes, los procesos erosivos en grado moderado, la fertilidad baja y la condición climática muy húmeda.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos y semipermanentes intensivos con prácticas de conservación, evitando actividades de laboreo continuas para protegerlos de la erosión; las actividades ganaderas no se recomiendan por los procesos erosivos, sin embargo, si se realizan

se debe estabular el ganado y evitar el tránsito de animales por las laderas, especialmente cuando el suelo esté húmedo; también se debe evitar la sobrecarga y el sobrepastoreo.

- Grupo de capacidad 4pesc-2.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad ocurren en el paisaje de montaña, en el tipo de relieve de filas y vigas, en la forma de terreno de laderas moderadamente inclinadas, en clima templado muy húmedo, con pendientes 12-25%; Moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso de esta unidad son las pendientes, los procesos erosivos en grado moderado, la fertilidad baja y la condición climática muy húmeda.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos y semipermanentes intensivos con prácticas de conservación, evitando actividades de laboreo continuas para protegerlos de la erosión; las actividades ganaderas no se recomiendan por los procesos erosivos, sin embargo, si se realizan se debe estabular el ganado y evitar el tránsito de animales por las laderas, especialmente cuando el suelo esté húmedo; también se debe evitar la sobrecarga y el sobrepastoreo.

- Subclase 4pe.

- Grupo de capacidad 4pe-1.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad ocurren en las laderas y taludes de los tipos de relieve lomas, glacis, resalto del paisaje de Montaña, en clima cálido húmedo, con pendientes 12-25%; los suelos son profundos y moderadamente profundos, bien drenados, con fertilidad baja y media. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes son las pendientes fuertemente inclinadas y la erosión moderada.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos; para detener el fenómeno erosivo se deben realizar prácticas de conservación de suelos como la incorporación de abonos verdes, la siembra en curvas de nivel, y la restricción de la ganadería.

- Subclase 4ec.

- Grupo de capacidad 4ec-1.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad se ubican en el paisaje de Valle aluvial, en el tipo de relieve abanico terraza y en las formas de la tierra plano, talud, en clima cálido seco, con pendientes 0-3%, 3-7%, 7-12%; los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y con fertilidad alta. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes son la erosión moderada y el clima seco.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos; las prácticas de conservación de suelos deben ir dirigidas a frenar el proceso erosivo; se recomienda la incorporación de abonos verdes y la aplicación de riego suplementario

- ❖ Subclase 4pc.

- ➢ Grupo de capacidad 4pc-1.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad se ubican en el paisaje de Valle aluvial, en el tipo de relieve abanico terraza y en las formas de talud, en clima cálido seco, con pendientes 12-25%%; los suelos son profundos; bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja.

Las principales limitantes son las pendientes fuertemente inclinadas y el clima.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos; se debe aplicar riego suplementario.

- ❖ Subclase 4pec.

- ➢ Grupo de capacidad 4pec-1.

Las tierras correspondientes a este grupo de capacidad se ubican en el paisaje de Valle aluvial, en el tipo de relieve abanico terraza y en las formas de talud, en clima cálido seco, con pendientes 12-25%%; los suelos son profundos; bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes son las pendientes fuertemente inclinadas, la erosión moderada y el clima seco.

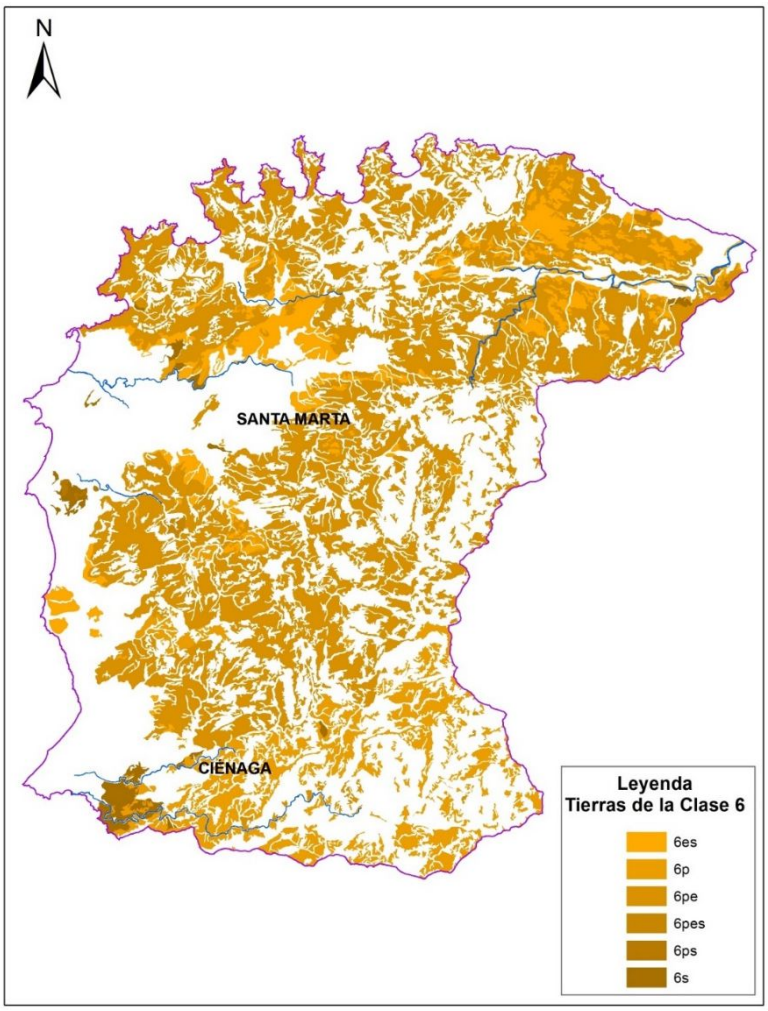
Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos; las prácticas de conservación de suelos deben ir dirigidas a frenar el proceso erosivo; se recomienda la incorporación de abonos verdes y la aplicación de riego suplementario

11.3.4.5.3. *Tierras aptas para reforestación, ganadería extensiva, cultivos permanentes y sistemas agroforestales. Clase 6.*

Las tierras de la clase 6 están distribuidas en los paisajes de montaña, valle aluvial y planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de filas y vigas, lomas, resaltos, glacis, terraza y marismas con laderas ligeramente inclinada a ligeramente escarpada con pendientes 3-7%, 7-12% y 25 -50%; los suelos tienen texturas gruesas y moderadamente finas, fertilidad baja a alta y erosión moderada en algunos sectores. La unidad ocupa 43 012.48 hectáreas, que corresponden al 49% del total del área de la cuenca; en la **(Figura 11.22)** se puede apreciar la distribución de las tierras de esta clase dentro de la cuenca.

Las tierras de clase 6 se dividen en las siguientes seis subclases 6p, 6pe, 6s, 6es, 6ps, 6pes:

Figura 11.22. Distribución de las tierras de la clase 6 en la cuenca



- Subclase 6p.

- Grupo de capacidad 6p-1.

Las tierras correspondientes a esta unidad agrologica ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas, y forma de terreno de laderas ligeramente escarpadas; el clima es frío muy húmedo y templado muy húmedo, con pendientes 25-50%; los suelos son profundos y moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderas y fertilidad baja.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como el relieve que es ligeramente escarpado con pendientes 25-50%; limitantes menores son el clima muy húmedo y la profundidad efectiva moderada.

Las tierras son aptas para cultivos tecnificados permanentes intensivos semi-intensivos (frutales) como uso principal; también se pueden dedicar a ganadería con pastos de corte; debido a las fuertes pendientes no es aconsejable dejar suelto el ganado; por el contrario, se debe tener estabulado especialmente el levante con ceba intensiva.

Es necesario realizar prácticas de conservación de suelos, sembrar en curvas de nivel o en sentido transversal a las pendientes, realizar aplicaciones permanentes de enmiendas, al igual que de materia orgánica compostada; la fertilización de cultivos debe considerar las condiciones químicas de los suelos para suministrar nutrientes, en forma fraccionada; las actividades ganaderas deben evitar el sobrepastoreo.

- Grupo de capacidad 6p-2.

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, filas y vigas, en las formas de terreno de laderas fuertes y moderadamente inclinadas; el clima templado húmedo; con pendientes 25-50% los suelos son moderadamente profundos y superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como el relieve que es ligeramente escarpado con pendientes 25-50%, limitantes menores son la profundidad efectiva moderada.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes intensivos semi-intensivos: frutales, cítricos como uso principal; también se pueden dedicar a ganadería con pastos de corte; debido a las fuertes pendientes no es aconsejable dejar suelto el ganado; por el contrario, se debe tener estabulado especialmente el de levante con ceba intensiva.

Es necesario realizar prácticas de conservación de suelos, sembrar en curvas de nivel o en sentido transversal a las pendientes, realizar aplicaciones ocasionales de enmiendas pues los niveles de aluminio están en 30%, al igual que de materia orgánica compostada; la fertilización de cultivos debe considerar las condiciones químicas de los suelos para suministrar nutrientes, en forma fraccionada; en el caso de actividades ganaderas se debe evitar el sobrepastoreo.

- Grupo de capacidad 6p-3

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, filas y vigas, en las formas de terreno de laderas fuertes y moderadamente inclinadas; el clima es cálido húmedo y templado húmedo; con pendientes 25-50% los suelos son Ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros, fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa..

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como el relieve que es ligeramente escarpado con pendientes 25-50%, limitantes menores son la profundidad efectiva moderada.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes intensivos semi-intensivos: frutales, cítricos como uso principal; también se pueden dedicar a ganadería con pastos de corte; debido a las fuertes

pendientes no es aconsejable dejar suelto el ganado; por el contrario, se debe tener estabulado especialmente el de levante con ceba intensiva.

Es necesario realizar prácticas de conservación de suelos, sembrar en curvas de nivel o en sentido transversal a las pendientes, realizar aplicaciones ocasionales de enmiendas pues los niveles de aluminio están en 30%, al igual que de materia orgánica compostada; la fertilización de cultivos debe considerar las condiciones químicas de los suelos para suministrar nutrientes, en forma fraccionada; en el caso de actividades ganaderas se debe evitar el sobrepastoreo.

- Grupo de capacidad 6p-4.

Las tierras correspondientes a esta agrupación ocurren en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, filas, vigas, lomas y colinas y en la forma de terreno de laderas fuertemente inclinadas con pendientes 25-50%; el clima es cálido seco, los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, con fertilidad moderada.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores como el relieve que es ligeramente escarpado con pendientes 25-50%; otro limitante menor es el clima seco.

Las tierras son aptas para cultivos tecnificados permanentes intensivos y semi-intensivos: frutales como uso principal; también se pueden dedicar a ganadería con pastos de corte; debido a las fuertes pendientes no es aconsejable dejar suelto el ganado; por el contrario, se debe tener estabulado especialmente el de levante con ceba intensiva.

Es necesario realizar prácticas de conservación de suelos, sembrar en curvas de nivel o en sentido transversal a las pendientes, realizar aplicaciones permanentes de enmiendas, al igual que materia orgánica compostada; la fertilización de cultivos debe considerar las condiciones químicas de los suelos para suministrar nutrientes, en forma fraccionada; las actividades ganaderas deben evitar el sobrepastoreo.

- Subclase 6pe.

- Grupo de capacidad 6pe-1.

Conforman esta unidad agrológica las tierras de las laderas ligeramente escarpadas (pendientes 25-50%), localizados en las filas y vigas del paisaje de montaña, en clima templado húmedo; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso óptimo de los suelos son las pendientes muy inclinadas, los procesos erosivos de grado moderado, y la fertilidad muy baja con deficiencias de elementos mayores.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos e intensivos como café en sistemas agro silvícolas, ganadería semi intensiva con pastos de corte y evitando el sobrepastoreo

- Grupo de capacidad 6pe-2.

Conforman esta subclase las tierras de las laderas fuertemente inclinadas (con pendientes 25-50%), localizados en las filas, vigas, lomas y resaltos del paisaje de montaña, en clima cálido húmedo, los suelos son ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, y fertilidad media y baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso óptimo de las tierras son las pendientes muy inclinadas, los procesos erosivos de grado moderado y la fertilidad muy baja con deficiencias de elementos mayores.

Las tierras son aptas para la implementación de cultivos permanentes semi intensivos e intensivos como cacao en sistemas silvícola y, para ganadería semi intensiva con pastos de corte evitando el sobrepastoreo preferiblemente en sistemas agrosilvopastoriles.

- Grupo de capacidad 6pe-3.

Conforman esta subclase las tierras de las laderas fuertemente inclinadas localizadas en las filas y vigas del paisaje de Montaña, en clima frio muy húmedo con pendientes 25-50%; Los suelos son ligeramente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, extremadamente ácidos y fertilidad natural baja. Hay erosión ligera y moderada.

Las principales limitantes para el uso óptimo de los suelos son las pendientes muy inclinadas, los procesos erosivos de grado moderado, la fertilidad muy baja con deficiencias de elementos mayores.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos e intensivos en sistemas silvícolas, para y ganadería semi intensiva con pastos de corte evitando el sobrepastoreo en sistemas agrosilvopastoriles.

- 6pe-4

Conforman esta subclase las tierras de las laderas fuertemente inclinadas localizadas en las filas y vigas del paisaje de Montaña, en clima templado muy húmedo, con pendientes 25-50%; Los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso óptimo de los suelos son las pendientes muy inclinadas, los procesos erosivos de grado moderado, la fertilidad muy baja con deficiencias de elementos mayores.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos e intensivos en sistemas silvícolas, para y ganadería semi intensiva con pastos de corte evitando el sobrepastoreo en sistemas agro silvopastoriles.

- Grupo de capacidad 6pe-5.

Conforman esta subclase las tierras de las laderas fuertemente inclinadas localizadas en las filas, vigas, lomas y colinas del paisaje de Montaña, en clima cálido seco, con pendientes 25-50%; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadas y fertilidad baja. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso son las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi intensivos e intensivos en sistemas silvícolas y para ganadería semi intensiva con pastos de corte y sistemas agrosilvopastoriles evitando el sobrepastoreo; se debe aplicar riego complementario.

- Subclase 6s.

- Grupo de capacidad 6s-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en los paisajes de Montaña y Valle aluvial, en los tipos de relieve de lomas y terrazas y en las formas de terreno de laderas y taludes, con pendientes 7-12% y 12-25% en clima cálido húmedo; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas muy gruesas y fertilidad natural baja.

Los factores que limitan el uso de las tierras son las texturas gruesas, la presencia abundante de gravilla dentro del perfil y la fertilidad baja con deficiencias de elementos mayores.

La aptitud de las tierras se orienta a la ganadería extensiva, los cultivos perennes, los sistemas multiestrata y agroforestales, con pasturas y forrajes mejorados; se deben implementar sistemas de riego para suplir las perdidas rápidas de humedad debido a la textura gruesa de los suelos.

- Grupo de capacidad 6s-2.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de Montaña, en los tipos de relieve de glacis, lomas y cerros, en las formas de terreno de plano inclinado y ladera, con pendientes que van desde ligera a fuertemente inclinada en el clima cálido seco; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas muy gruesas y fertilidad natural moderada.

Los factores que limitan el uso de las tierras son las texturas gruesas y la presencia de clima seco que limita el uso por deficiencia de lluvias.

La aptitud de las tierras se orienta a la ganadería extensiva, los cultivos permanentes, los sistemas multiestrata y agroforestales y/o a la reforestación, con pasturas y forrajes mejorados; se deben implementar sistemas de riego para suplir las perdidas rápidas de humedad debido a la textura gruesa de los suelos.

- Subclase 6es.

- Grupo de capacidad 6es-1.

Tierras localizadas en el paisaje de Montaña, en los tipos de relieve de glacis, lomas, colinas, cerros y en las formas de las tierras planos y laderas, en clima cálido seco, con pendientes 0-3%, 7-12% y 12-25%; Los suelos son profundos, bien drenados, de texturas gruesas y fertilidad media. Hay erosión moderada.

Los factores que limitan el uso de los suelos son la erosión moderada y las texturas gruesas.
Las tierras tienen aptitud para sistemas agro-silvícolas; las prácticas de conservación de suelos deben ir encaminadas a la incorporación de materia orgánica y a sistemas de siembra en curvas de nivel con el fin de frenar el proceso erosivo.

- Grupo de Capacidad 6es-2

Tierras localizadas en las laderas y taludes de las lomas, cerros y terrazas en los paisajes de Montaña y Valle aluvial, en clima cálido húmedo, con pendientes 3-7%, 7-12, 12-25%; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas gruesas y fertilidad media. Hay erosión moderada.

Los factores que limitan el uso de los suelos son la erosión moderada y las texturas gruesas.

Las tierras tienen aptitud para sistemas agro-silvícolas, las prácticas de conservación de suelos deben ir encaminadas a la incorporación de materia orgánica y sistemas de siembra en curvas de nivel con el fin de frenar el proceso erosivo.

- Subclase 6ps

- Grupo de capacidad 6ps-1

Tierras localizadas en las laderas de los cerros del paisaje de Montaña, en clima cálido seco, con pendientes 25-50%; los suelos son superficiales limitados por abundantes fragmentos líticos, bien drenados, de texturas gruesas y fertilidad alta.

Las limitantes para el uso son la pendiente ligeramente escarpada, las texturas gruesas y la profundidad efectiva.

Las tierras son aptas para sistemas-agro-silvo-pastoriles, acompañados de riego complementario.

- Subclase 6pes

- Grupo de manejo 6pes-1

Tierras localizadas en las laderas de los cerros del paisaje de Montaña, en clima cálido húmedo, con pendientes 25-50%; los suelos son superficiales limitados por abundantes fragmentos líticos, bien drenados, de texturas gruesas, fertilidad alta. Hay erosión moderada.

Las limitantes para el uso son la pendiente ligeramente escarpada, la erosión moderada, las texturas gruesas y la profundidad efectiva.

Las tierras son aptas para sistemas-agro-silvícolas, acompañados de riego complementario.

- Tierras que requieren cobertura vegetal permanente multiestrata- bosque protector productor. Clase 7

Las tierras de la clase 7 se encuentran localizadas en las lomas y filas y vigas, del paisaje de montaña cuyas pendientes están entre los límites de variación 50-75%; los suelos presentan texturas moderadamente finas hasta moderadamente gruesas, fragmentos de roca en el perfil y fertilidad baja a moderada.

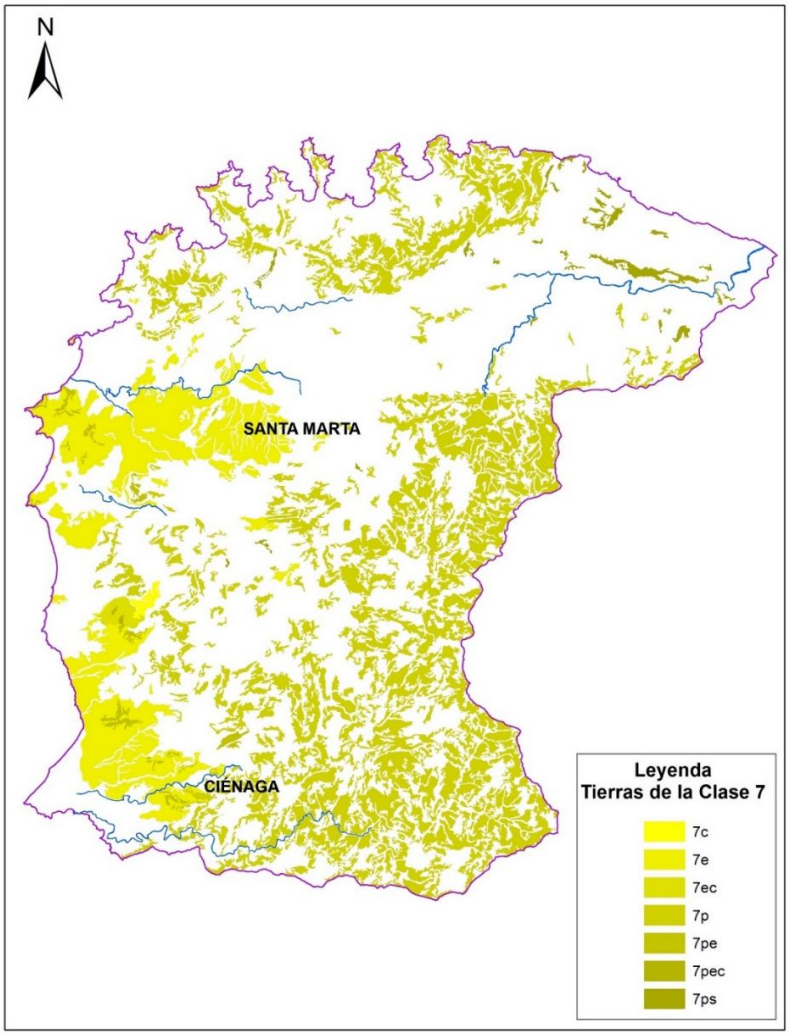
Las limitaciones de estas áreas para el uso sostenible corresponden a las pendientes moderadamente escarpadas, la erosión en grado severo, la presencia de pedregosidad en superficie y de fragmentos gruesos en el perfil y la alta saturación de aluminio.

Las limitaciones muy severas hacen que las tierras sean inadecuadas para actividades agrícolas; su uso debe estar orientado a la explotación forestal y a la conservación del bosque nativo.

El área correspondiente a las tierras de la clase 7 es de 26 767.82 Hectáreas, que corresponden al 30% del total del área de la cuenca; su ubicación al interior de la cuenca se puede apreciar en la **(Figura 11.23)**.

Las tierras de clase 7 están conformadas por las siguientes siete subclases: 7p, 7pe, 7ps, 7e, 7c, 7ec, 7pec

Figura 11.23. Distribución de las tierras de la clase 7 en la cuenca



- ❖ Subclases 7p

- ➢ Grupo de capacidad 7p-1

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas, en el clima frío muy húmedo, con pendientes 50-75%; los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad natural baja.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las pendientes muy escarpadas.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica son los sistemas forestales productores de múltiples estratos y el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Grupo de capacidad 7p-2.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas en clima templado húmedo y muy húmedo, con pendientes 50-75%; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y moderadamente finas, fertilidad natural moderada.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las pendientes muy escarpadas.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica son los sistemas forestales productores, la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Grupo de capacidad 7p-3.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas, vigas, cerros y en las formas de terreno de laderas fuertemente inclinadas, en clima cálido húmedo, con pendientes 50-75%; los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad natural baja.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las pendientes muy escarpadas y en menor grado la presencia de procesos erosivos de grado moderado.

El uso más adecuado de este grupo de capacidad es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos; es decir, las actividades forestales productoras, la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Grupo de capacidad 7p-4.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas, vigas, colinas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas en el clima cálido seco; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y moderadamente finas, con fertilidad natural moderada.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las pendientes muy escarpadas, el clima seco y las texturas gruesas.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica son los sistemas forestales productores y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ❖ Subclases 7pe.

- ➢ Grupo de capacidad 7pe-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas, vegas, cerros y en las formas de terreno de ladera escarpadas con pendientes 50-75%, en clima cálido seco; los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, la fertilidad natural es baja. Hay erosión severa.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las pendientes muy escarpadas, los procesos erosivos de grado severo y las texturas gruesas.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado de este grupo de capacidad es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos; se debe orientar hacia los sistemas forestales protectores con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; la práctica de la ganadería se debe eliminar con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ➢ Grupo de capacidad 7pe-2

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña en los tipos de relieve de filas y vigas y en las formas del terreno de laderas fuertemente inclinadas con pendientes 50-75%; en clima templado húmedo, los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja; hay erosión severa.

Los factores responsables de la alta vulnerabilidad de los suelos son las pendientes muy escarpadas, los procesos erosivos de grado severo y las texturas gruesas.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos; se debe orientar hacia los sistemas forestales protectores nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; la ganadería se debe eliminar la práctica de con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ❖ Subclases 7ps.

- ➢ Grupo de capacidad 7ps-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas y en las formas de terreno de ladera, moderadamente escarpadas en el clima cálido húmedo; los suelos son profundos, bien drenados y de texturas moderadamente finas; la fertilidad natural es alta.

Los factores causan la alta susceptibilidad de los suelos al deterioro son las pendientes muy escarpadas, la presencia de abundantes fragmentos gruesos en el perfil y las texturas gruesas.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos; se debe orientar hacia los sistemas forestales productores y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; la ganadería se debe eliminar con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ❖ Subclases 7e

- ➢ Grupo de capacidad 7e-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en los paisajes de Montaña y Valle aluvial, en los tipos de relieve de cerros, filas, vigas, lomas, colinas, glacis, abanicos terrazas en las formas de terreno de laderas fuerte y moderadamente inclinadas, con pendientes 0-3%, 7-12% y 12-25%, en el clima cálido seco; los suelos superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas y gruesas, la fertilidad natural es baja y media; hay erosión severa.

El factor que limita el uso de los suelos es la erosión que se presenta en grado severo y los movimientos en masa, la poca profundidad efectiva ocasionada por la erosión.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado está orientado a la implementación de sistemas forestales protectores; se debe permitir que crezca la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos orientada a la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ➢ Grupo de capacidad 7e-2

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de Montaña en el tipos de relieve filas, vigas, y en las formas de la tierra ladera moderadamente inclinadas, en clima, templado húmedo, con pendientes 12-25%, 25-50%; los suelos son moderadamente profundos y superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, fuertemente ácidos y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa.

El factor responsable de la alta vulnerabilidad de los suelos es la erosión que se presenta en grado severo, los movimientos en masa y la poca profundidad efectiva ocasionada por la erosión.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado está orientado a la implementación de sistemas forestales protectores; se debe permitir que crezca la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos orientada hacia la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Grupo de capacidad 7e-3

Este grupo de capacidad se encuentra en los paisajes de Montaña y Valle aluvial, en los tipos de relieve filas, vigas, glacis, lomas, terrazas y en las formas de la tierra ladera fuertes y moderadamente inclinadas y planos, en climas cálido húmedo, con pendientes 3-7%, 7-12%, 12-25%, 25-50%; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas gruesas y moderadamente gruesas; la fertilidad es media y baja; hay erosión severa.

El factor responsable de la alta vulnerabilidad de los suelos es la erosión que se presenta en grado severo, los movimientos en masa y la poca profundidad efectiva ocasionada por la erosión.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado está orientado a la implementación de sistemas forestales protectores; se debe permitir que crezca la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos orientada hacia la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Subclases 7c.

- Grupo de capacidad 7c-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas y ligeramente escarpadas, con pendientes 12-25% y 25-50% en el clima cálido semi árido; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas; la fertilidad natural es moderada.

Los factores que debido a la muy alta susceptibilidad al deterioro restringe el uso de los suelos son la condición climática semi árida y la deficiente distribución de las lluvias.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado son los sistemas forestales protectores de múltiples estratos orientada a la conservación de la vegetación nativa y a la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- Subclase 7ec.

- Grupo de capacidad 7ec-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, colinas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas, con pendientes 12-25% y 25-50% en el clima cálido semi árido; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas y la fertilidad natural baja.

Los factores que limitan el uso y aumentan la vulnerabilidad de los suelos son la erosión y la condición climática semi árida.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado son los sistemas forestales protectores de múltiples estratos; el área se debe orientar hacia la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

- ❖ Subclase 7pec.

- ➢ Grupo de capacidad 7pec-1.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas, colinas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente inclinadas, con pendientes 50-75% en el clima cálido semi árido; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas; la fertilidad natural es baja; hay erosión severa.

Los factores que limitan el uso de los suelos y aumentan la vulnerabilidad son la pendiente, la erosión y la condición climática semi árida.

Estas tierras no tienen aptitud para actividades agropecuarias; el uso más apropiado es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos (sistema forestal protector); el área se debe orientar hacia la conservación de la vegetación nativa y la reforestación con especies arbóreas y arbustivas propias del clima, propiciando el desarrollo del sotobosque; se debe eliminar la práctica de la ganadería con el propósito de prevenir los procesos erosivos.

11.3.4.5.4. *Tierras para la conservación y/o recuperación de la naturaleza. Clase 8*

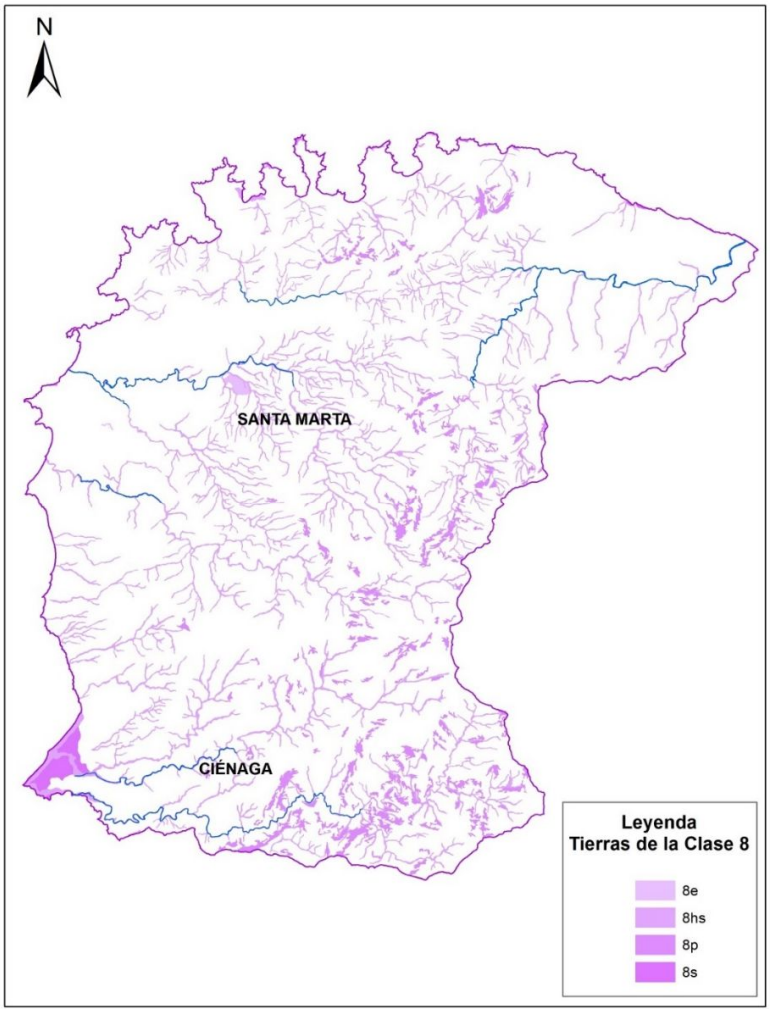
Las tierras de la clase 8 están localizadas en los paisajes de montaña, en tipos de relieve de filas y vigas y marismas y en el paisaje de planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de marismas; la topografía es fuertemente escarpada en el primer paisaje y plana a ligeramente plano cóncava con pendientes que no superan el 3% en el segundo; los suelos son muy superficiales y superficiales, imperfecta y pobremente drenados, de texturas gruesas, con acumulación de sales y sodio y fertilidad baja y moderada.

Estas tierras tienen limitaciones muy fuertes a extremadamente severas debido a la inclinación del terreno con pendientes superiores al 75% y a la presencia de inundaciones frecuentes de larga duración, asociada a las fluctuaciones de la marea; otras limitaciones que presentan son las texturas muy gruesas y la influencia del agua salada, ya que corresponden a las geoformas planas localizadas en la orilla del mar; también se incluyeron en esta clase todos los suelos relacionados con los cuerpos de agua que se encuentran al interior de la cuenca.

El uso debe estar orientado a la conservación y protección de la vegetación nativa y a la conservación de la vida silvestre.

El área correspondiente a las tierras de la clase 8 es de 10 285.12 Hectáreas, que corresponden al 12% del total del área de la cuenca; la localización de estas tierras se puede apreciar en la **(Figura 11.24).**

Figura 11.24. Distribución de las tierras de la clase 8 en la cuenca



- Subclases 8p.

- Grupo de capacidad 8p-1:

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas y en las formas de terreno de laderas, fuertemente escarpadas, con pendientes superiores a 75%, en el clima frío muy húmedo; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas; la fertilidad natural es baja; hay erosión moderada.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las fuertes pendientes.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias; en consecuencia, el uso más apropiado es la conservación de los recursos naturales; de igual manera se debe propender por la protección en aquellas zonas en las cuales existe cobertura y se debe eliminar la práctica de la ganadería.

- Grupo de capacidad 8p-2

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas y en las formas de terreno de ladera, fuertemente escarpadas, con pendientes superiores a 75%, en el clima templado húmedo y muy húmedo; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas; la fertilidad natural es moderada al igual que la erosión.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las fuertes pendientes.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias, en consecuencia, se deben dedicar exclusivamente a la conservación de los suelos, los recursos hídricos, la fauna y la vida silvestre en general, mediante la implementación de programas de reforestación con especies nativas; también se puede utilizar en turismo ecológico y en actividades recreativas controladas.

- Grupo de capacidad 8p-3.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de lomas y filas y vigas, en las formas de terreno de laderas fuertemente escarpadas, con pendientes superiores a 75%, en el clima cálido húmedo; los suelos son profundos y moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, en algunos sectores se presenta erosión de grado moderado; la fertilidad natural es baja.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las fuertes pendientes.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias ni forestales; por este motivo se deben dedicar exclusivamente a la conservación de los suelos, los recursos hídricos, la fauna y la vida silvestre en general, mediante la implementación de programas de reforestación con especies nativas; también se puede utilizar en turismo ecológico y en actividades recreativas controladas.

- Grupo de capacidad 8p-4.

Este grupo de capacidad se encuentra en el paisaje de montaña, en los tipos de relieve de filas y vigas, en las formas de terreno de laderas fuertemente escarpadas, con pendientes superiores a 75%, en el clima cálido seco; los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, la fertilidad natural es moderada al igual que la erosión.

Los factores que limitan el uso de los suelos son las fuertes pendientes.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias ni forestales, por este motivo se deben dedicar exclusivamente a la conservación de los suelos, los recursos hídricos, la fauna y la vida silvestre en general, mediante la implementación de programas de reforestación con especies nativas; también se puede utilizar en turismo ecológico y actividades recreativas controladas.

- ❖ Subclases 8hs.

- ➢ Grupo de capacidad 8hs-1.

En este grupo de capacidad se reunieron los tipos de relieve de vallecitos y marismas en los paisajes de Montaña y Planicie fluvio marina, en clima cálido seco, con pendientes planas y ligeramente inclinadas; los suelos son moderadamente profundo, imperfectamente drenados, de texturas moderadamente finas; la fertilidad natural es baja y moderada. En los taludes hay erosión moderada.

Las limitaciones de las tierras para el uso sostenible son las continuas inundaciones a que están sometidos, ya que corresponden a cauces por los que circula abundante agua en los periodos de invierno.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias ni forestales; por este motivo se deben dedicar exclusivamente a la conservación de los suelos, los recursos hídricos, la fauna y la vida silvestre en general, mediante la implementación de programas de reforestación con especies nativas; también se puede utilizar en turismo ecológico y actividades recreativas controladas.

- ❖ Subclase 8e.

- ➢ Grupo de capacidad 8e-1.

En este grupo de capacidad se reunieron los tipos de relieve lomas y cerros, en las formas de la tierra de laderas moderadamente inclinadas, en clima cálido húmedo y cálido seco, con pendientes 3-7%, 7-12%, 12-25%; los suelos son superficiales, bien drenados, de texturas moderadas y fertilidad baja, la erosión es muy severa.

La limitante principal es la erosión muy severa.

De acuerdo con las limitaciones enunciadas, estas tierras no son aptas para explotaciones agropecuarias ni forestales; por este motivo se deben dedicar exclusivamente a la recuperación de los suelos, los recursos hídricos, la fauna y la vida silvestre en general, mediante la implementación de programas de reforestación con especies nativas; también se puede utilizar en turismo ecológico y actividades recreativas controladas.

- Subclase 8s.

- Grupo de capacidad 8s-1.

Tierras localizadas en las playas de las marismas en el paisaje de Planicie aluvial, en clima cálido húmedo y seco, con pendientes 0-3%, 7-12%, 12-25%; los suelos son superficiales, de texturas arenosas, limitados por la presencia de sales y sodio, moderadamente drenados y de fertilidad muy baja.

La principal limitante son las texturas muy gruesas y la presencia de sales y sodio.

De acuerdo con la limitante dominante estas tierras no son aptas para usos agrícolas y forestales; por esta razón se deben dedicar a la conservación y al ecoturismo.

11.4. Usos Principales Propuestos

Los usos principales a los que se ha hecho referencia en la descripción de las unidades de capacidad de uso son los que a continuación se definen, se anota que el uso más intensivo que puede soportar la cuenca es el primero que se describe, los siguientes van disminuyendo en intensidad hasta llegar a la conservación; los respectivos requerimientos a manera de indicador se resumen en la leyenda de usos propuestos, la cual se incluye en el **(Anexo 5)** y **(Figura 11.26)**. Ver **(Figura 11.25) y (Figura 11.27)**

Con el fin de distinguir los usos propuestos de acuerdo con los pisos térmicos se diseñó una nomenclatura donde se le adiciona al símbolo del uso propuesto un número del 1 al 3, siendo 1 Frío, 2 Templado.

La cartografía en formato pdf se puede apreciar en los **anexos 9 y 10.**

Figura 11.25. Distribución porcentual de los usos principales propuestos en la cuenca del río Piedras Manzanares

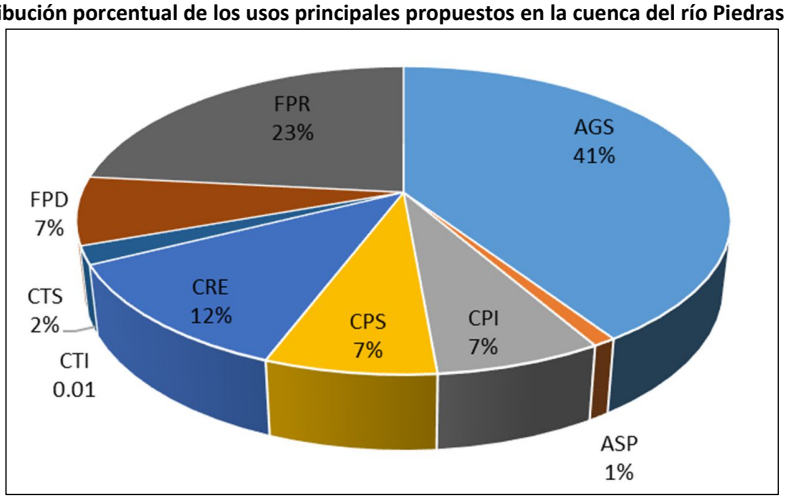


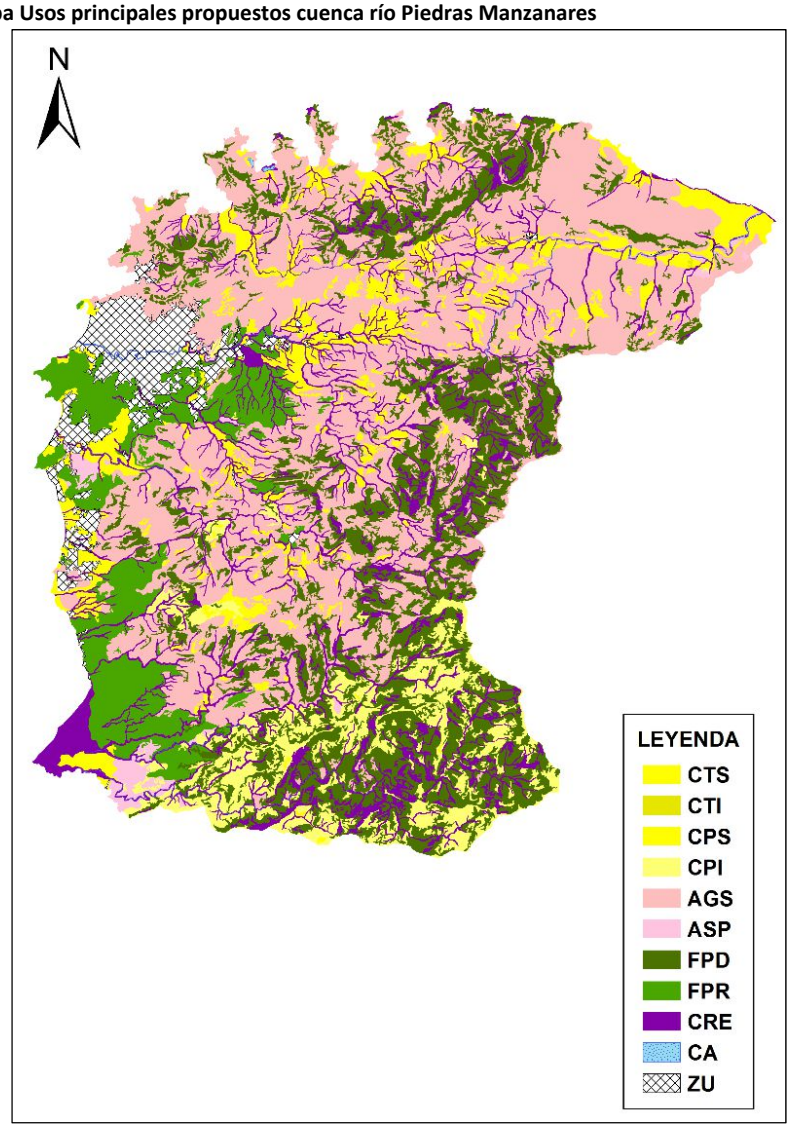
Figura 11.26. Leyenda Usos Propuestos

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
3	3s	3s-1	PM40c1	La profundidad efectiva y la baja fertilidad.	Cálido húmedo	TIERRAS PARA AGRICULTURA Y GANADERIA	Cultivos transitorios intensivos	CTI-3	8.45	0.01
4	4c	4c-1	PM42a, PM42a1, PM42b	La provincia de humedad seca.	Cálido seco		Cultivos Permanentes Semi-intensivos	CPS-3	8 010.81	9
	4e	4e-1	PM44b2, PM44b2	La erosión moderada.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4ec	4ec-1	PM42a2, PM42b2,PM43c2	La erosión moderada y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4es	4es-1	PM11a2, PM11b2, PM11b2, PM11c2, PM11c2, PM40b2, PM40b2, PM40c2, PM40c2	La erosión moderada, la profundidad efectiva (léase moderadamente profundos) y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4pc	4pc-1	PM43d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4pe	4pe-1	PM11d2, PM11d2, PM40d2, PM40d2, PM41d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y la erosión moderada.	Cálido húmedo			CPS-3		
	4pec	4pec-1	PM43d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada y el clima.	Cálido seco			CPS-3		
	4pes	4pes-1	PM7d2, PM7d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la profundidad efectiva (léase superficial) y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			CPS-3		
		4pes-2	PM5d2, PM5d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la profundidad efectiva (léase superficial) y la fertilidad baja.	Templado húmedo			CPS-2		
	4pesc	4pesc-1	PM1d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la fertilidad baja y el clima.	Frio muy húmedo			CPS-1		
	4pesc	4pesc-2	PM3d2	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la erosión moderada, la fertilidad baja y el clima.	Templado muy humedo			CPS-2		
	4psc	4psc	PM1d1, PM3d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%), la fertilidad baja y el clima.	Frio muy húmedo			CPS-1		
	4h	4h-1	PM52ax, PM52a1x, PM52bx, PM52b1x, PM52cx, PM52c1x	El drenaje impedido y las inundaciones frecuentes de corta duración.	Cálido húmedo		Cultivos Transitorios Semi-intensivos	CTS-3		
	4hc	4hc-1	PM45ax, PM45a1x	El drenaje impedido, las inundaciones frecuentes de corta duración y el clima.	Cálido seco			CTS-3		
	4p	4p-1	PM11d, PM40d, PM40d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%).	Cálido húmedo			CTS-3		
	4ps	4ps-1	PM5d1	Las pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) y la fertilidad baja.	Templado húmedo			CTS-2		

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
6	6es	6es-1	PM15a2, PM15a2, PM15c2, PM15d2, PM17d2, PM53d2	La erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido seco	TIERRAS APTAS PARA SISTEMAS AGROFORESTALES CULTIVOS PERMANENTES Y PASTOREO EXTENSIVO	Sistemas Agro-Silvícolas	AGS-3	43 012.48	49
		6es-2	PM46c2, PM46d2, PM46d2, PM54d2, PM54d2, PM9b2, PM9c2, PM9c2, PM9d2, PM9d2	La erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido húmedo			AGS-3		
	6pe	6pe-1	PM5e2 PM5e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Templado húmedo			AGS-2		
		6pe-2	PM41e2, PM6e2, PM6e2, PM8e2, PM8e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Cálido húmedo			AGS-3		
		6pe-3	PM1e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Frio muy húmedo			AGS-1		
		6pe-4	PM3e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Templado muy húmedo			AGS-2		
		6pe-5	PM13e2, PM16e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y la erosión moderada.	Cálido seco			AGS-3		
	6pes	6pes-1	PM54e2, PM54e2	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%), la erosión moderada y las texturas gruesas.	Cálido húmedo			AGS-3		
	6ps	6ps-1	PM53e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) y las texturas gruesas.	Cálido seco		Sistemas Agro-Silvo-Pastoriles	AGS-3		
	6s	6s-1	PM46c, PM46c1, PM46d, PM46d, PM9d, PM9d1	Las texturas gruesas y la fertilidad baja.	Cálido húmedo			AGS-3		
		6s-2	PM15a, PM15a1, PM15d, PM15d1, PM17c1, PM17d, PM17d1, PM53d1	Las texturas gruesas y la fertilidad baja	Cálido seco			AGS-3		
	6p	6p-1	PM1e, PM1e, PM1e1, PM1e1, PM3e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Frio muy húmedo		Cultivos Permanentes Intensivos	CPI-1		
		6p-2	PM5e, PM5e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Templado húmedo			CPI-2		
		6p-3	PM6e1, PM8e, PM8e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Cálido húmedo			CPI-3		
		6p-3	PM13e1, PM16e1	Las pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	Cálido seco			CPI-3		

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS POMCA RIO PIEDRAS, RIO MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE										
Clase	**Subclase**	**Grupo de Capacidad**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Clima ambiental**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
7	7p	7p-1	PM1f, PM1f1, PM1f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Frio muy húmedo	TIERRAS QUE REQUIEREN COBERTURA VEGETAL PERMANENTE MULTI ESTRATA	Sistema Forestal Productor	FPD-1	26 975.12	30
		7p-2	PM2f, PM2f1, PM2f2, PM4f1, PM4f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Templado húmedo Templado muy húmedo			FPD-2		
		7p-3	PM54f2, PM6f1, PM6f2, PM6f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Cálido húmedo			FPD-3		
		7p-4	PM13f1, PM13f2, PM16f2	Las pendientes escarpadas (50-75%).	Cálido seco			FPD-3		
	7ps	7ps-1	PM10f2	Las pendientes escarpadas (50-75%) y abundantes fragmentos gruesos en el perfil.	Cálido húmedo			FPD-3		
	7c	7c-1	PM25d1, PM25d2, PM25e1, PM25e2	La provincia de humedad semiárida.	Cálido semiárido		Sistema Forestal Protector	FPR-3		
	7e	7e-1	PM13e3, PM15c3, PM15d3, PM16e3, PM17c3, PM17d3, PM42a3, PM42b3, PM43c3, PM43d3 PM53d3, PM53e3	La erosión severa.	Cálido seco			FPR-3		
		7e-2	PM11c3, PM11d3	La erosión severa.	Templado húmedo			FPR-2		
		7e-3	PM11b3, PM40b3, PM40c3, PM40d3, PM44a3, PM5c3, PM5d3, PM6e3, PM7c3, PM7d3, PM8e3, PM9d3	La erosión severa.	Cálido húmedo			FPR-3		
	7ec	7ec-1	PM25d3, PM25e3	La erosión severa y el clima.	Cálido semiárido			FPR-3		
	7pe	7pe-1	PM13f3, PM53f3	Las pendientes escarpadas (50-75%) y la erosión severa.	Cálido seco			FPR-3		
		7pe-2	PM4f3	Las pendientes escarpadas (50-75%) y la erosión severa.	Templado húmedo			FPR-2		
	7pec	7pec-1	PM25f3	Las pendientes escarpadas (50-75%), la erosión severa y el clima.	Cálido semiárido			FPR-3		
8	8e	8e-1	PM11b4, PM11c4, PM53d4	La erosión muy severa	Cálido húmedo Cálido seco	TIERRAS PARA LA CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN DE LA NATURALEZA	Áreas para la Conservación y/o para la Recuperación de la Naturaleza	CRE-3	10 455.78	12
	8hs	8hs-1	PM24ay, PM24a1y, PM24a2y, PM24by, PM24b2y, PM24c, PM24c1, PM24c2, PM24d, PM24d1, PM24d2, PM24e, PM24e1, PM24e2, PM24f, PM24f1, PM24f2, PM24g1, PM50ay, PM50by	El drenaje impedido, las inundaciones frecuentes de larga duración, las texturas moderadamente finas y la fertilidad baja.	Cálido seco			CRE-3		
	8p	8p-1	PM1g, PM1g1, PM1g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Frio muy húmedo			CRE-1		
		8p-2	PM2g, PM2g1, PM2g2, PM4g1, PM4g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Templado húmedo Templado muy húmedo			CRE-2		
		8p-3	PM10g2, PM6g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%	Cálido húmedo			CRE-3		
		8p-4	PM13g1, PM13g2	Las fuertes pendientes mayores a 75%.	Cálido seco			CRE-3		
	8s	8s-1	PM48a, PM48c, PM49a, PM49c, PM49d	Las texturas extremadamente gruesas y la fertilidad muy baja.	Cálido húmedo Cálido seco			CRE-3		

Figura 11.27. Mapa Usos principales propuestos cuenca río Piedras Manzanares



11.4.1. Cultivos transitorios intensivos (CTI).

Cultivos con un ciclo de vida menor de un año que necesitan para su establecimiento alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada. Requieren suelos bien drenados, con profundidad efectiva moderada y fertilidad media o baja; no presentan procesos erosivos, ni pedregosidad, no hay inundaciones ni encharcamientos. El relieve es ligeramente inclinado con pendientes inferiores al 7%. El clima ambiental es favorable para el crecimiento de los cultivos, con precipitación pluvial bien distribuida durante el año, no hay ocurrencia de heladas. La mecanización es fácil y el suelo puede ser sometido a continuo laboreo. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades PM40c1 y el grupo de manejo 3s-1. las tierras con aptitud para los cultivos. Esta unidad ocupa un total de 8.45 hectáreas que corresponden al 0.01% del total de la cuenca.

11.4.2. Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)

Tienen un ciclo de vida menor de un año y exigen para su establecimiento moderada o alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada; generalmente las tierras no soportan una explotación intensiva o están expuestas a algún riesgo de deterioro, en este caso dicho factor corresponde a la pendiente moderadamente inclinada. Requieren suelos bien a moderadamente drenados; no se presentan inundaciones o encharcamientos; la profundidad efectiva es mayor a 25 cm, y el nivel de fertilidad es bajo; no hay erosión, ni problemas de sales; el relieve es moderadamente inclinado con pendientes inferiores al 12%. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades PM11d, PM40d, PM40d1, PM45ax, PM45a1x, PM52ax, PM52a1x, PM52bx, PM52b1x, PM52cx, PM52c1x, PM5d1x. y los grupos de capacidad 4ps-1, 4p-1, 4hc-1, 4h-1, Esta unidad ocupa un total de 1681.68 hectáreas que corresponden al 2% del total de la cuenca.

11.4.3. Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)

Tienen un ciclo de vida mayor de un año y requieren para su establecimiento inversión moderada de capital, tecnología adecuada y mano de obra calificada. Los suelos aptos para este tipo de uso cumplen las siguientes características: tienen un buen drenaje, son moderadamente profundos, la fertilidad es baja y media, algunos sectores presentan erosión moderada; el relieve puede ser inclinado con pendientes inferiores a 25%. Este tipo de cultivos no requieren laboreo frecuente del suelo, ni lo deja desprovisto de cobertura vegetal por largos periodos de tiempo; algunos cultivos observados en la cuenca son: café, cacao, plátano, caña panelera y frutales. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades PM11a2, PM11b2, PM11c2, PM11d2, PM1d1, PM1d2, PM3d1, PM3d2, PM40b2, PM40c2, PM40d2, PM41d2, PM42a, PM42a1, PM42a2, PM42b, PM42b2, PM43c2, PM43d1, PM43d2, PM44b2, PM5d2, PM7d2 y los grupos de manejo 4psc-1, 4pesc-1, 4psc-1, 4pesc-2, 4pes-2, 4pes-1, 4es-1, 4pe-1, 4es-1, 4pe-1, 4e-1, 4ec-1, 4c-1, 4ec-1, 4pc-1, 4pec-1. Esta unidad ocupa un total de 6329.13 hectáreas que corresponden al 7% del total de la cuenca.

11.4.4. Cultivos permanentes intensivos (CPI)

Cultivos con ciclo de vida mayor de un año que requieren para su establecimiento alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada. No necesitan laboreo frecuente del suelo, ni lo dejan desprovisto de cobertura vegetal por periodos largos de tiempo; ejemplos: café, cacao, palma de aceite, plátano, caña de azúcar, caña panelera y frutales; las características de los suelos son el ser profundos, de texturas moderadamente gruesas, bien drenados, ácidos, saturación de aluminio, fertilidad natural baja. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades PM13e1, PM16e1, PM1e, PM1e1, PM3e1, PM5e, PM5e1, PM6e1, PM8e, PM8e1 y los grupos de manejo 6p-1, 6p-2, 6p-3, 6p-4. Esta unidad ocupa un total de 6159.67 hectáreas que corresponden al 7% del total de la cuenca.

11.4.5. Sistemas agro silvícolas (AGS)

Los sistemas agro silvícolas son combinaciones de cultivos transitorios o especialmente permanentes con especies forestales para producir alimentos en suelos muy susceptibles al deterioro generalmente por las pendientes fuertes en las que ocurren (hasta del 50%). Son bien drenados, la profundidad efectiva supera los 50 cm, se presenta erosión moderada, motivo por el cual no se permiten actividades pecuarias. Dentro de las múltiples opciones de combinar los sistemas agro silvícolas se pueden mencionar: cultivos transitorios y bosque productor, cultivos

transitorios y bosque protector productor, cultivos permanentes y bosque productor, cultivos permanentes y bosque protector-productor. Las condiciones mencionadas son reunidas por las tierras de las unidades PM13e2, PM15a2, PM15c2, PM15d2, PM16e2, PM17d2, PM1e2, PM3e2, PM41e2, PM46c2, PM46d2, PM53d2, PM54d2, PM54e2, PM5e2, PM6e2, PM8e2, PM9b2, PM9c2, PM9d2 y los grupos de manejo 6pe-3, 6pe-4, 6pe-1, 6pe-2, 6pes-1, 6pe-5, 6pe-5, 6es-1, 6es-1, 6es-2. las tierras con aptitud para los cultivos. Esta unidad ocupa un total de 35990.99 hectáreas que corresponden al 41% del total de la cuenca.

11.4.6. Sistemas agro-silvo-pastoriles (ASP)

Corresponde a actividades agrícolas, forestales y ganaderas combinadas en cualquiera de las siguientes opciones: cultivos y pastos en plantaciones forestales, cultivos y pastos arbolados, cultivos y pastos protegidos por barreras rompe vientos y cercas vivas. Igualmente, otras como cultivos transitorios, bosque productor y ganadería intensiva, cultivos transitorios, bosque productor y ganadería semi-intensiva, cultivos transitorios, bosque protector productor y ganadería extensiva, cultivos permanentes, bosque productor y ganadería intensiva.

Son bien drenados, la profundidad efectiva supera los 50 cm, ocurren pendientes fuertes, no se presentan procesos erosivos. Dentro de las múltiples opciones de combinar los sistemas agro silvícolas se pueden mencionar: cultivos transitorios y bosque productor, cultivos transitorios y bosque protector productor, cultivos permanentes y bosque productor, cultivos permanentes y bosque protector-productor. Las condiciones mencionadas son reunidas por las tierras de las unidades PM15a, PM15a1, PM15d, PM15d1, PM17c1, PM17d, PM17d1, PM46c, PM46c1, PM46d, PM53d1, PM53e1, PM9d, PM9d1.y los grupos de manejo 6s-1, 6s-2, 6ps-1, 6s-1 Esta unidad ocupa un total de 861.83 hectáreas que corresponden al 1% del total de la cuenca.

11.4.7. Sistema forestal productor (FPD)

Corresponde a sistemas destinados a satisfacer la demanda de productos derivados del bosque; este tipo de productos puede estar relacionado con maderas, pulpas y materias primas farmacéuticas y de perfumería.

Las tierras de vocación forestal, en general, presentan una topografía ligeramente inclinada hasta fuertemente escarpada con pendientes inferiores a 75%, necesitan cobertura vegetal permanente como escudo contra la acción de los procesos erosivos; las tierras son bien drenadas, con abundante pedregosidad en el perfil, procesos erosivos de grado moderado y severo, moderadamente profundos y con un nivel bajo de fertilidad. Las condiciones mencionadas son reunidas por las tierras de las unidades PM1f, PM1f1, PM2f, PM2f1, PM4f1, PM6f1 y los grupos de manejo 7p-1, 7p-2, 7p-3. Esta unidad ocupa un total de 6337.80 hectáreas que corresponden al 7% del total de la cuenca.

11.4.8. Sistemas forestales protectores (FPR)

Estos sistemas están destinados a la protección de las laderas contra procesos erosivos o al mantenimiento y desarrollo de la vegetación nativa, o a la conservación de especies maderables en vía de extinción, o como protección de recursos hídricos. En general, en estas áreas no se debe desarrollar ningún tipo de actividad económica.

La topografía del terreno es inferior al 75% de pendiente por lo que el drenaje es excesivo; la profundidad efectiva de los suelos es mayor de 25 cm y presenta procesos erosivos de grado severo. El nivel de fertilidad es bajo. Las condiciones mencionadas son reunidas por las tierras de las PM1f2, PM2f2, PM4f2, PM4f3, PM5c3, PM5d3, PM6e3, PM6f2, PM7c3, PM7d3, PM8e3, PM9d3, PM10f2, PM11b3, PM11c3, PM11d3, PM40b3, PM40c3, PM40d3, PM54f2, PM13e3, PM13f1, PM13f2, PM13f3, PM15c3, PM15d3, PM16e3, PM16f2, PM17c3, PM17d3, PM53d3, PM53e3, PM53f3, PM25d1, PM25d2, PM25d3, PM25e1, PM25e2, PM25e3, PM25f3, PM44a3, PM42a3, PM42b3, PM43c3, PM43d3 y los grupos de manejo 7p-1, 7p-2, 7pe-2, 7e-2, 7p-3, 7ps-1, 7e-3, 7p-3, 7e-1, 7p-4, 7pe-1, 7p-4, 7e-1, 7e-1, 7pe-1, 7c-1, 7ec-1, 7c-1, 7ec-1, 7pec-1, 7e-3, 7e-1. Esta unidad ocupa un total de 20637.32hectáreas que corresponden al 23% del total de la cuenca.

11.4.9. Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza (CRE)

Las primeras forman parte de ecosistemas frágiles y estratégicos para la generación y la regulación del agua como es el caso de los páramos, los cuerpos de agua (quebradas y caños). Las segundas corresponden a tierras degradadas por procesos erosivos severos y muy severos, de contaminación y sobreutilización por lo que requieren acciones de recuperación y rehabilitación. Las condiciones mencionadas son reunidas por las tierras de las unidades PM10g2, PM11b4, PM11c4, PM13g1, PM13g2, PM1g, PM1g1, PM1g2, PM24ay, PM24a1y, PM24a2y, PM24by, PM24b2y, PM24c, PM24c1, PM24c2, PM24d, PM24d1, PM24d2, PM24e, PM24e1, PM24e2, PM24f, PM24f1, PM24f2, PM24g1, PM2g, PM2g1, PM2g2, PM48a, PM48c, PM49a, PM49c, PM49d, PM4g1, PM4g2, PM50ay, PM50by, PM53d4, PM6g2 y los grupos de manejo 8e-1, 8hs-1, 8p-1, 8p-2, 8p-3, 8p-4, 8s-1. Esta unidad ocupa un total de 10455.78 hectáreas que corresponden al 12% del total de la cuenca.

11.5. Fotografías

Figura 11.28. Perfil representativo de la unidad geomorfopedológica PM4



Figura 11.29. Perfil representativo de la unidad geomorfopedológica PM16



Figura 11.30. Tierras de la subclase 7ps



Las tierras de la subclase 7ps se usan actualmente en sistemas agroforestales de café en altas pendientes

Figura 11.31. Tierras de la subclase 6es



Las tierras de la subclase 6es están sometidas a procesos de degradación naturales que se agarban con la intervención del hombre.

Figura 11.32. Tierras de la subclase 6ec



Las tierras de la subclase 6ec se encuentran sometidas a procesos de desertificación por factores (léase provincia de humedad seca)

Figura 11.33. Tierras de la subclase 8p



Las tierras de la subclase 8p se caracterizan por la presencia de abundante vegetación y por la condición climática húmeda.

12. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Para el proceso de análisis de los POMCAS, "*La cuenca se considera una unidad de planificación ambiental del territorio adecuada, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en el tiempo, por encima de otras unidades de análisis, además de tener una delimitación propia definida einvolucrar una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio.*

El proceso de ordenación de una cuenca debe ser concebido desde el enfoque sistémico dado que se comporta como un conjunto real, complejo y abierto, el cual presenta interacciones, tanto entre los subsistemas biofísicos (suelo, agua, biodiversidad y aire), así como en los subsistemas antrópicos a nivel económico, social y cultural. Si bien estos últimos no tienen un limitante físico, dependen de la oferta de recursos provenientes del medio ambiente, su calidad y disponibilidad en la cuenca hidrográfica.

*"Como subsistema biofísico la cuenca se caracteriza por su oferta ambiental, cuya área se ve delimitada por la línea divisoria de aguas, en este contexto la cuenca posee características específicas de clima, suelo, vegetación, comportamiento de la red hidrográfica, formas de uso del suelo, componentes geológicos, etc."(*MINAMBIENTE, 2014).En este contexto el componente de cobertura y uso del suelo se convierte en un factor de análisis importante que permite determinar la diversidad en cuanto a tipos de coberturas y los usos que se están dando a estas con el fin de calcular factores como diversidad, riesgos, potencialidades, etc., que son de gran importancia para el proceso de ordenación.

El término "cobertura de la tierra" se refiere a los elementos (naturales o antrópicos) que se encuentran sobre la superficie terrestre, los cuales se espacializan, delimitan y cuantifican en términos de área y tipo para generar el mapa de coberturas. Este proceso se ha convertido hoy por hoy en una de las mayores necesidades de base para diferentes temáticas; desde la determinación de ecosistemas, la zonificación ambiental, hasta la gestión del riesgo pasando por la zonificación ambiental, los ecosistemas, la dterminación de conflictos, la productividad ambiental y la reglamentación del uso del suelo.

Los mapas de coberturas de la tierra no son insumos que, por sí solos, den respuesta a otras temáticasde trabajo como ecosistemas, zonas de vida, formaciones vegetales, cuantificación de cultivos, sino que conforman uno de los elementos más importantes para su determinación, ya que brindan información para un determinado lugar, en un determinado tiempo. Es importante tener en cuenta las limitaciones de este producto relacionadas con la fuente de la cual se extrae la información de las coberturas, la cual corresponde a imágenes de sensores remotos que, a partir de su respuesta espectral en las bandas de los infrarrojos junto con el estado fisiológico de la vegetación, permiten determinar el tipo de cobertura presente; estas imágenes tienen una temporalidad (fecha de toma) específica, que conlleva a que la capa de coberturas sea una instantánea de un tiempo determinado para un espacio específico, por lo cual de acuerdo a la

dinámica del territorio relacionada con la economía, las alteraciones climáticas o aun los cambios en la infraestructura vial, el mapa de coberturas puede o no evidenciar la realidad de un territorio en la fecha que se realiza el estudio. Esto obliga a que el proceso de interpretación de coberturas deba realizarse periódicamente si se desea contar con un producto que brinde información actualizada sobre el estado de un área determinada (adaptado de Acosta, et al, 2008).

Dentro de proceso de realización de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, el componente de coberturas se convierte en una herramienta de análisis indispensable para el desarrollo de todas las temáticas relacionadas con dicha ordenación y manejo.

El componente de coberturas dentro del proyecto, consta de cuatro etapas, la primera corresponde a la interpretación de las coberturas de la tierra a escala 1:25.000 para la totalidad del área de la cuenca, para la cual se utiliza la metodología CorineLandCover Adaptada para Colombia, gracias al esfuerzo conjunto de entidades del nivel nacional y local como son el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC- y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena –CORMAGDALENA-, con el apoyo del Instituto Geográfico Nacional Francés –IGN- y el Fondo Francés del Medio Ambiente Mundial –FFEM-, a partir de la metodología Europea CORINE (Coordination of InformationontheEnvironment) LandCover. La segunda corresponde a la determinación de usos del suelo la cual se calcula utilizando los lineamientos establecidos por MINAMBIENTE y la ANLA. La tercera etapa corresponde al análisis multitemporal de las coberturas, el cual sigue los lineamientos establecidos por el IDEAM y se realizó a escala 1:100.000, teniendo en cuenta que la información oficial existente para esta área se encuentra a únicamente a esta escala. La cuarta etapa, corresponde a la cálculo de índices de estado-tendencia para el área de la cuenca con base en las coberturas existentes en la misma.

El presente trabajo muestra los resultados del componente de coberturas y uso del suelo para el territorio de la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

12.1. Objetivos

12.1.1. Generales

- Presentar el resultado obtenido tras la realización de la capa de coberturasy uso del suelo para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe utilizando como insumos imágenes satelitales Rapideye. Aplicando el métodoPIAO para la delineación de los polígonos y la metodología CorineLandCoveradaptada a Colombia, para su codificación.
- Mostrar el resultado de la realización del análisis multitemporalde coberturas de la tierra para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, utilizando como insumos las capas de coberturas de la tierra de los períodos 2005 y 2012 y aplicando la metodología para este proceso establecida por el IDEAM.
- Presentar el resultado obtenido del cálculo de los indicadores de estado tendencia de para las coberturas naturales presentes en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

12.1.2. Especificos

- Describir la metodología utilizada para la realización de la capa de coberturas de la tierra a escala 1:25.000, para el territorio de la cuenca.
- Presentar los resultados obtenidos de la realización del mapa de coberturas de la tierra para el territorio de la cuenca.
- Presentar el procedimiento para llevar a cabo la asociación de uso a cada una de las coberturas encontradas dentro de la cuenca, de acuerdo a los lineamientos que para esta actividad fueron establecidos en la guía de cuencas y mostrar los resultados obtenidos en esta actividad.
- Describir la metodología seguida para la generación del mapa multitemporalde coberturas de la tierra para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, utilizando como insumos las capas de coberturas de la tierra de los períodos 2005 y 2012 a escala 1.100.000.
- Presentar los resultados producto del análisis multitemporal de coberturas de la tierra para el territorio de la cuenca.
- Describir la metodología utilizada para el cálculo de los índices de estado – tendencia para la cuenca a través de la información de coberturas de la tierra.
- Presentar los resultados obtenidos del cálculo de los indices de estado – tendencia para el territorio de la cuenca.

12.2. Metodología.

12.2.1. Metodología Corine Land Cover

Desde la década de los 70's, el país comenzó numerosos trabajos orientados a la obtención de mapas de coberturas de la tierra. Sin embargo ante la ausencia de una metodología estandarizada, con diferencias en los procedimientos, que generaba resultados no compatibles entre diferentes períodos para un mismo lugar, los productos generados no satisfacían las necesidades de los usuarios por lo que se quedaron en el nivel local y no trascendieron, además de que no eran utilizados por los mismos generadores, pues los diferentes períodos no eran comparables en la mayoría de los casos.

Buscando dar respuesta a esta necesidad y con el fin de unificar criterios en las diferentes Instituciones tanto del nivel nacional como regional y local y crear líneas de comunicación que facilitaran la homologación de la información nacional y hacerla comparable al nivel mundial, en el año 2004, dos entidades del nivel nacional (el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM- y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena –CORMAGDALENA-, con el apoyo del Instituto Geográfico Nacional Francés –IGN- y el Fondo Francés del Medio Ambiente Mundial –FFEM-, decidieron implementar y adaptar la metodología Europea CORINE[57] *Land Cover (CLC)* para Colombia, utilizando como proyecto piloto la cuenca Magdalena-Cauca, la cual se trabajó a escala 1:100.000. El resultado de este proceso fue la primera versión de la leyenda CLC adaptada para Colombia, la cual fue publicada en el año 2008.

[57] *Coordination of InformationontheEnvironment*

Esto permitió implementar el análisis periódico de coberturas, lo cual se convierte en una ventaja comparativa, que permite entre otras cosas establecer puntos temporales a través de los cuales se pueden definir las dinámicas del territorio en una región o área, mediante el análisis multitemporal, que facilita la determinación de cambios como la pérdida o ganancia de coberturas, ampliación de la frontera agrícola, expansión de áreas de ocupación humana, además de facilitar el monitoreo de zonas expuestas a procesos denudativos o de remoción en masa.

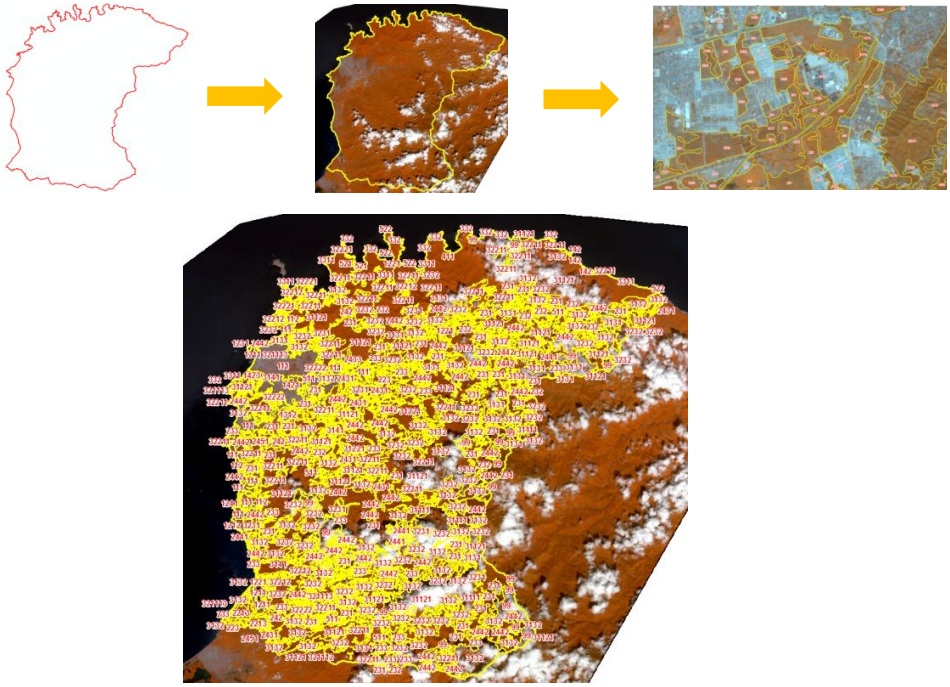
Al considerar el mapa de coberturas de la tierra como una herramienta para la toma de decisiones, al momento de su realización se deben tener en cuenta factores como: 1) el objetivo del proyecto, que determina el nivel de detalle o escala de trabajo; 2) la escala de trabajo, que determina el sensor a utilizar; 3) la temporalidad máxima permitida de acuerdo con el proyecto a desarrollar, la cual determina la selección de las fechas de toma de las imágenes pues en muchos casos, esta afecta las coberturas reflejadas en el mapa; 4) la época de toma de imágenes, pues esta afecta las áreas con información disponible dentro de la imagen debido a las condiciones atmosféricas al momento de la toma, etc.

Los insumos que se manejan dentro de la metodología Corine Land Cover para la identificación de coberturas, son producto de sensores remotos (satélites instalados en plataformas espaciales o cámaras aerotransportadas; que adquieren datos de la superficie terrestre (teledetección), en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación la luz proveniente del sol y reflejada por la tierra (teledetección pasiva). Estos sensorestoman imágenes de la superficie terrestre, las cuales son posteriormente tratadas para obtener los insumos que servirán para muchos procesos, entre los que se cuenta el de determinación de las “coberturas de la tierra”. Esta técnica utiliza la característica “observar” o “hacer visible” información radiométrica no perceptible por el ojo humano, como la respuesta de la vegetación a las radiaciones infrarrojas que permiten determinar su vigor, la respuesta de la clorofila de diferentes especies a las longitudes de onda del infrarrojo.

La metodología CorineLandCover se basa en la identificación de estos elementos pictográficos que se ven en las imágenes de estos sensores remotos, mediante el manejo de las bandas del espectro electromagnético en las cuales los componentes de la vegetación reaccionan, generando respuestas espectrales específicas que combinadas con variables como rugosidad, textura, tono, color (aplicando la combinación adecuada de bandas), unidas a la experiencia y conocimientos del intérprete dan como resultado la identificación de las diferentes coberturas.

Todo esto conlleva la delimitación de unidades o polígonos de coberturas, la cual se realiza aplicando el método de interpretación asistida en pantalla (PIAO); el siguiente paso es la codificación de estas unidades, para lo cual se utiliza el documento de la metodología CorineLandCover, versión 2 (IDEAM, 2010), con su leyenda adaptada a escala 1:25.000 la cual está en proceso de oficializado para Colombia, por parte de varias entidades entre las que se cuentan el SINCHI y Parques Nacionales (ver Figura 12.1).

Figura 12.1. Proceso para la identificación de coberturas mediante la aplicación del método PIAO y la metodología CLC.



La leyenda CLC está conformada por 5 clases principales: la primera representa los territorios artificializados, conformados por las áreas urbanas y diferentes tipos de complejos antrópicos (ciudades, centros poblados, zonas mineras y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas). La segunda representa los territorios agrícolas, que comprenden las áreas dedicadas a cultivos ya sean permanentes o transitorios, además incluye las zonas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas; la tercera agrupa las áreas con coberturas vegetales naturales y seminaturales (incluyen bosques, arbustos y hierbas; también incluye los suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenales); las clases 4 y 5 comprenden las áreas húmedas y los cuerpos de agua respectivamente, que agrupan los pantanos y las áreas cubiertas por cuerpos de agua permanentes, intermitentes y estacionales (adaptado de IDEAM, 2010).

Para la realización del mapa de coberturas de la tierra se deben tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- La unidad mínima cartografiable depende de la escala de trabajo. Para el presente proyecto la unidad mínima cartografíable que se determinó en 1,6 ha, excepto para los territorios artificializados, donde la unidad mínima es de 1 hectárea y para las unidades lineales, como ríos y vías, se determinó un ancho mínimo de 12,5 metros; para los límites no se tuvo en cuenta la unidad mínima de mapeo y se delinearon todos los polígonos limítrofes para facilitar los empalmes con otras áreas.
- La identificación y delimitación de la unidad de cobertura de la tierra corresponderá a la fecha de toma de la imagen de satélite.

- Las unidades de la leyenda para la escala 1:25.000 varían desde el nivel 3 hasta el nivel 6 en los diferentes grupos de coberturas, variación que depende del tipo de cobertura y su posibilidad de identificación en la imagen.

12.2.1.2. *Imágenes*

El sensor seleccionado para el trabajo, teniendo en cuenta la escala escogida, fueron las imágenes Rapideye, pues ofrecen las características espectrales, radiométricas y de resolución tanto espacial como temporal para el trabajo. Estos insumos son obtenidos de la constelación de satélites rapideye de origen alemán (5 pequeñas unidades), cuyo fin principal es el monitoreo de áreas de cultivos (predicción de cosechas, cuantificación de producción, determinación de unidades forestales, cartografía de siniestros, etc.). Estos satélites tienen orbitas secuenciales, heliosincrónicas con la posibilidad de revisita diaria de un mismo sector, por lo que la probabilidad de registrar datos es bastante alta frente a otros sistemas de un solo satélite. Las principales características de estas imágenes se resumen en la Tabla 12.1.

Tabla 12.1. Características de las imágenes del sensor Rapideye.

Atributo	Descripción
Formato de imagen	Archivo GeoTIFF Metadato en formato XML
Orientación del producto	Orientado al Norte
Recorte del producto	Recortes fijos a nivel mundial, en un sistema de malla de 24x24 km, con una sobreposición de 500 m para producir un archivo de 25x25 km. El excedente se rellena con negros
Espaciamiento del pixel	5 m
Tamaño del producto	25 km (500 líneas) por 25 km (5000 renglones) 250 Mb por recorte con 5 bandas a 5 m de resolución espacial.
Correcciones geométricas	Ortorectificación usando GCP y MDE fino
Datum Horizontal	WGS84
Proyección cartográfica	UTM (Universal Transversa de Mercator)
Método de remuestreo	Convolución cúbica (por defecto), MTF o Vecino más cercano
Bandas	5 bandas: Azul (Blue) 440 – 510 m Verde (Green) 520 – 590 m Rojo (Red) 630 – 685 m Rojo límite (Red Edge) 690 –730 m Infrarrojo cercano (NR) 760 – 850 m
Resolución radiométrica	12 bits

Fuente. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/rapideye.aspx

Como se observa en la tabla, este sensor presenta, además, una banda con mayor sensibilidad al nitrógeno y la clorofila presente en las plantas, la banda "Red Edge".

12.2.1.2.2. *Combinación de bandas*

Como se explicó anteriormente, la metodología CorineLandCover aprovecha la respuesta de la vegetación y de los objetos a las ondas del infrarrojo. Para el caso de las imágenes Rapideye que tiene dos bandas en el infrarrojo: Red Edge (Rd) (Ic) e infrarrojo cercano (rc), se realiza la combinación de estas bandas con el rojo (R) del visible. Las bandas se colocan en los cañones Red (R o Rojo), Green (G o Verde) y Blue (B o Azul), de los monitores convencionales y permiten observar más fácilmente aspectos de vigorosidad, rugosidad y respuesta espectral de los elementos terrestres detectados por este sensor.

Para el presente trabajo se utilizaron las combinaciones 5-4-3 para las bandas del rojo y el infrrarojo y para la diferenciación clara entre zonas de herbazales abiertos y tierras desnudas y degradadas, se utilizó la combinación 3-3-3, la cual pone la banda del rojo en todos los cañones, lo que permite observar claramente este tipo de coberturas, pues en esta combinación, las tierras desnudas reflejan en color blanco brillante.

12.2.2. Metodología uso actual del suelo

Esta metodología correlaciona las coberturas de la tierra con el uso del suelo cuya codificación se encuentra normada conforme a los lineamientos establecidos en las tablas generadas por entidades como el Ministerio de Ambiente, la ANLA y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). A partir de la codificación establecida se realizó una tabla en la que se asociaban los usos del suelo a las coberturas existentes en el área de la cuenca, teniendo en cuenta información obtenida en campo (ver Tabla 12.2).

Tabla 12.2. Usos del suelo por cobertura CLC dentro de la cuenca.

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
99	99	99	Sin información	Sin información	
111	30120	30233	Zonas Urbanas	Residencial	
112	30120	30233	Zonas Urbanas	Residencial	
121	30110	30202	Infraestructura	Comercial	
122	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
124	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
125	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
141	30111	30232	Otros usos	Recreacional, Deportivo o Turístico	
142	30110	30232	Infraestructura	Recreacional, Deportivo o Turístico	
211	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
223	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
231	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
232	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
233	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
241	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
242	30102	30209	Agropecuario	Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	
315	30106	30229	Forestal	Producción	
332	30121	30230	Eriales	Protección	
333	30121	30230	Eriales	Protección	
334	30102	30229	Agropecuario	Producción	
411	30105	30230	Conservación	Protección	
413	30105	30230	Conservación	Protección	
511	30116	30203	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	
512	30116	30203	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	
513	30110	30229	Infraestructura	Producción	infraestructura de producción
514	30110	30240	Infraestructura	Piscicola	
521	30116	30203	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	
522	30116	30203	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
1211	30110	30216	Infraestructura	Industrial	
1212	30110	30202	Infraestructura	Comercial	
1221	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
1231	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
1241	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
1242	30110	30217	Infraestructura	Infraestructura y transporte	
1311	30109	30219	Minería	Materiales de construcción - canteras	
1312	30109	30224	Minería	Minerales energéticos (petróleo, carbón, uranio)	
1315	30109	30219	Minería	Materiales de construcción - canteras	
1411	30110	30232	Infraestructura	Recreacional, Deportivo o Turístico	
1421	30110	30232	Infraestructura	Recreacional, Deportivo o Turístico	
1422	30110	30232	Infraestructura	Recreacional, Deportivo o Turístico	
1423	30110	30232	Infraestructura	Recreacional, Deportivo o Turístico	
2152	30101	30211	Agricultura	Cultivos transitorios intensivos	
2211	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2213	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2218	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2221	30101	30204	Agricultura	Cultivos Permanentes intensivos	
2222	30101	30204	Agricultura	Cultivos Permanentes intensivos	
2223	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2231	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2232	30101	30205	Agricultura	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	
2233	30101	30204	Agricultura	Cultivos Permanentes intensivos	
2241	30103	30206	Agrosilvícola	Cultivos permanentes semi-intensivos con pastoreo extensivo	
2252	30101	30211	Agricultura	Cultivos transitorios intensivos	
2431	30102	30209	Agropecuario	Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	
2432	30102	30209	Agropecuario	Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	
2433	30102	30209	Agropecuario	Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	
2441	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
2442	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
2443	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
2444	30108	30226	Ganadería	Pastoreo extensivo	
2451	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
2452	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
2453	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
2454	30101	30208	Agricultura	Cultivos transitorios extensivos	
3131	30119	30234	Transición	Restauración	
3132	30119	30234	Transición	Restauración	

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
3141	30105	30230	Conservación	Protección	
3142	30105	30230	Conservación	Protección	
3151	30106	30229	Forestal	Producción	
3152	30106	30229	Forestal	Producción	
3153	30106	30229	Forestal	Producción	
3231	30119	30234	Transición	Restauración	
3232	30119	30239	Transición	Tierras en descanso	
3311	30121	30230	Eriales	Protección	
3312	30121	30230	Eriales	Protección	
3331	30121	30234	Eriales	Restauración	
5141	30111	30235	Otros usos	Servicios públicos domiciliarios	
5143	30110	30240	Infraestructura	Piscicola	
12114	30110	30216	Infraestructura	Industrial	
12115	30110	30216	Infraestructura	Industrial	
22222	30101	30204	Agricultura	Cultivos Permanentes intensivos	
22223	30101	30204	Agricultura	Cultivos Permanentes intensivos	
31111	30105	30230	Conservación	Protección	
31112	30105	30230	Conservación	Protección	
31121	30105	30230	Conservación	Protección	
31122	30105	30230	Conservación	Protección	
31211	30105	30230	Conservación	Protección	
31212	30105	30230	Conservación	Protección	
31221	30105	30230	Conservación	Protección	
31222	30105	30230	Conservación	Protección	
31311	30119	30234	Transición	Restauración	
31312	30119	30234	Transición	Restauración	
31321	30105	30230	Conservación	Protección	
32121	30105	30230	Conservación	Protección	
32122	30105	30230	Conservación	Protección	
32211	30105	30230	Conservación	Protección	
32212	30105	30230	Conservación	Protección	
32221	30105	30230	Conservación	Protección	
32222	30105	30230	Conservación	Protección	
311121	30105	30230	Conservación	Protección	
311122	30105	30230	Conservación	Protección	
321111	30105	30230	Conservación	Protección	
321112	30105	30230	Conservación	Protección	
321113	30105	30230	Conservación	Protección	
321121	30105	30230	Conservación	Protección	
321121	30105	30230	Conservación	Protección	
321121	30105	30230	Conservación	Protección	

12.2.3. Metodología Análisis Multitemporal

El análisis de dinámicas de cambio de las coberturas de la tierra en Colombia ha despertado un creciente interés en las últimas décadas, esto debido alos impactos potenciales del cambio climático global, las necesidades de determinación de la biodiversidad existente y el análisis del funcionamiento de ecosistemas, entre otras temáticas (Xiao, *et al* 2006). En este sentido, grupos especializados como el IGBP[58] y el IHDP[59] han desarrollado investigaciones específicamente relacionadas con la compresión de esta compleja temática (Xiao, *et al.* 2006).

Las técnicas de teledetección utilizadas en la identificación de cambios de coberturas, debidos a factores como la actividad antrópica o las dinámicas propias de los ecosistemas, sirven también para monitorear fenómenos naturales y cambios específicos en una región a consecuencia de intervenciones antrópicas (Muchoney & Haack, 1994).

El análisis multitemporal de coberturas consiste en la combinación a nivel cartográfico de la información de coberturas de dos períodos diferentes de análisis (la temporalidad dependerá de las finalidades del estudio). Para el presente estudio se siguió la metodología propuesta por el IDEAM en el año 2013 basada en el artículo de Feranec (2012) (ver figura 12.13, que se presenta en el numeral 12.3 de este documento) y los indicadores planteados en dicha metodología (ver tabla 12.3).

Para el análisis multitemporal de coberturas, el insumo principal son las capas de coberturas de la tierra, desarrolladas mediante una misma metodología de interpretación, de dos períodos distantes en temporalidad pero similares en época de toma, ya que la finalidad de esta comparación es detectar cambios (pérdidas o ganancias en cuanto a cantidad de área), para los diferentes tipos de coberturas; por lo tanto es comprensible como plantean Carlson&Rubingh, 1979 ; Byrne*et al.*, 1980 ; Stow*et al.*, 1980; Jensen, 1982, que la mayoría de trabajos y aplicaciones se hayan desarrollado en los estudios de coberturas.Sin embargo estos cambios deben ser coherentes, por lo que se debe evitar la comparación de épocas secas con épocas húmedas o viceversa, con el fin de minimizar los sesgos que afecten los resultados.

Esto hace que el proceso de generación de los mapas de coberturas debadarse periódicamente, con el fin de tener información de coberturas de varias temporalidadesque coadyuven en la determinación de las dinámicas de uso del suelo en una región o área específica, facilitando la detección de cambios tales como ampliación de la frontera agrícola, expansión de áreas de ocupación humana, monitoreo de zonas expuestas a procesos denudativos o de remoción en masa, pérdida de coberturas naturales y sus causas, etc.

Para el caso del presente trabajo se utilizaron dos períodos que distan 7 años entre ellos (las capas de coberturas para los períodos 2005 y 2012), realizados ambos durante el período de la niña, los cuales se llevaron a cabo mediante el trabajo conjunto de los institutos de investigación ambiental del Sistema Nacional Ambiental (SINA) (Ideam, Sinchi, IIAP, IAvH e Invemar), Parques Nacionales

[58]Programa internacional de la biósfera y la geosfera.
[59]International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change.

Naturales (PNN) (antes UAESPNN) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), *World Wide FundforNature*(WWF) y Cormagdalena.

Para la calificación de los cambios se utilizó la metodología de calificación mediante indicadores planteada por el IDEAM, en su documento *Análisis de dinámicas* (2013), el cual se basó en el estudio realizado por Feranec (2012). La Tabla 12.3 presenta los indicadores de cambio utilizados para la calificación.

Tabla 12.3. Indicadores de cambio de coberturas considerados en el análisis multitemporal.

CÓDIGO INDICADOR	NOMBRE INDICADOR	DESCRIPCIÓN INDICADOR
NA	Sin información	Áreas con presencia de nubes en alguno de los dos períodos, donde no aplica el análisis de cambio en las coberturas.
0	Sin cambio	Áreas donde se no se presentó ningún cambio y que conservan el mismo código de cobertura a nivel 3 tanto en el primero como en el segundo período.
1	Cambio similar	Áreas donde siendo diferente el código de la cobertura a nivel 3, para efectos del análisis multitemporal se consideran zonas sin cambios debido a similitud de las coberturas presentes en ambos mapas. Por ejemplo, bosques densos (311) que cambien a bosques de galería (314) o viceversa.
2	Fragmentación del bosque	Todas aquellas áreas de bosque, que siendo ocupadas en el primer período por bosques densos, se presentan como bosques fragmentados en el mapa del segundo periodo. Además se inlcluyen, en este indicador, todas aquellas áreas que en el primer período aparecían como bosque y en el segundo período sean vegetación secundaria.
3	Recuperación del bosque	En este indicador se incluyen las áreas que no eran bosque en el mapa del primer periodo y que en el segundo período aparecen como cualquier tipo de bosque. Se incluyen también en este indicador los bosques fragmentados que se hayan recuperado y por lo tanto se registren como bosques densos o bosques de galería en el segundo período. (para la calificación de este indicador se debe tener en cuenta la cantidad de años que hay entre los dos períodos, debido a que la aparición de un bosque no se da en períodos inferiores a 15 años o más, dependiendo de las especies).
4	Ganancia de pastos	Son áreas ganadas de cualquier tipo de pasto que no existían en el mapa 2000-2002 y que están presentes en el mapa 2005-2009. Estas áreas incluyen las zonas de pérdida de bosque para establecimiento de pasturas.
5	Urbanización	Se incluyen en este indicador las áreas de territorios artificializados presentes en el segundo período, que no existían en el primer período, separando. No incluye las zonas mineras que son contempladas en otro indicador.
6	Intensificación de la agricultura	Este indicador cuantifica todas aquellas áreas de mosaicos que presentaban espacios naturales en el primer período y que pasaron a mosaicos de cultivos sin espacios naturales o a algún tipo de pasto o cultivo puro.
7	Expansión de la agricultura	Este indicador identifica las áreas ganadas en cultivos provenientes de zonas que en el primer período estaban ocupadas por algún tipo de pasto o cualquier cobertura natural.
8	Dinámica de cuerpos de agua	Este indicador presentan los cambios que hayan tenido los cuerpos de agua en los dos períodos de tiempo analizados.
9	Desintensificación de la agricultura	Este indicador considera las áreas que en el mapa del primer período presentaban algún tipo de cultivo o pastizal ya sea puro o en mosaico, que en el mapa del segundo período haya cambiado a algún tipo de cobertura natural o a algún tipo de mosaico con presencia de espacios naturales.
10	Aumento de la minería	Este indicador permite identificar las coberturas que cambiaron a zonas mineras en el segundo período, aclarando que estas áreas tienen la limitante de la escala de la información.

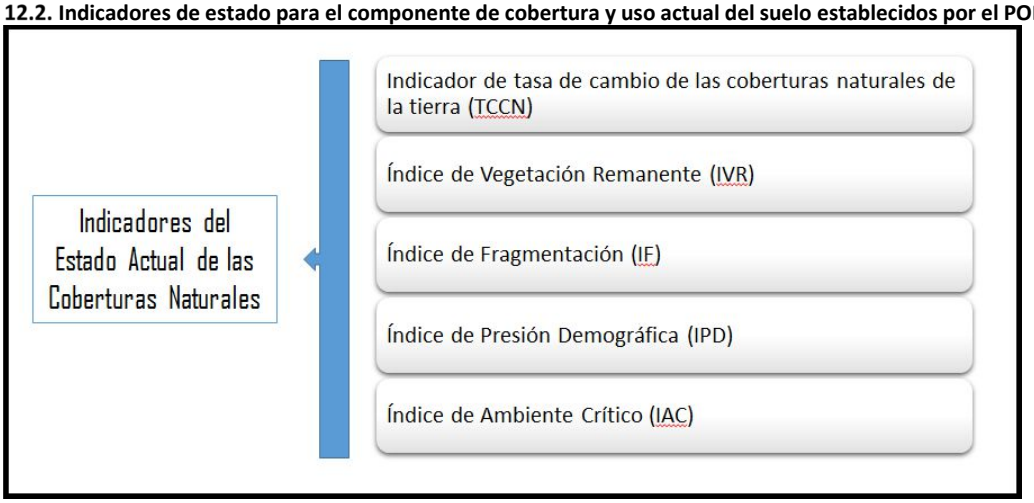
11	Reforestación	Este indicador incluye las áreas de plantaciones forestales presentes en el mapa del segundo periodo, que no estaban presentes en el mapa de coberturas del primer período analizado.
12	Degradación de tierras	Este indicador identifica las áreas que en el primer período presentaban algún tipo de cobertura vegetal ya sea natural o antrópica y que en el segundo período se presentan como afloramientos rocosos o tierras degradadas
13	Otros cambios	Este indicador recoge los cambios que no son considerados dentro del análisis multitemporal, ya sea porque no son cambios lógicos o cambios, que aun siendo lógicos, no se consideraron relevantes para el análisis.

Nota. En el numeral 2 se realizó un cambio para incluir las zonas de bosque que pasaron a otro tipo de cobertura (vegetación secundaria, mosaicos o pastos y cultivos). Las definiciones de todos los indicadores se ajustaron para mejorar su entendimiento.

12.2.4. Metodología Cálculo Indicadores de Estado

Los indicadores de línea base o indicadores de estado en el componente de coberturas, permiten establecer y caracterizar el estado de estas coberturas y su grado de transformación en el tiempo. Para el POMCA de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe se plantearon y calcularon 5 indicadores de estado actual (ver Figura 12.2). Estos indicadores contribuyen en la determinación del estado situacional de la cuenca y la síntesis ambiental.

Figura 12.2. Indicadores de estado para el componente de cobertura y uso actual del suelo establecidos por el POMCA.

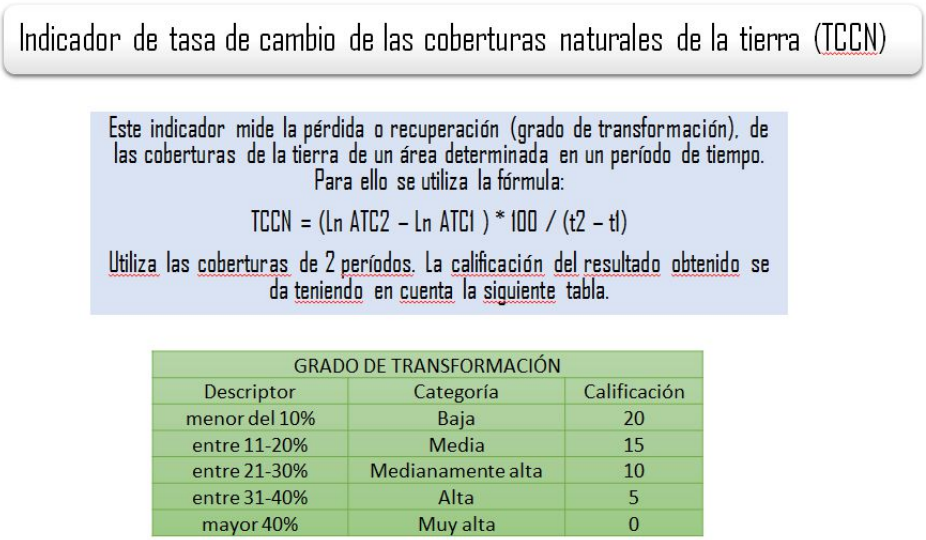


Fuente. Adaptado de MINAMBIENTE, 2014.

12.2.4.1. *Indicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN)*

El indicador de tasa de cambio de las coberturas naturalesmide los cambios de área de las coberturas naturales del suelo en un período de tiempo, a partir de los resultados del análisis multitemporal, mediante el cálculo de este indicador se identifican las pérdidas de coberturas que afectan los hábitats en que se asientan la flora y la fauna. La tasa de cambio estima el grado de conservación o pérdida de cobertura natural y los patrones de conversión (Modificado de IAvH, 2002).

Figura 12.3. Proceso cálculo TCCN.

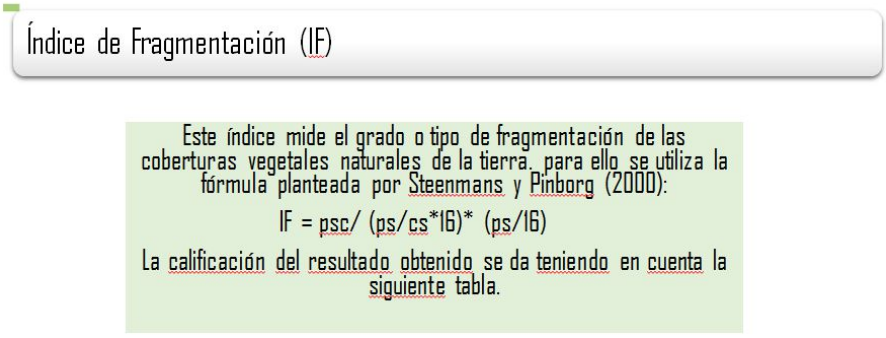


GRADO DE TRANSFORMACIÓN		
Descriptor	Categoría	Calificación
menor del 10%	Baja	20
entre 11-20%	Media	15
entre 21-30%	Medianamente alta	10
entre 31-40%	Alta	5
mayor 40%	Muy alta	0

12.2.4.2. *Índice de fragmentación (IF)*

La fragmentación se entiende como la división de un hábitat originalmente continuo en relictos (remanentes) inmersos en una matriz transformada (Sanders *et al.,* 1991). Con el fin de conocer el índice de fragmentación se aplicará la metodología de Steenmans y Pinborg (2000) que tiene en cuenta el número de bloques de vegetación y su grado de conectividad.

Figura 12.4. Proceso cálculo IF.

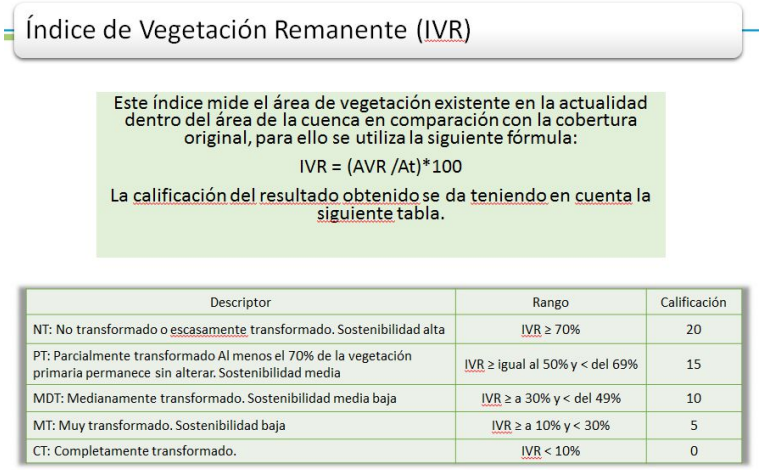


Descriptor	Rango	Calificación
Mínima	<0.01	20
Media	Entre 0.01 y 0.1	15
Moderada	Entre 0.1 y 1	10
Fuerte	Entre 1 y 10	5
Extrema	Entre 10 y 100	0

12.2.4.3. *Índice de vegetación remanente (IVR)*

Este indicador expresa la cobertura de vegetación natural remanente de un área como porcentaje total de la misma; dicho indicador se estima para cada una de las coberturas de la zona en estudio. (Márquez, 2002, con modificación).

Figura 12.5. Proceso cálculo IVR.

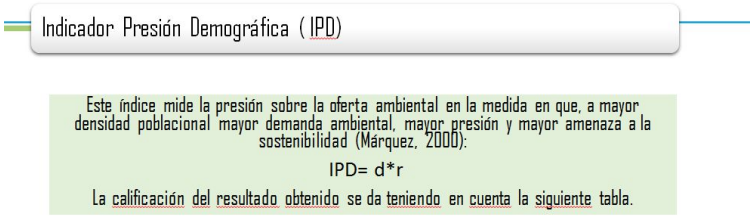


Descriptor	Rango	Calificación
NT: No transformado o escasamente transformado. Sostenibilidad alta	IVR ≥ 70%	20
PT: Parcialmente transformado Al menos el 70% de la vegetación primaria permanece sin alterar. Sostenibilidad media	IVR ≥ igual al 50% y < del 69%	15
MDT: Medianamente transformado. Sostenibilidad media baja	IVR ≥ a 30% y < del 49%	10
MT: Muy transformado. Sostenibilidad baja	IVR ≥ a 10% y < 30%	5
CT: Completamente transformado.	IVR < 10%	0

12.2.4.4. *Índice de presión demográfica (IPD)*

Mide la tasa de densidad de la población por unidad de análisis, lo cual indica la presión sobre la oferta ambiental en la medida en que, a mayor densidad mayor demanda ambiental, mayor presión y mayor amenaza a la sostenibilidad (Márquez, 2000). El tamaño de la población denota la intensidad del consumo y el volumen de las demandas que se hacen sobre los recursos naturales.

Figura 12.6. Proceso cálculo IPD.



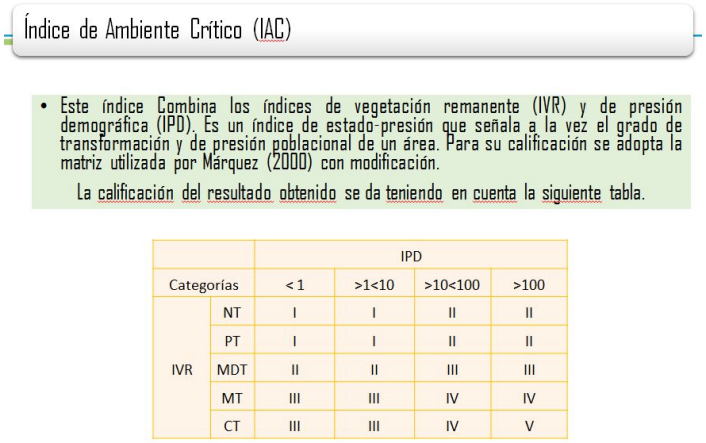
Rango	Descriptor
IPD <1	La unidad expulsa población y la sostenibilidad podría mantenerse o recuperarse; presión de la población baja y sostenibilidad alta.
IPD>1<10	Población y amenazas crecientes pero normales, presión de la población y sostenibilidad media.
IPD>10	Crecimiento acelerado de la población; presión de la población alta
IPD> 100	Crecimiento excesivo, grave amenaza a la sostenibilidad.

.

12.2.4.5. *Índice de ambiente crítico (IAC)*

Combina los indicadores de vegetación remanente (IVR) y el índice de presión demográfica (IPD), de donde resulta un índice de estado-presión que señala a la vez grado de transformación y presión poblacional. Para calificar las áreas se adopta la matriz utilizada por Márquez (2000) con modificación.

Figura 12.7. Proceso cálculo IAC.



		IPD			
Categorías		< 1	>1<10	>10<100	>100
IVR	NT	I	I	II	II
	PT	I	I	II	II
	MDT	II	II	III	III
	MT	III	III	IV	IV
	CT	III	III	IV	V

12.2.5. Otras consideraciones Metodologicas

Antes de la entrega del producto final se deben realizar los ajustes necesarios, con el fin de generar una capa geográfica con las características y estándares establecidos para su utilización en otros procesos.

Para ello se realizan varias revisiones, de la cuales la primera consiste en la revisión topológica de la capa, la cual garantiza la consistencia geográfica de la capa y los polígonos que la componen eliminando la posibilidad de la presencia de polígonos sobrepuestos o espacios vacíos entre polígonos adyacentes; la segunda consiste en la revisión de la consistencia temática, la cual corresponde a la identificación de posibles polígonos adyacentes con el mismo código, los cuales deben ser revisados mediante la visualizando las coberturas a que corresponden dichos polígonos en la imagen para realizar la corrección correspondiente.

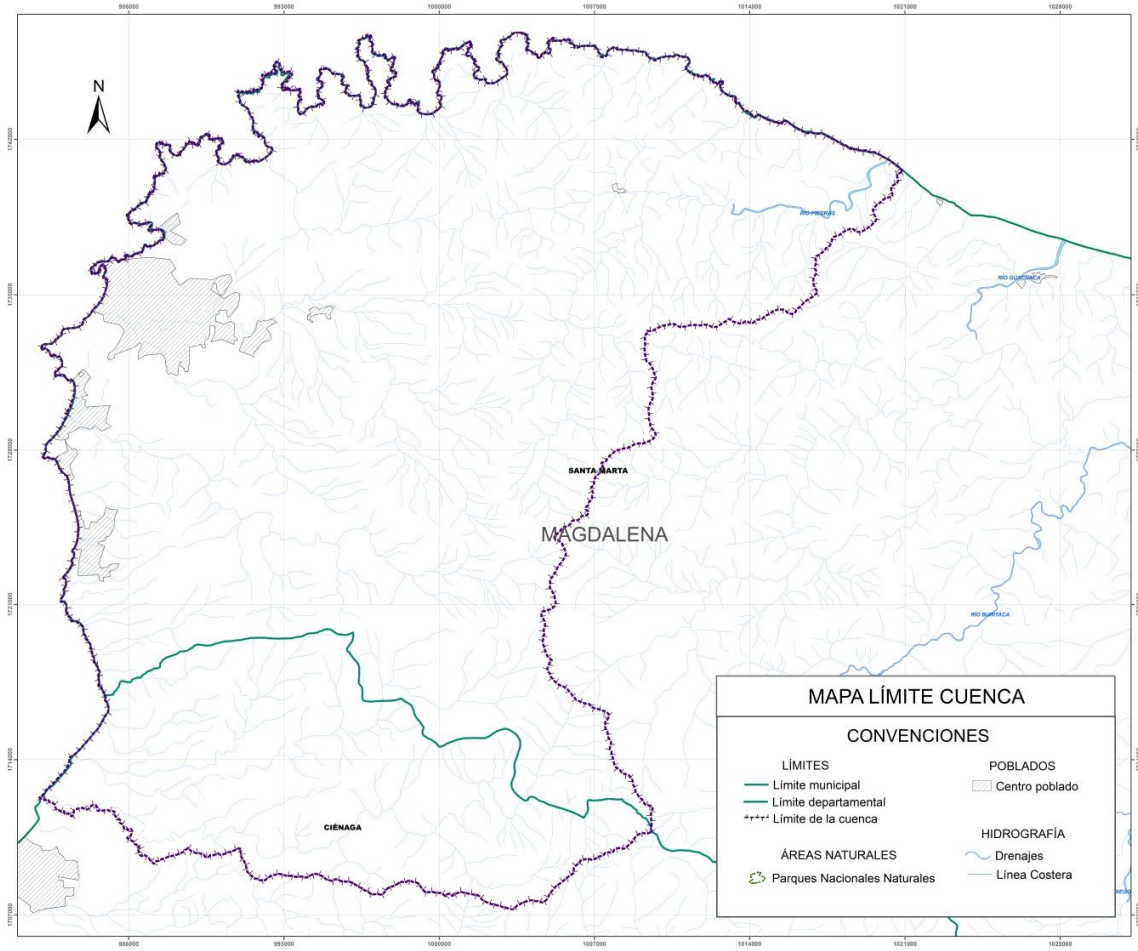
Además se debe revisar la base de datos de la capa con el fin de garantizar que la codificación de los polígonos corresponda a la establecida en la metodología y no se presenten errores por digitalización, los cuales en caso de existir se deben corregir visualizando el polígono correspondiente al código en revisión; también se debe garantiza que todos los registros se encuentren diligenciados en el campo “Insumo”, pues este es indispensable para el análisis del mapa por parte de cualquier usuario, ya que corresponde a la imagen con la cual se realizó la interpretación de la cobertura; también se observará que no exista ningún campo vacío o con código cero (0) en la columna “Código”.

12.2.6. Sobre el área de trabajo

El área de trabajo corresponde a la cuenca de los ríos Piedras, manzanares y otros directos al Caribe y se encuentra localizada en el departamento del Magdalena en los municipios de Ciénaga (18.682,67 ha) y Santa Marta (74.074,16 ha) y cubre la cabecera de Santa Marta y los centros poblados de Pozos Colorados, Bonda y Colinas de Calabazo (Ver Figura 12.8).

La cuenca se sitúa en el flanco occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, con alturas que van desde los 600 hasta los 2700 msnm en la parte más oriental de la cuenca hasta alturas de 100 metros en la parte occidental. En la zona se desarrollan actividades agropecuarias principalmente de ganadería extensiva, plantaciones forestales. Los biomas que se encuentran en la cuenca se describen en la Tabla 12.4 y Figura 12.9.

Figura 12.8. Área de trabajo Cuenca: Río Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

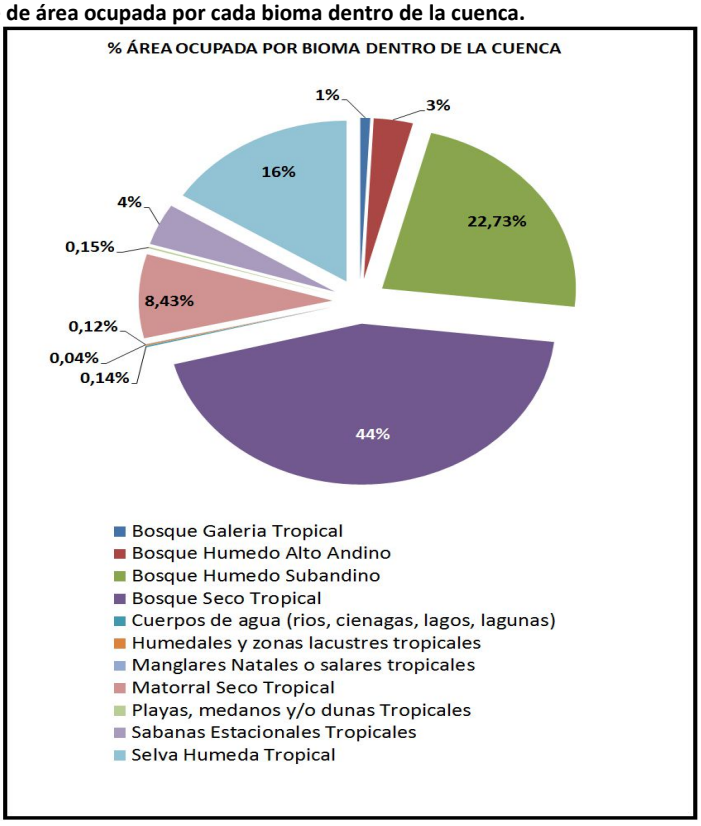


Área inicial: 77.235,78. Área final: 92.799,47

Tabla 12.4. Biomas presentes en el área de la Cuenca

Cod_Bioma	BIOMAS ORIGINALES	AREA_HA	%
1	Bosque Galería Tropical	759,060521	0,82
2	Bosque Húmedo Alto Andino	3030,519482	3,27
3	Bosque Húmedo Subandino	21096,85888	22,73
4	Bosque Seco Tropical	40943,6389	44,12
5	Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas)	125,588606	0,14
6	Humedales y zonas lacustres tropicales	114,461347	0,12
7	Manglares Natales o salares tropicales	33,297872	0,04
8	Matorral Seco Tropical	7821,512997	8,43
9	Playas, medanos y/o dunas Tropicales	140,746227	0,15
10	Sabanas Estacionales Tropicales	3870,923438	4,17
11	Selva Húmeda Tropical	14862,86709	16,02
	ÁREA TOTAL	**92799,47535**	**100,00**

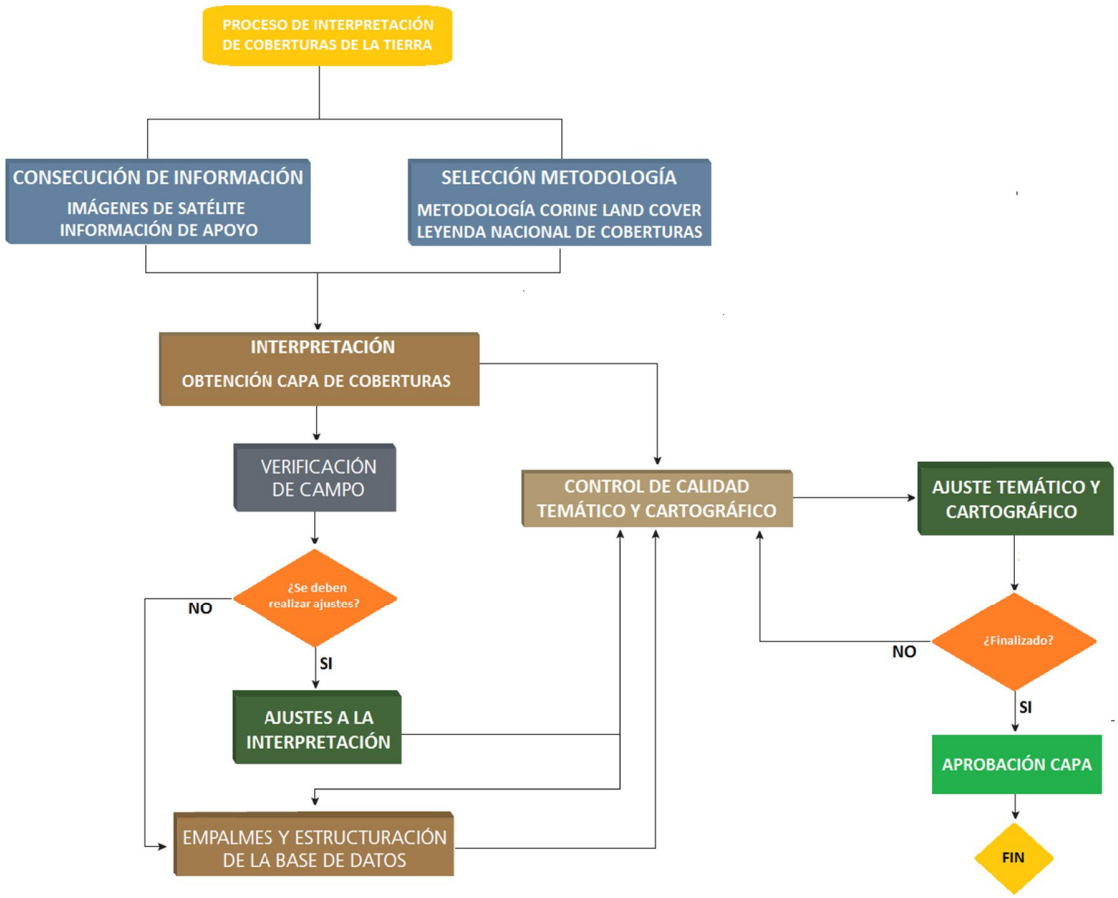
Figura 12.9. Porcentaje de área ocupada por cada bioma dentro de la cuenca.



12.3. Etapas Para El Desarrollo Del Componente De Coberturas Y Uso Del Suelo

12.3.1. Etapas en la elaboración y verificación del mapa de coberturas de la tierras

Figura 12.10. Proceso para la obtención del mapa de coberturas de la tierra CLC.



12.3.1.1. Recepción y revisión imágenes satelitales

En este punto se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de sensor (que se adapte a la escala de trabajo)
- Bandas (esto varía con el sensor).
- Ortorrectificación.
- Procesamiento digital de la imagen (resolución espectral)
- Sistema de referencia
- Resolución espacial: tamaño del pixel (directamente relacionado con la escala de trabajo)

Para el proceso de interpretación se utilizaron los cortes Rapideye, 2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606.img y 2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271 _173606.img (Ver Tabla 12.5 y Figura 12.11) y presentan las siguientes características:

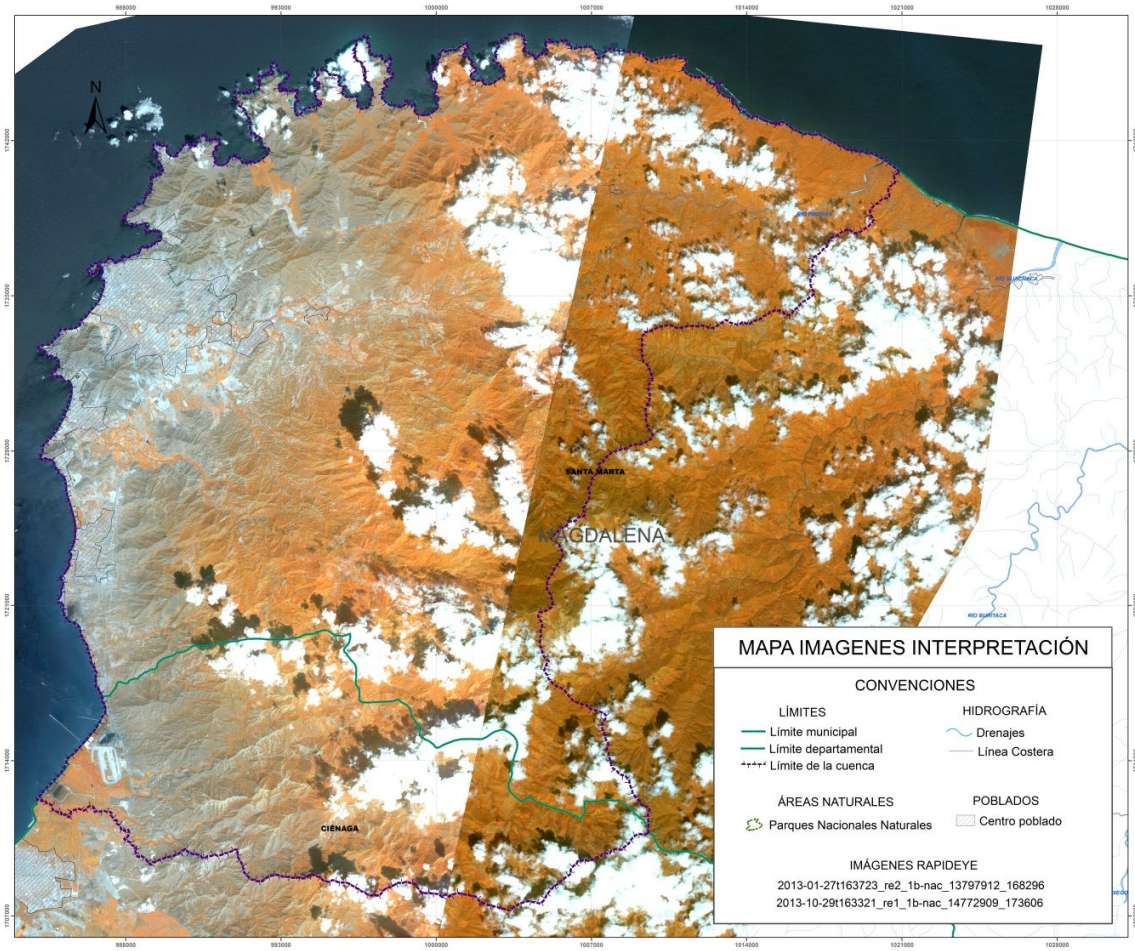
Tabla 12.5. Imágenes utilizadas.

SENSOR	NOMBRE IMAGEN	RESOLUCIÓN TEMPORAL	BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL	ESCALA DE TRABAJO	ORTORRECTIFICACIÓN	SISTEMA DE REFERENCIA	PROCESAMIENTO DIGITAL
Rapideye	2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606	29/10/2013	3,4,5	6*6	1:25.000	Adecuada	Marco Geocéntrico Nacional - TransverseMercator	Bueno
Rapideye	2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271_173606	16/11/2013	3,4,5	7*7	1:25.000	Adecuada	Marco Geocéntrico Nacional - TransverseMercator	Bueno

Otros insumos utilizados fueron los siguientes: La capa de municipios del Magdalena, la capa de biomas y la leyenda Corinelandcover adaptada para Colombia. También se utilizaron imágenes spot en algunas zonas para retirar nubes.

En cuanto a hardware y software se utilizaron los siguientes recursos: Un equipo portátil DELL Inspiron con procesador Core i7 3612QM y 8 Mb en RAM; en cuanto al software se utilizó como plataforma Windows 7 de 64 bites, Arcgis 10.x y Google Earth.

Figura 12.11. Imágenes Rapideye del área de trabajo.



12.3.1.2. Interpretación preliminar mapa coberturas

El primer paso para la realización del mapa de coberturas es la interpretación visual en pantalla de las coberturas identificables en la imagen (metodología PIAO) y la asignación de los códigos a las coberturas de acuerdo con la metodología CorineLandCover, adaptada para Colombia.

Para este proceso preliminar se utilizan, en caso de que se tengan, apoyos que permitan mejorar el proceso de identificación de las coberturas, en lugares donde se presenten dudas, tales como:

- Imágenes de alta resolución,
- DEM,
- Cartografía a la escala de trabajo,
- Ecosistemas, etc.

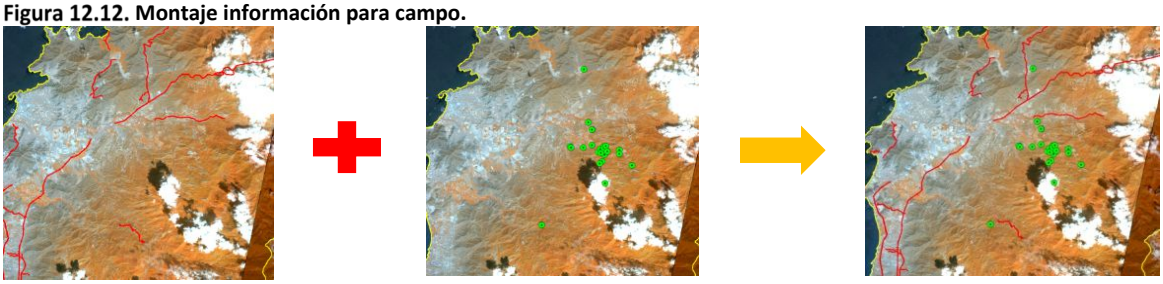
Como resultado de esta primera parte del proceso se obtiene una leyenda preliminar de coberturas de la tierra para el área de la cuenca.

12.3.1.3. Trabajo de verificación en campo

Una vez finalizado el proceso de interpretación preliminar, y realizado el primer control de calidad al proceso, utilizando el campo de confiabilidadse genera un shapefile de puntos de verificación en campo.También se incluyen algunos puntos de control, para comprobación de la exactitud del proceso (ver Figura 12.12).

Con base en este shapefile se realiza la planificación de los recorridos, los cuales se ven determinados por: los puntos de duda, la zona de trabajo, accesibilidad, temporada del año y tiempo de permanencia en campo. Para esto se genera un shapefile de rutas (vías).

Figura 12.12. Montaje información para campo.



Toda la información se monta en el navegador: shapefile con puntos de revisión, shapefile de rutas; shapefile con la interpretación preliminar y cartografía base que incluya centros poblados, límites municipales, ríos, etc.

Teniendo en cuenta lo planificado en oficina, se realizan los recorridos y se toman los puntos de verificación. En este proceso:

- Se recolecta información de la cobertura encontrada (código y observaciones si es el caso),
- Fotografía(s) de la misma,
- ubicación del punto (sitio), en los casos en que sea posible.
- Información que los habitantes de la zona tengan con respecto al tiempo que tiene dicha cobertura, cuando sea posible y
- otras observaciones sobre la cobertura que se consideren pertinentes para el proceso post-campo.

Cabe anotar que no todas las dudas pueden ser aclaradas en campo, pues esto requeriría de un trabajo dispendioso y recursos que muchas veces no se tienen disponibles, por lo cual en los casos que sea posible se realiza patronamiento con coberturas que se encuentren durante el recorrido que correspondan a las coberturas con duda, para realizar la verificación de este patrón en oficina, en los demás casos se debe dejar el polígono con duda.

Es importante aclarar, que no todos los cambios detectados en campo con respecto a la interpretación preliminar corresponden a errores en esta última, pues se debe tener en cuenta la temporalidad de los insumos utilizados para el proceso de interpretación. Por esto es importante,

en lo posible, hablar con las personas de la región para determinar el tiempo que lleva establecida la cobertura que se encuentra al momento de la visita.

12.3.1.4. Interpretación definitiva y control de calidad final

Durante esta parte del proceso, se lleva a cabo la comparación de la información obtenida en campo con la interpretación preliminar, para determinary corregir los posibles errores.

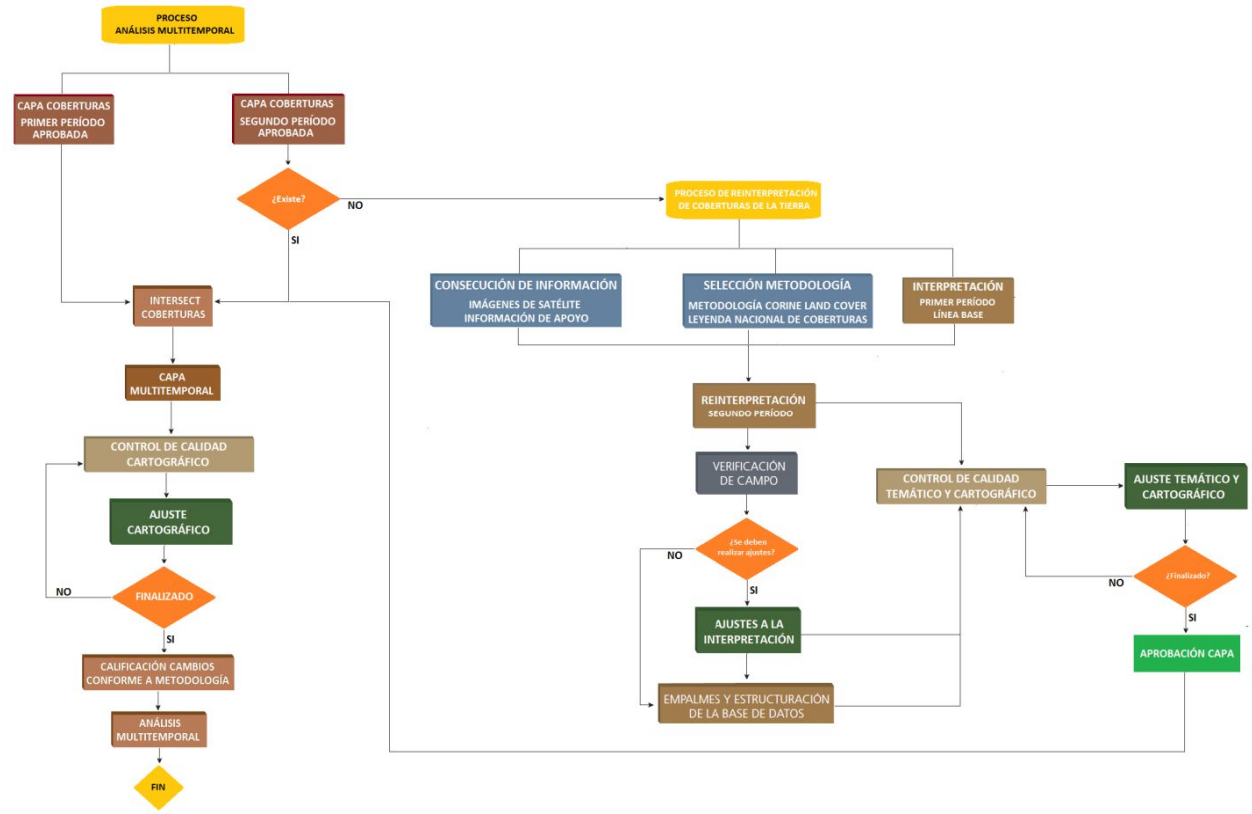
- Se revisan los puntos de control obtenidos
- Se corrigen los errores detectados y en los casos en que aplique se realiza el cambio
- Se realiza el control de calidad final a la capa (exactitud temática, consistencia lógica y consistencia topológica)
- Se genera la capa de coberturas con la leyenda definitiva.

12.3.2. Etapas en la clasificación de uso actual del suelo.

Para la determinación del uso del suelo en primer lugar se realiza la recolección de información relacionada con el uso del suelo en el área de la cuenca, mediante visitas de campo, posteriormente en oficina con esta información, con las tablas de uso actual y la capa de coberturas, se realiza la clasificación de los usos del suelo para los diferentes tipos de coberturas existentes dentro del área de la cuenca, asociando cada uso al tipo de cobertura correspondiente. Finalmente se genera el mapa de uso..

12.3.3. Etapas en la realización del análisis multitemporal de coberturas

Figura 12.13. Proceso para la realización del análisis multitemporal de coberturas.



Nota. Si no se cuenta con la capa de coberturas para el primer período se debe llevar a cabo el proceso descrito en la figura 12.10 de este mismo documento.

Para realizar el análisis multitemporal se debe llevar a cabo el cruce de las capas de coberturas de la tierra para los períodos de análisis (para este caso se seleccionaron las capas 2005 y 2012 a escala 1:100.000 producidas por el IDEAM pues corresponden a la información oficial para el país y porque no se contaba con capas a la escala de trabajo que pudieran ser equiparables), esto se realizó utilizando la operación de análisis espacial denominada “intersect”, la cual combina la geometría de las dos capas de origen en una nueva capa geográfica que reúne los atributos de ambas.

Una vez se tuvo la capa combinada fue necesario hacer un proceso de combinación (unión) de polígonos menores a 5 ha con las coberturas adyacentes a los mismos, buscando que estas fueran similares, sino iguales, ya que la metodología establece que en la escala 1:100.000 se deben interpretar solamente cambios que superen las 5 ha que es la unidad mínima visible a la escala de salida del mapa (esta unidad varía de acuerdo a la escala de trabajo). De esta manera se eliminaron los polígonos que se consideran imprecisiones de tolerancia de los archivos o diferencias de

delineación en el proceso de reinterpretación del mapa de coberturas del segundo período para la escala de trabajo.

La capa resultante del proceso de intersección cuenta con los códigos de coberturas de ambos períodos, en esta se identifican las combinaciones resultantes de ambos períodos, las cuales se califican utilizando como factor calificador la cobertura del segundo período; para ello se agregan dos columnas: una llamada "identificador" de tipo *short integer* y otra llamada "Indicador", en la que, a cada una de las combinacionesde códigos resultantes, se le asigna el identificador correspondiente al indicador y el nombre del indicador de acuerdo con la Tabla 12.1. Por ejemplo, a los polígonos con código 311 (bosques) en el primer período y código 231 (pastos) en el segundo período, se les asignó el número 4, que representa el indicador de "ganancia de pastos". Lo mismo se hizo para todas las combinaciones resultantes. Una vez llevada a cabo la calificación de todos los polígonos, se generó el mapa multitemporal mediante la clasificación de la capa por la columna Indicador y se llevaron a cabo los análisis de resultados de cambios.

12.3.4. Cálculo de indicadores

Para realizar el cálculo de los indicadores se llevó a cabo el proceso consignado en la guía de cuencas (MINAMBIENTE, 2014), en la cual se describe la metodología para el cálculo de cada uno de los 5 indicadores correspondientes al componente de coberturas y uso de la tierra.

12.3.5. Otros aspectos a tener en cuenta

Es importante que las capas a utilizar para el análisis multitemporal tengan una alta calidad temática para evitar deficiencias en el resultado, debidas a errores de interpretación, codificación o empalmes. Además se debe tener en cuenta que para el análisis se deben utilizar capas que se hayan creado a la misma escala de trabajo, pues de los contrario se presentaran muchas inconsistencias debidas a la diferencia de detalle, que parecerán errores sin serlo en realidad.

Antes de la entrega del producto final se deben realizar los ajustes necesarios, con el fin de generar una capa geográfica con las características y estándares establecidos para su utilización en otros procesos. Para ello se debe realizar una revisión topológica de la capa, la cual garantizará la consistencia geográfica de la capa y los polígonos que la componen eliminando la posibilidad de la presencia de polígonos sobrepuestos o espacios vacíos entre polígonos adyacentes.

Además se debe revisar la base de datos de la capa con el fin de garantizar los campos se encuentren correctamente diligenciados para que ofrezcan la información mínima que puede ser requerida por los usuarios.

12.4. Resultados Proceso Interpretación De Coberturas De La Tierra Y Uso Del Suelo.

12.4.1. Resultados del mapa de coberturas

Como resultado del proceso de interpretación de coberturas para la cuenca, se obtuvieron 66 tipos de coberturas entre naturales y antrópicas (ver Tabla 12.6 y Tabla 12.7; y Figura 12.14). La Tabla 12.7 muestra en valores de área (en ha) y porcentaje (%) cada una de las 67 coberturas identificadas

durante el proceso de interpretación para la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Tabla 12.6. Número de coberturas por tipo.

TIPOS DE COBERTURAS	
Coberturas antrópicas	44
Coberturas naturales	22
Sin información	1

Figura 12.14. Número de coberturas por tipo.

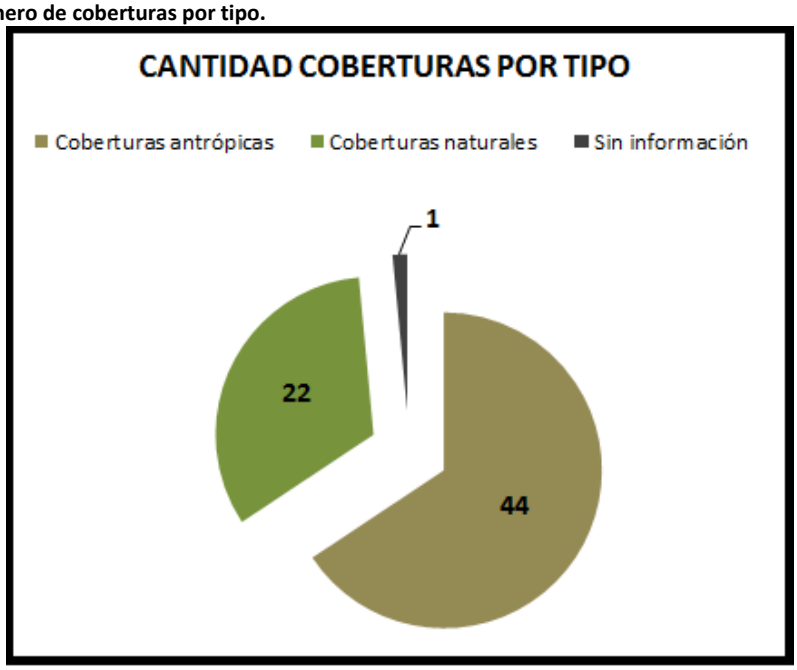


Tabla 12.7. Coberturas presentes en la cuenca.

CÓDIGO	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
111	Tejido urbano continuo	3483,69	3,75
112	Tejido urbano discontinuo	183,16	0,20
121	Zonas industriales o comerciales	30,37	0,03
142	Instalaciones recreativas	32,43	0,03
211	Otros cultivos transitorios	17,01	0,02
223	Cultivos permanentes arbóreos	247,89	0,27
231	Pastos limpios	4201,98	4,53
232	Pastos arbolados	1224,42	1,32
233	Pastos enmalezados	2046,58	2,21
242	Mosaico de pastos y cultivos	714,84	0,77
332	Afloramientos rocosos	136,95	0,15
333	Tierras desnudas y degradadas	124,35	0,13
411	Zonas Pantanosas	14,51	0,02
511	Ríos	266,49	0,29
514	Cuerpos de agua artificiales	4,25	0,005
521	Lagunas costeras	21,27	0,02
522	Mares y océanos	26,74	0,03
999	Nube, sombras o ausencia de insumo	4,39	0,005
1211	Zonas industriales	328,40	0,35
1212	Zonas comerciales	83,05	0,09
1221	Vias	249,83	0,27
1231	Zonas portuarias fluviales	17,85	0,02
1241	Aeropuerto con infraestructura asociada	31,85	0,03
1312	Explotación de hidrocarburos	139,05	0,15
1315	Explotación de materiales de construccion	13,17	0,01
1411	Otras zonas verdes urbanas	9,94	0,01
1421	Áreas culturales	51,55	0,06
1422	Áreas deportivas	17,36	0,02
1423	Áreas turísticas	99,80	0,11
2213	Plátano y banano	181,25	0,20
2221	Otros cultivos permanentes arbustivos	1,93	0,002
2231	Otros cultivos permanentes arbóreos	46,75	0,05
2232	Palma de aceite	53,21	0,06
2233	Cítricos	2,56	0,003
2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	917,10	0,99
2432	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	1103,45	1,19
2433	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,99	0,05
2441	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	653,61	0,70
2442	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	6101,17	6,57
2443	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	76,06	0,08
2451	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	1887,54	2,03
2452	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	409,84	0,44
2453	Mosaico de pastos con espacios naturales herbaceos	386,49	0,42
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2810,72	3,03
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7516,68	8,10
3141	Bosque de galería y/o ripario alto	293,27	0,32
3142	Bosque de galería y/o ripario bajo	55,99	0,06
3151	Plantación de coníferas	54,76	0,06
3231	Vegetación secundaria alta	2340,24	2,52

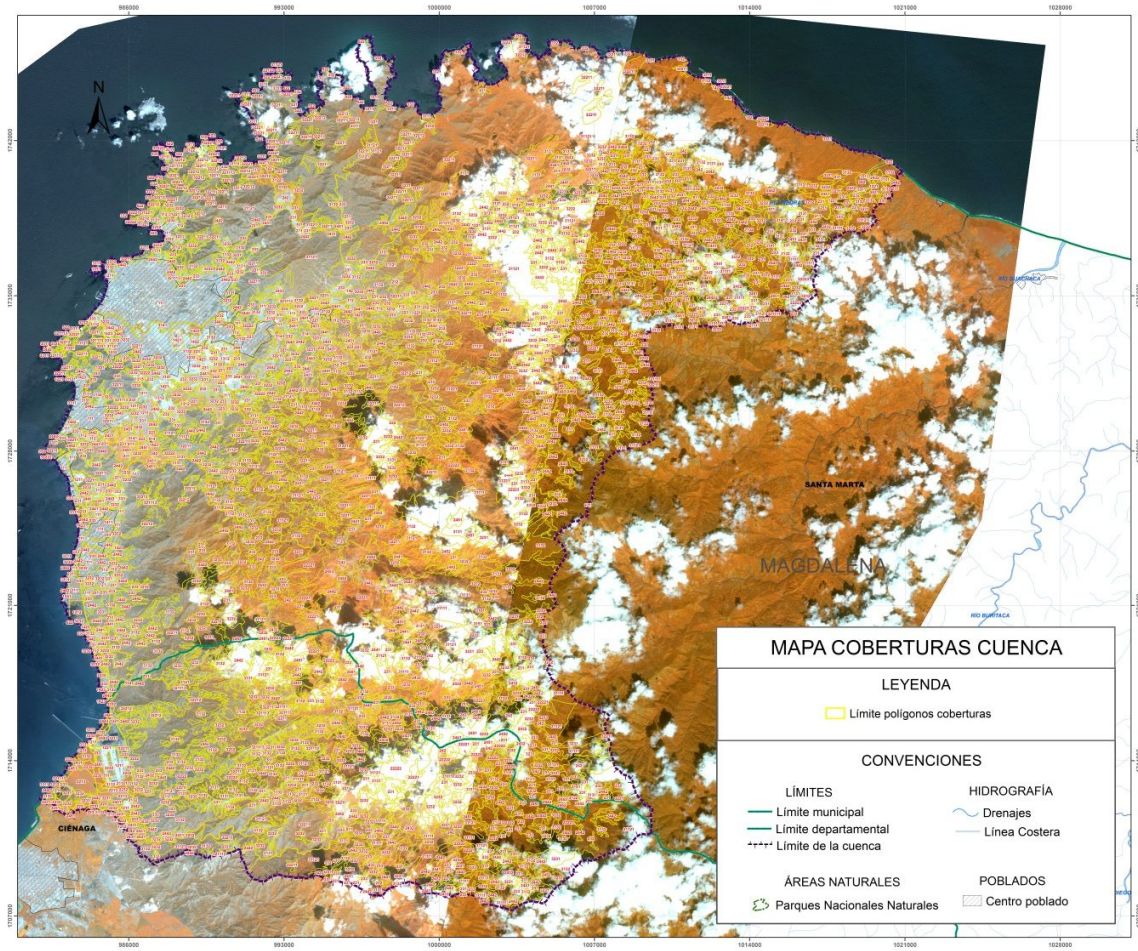
CÓDIGO	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
3232	Vegetación secundaria baja	6124,47	6,60
3311	Playas	134,62	0,15
3331	Tierras erosionadas	6,39	0,01
3332	Remoción en masa	24,79	0,03
22221	Café a plena exposición	539,52	0,58
22222	Café con semisombra sombrío	568,86	0,61
22223	Café con sombrío	3856,27	4,16
31111	Bosque denso alto de tierra firme	5825,35	6,28
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	23375,08	25,19
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	2086,10	2,25
32122	Herbazal abierto rocoso	9,63	0,01
32211	Arbustal denso alto	9386,22	10,11
32212	Arbustal denso bajo	1139,99	1,23
32221	Arbustal abierto esclerofilo	248,06	0,27
32222	Arbustal abierto mesófilo	281,04	0,30
121152	Avicultura	3,31	0,004
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	63,16	0,07
321112	Herbazal denso de tierra firme arbolado	69,40	0,07
321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	293,42	0,32
TOTAL ÁREA DE LA CUENCA		**92799,48**	**100**

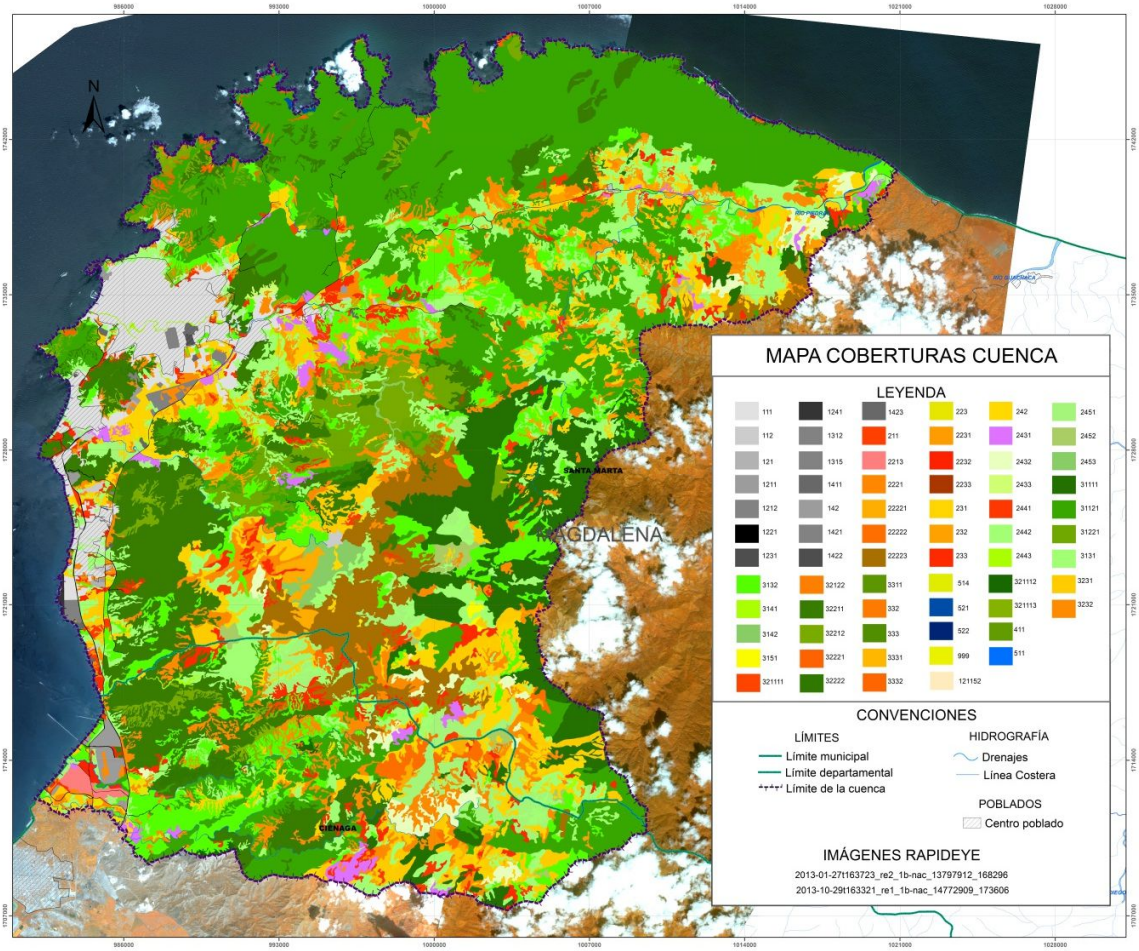
De acuerdo con la información de la Tabla 12.7, la cobertura más representativa corresponde al bosques denso bajo de tierra firme con un 25,19% del área de la cuenca, seguida del arbustal denso alto con un 10,11% y el bosque fragmentado con vegetación secundaria con un 8,1%. Las coberturas con menos representatividad dentro de la cuenca son los cuerpos de agua artificiales, otros cultivos permanentes arbustivos, cítricos y avicultura, con menos del 0,01% del total del área.

En general, de acuerdo con la tabla y con los gráficos estadísticos que se presentan a continuación, el estado de conservación de las coberturas naturales dentro de la cuenca es bueno en un 60,77% del área de la cuenca (ver Tabla 12.12 y Figura 12.20). Los territorios artificializados (vías, tejido urbano, etc.), representan una mínima parte del área de la cuenca (5,04%) ver Tabla 12.8 y Figura 12.16

Las Figura 12.15 muestran la capa resultante del proceso de interpretación de coberturas para la cuenca.

Figura 12.15. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca - Líneas





Las Tabla 12.8 y Tabla 12.10 y Figura 12.16 y Figura 12.18 muestran la relación de los tipos de coberturas naturales y antrópicas presentes en la cuenca con el área total de la cuenca; y la Tabla 12.9, la Tabla 12.11, la Figura 12.17 y la Figura 12.19; presentan la relación de los diferentes tipos de coberturas naturales o antrópicas con respecto al área ocupada por cada tipo de cobertura (natural o antrópica).

La cobertura antrópica que mayor área ocupa son los pastos, seguidos de los mosaicos y la vegetación secundaria, las coberturas antrópicas menos representativas son las plantaciones y los suelos degradados.

Tabla 12.8. Área Coberturas antrópicas con relación al área total de la cuenca.

ÁREA COBERTURAS ANTRÓPICAS CON RELACIÓN AL ÁREA TOTAL DE LA CUENCA		
TIPO COBERTURA	**ÁREA**	**%**
Tejido urbano	3666,850	3,95
Vías	249,83	0,27
Cultivos transitorios	731,85	0,79
Cultivos permanentes	5498,24	5,92
Pastos	7472,99	8,05
Mosaicos con espacios naturales	11583,24	12,48
Vegetación secundaria baja	6124,47	6,60
Tierras desnudas y degradadas	155,54	0,17
Minería	152,22	0,16
Otras coberturas antrópicas	764,92	0,82
TOTAL COB ANTRÓPICAS EN CUENCA	**36400,147**	**39,22**

Figura 12.16. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura antrópica con relación al área total de la cuenca.

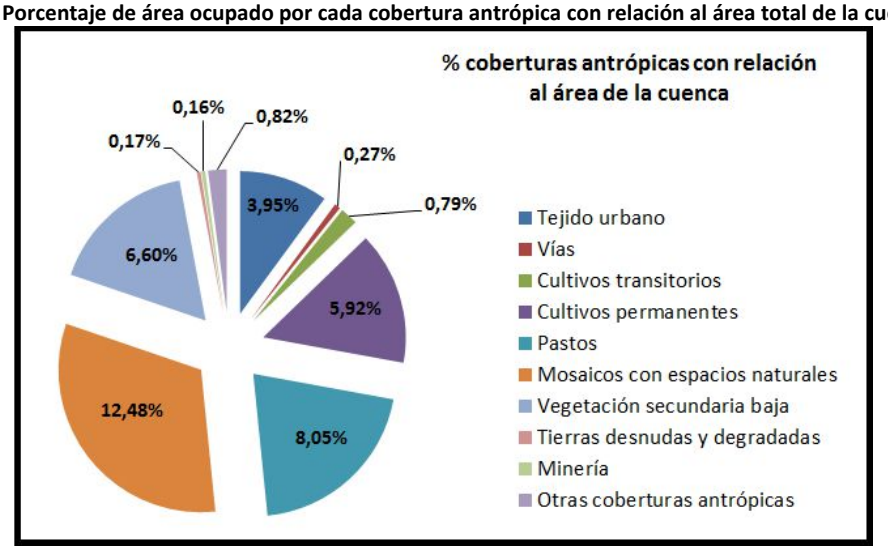
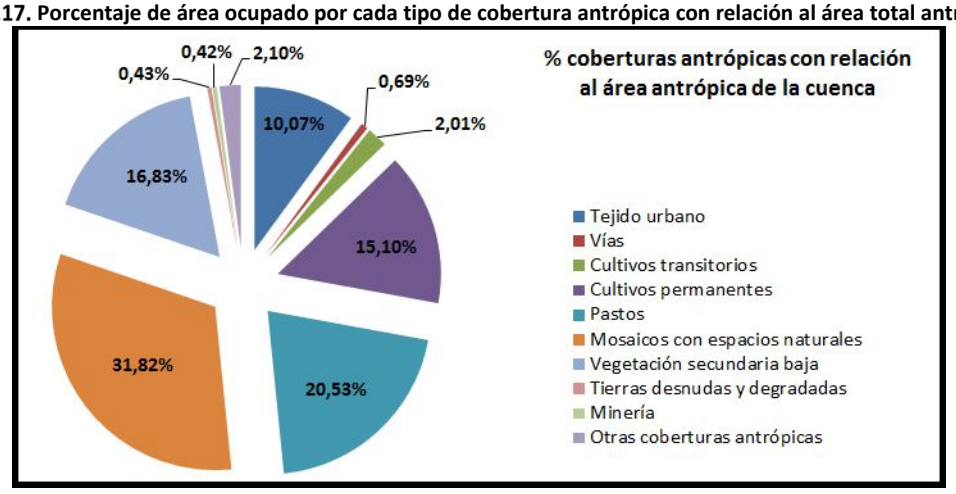


Tabla 12.9. Área coberturas antrópicas con relación al área total antropizada.

ÁREA COBERTURAS ANTRÓPICAS CON RELACIÓN AL ÁREA ANTROPIZADA TOTAL		
TIPO COBERTURA	**ÁREA**	**%**
Tejido urbano	3666,850	10,07
Vías	249,83	0,69
Cultivos transitorios	731,85	2,01
Cultivos permanentes	5498,24	15,10
Pastos	7472,99	20,53
Mosaicos con espacios naturales	11583,24	31,82
Vegetación secundaria baja	6124,47	16,83
Tierras desnudas y degradadas	155,54	0,43
Minería	152,22	0,42
Otras coberturas antrópicas	764,92	2,10
TOTAL COB ANTRÓPICAS EN CUENCA	**36400,15**	**100,00**

Figura 12.17. Porcentaje de área ocupado por cada tipo de cobertura antrópica con relación al área total antropizada.



De acuerdo con la Tabla 12.9 y la Figura 12.17, el mayor porcentaje de áreas antrópicas con relación al área antropizada en el territorio de la cuenca se encuentra cubierta por mosaicos con espacios naturales (32,01%), pastos (20,65%), vegetación secundaria baja (16,92%), cultivos permanentes (15,19%)

Las coberturas antrópicas menos representativas dentro del área antrópizada total, corresponden a las vías con un 0,69%, las tierras desnudas y degradadas con un 0,09% y la minería con un 0,42% (ver Tabla 12.9 y Figura 12.17).

El tejido urbano tanto continuo como discontinuo, ocupa un 10,13% del total de las áreas antropizadas y un 3,95% del área total de la cuenca.

Tabla 12.10. Área coberturas naturales con relación al área total de la cuenca.

ÁREA COBERTURAS NATURALES CON RELACIÓN AL ÁREA DE LA CUENCA		
COBERTURAS NATURALES	**ÁREA**	**%**
Cuerpos de agua	314,50	0,34
Bosque fragmentado	10327,40	11,13
Bosque galería	349,26	0,38
Vegetación secundaria alta	2340,24	2,52
Bosques de tierra firme	31286,53	33,71
Arbustales	11055,31	11,91
Herbazales de tierra firme	435,62	0,47
Otras coberturas naturales	286,08	0,31
TOTAL COB NATURALES CUENCA	**56394,94**	**60,77**

Figura 12.18. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total de la cuenca.

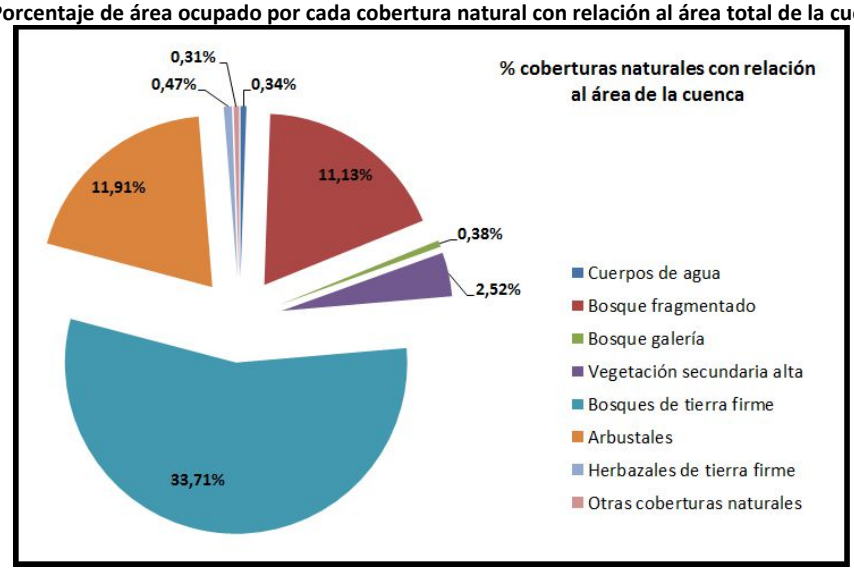
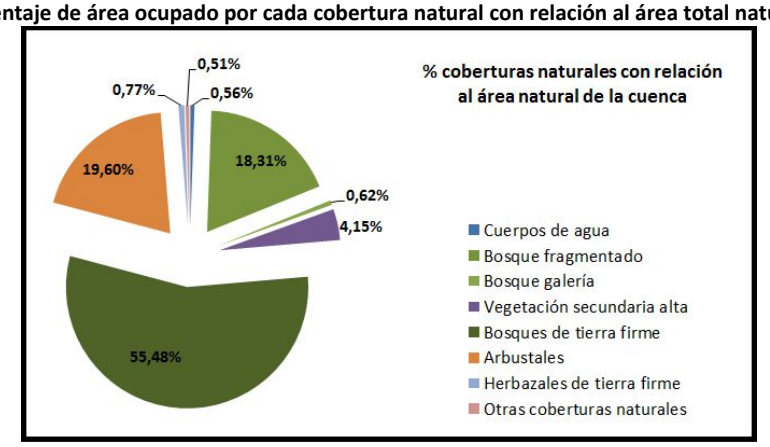


Tabla 12.11. Área coberturas naturales con relación al área total en coberturas naturales

ÁREA COBERTURAS NATURALES CON RELACIÓN AL ÁREA NATURAL TOTAL		
COBERTURAS NATURALES	**ÁREA**	**%**
Cuerpos de agua	314,50	0,56
Bosque fragmentado	10327,40	18,31
Bosque galería	349,26	0,62
Vegetación secundaria alta	2340,24	4,15
Bosques de tierra firme	31286,53	55,48
Arbustales	11055,31	19,60
Herbazales de tierra firme	435,62	0,77
Otras coberturas naturales	286,08	0,51
TOTAL COB NATURALES CUENCA	**56394,94**	100,00

Figura 12.19. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total natural.



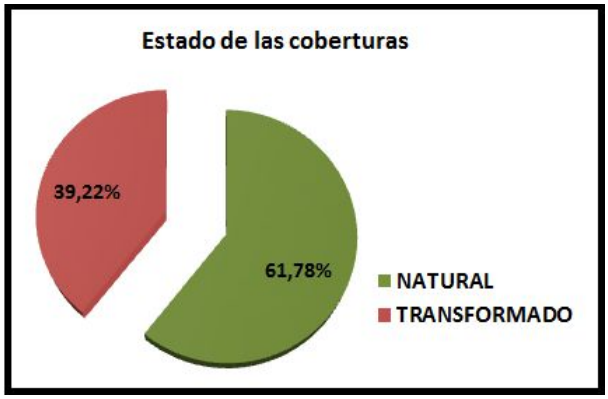
De acuerdo con la Tabla 12.11 y Figura 12.19 el mayor porcentaje de áreas naturales en el territorio de la cuenca con relación al área natural se encuentra cubierto por Bosques de tierra firme (55,48%), arbustales (19,60%) y Bosque fragmentado (18,31%).

Las áreas naturales menos representativas dentro del área natural corresponden a herbazales de tierra firme (0,77%), bosque de galería (0,62%) y cuerpos de agua (0,56%) (ver Tabla 12.11 y Figura 12.19).

Tabla 12.12. Estado de las coberturas en la cuenca.

ESTADO COBERTURAS		
NATURAL	318,75	60,78
TRANSFORMADO	36400,29	39,22
TOTAL AREA CUENCA	**36719,04**	**100**

Figura 12.20. Estado de las coberturas en la cuenca.



.

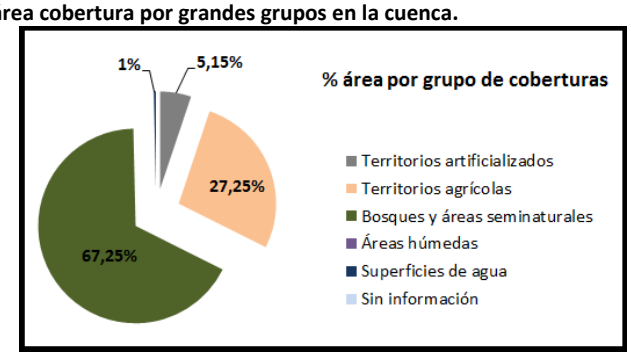
De acuerdo con lo que se observa la Tabla 12.12 y Figura 12.20 la mayor parte del territorio (60,78%) de la cuenca se encuentra en buen estado de conservación.

La Tabla 12.13 muestra las coberturas dentro de la cuenca a nivel de grandes grupos.

Tabla 12.13. Área de cobertura por grandes grupos en la cuenca.

CÓDIGO	NOMBRE GRUPO	ÁREA_HA	%
1	Territorios artificializados	4774,81	5,15
2	Territorios agrícolas	25286,32	27,25
3	Bosques y áreas seminaturales	62400,71	67,24
4	Áreas húmedas	14,51	0,02
5	Superficies de agua	318,75	0,34
SI	Sin información	4,39	0,00
	TOTAL ÁREA CUENCA	**92799,48**	100,00

Figura 12.21. Porcentaje área cobertura por grandes grupos en la cuenca.



Como se observa en la Tabla 12.13 y Figura 12.21, el grupo correspondiente a bosques y áreas seminaturales es el que predomina dentro del área de la cuenca (67,24%), seguido de los territorios agrícolas (27,25%) y los territorios artificializados (5,15%).

12.4.1.2. Ejemplos de coberturas identificadas dentro de la cuenca

Los siguientes ejemplos muestran algunas de las coberturas identificadas para el área de la cuenca al realizar el proceso de interpretación de coberturas y su codificación aplicando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, los siguientes son ejemplos de los resultados obtenidos:

12.4.1.2.1. *Áreas urbanas*

- Nivel 1. Territorios Artificializados (1)
- Nivel 2. Zonas Urbanizadas (11)
- Nivel 3. Tejido Urbano discontinuo (112)

Figura 12.22. Interpretación del tejido urbano continuo 112 (ciudad de Santa Marta) en imagen Rapideye2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271_173606, con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura se define por tonalidades grises – blancas y cafés, de textura plana

12.4.1.2.2. *Pastos*

- Nivel 1. Territorios agrícolas (2)
- Nivel 2. Pastos (23)
- Nivel 3. Pastos limpios (231)

Figura 12.23. Pastos limpios (municipio de Santa Marta) en imagen Rapideye2013-11-16t162842_re5_1b-nac_14775271_173606con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura se encuentra concentrada principalmente hacia la parte occidental y sur de la cuenca. En la imagen refleja en tonos pardos y naranjas en las zonas más húmedas. De textura plana. Puede variar su respuesta espectral dependiendo del contenido de humedad que tenga en el momento de la toma de la imagen.

12.4.1.2.3. *Bosques naturales*

- Nivel 1. Bosques y áreas semi naturales (3)
- Nivel 2. Bosques (31)
- Nivel 3. Bosque denso (311)
- Nivel 4. Bosque denso bajo (3112)
- Nivel 5. Bosque denso bajo de tierra firme (31121)

Esta cobertura por su rugosidad en la imagen y tonos naranjas fuertes hasta cafés, dependiendo de la época de toma de la imagen y de la vigorosidad de la vegetación.

Figura 12.24. Bosque denso bajo de tierra firme (distribuido por toda la parte oriental de la cuenca) en imagen Rapideye2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606con combinación de bandas 5-4-3.



12.4.1.2.4. *Cultivos arbóreos*

- Nivel 1. Territorios agrícolas (2)
- Nivel 2. Cultivos permanentes (22)
- Nivel 3. Cultivos permanentes arbóreos (223)
- Nivel 4. Palma de aceite (2232)

Figura 12.25. Cobertura de palma de aceite en imagen Rapideye2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606, con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura refleja en un tono naranja vivo dentro de la imagen y presenta una textura media.

12.4.2. Resultados del análisis de uso del suelo

Una vez se obtuvo la capa de coberturas de la tierra CLC, se llevó a cabo el proceso de asociación de los usos a cada una de las coberturas obteniendo los resultados que se observan en la Tabla 12.13 y Figura 12.26, que muestran los grupos de uso del suelo de acuerdo con los cuales, el grupo predominante es el de *conservación* (46,55%), seguido de los grupos de *ganadería* (15,41%) y *transición* (13,66%).

En lo relativo al uso actual, en la cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, predominan los de *protección, pastoreo extensivo* y *restauración* (ver Tabla 12.15 y Figura 12.28). Los usos menos extendidos en el área de la cuenca son *comercial, industrial* y de *infraestructura*. La distribución geográfica de los diferentes usos del suelo dentro de la cuenca se pueden observar en la Figura 12.27.

Tabla 12.14. Áreas por grupo de uso en la cuenca.

GRUPO USO	AREA_HA	%
Agricultura	8199,11	8,84
Agropecuario	2783,38	3,00
Conservación	43195,99	46,55
Cuerpos de Agua Naturales	318,75	0,34
Eriales	427,11	0,46
Ganadería	14295,99	15,41
Infraestructura	955,74	1,03
Minería	152,22	0,16
Sin uso	6124,47	6,60
Transición	12675,48	13,66
Zonas Urbanas	3666,85	3,95
No aplica	4,39	0,00
ÁREA TOTAL CUENCA	**92799,48**	**100**

Figura 12.26. Porcentaje área por grupos de uso en la cuenca

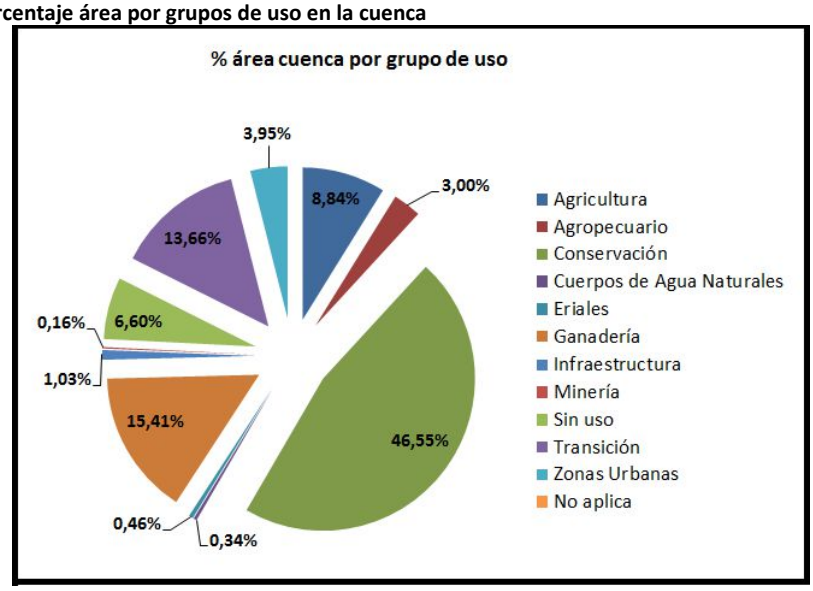


Figura 12.27. Uso actual del suelo en la cuenca.

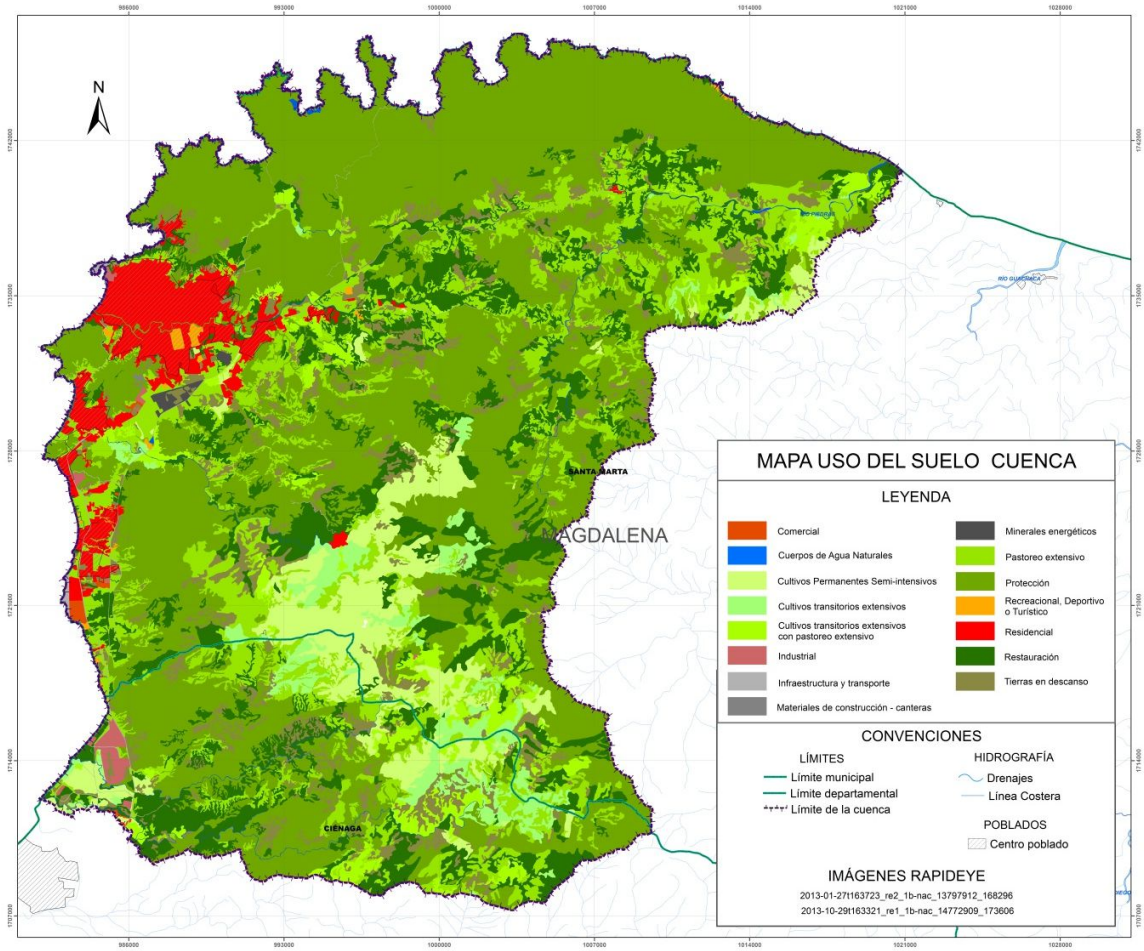
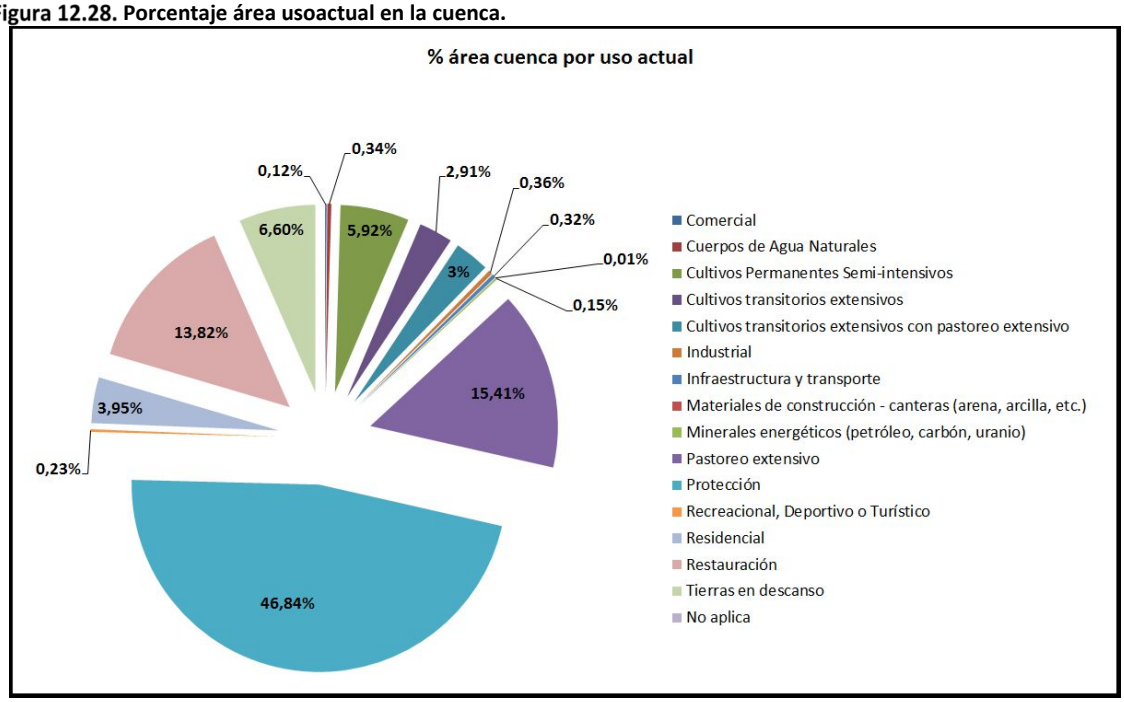


Tabla 12.15. Áreas por uso actual en la cuenca

USO ACTUAL	AREA_HA	%
Comercial	113,42	0,12
Cuerpos de Agua Naturales	318,75	0,34
Cultivos Permanentes Semi-intensivos	5498,24	5,92
Cultivos transitorios extensivos	2700,87	2,91
Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	2783,38	3,00
Industrial	331,71	0,36
Infraestructura y transporte	299,52	0,32
Materiales de construcción - canteras (arena, arcilla, etc.)	13,17	0,01
Minerales energéticos (petróleo, carbón, uranio)	139,05	0,15
Pastoreo extensivo	14303,83	15,41
Protección	43467,56	46,84
Recreacional, Deportivo o Turístico	211,08	0,23
Residencial	3666,85	3,95
Restauración	12823,18	13,82
Tierras en descanso	6124,47	6,60
No aplica	4,39	0,00
ÁREA TOTAL CUENCA	**92799,48**	**100**

Figura 12.28. Porcentaje área usoactual en la cuenca.



12.5. Resultado Del Proceso De Análisis Multitemporal De Coberturas

Como resultado del proceso del análisis multitemporal se obtuvieron 13 de las 15 categorías de cambio existentes (ver Tabla 12.16 y Figura 12.29). La Figura 12.30 muestra el mapa resultante del análisis multitemporal.

Tabla 12.16. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca

INDICADOR	AREA TOTAL	%
Aumento de la minería	30,967787	0,03
Cambio similar	2304,04781	2,48
Degradación de tierras	5,286495	0,01
Desintensificación de la agricultura	2653,350046	2,86
Dinámica de cuerpos de agua	20,210744	0,02
Expansión de la agricultura	254,26832	0,27
Fragmentación del bosque	474,353784	0,51
Ganancia de pastos	1221,261553	1,32
Intensificación de la agricultura	58,128243	0,06
Urbanización	1076,655924	1,16
Otros cambios	508,413	0,55
Sin información	128,400095	0,14
Sin cambio	84063,45961	90,59
TOTAL	**92799,48**	**100**

Figura 12.29. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca.

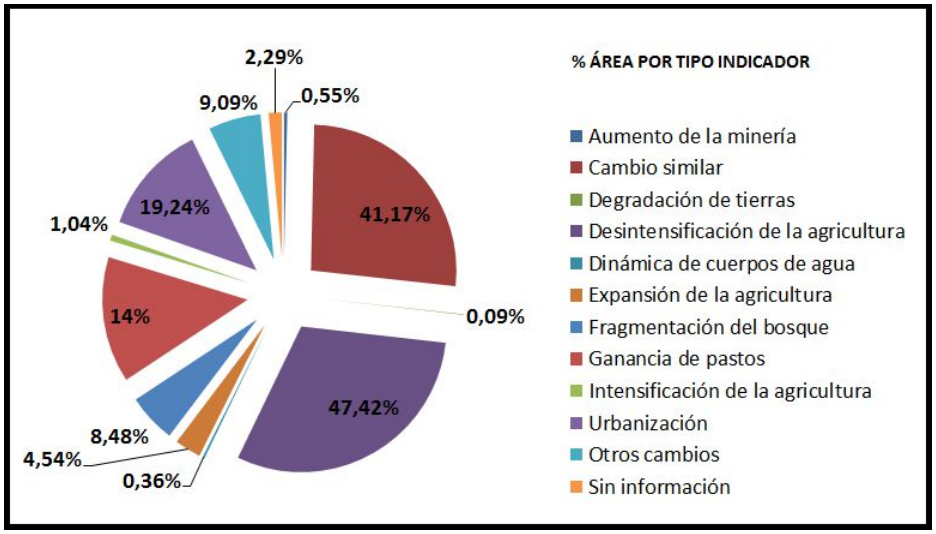
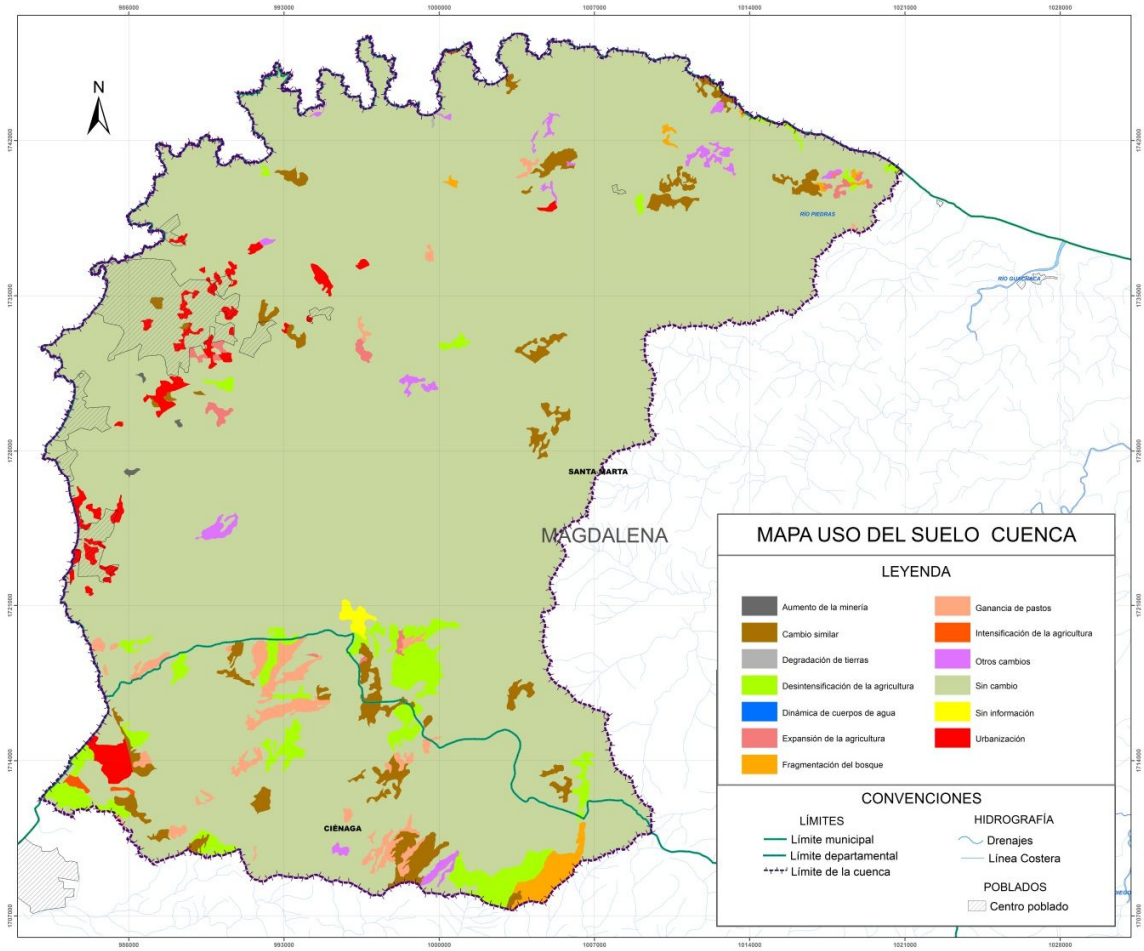


Figura 12.30. Multitemporal cuenca Piedras.



De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 12.16 y Figura 12.29, los cambios se produjeron solo en un 9,41% del área de la cuenca, el restante 90,59% permaneció estable. Los cambios más significativos fueron desintensificación de la agricultura, ganancia de pastos y urbanización.

Las Figura 12.31 y Figura 12.32 y las Tabla 12.17 y Tabla 12.18, muestran el porcentaje de coberturas naturales en comparación con las coberturas antrópicas para cada período de análisis.De esto se puede deducir que durante el período las coberturas naturales disminuyeron su área en un 0,76%, dando paso a coberturas antrópicas.

Tabla 12.17. . Estado coberturas primer período

Estado_05	Total	%
NATURAL	42849,03677	46,17
TRANSFORMADO	49312,95355	53,14
SIN INFORMACIÓN	636,813095	0,69
Total general	92798,80	100,00

Figura 12.31. Estado coberturas primer período

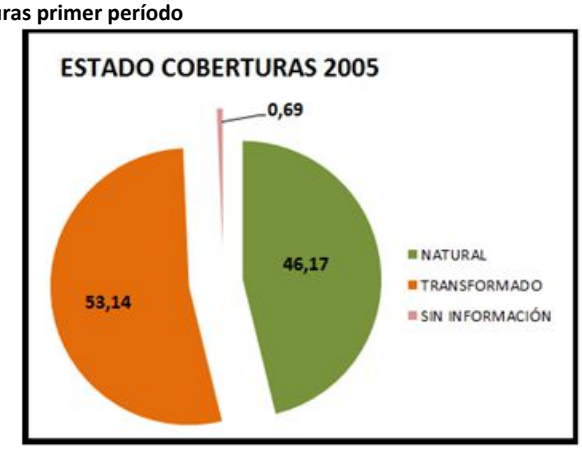


Tabla 12.18. Estado coberturas segundo período

ESTADO_12	AREA_12	%
NATURAL	42141,4021	45,41
TRANSFORMADO	50042,6689	53,93
SIN INFORMACIÓN	614,732368	0,66
Total general	92798,8034	100

Figura 12.32. Estado coberturas segundo período

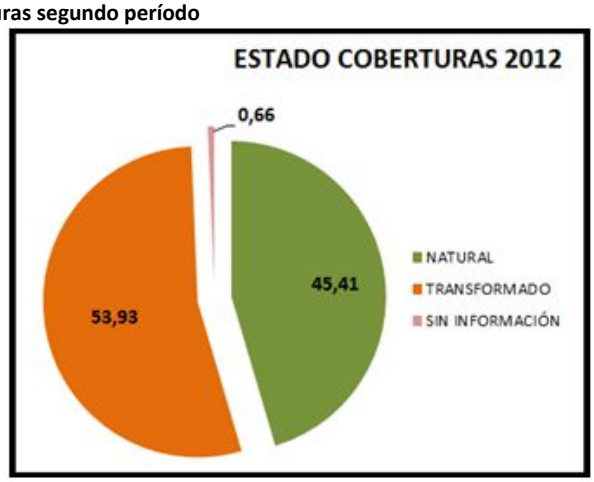


Tabla 12.19. Tabla de los cambios identificados en el análisis multitemporal

CODIGO	COBETURA	AREA_2005	%	AREA_2012	%	ÁREA DIFERENCIA	% DIFERENCIA	GANANCIA/PÉRDIDA	ANÁLISIS
99	Nubes-sombras	128,40	0,14	106,32	0,11			SIN INFORMACIÓN	SIN INFORMACIÓN
111	Tejido urbano continuo	2618,34	2,82	2842,85	3,06	224,51	8,57	ganancia	urbanización
112	Tejido urbano discontinuo	626,68	0,68	802,08	0,86	175,41	27,99	ganancia	urbanización
121	Zonas comerciales e industriales	325,04	0,35	792,15	0,85	467,11	143,71	ganancia	urbanización
123	Zonas portuarias	28,37	0,03	28,02	0,03	-0,35	-1,24	estable	sin cambio
124	Aeropuertos	47,54	0,05	47,57	0,05	0,03	0,06	estable	sin cambio
131	Zonas de extracción minera	128,02	0,14	108,35	0,12	-19,68	-15,37	pérdida	desintensificación minería
141	Zonas verdes urbanas	31,76	0,03	62,91	0,07	31,15	98,07	ganancia	urbanización
142	Instalaciones recreativa	512,23	0,55	587,92	0,63	75,69	14,78	ganancia	urbanización
223	Cultivos permanentes arbóreos	0,00	0,00	41,57	0,04	41,57	100,00	ganancia	intensificación y expansión de la agricultura
231	Pastos limpios	4778,25	5,15	3850,74	4,15	-927,52	-19,41	pérdida	paso a pasto enmalezado, intensificación agricultura
232	Pastos arbolados	0,14	0,00	0,00	0,00	-0,14	-100,00	pérdida	paso a pasto limpio
233	Pastos enmalezados	4211,87	4,54	4823,97	5,20	612,09	14,53	ganancia	descanso de pasturas
241	Mosaico de cultivos	23,04	0,02	119,56	0,13	96,52	418,88	ganancia	intensificación y expansión de la agricultura
242	Mosaico de pastos y cultivos	1565,62	1,69	1539,03	1,66	-26,59	-1,70	pérdida	desintensificación agricultura
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	14255,94	15,36	13880,55	14,96	-375,39	-2,63	pérdida	intensificación de la agricultura
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	6819,35	7,35	5595,81	6,03	-1223,54	-17,94	pérdida	ganancia de pastos, intensificación de la agricultura, urbanización, otros cambios
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	4490,83	4,84	4668,82	5,03	178,00	3,96	ganancia	intensificación de la agricultura
314	Bosque de galería y ripario	364,17	0,39	440,58	0,47	76,42	20,98	ganancia	otros cambios
323	Vegetación secundaria	5057,83	5,45	6849,65	7,38	1791,82	35,43	ganancia	Desintensificación agricultura, pérdidas de bosque
331	Zonas arenosas naturales	42,26	0,05	41,93	0,05	-0,34	-0,80	estable	sin cambio
333	Tierras desnudas y degradadas	44,29	0,05	86,45	0,09	42,16	95,18	ganancia	desintensificación minería, degradación de tierras
511	Ríos	108,91	0,12	108,94	0,12	0,03	0,03	estable	sin cambio
522	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	206,23	0,22	116,72	0,13	-89,51	-43,40	pérdida	otros cambios
2213	Plátano y cambano	264,91	0,29	208,10	0,22	-56,81	-21,45	pérdida	Desintensificación de la agricultura
2222	Café	3906,73	4,21	3070,25	3,31	-836,48	-21,41	pérdida	Desintensificación de la agricultura
2232	Palma de aceite	49,40	0,05	49,40	0,05	0,00	0,00	estable	sin cambio
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2654,77	2,86	2035,12	2,19	-619,65	-23,34	pérdida	Ganancia de pastos, intensificación de la agricultura, otros cambios
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	356,86	0,38	1115,87	1,20	759,01	212,69	ganancia	por fragmentación de bosque y recuperación de cobertura vegetal, desintensificación agricultura
3221	Arbustal denso	5744,84	6,19	5729,10	6,17	-15,73	-0,27	estable	ganancia de pastos, intensificación de la agricultura, urbanización, otros cambios
3222	Arbustal abierto	9838,31	10,66	9501,57	10,24	-386,74	-3,91	pérdida	Ganancia de pastos, urbanización, aumento minería
31111	Bosque denso alto de tierra firme	15092,55	16,26	15048,97	16,22	-43,58	-0,29	pérdida	Fragmentación de bosques
31112	Bosque denso alto inundable	0,00	0,00	14,60	0,02	14,60	100,00	ganancia	otros cambios
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	3538,90	3,81	3533,71	3,81	-5,19	-0,15	pérdida	Otros cambios
31211	Bosque abierto alto de tierra firme	3679,32	3,96	3775,14	4,07	95,82	2,60	ganancia	Otros cambios, camiños similares (producto del proceso de interpretación)
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	1207,78	1,30	1175,17	1,27	-32,61	-2,70	pérdida	Ganancia de pastos, cambio de uso
		92799,47535	100	92799,47535	100,00				

La Tabla 12.19 muestra las proporciones, área de cambio y factores de cambio, para cada uno de los tipos de coberturas existentes en el área de estudio.

De acuerdo con esto, las coberturas antrópicas que más desintensificaron su uso durante el período de análisis fueron las zonas de extracción minera, pastos limpios y pastos arbolados, cultivos de plátano y café y los mosaicos de pastos con espacios naturales (ver Tabla 12.20 y Figura 12.33). Observando las Tabla 12.19, la Tabla 12.21 y la Figura 12.34, las coberturas antrópicas que más intensificaron su uso fueron respectivamente mosaicos de cultivos, zonas comerciales e industriales, cultivos permanentes arbóreos, zonas verdes urbanas y tierras desnudas y degradadas.

Tabla 12.20. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012.

COBERTURAS 2005 QUE DESINTENSIFICARON SU USO EN 2012			
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA 2005**	**AREA_HA**	**%**
131	Zonas de extracción minera	-19,68	-15,37
231	Pastos limpios	-927,52	-19,41
242	Mosaico de pastos y cultivos	-26,59	-1,70
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-375,39	-2,63
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	-1223,54	-17,94
2213	Plátano y banano	-56,81	-21,45
2222	Café	-836,48	-21,41

Figura 12.33. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012

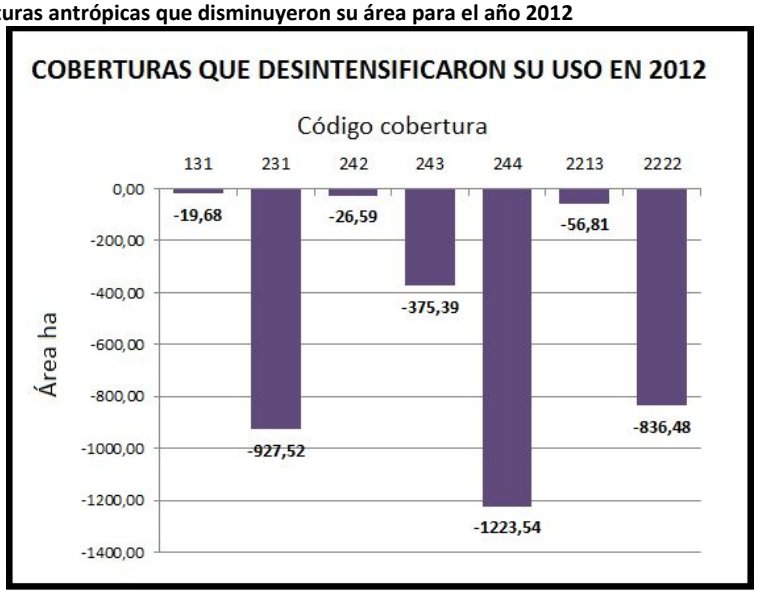
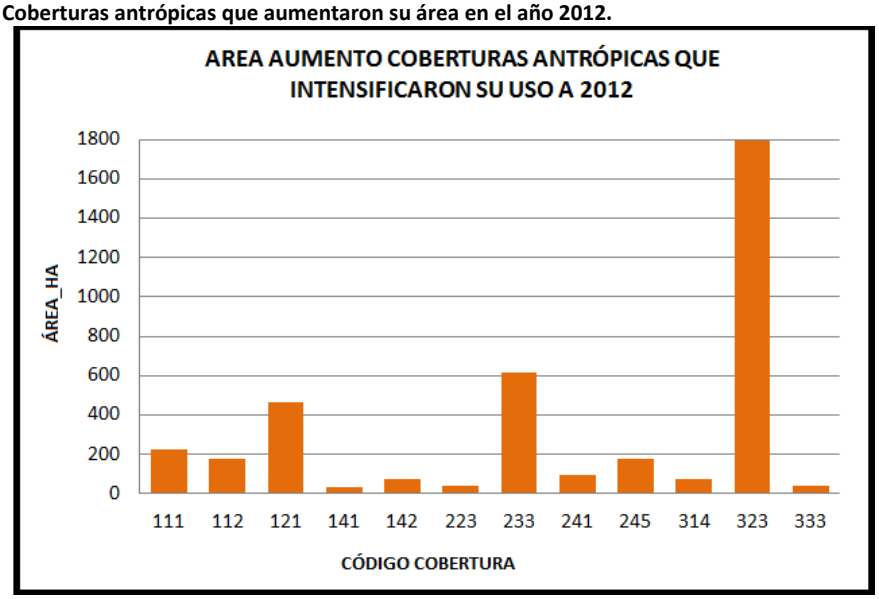


Tabla 12.21. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012.

COBERTURAS ANTRÓPICAS QUE AUMENTARON SU ÁREA EL AÑO 2012			
CÓDIGO	**NOMBRE COBERTURA**	**ÁREA_HA**	**%**
111	Tejido urbano continuo	224,51	8,57
112	Tejido urbano discontinuo	175,41	27,99
121	Zonas comerciales o industriales	467,11	143,71
141	Zonas verdes urbanas	31,15	98,07
142	Instalaciones recreativa	75,69	14,78
223	Cultivos permanentes arbóreos	41,57	100,00
233	Pastos enmalezados	612,09	14,53
241	Mosaico de cultivos	96,52	418,88
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	178,00	3,96
314	Bosque de galería y ripario	76,42	20,98
323	Vegetacíon secundaria	1791,82	35,43
333	Tierras desnudas y degradadas	42,16	95,18

Figura 12.34. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012.

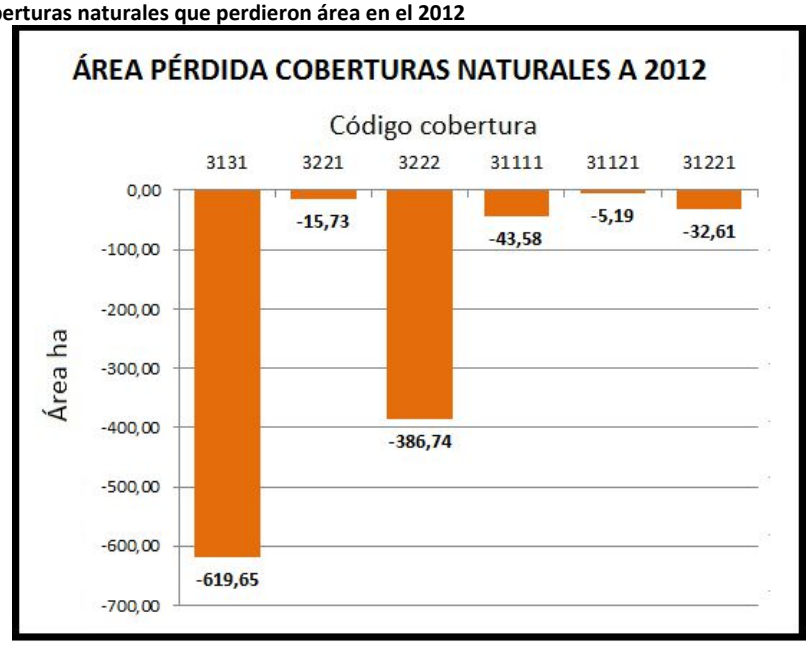


La Tabla 12.22 y la Figura 12.35 presentan las coberturas naturales que perdieron área durante el período de análisis. Una vez realizados los análisis se pudo observar que las coberturas naturales que perdieron más área durante el período de análisis fueron los bosques fragmentados con pastos y cultivos y el bosque abierto de tierra firme, en la mayoría de los casos estos cambios de cobertura se debió a la expansión de la frontera agrícola mediante la ganancia de pastos y cultivos.

Tabla 12.22. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012.

ÁREA PÉRDIDA COBERTURAS NATURALES ENTRE 2005 Y 2012			
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA**	**AREA_HA**	**%**
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	-619,65	-23,34
3221	Arbustal denso	-15,73	-0,27
3222	Arbustal abierto	-386,74	-3,91
31111	Bosque denso alto de tierra firme	-43,58	-0,29
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	-5,19	-0,15
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	-32,61	-2,70

Figura 12.35. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012

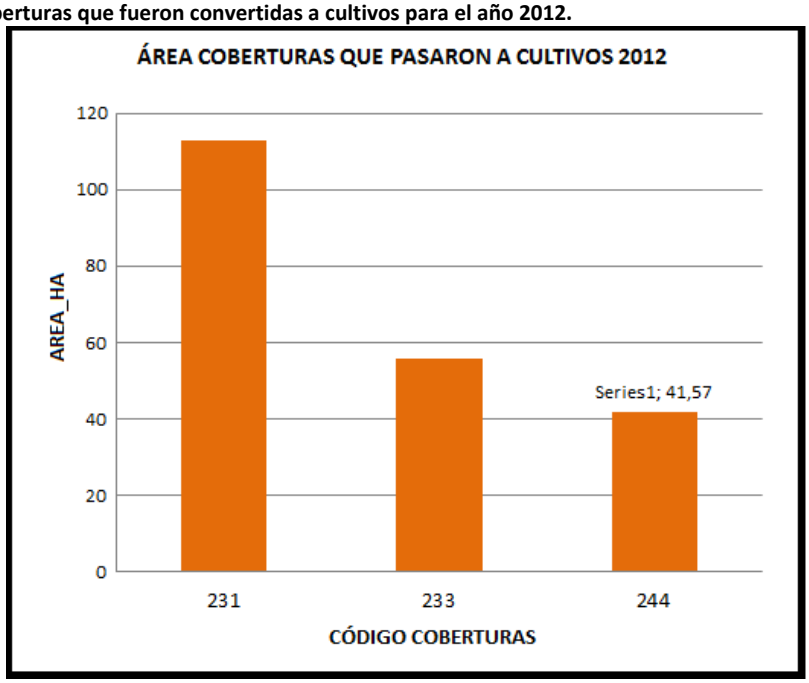


Las coberturas que perdieron área para convertirse en cultivos correspondieron a coberturas antrópicas de pastos y mosaicos con espacios naturales. La cobertura que más área perdió fueron los pastos limpios (ver Tabla 12.23 y Figura 12.36).

Tabla 12.23. Coberturas que fueron transformadas a cultivos para el año 2012.

COBERTURAS 2005 QUE PASARON A CULTIVOS EN 2012		
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA 2005**	**AREA_HA**
231	Pastos limpios	112,97
233	Pastos enmalezados	55,68
244	Mosaico de pastos con vegetación secundaria	41,57

Figura 12.36. Coberturas que fueron convertidas a cultivos para el año 2012.

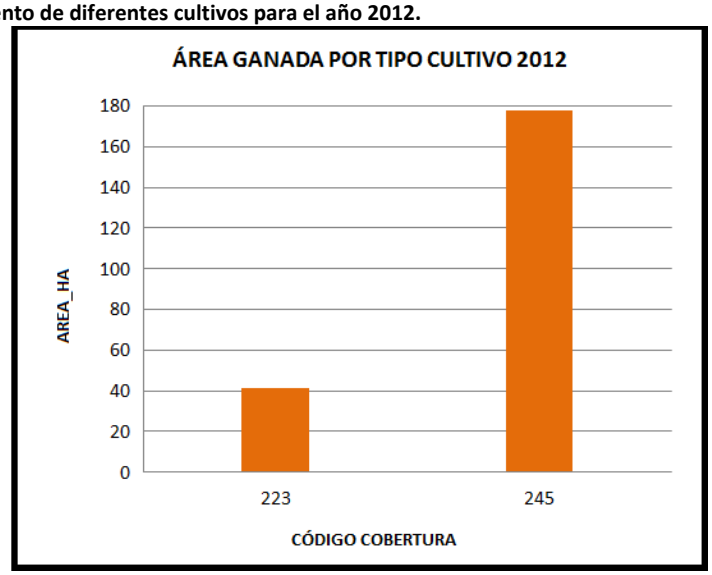


De acuerdo con la Tabla 12.24 y Figura 12.37, los cultivos que aumentaron su área durante el período fueron los cultivos permanentes arbóreos con un 100% de ganancia; además aumentó la proporción de mosaicos de cultivos con espacios naturales en un 3,96% con respecto al período anterior.

Tabla 12.24. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012.

TIPOS DE CULTIVOS QUE AUMENTARON SU ÁREA PARA 2012			
CÓDIGO	**NOMBRE COBERTURA**	**ÁREA_HA**	**%**
223	Cultivos permanentes arbóreos	41,57	100,00
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	178,00	3,96

Figura 12.37. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012.

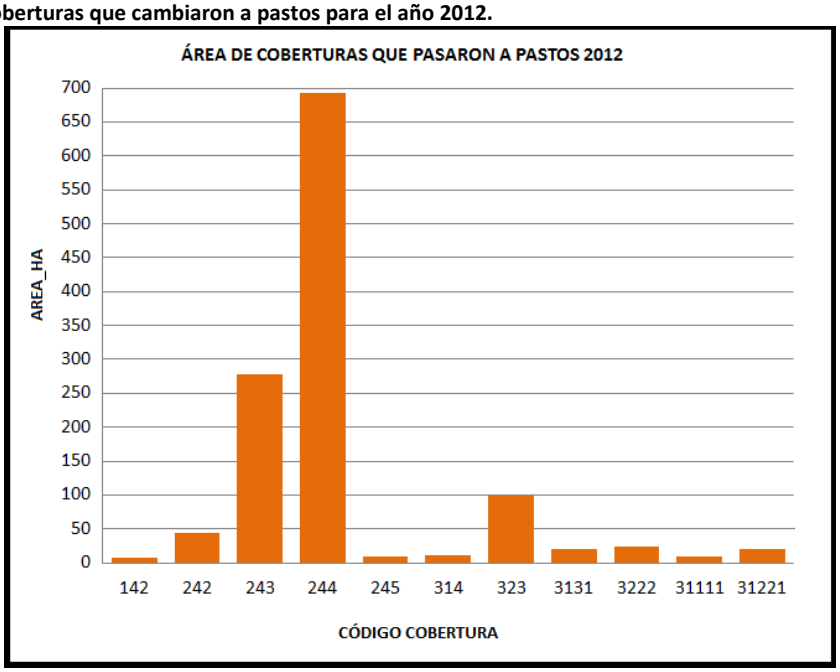


De acuerdo con las Tabla 12.25 y la Figura 12.38 el área total de coberturas que pasaron a pastos fue de 1.213,24 ha. Las coberturas que se vieron más afectadas por la ganancia de pastos fueron los mosaicos con espacios naturales con 980,86 ha, seguidos de la vegetación secundaria con 97 ha. Las coberturas que menos área perdieron para establecimiento de pastos fueron las zonas recreativas 6,8 ha. Los bosques se vieron afectados en 9,58 ha.

Tabla 12.25. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012.

COBERTURAS 2005 QUE PASARON A PASTOS 2012		
COBERTURA 2005	NOM_COBERTURA 2005	AREA_HA
142	Zonas recreativas	6,80
242	Mosaico de pastos y cultivos	43,52
243	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	278,12
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	693,28
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	9,45
314	Bosque de galería y ripario	10,20
323	Vegetación secundaria	97,97
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	19,69
3222	Arbustal abierto	24,28
31111	Bosque denso alto de tierra firme	9,58
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	20,34

Figura 12.38. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012.



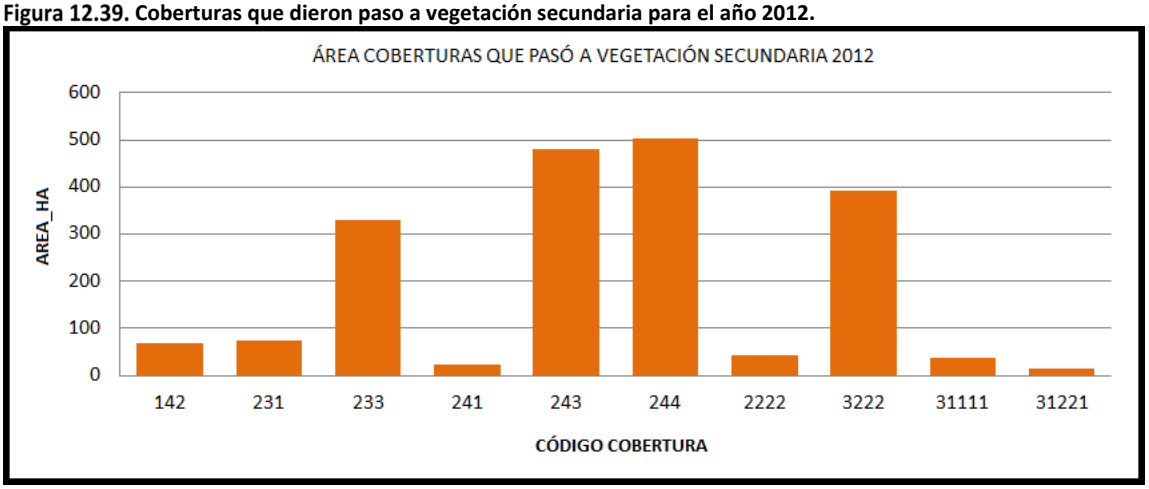
De acuerdo con la Tabla 12.26 y la Figura 12.39, el área de cobertura que pasó a vegetación secundaria fue de 1.964,36 ha. El surgimiento de vegetación secundaria se dio por dos medios distintos, el primero la desintensificación de algún tipo de actividad antrópica y en segundo la pérdida de algún tipo de cobertura natural.

En lo relativo a la desintensificación antrópica la cobertura que aportó mayor área al surgimiento de vegetación secundaria fueron los mosaicos con espacios naturales en 983,19 ha y las coberturas naturales que perdieron área y dieron paso a vegetación secundaria fueron los arbustales abiertos con 392,11 ha.

Tabla 12.26. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012.

COBERTURAS 2005 A VEGETACIÓN SECUNDARIA EN 2012		
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA**	**AREA_HA**
142	Zonas recreativas	68,93
231	Pastos limpios	74,81
233	Pastos enmalezados	328,98
241	Mosaico de cultivos	23,01
243	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	480,79
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	502,83
2222	Café	42,40
3222	Arbustal abierto	392,11
31111	Bosque denso alto de tierra firme	36,20
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	14,31

Figura 12.39. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012.



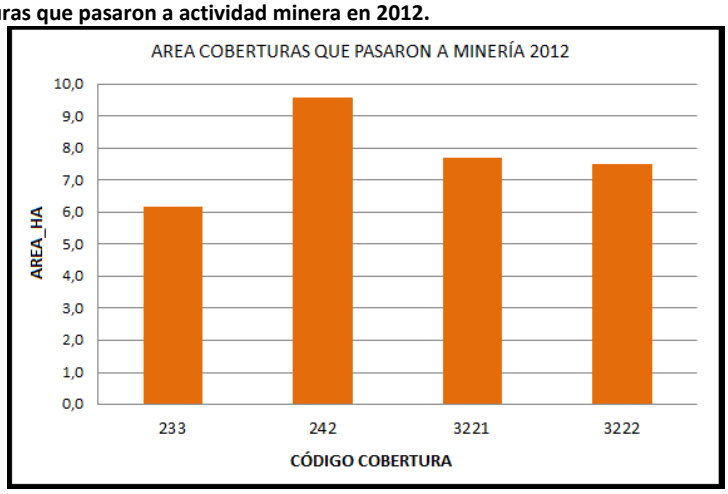
En lo relativo a la desintensificación de las actividades antrópicas las coberturas que aportaron mayor área al surgimiento de vegetación secundaria fueron los mosaicos en 983,7 ha y los pastos en 404 ha. El área de coberturas naturales más área perdió dondo paso a vegetación secundaria fueron los arbustales abiertos 392 ha.

Las coberturas que pasaron a áreas de extracción minera fueron las que se muestran en la Tabla 12.27 y Figura 12.40. Para el caso de la cuenca las coberturas naturales que se vieron afectadas durante el período por el establecimiento de esta actividad fueron los arbustales densos y abiertos, los cuales en conjunto se vieron disminuidos en 15,21 ha.

Tabla 12.27. Coberturas que pasaron a actividad minera en 2012.

COBERTURAS 2005 QUE PASARON A MINERÍA 2012		
COBERTURA 2005	NOM_COBERTURA	AREA_HA
233	Pastos enmalezados	6,17
242	Mosaico de pastos y cultivos	9,59
3221	Arbustal denso	7,71
3222	Arbustal abierto	7,50

Figura 12.40. Coberturas que pasaron a actividad minera en 2012.



La expansión urbana en el territorio de la cuenca afectó a 871,61 ha, que se encontraban con coberturas entre naturales y antrópicas (pastos y cultivos) y naturales (arbustales). Las áreas más afectadas por la urbanización fueron los pastos con 655,91 ha (ver Tabla 12.28 y Figura 12.41).

Tabla 12.28. Coberturas que fueron urbanizadas en el 2012.

COBERTURAS 2005 QUE PASARON A URBANO 2012		
COBERTURA 2005	NOM_COBERTURA 2005	AREA_HA
131	Zonas de extracción minera	8,48
231	Pastos limpios	406,23
233	Pastos enmalezados	249,68
242	Mosaico de pastos y cultivos	75,34
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	84,33
3222	Arbustal abierto	47,55

Figura 12.41. Coberturas que fueron urbanizadas en el 2012.



12.6. Resultados De La Determinación De Indicadores De Estado - Tendencia

12.6.1. Indicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN)

De acuerdo con el análisis realizado para este indicador, la cobertura que más área perdió durante el período fue lagunas, lagos y ciénagas naturales a una tasa del 8,13% (16,77 ha/año), con una pérdida total de 89,51 quedando un 56,6% del área existente en el 2005. Las coberturas que menos área perdieron durante el período fueron los arbustales densos y el bosque denso bajo de tierra firme. La cobertura que más área ganó durante el período fue el bosque fragmentado con vegetación secundaria a una tasa del 16,29% anual.

Tabla 12.29. TCCN

COBERTURA	TCCN (%)
Arbustal abierto	-0,57
Arbustal denso	-0,04
Bosque abierto alto de tierra firme	0,37
Bosque abierto bajo de tierra firme	-0,39
Bosque de galería y ripario	2,72
Bosque denso alto de tierra firme	-0,04
Bosque denso bajo de tierra firme	-0,02
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	-3,80
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	16,29
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	-8,13
Ríos	0,00
Vegetacíon secundaria	4,33
Zonas arenosas naturales	-0,11

Nota. Valores negativos indican pérdida de cobertura, valores positivos indican ganancia

Figura 12.42. Porcentaje TCCN coberturas naturales.

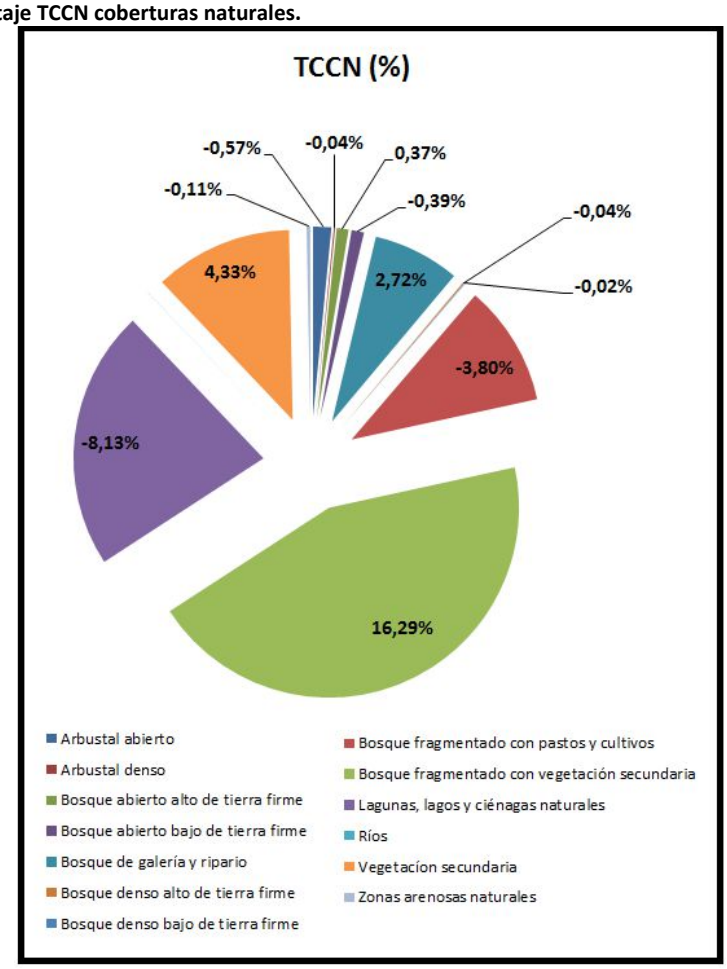
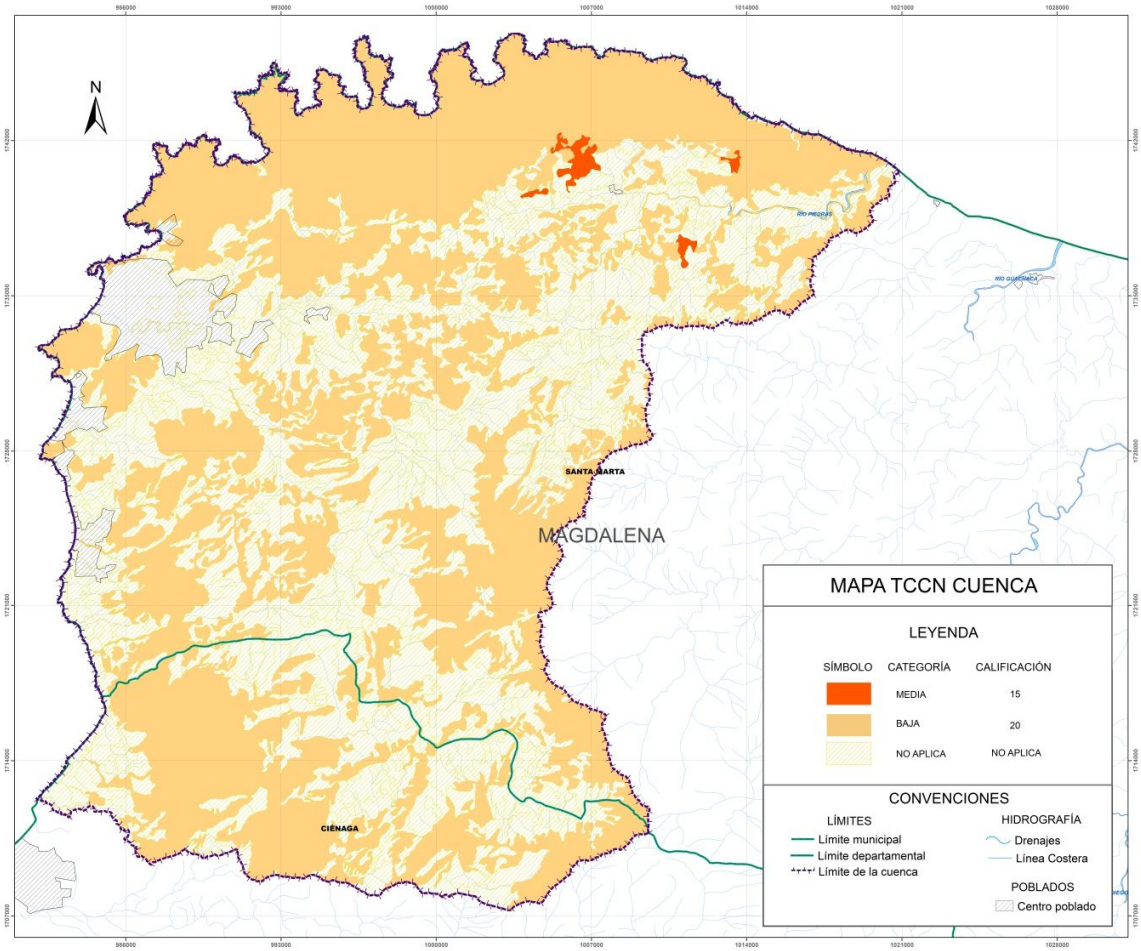


Figura 12.43. Mapa TCCN



12.6.2. Indice de fragmentación (IF).

Para el cálculo solo se tuvieron en cuenta las coberturas vegetales naturales, de acuerdo con lo que se plantea en la guía de cuencas (MINAMBIENTE, 2014). En lo relativo a la conectividad el 95,11% de las coberturas naturales conserva su conectividad y solo el 1,19% se encuentra en fragmentación fuerte a extrema.

Figura 12.44. Mapa índice de fragmentación

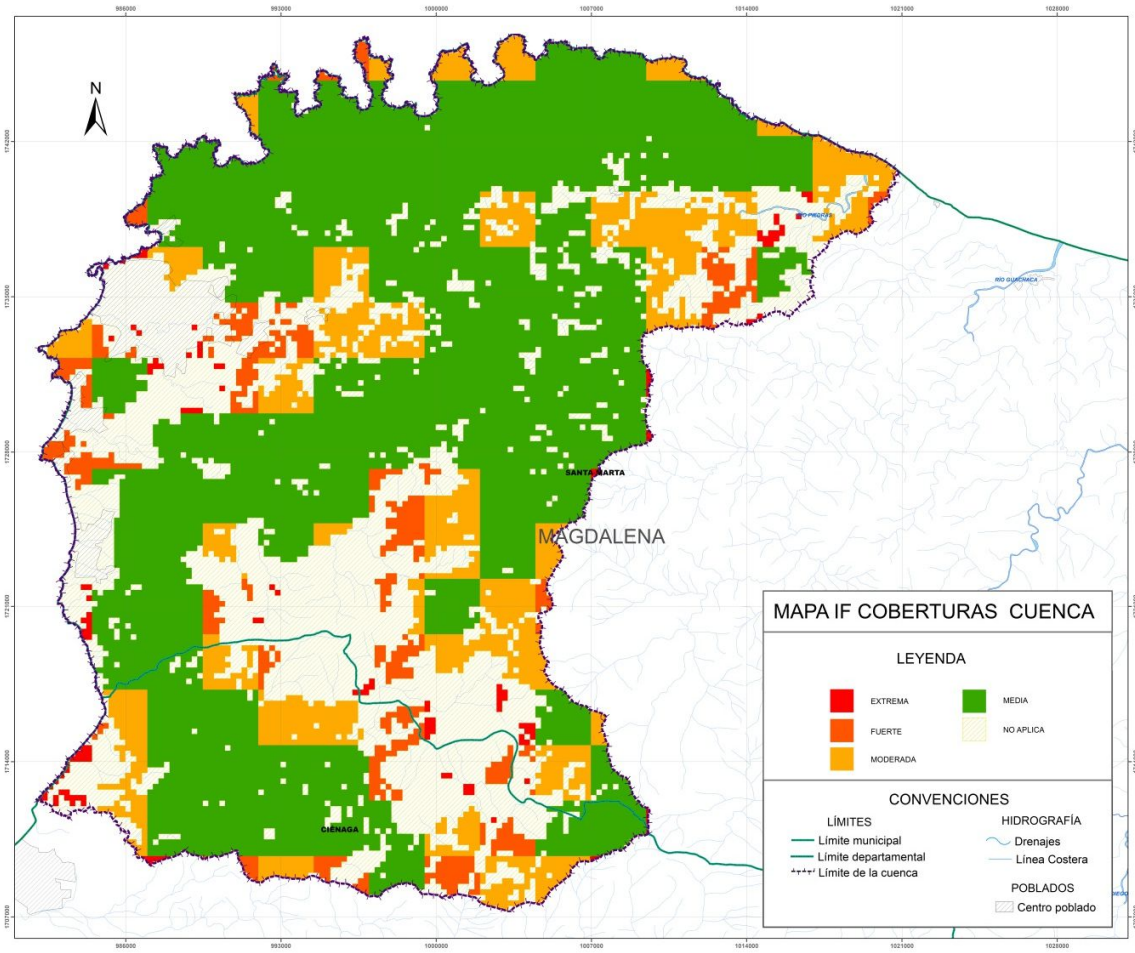
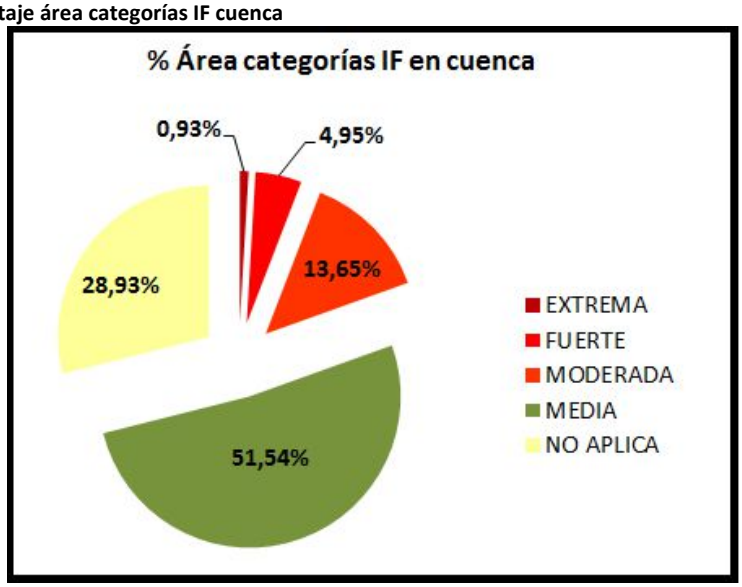


Tabla 12.30. Categorías IF cuenca

CUENCA	CAT_IF	CALF_IF	AREA_IF	%
RÍOS PIEDRAS, MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE	EXTREMA	0	861,83	0,93
	FUERTE	5	4596,56	4,95
	MODERADA	10	12666,51	13,65
	MEDIA	15	47828,15	51,54
	NO APLICA	NA	26846,42	28,93
ÁREA TOTAL CUENCA			**92799,48**	**100,00**

Figura 12.45. Porcentaje área categorías IF cuenca



Lo anterior indica que un poco más de la mitad del área con vegetación natural (51,54%) presenta un alto grado de conectividad lo que se convierte en un factor importante para su conservación y para la posible recuperación de áreas estratégicas mediante la implementación de programas de restauración de los ecosistemas. Un 28,93% del área de la cuenca se encuentra completamente transformada. El 5,88% del área se encuentra con fragmentación fuerte a extrema.

12.6.3. Indice de vegetación remanente (IVR)

Tabla 12.31. Biomas prístinos cuenca.

Cod_ Bioma	BIOMAS ORIGINALES	AREA_HAS	%
1	Bosque Galeria Tropical	759,060521	0,82
2	Bosque Humedo Alto Andino	3030,51948	3,27
3	Bosque HumedoSubandino	21096,8589	22,73
4	Bosque Seco Tropical	40943,6389	44,12
5	Cuerpos de agua (rios, cienagas, lagos, lagunas)	125,588606	0,14
6	Humedales y zonas lacustres tropicales	114,461347	0,12
7	Manglares Natales o salares tropicales	33,297872	0,04
8	Matorral Seco Tropical	7821,513	8,43
9	Playas, medanos y/o dunas Tropicales	140,746227	0,15
10	Sabanas Estacionales Tropicales	3870,92344	4,17
11	Selva Humeda Tropical	14862,8671	16,02
	ÁREA TOTAL	**92799,4754**	**100,00**

Figura 12.46. Porcentaje área biomas prístinos cuenca.

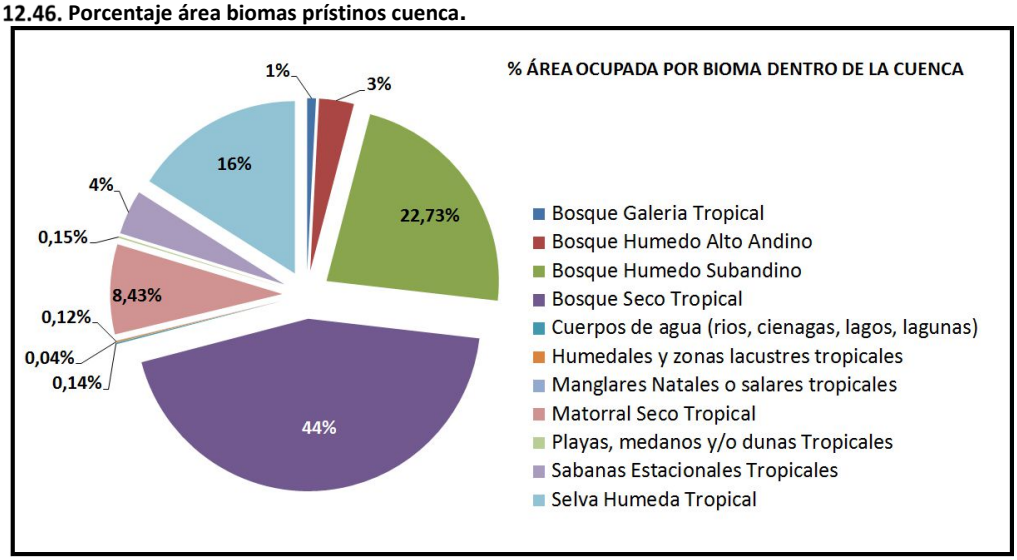


Figura 12.47. Mapa Biomas prístinos cuenca

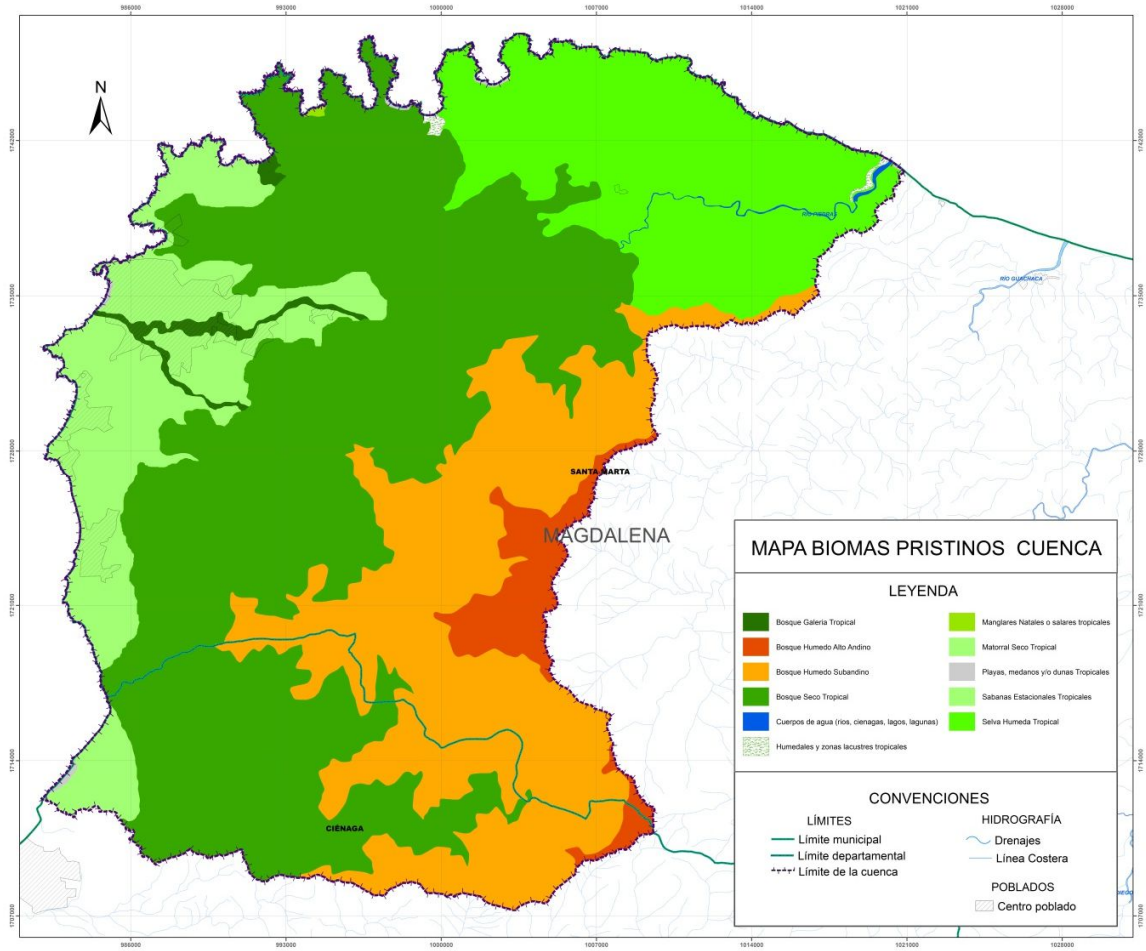


Tabla 12.32. Estado general de los biomas en la cuenca

Bioma	ESTADO GENERAL BIOMAS EN LA CUENCA								
	CT	MT	MDT	PT	NT	total por Bioma	Área inicial bioma	AREA CONSERVADA	%
Bosque Galeria Tropical	0	648,77	0	0	110,29	759,06	759,06	110,29	14,53
Bosque Humedo Alto Andino	0	0	0	0	3030,52	3030,52	3030,52	3030,52	100,00
Bosque Humedo Subandino	0	0	21096,78	0	0,08	21096,86	21096,86	0,08	0,00
Bosque Seco Tropical	0	0	0	40943,64	0	40943,64	40943,64	40943,64	100,00
Cuerpos de agua (rios, cienagas, lagos, lagunas)	0	0	125,59	0	0	125,59	125,59	0,00	0,00
Humedales y zonas lacustres tropicales	0	0	0	49,73	64,73	114,46	114,46	114,46	100,00
Manglares Natales o salares tropicales	0	0	0	0	33,30	33,30	33,30	33,30	100,00
Matorral Seco Tropical	0	2337,55	3730,42	1651,69	101,85	7821,51	7821,51	1753,54	22,42
Playas, medanos y/o dunas Tropicales	24,45	0	55,82	0	60,48	140,75	140,75	60,48	42,97
Sabanas Estacionales Tropicales	2722,95	1147,97	0	0	0	3870,92	3870,92	0,00	0,00
Selva Humeda Tropical	0	0	4237,48	0	10625,39	14862,87	14862,87	10625,39	71,49
Total general	**2747,40**	**4134,29**	**29246,09**	**42645,06**	**14026,64**	**92799,48**	**92799,48**	**56671,70**	**61,07**

De acuerdo con el análisis realizado al resultado obtenido del cálculo del índice, la cuenca presenta una alta sostenibilidad en un 61,07% de su área (ver Tabla 12.33 y Figura 12.48). El área restante presenta un grado de antropización alto a muy alto que hace difícil su recuperación.

Los biomas que mejor se conservan dentro de la cuenca son los de *Bosque húmedo alto andino* y *bosque seco tropical*. Los biomas más alterados son los de *bosque húmedo subandino* y *sabanas estacionales tropicales*, los cuales están prácticamente desaparecidos, dentro del área de la cuenca.

Tabla 12.33. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca

ÁREA CUENCA	ALTA SOSTENIBILIDAD	BAJA SOSTENIBILIDAD
92799,48	61,07	38,93

Figura 12.48. Sostenibilidad de la cuenca.

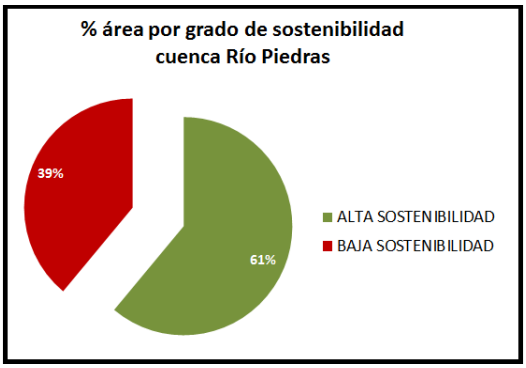


Figura 12.49. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca.

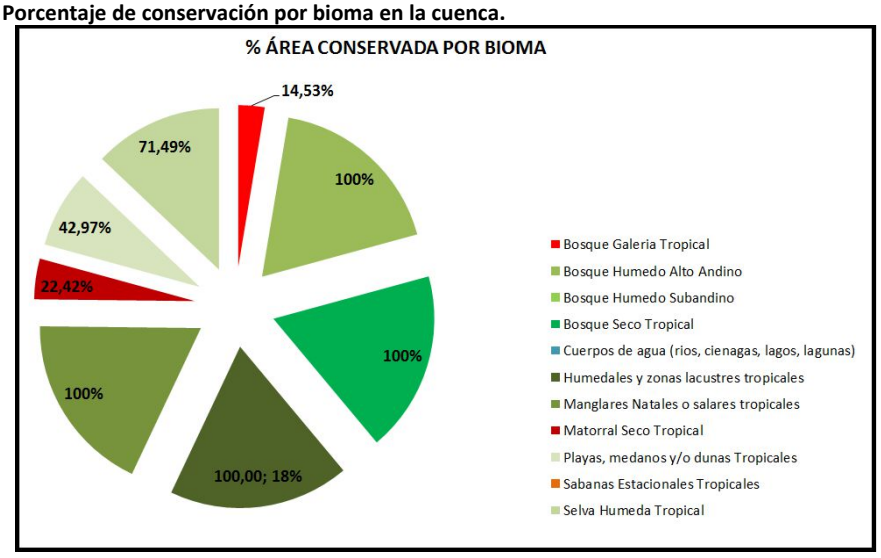
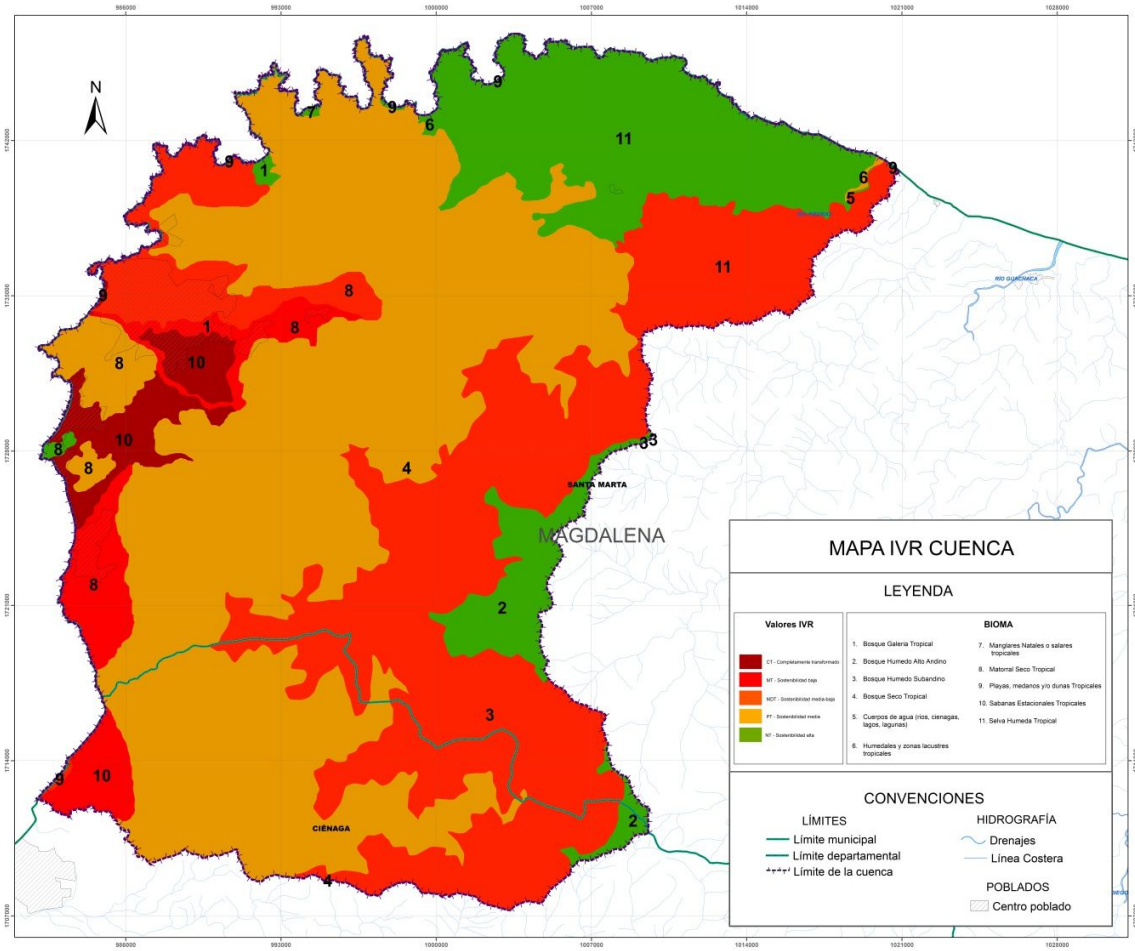


Figura 12.50. Mapa Índice de vegetación remanente



12.6.4. Indice de presión demográfica (IPD)

De acuerdo con el análisis realizado se concluye que el 71,62% del área de la cuenca sufre una presión demográfica creciente. El 22,47% del área presenta una baja presión demográfica, especialmente en las zonas sur y nororiental de la cuenca. El 5,9% de la cuenca presenta un crecimiento excesivo de la población concentrada especialmente hacia la parte urbana de la ciudad de Santa Marta.

Tabla 12.34. Índice de presión demográfica por municipio dentro de la cuenca.

depto	Municipio	RANGO	DESCRIPTOR	AREA_IPD	%
Magdalena	Ciénaga	<1 >100	Presión de la población baja y sostenibilidad alta. Crecimiento excesivo, grave amenaza a la sostenibilidad.	18.208,2 4,16	19,621 0,004
Magdalena	Santa Marta	<1 >1 y <10 >100	Presión de la población baja y sostenibilidad alta. Población creciente, presión y sostenibilidad media. Crecimiento excesivo, grave amenaza a la sostenibilidad.	2.645,14 66.462,93 5.479	2,85 71,62 5,90
ÁREA TOTAL CUENCA				**92799,47**	**100,00**

Figura 12.51. Porcentaje rango IPD en cuenca

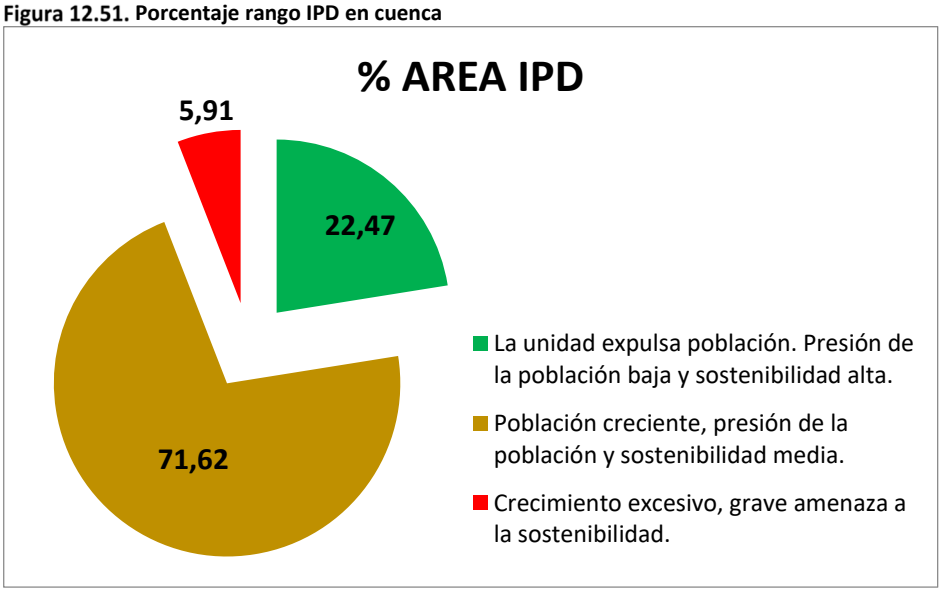
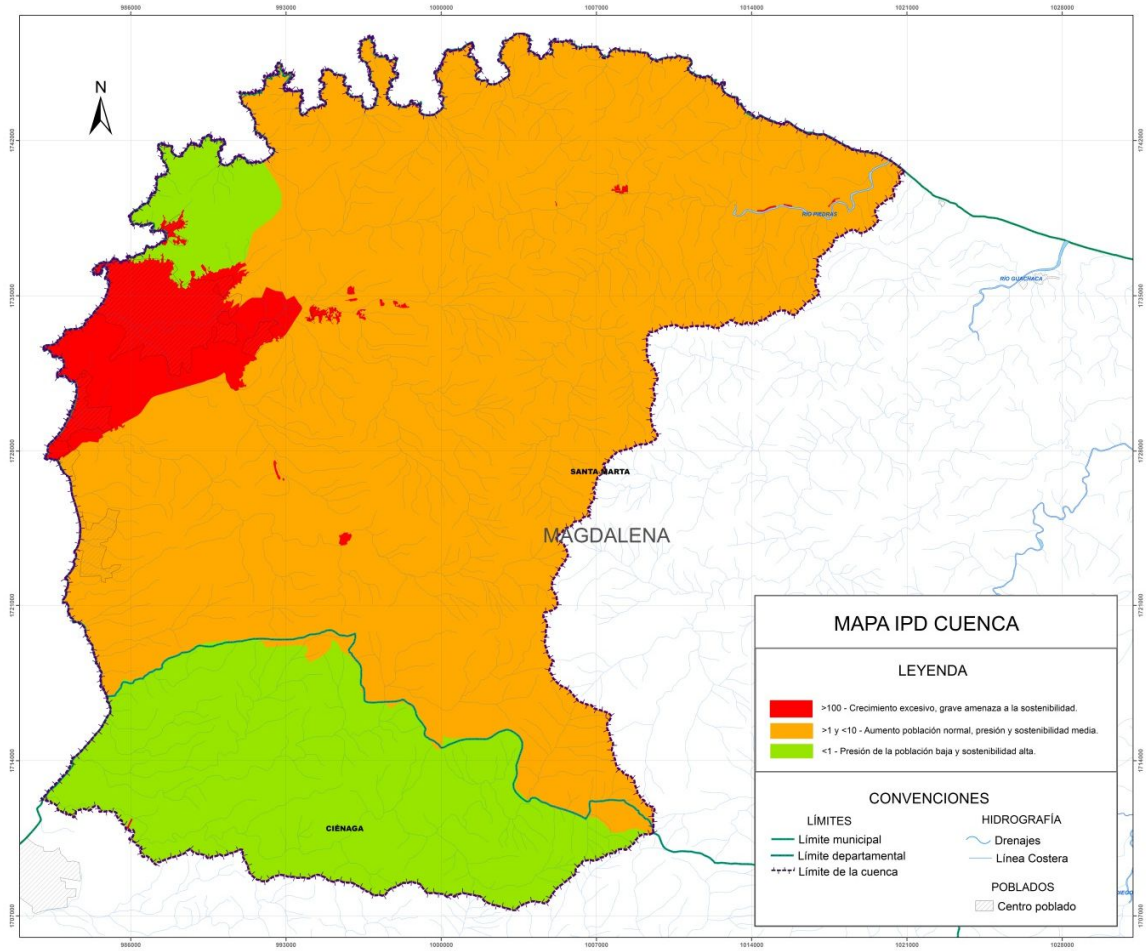


Figura 12.52. Mapa Índice de presión demográfica



12.6.5. Indice de ambiente crítico (IAC)

La mayor parte del área de la cuenca se encuentra en categoría III (49,59%), esto indica que es necesario establecer medidas urgentes de protección para garantizar su permanencia en el tiempo. El 32,07% se encuentra en categoría II, en estas áreas aunque aún se conserva una buena proporción de las áreas naturales, las cuales con un adecuado manejo se pueden conservar en el tiempo aunque requiere de medidas de recuperación. El 1,74% del área presenta un altísimo grado de intervención y se encuentra en las categorías IV y V, por lo que se hace difícil su recuperación. El 16,6% del área se encuentra relativamente intacto.

Tabla 12.35. Área por categoría de IAC en la cuenca

CATEGORÍA_IAC	DESCRIPTOR IAC	CALIFICACIÓN	ÁREA_IAC	%
I	Relativamente estable o relativamente intacto; conservado y sin amenazas inminentes.(calificación 20)	20	15405,25	16,60
II	Vulnerable, conservación aceptable y/o amenazas moderadas-. Sostenible en el mediano plazo, en especial con medidas de protección. (calificación 15)	15	29761,717	32,07
III	En peligro, baja conservación y/o presiones fuertes. Sostenibilidad con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años. (calificación 10)	10	46015,394	49,59
IV	crítico, conservación baja y presiones fuertes. Pocas probabilidades en los próximos 10 años.	5	1515,2622	1,63
V	Muy crítico (extinto) sostenibilidad improbable; transformación radical y presiones muy elevadas. (calificación 0)	0	101,8155	0,11
			92799,438	

Figura 12.53. Porcentaje área por categoría IAC

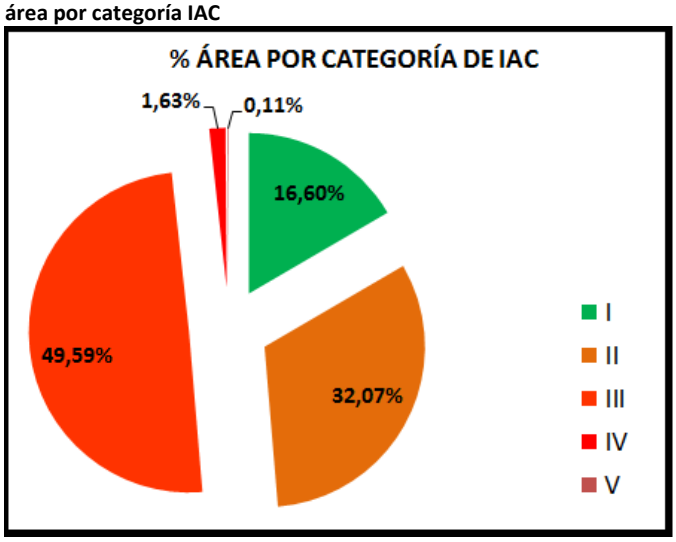
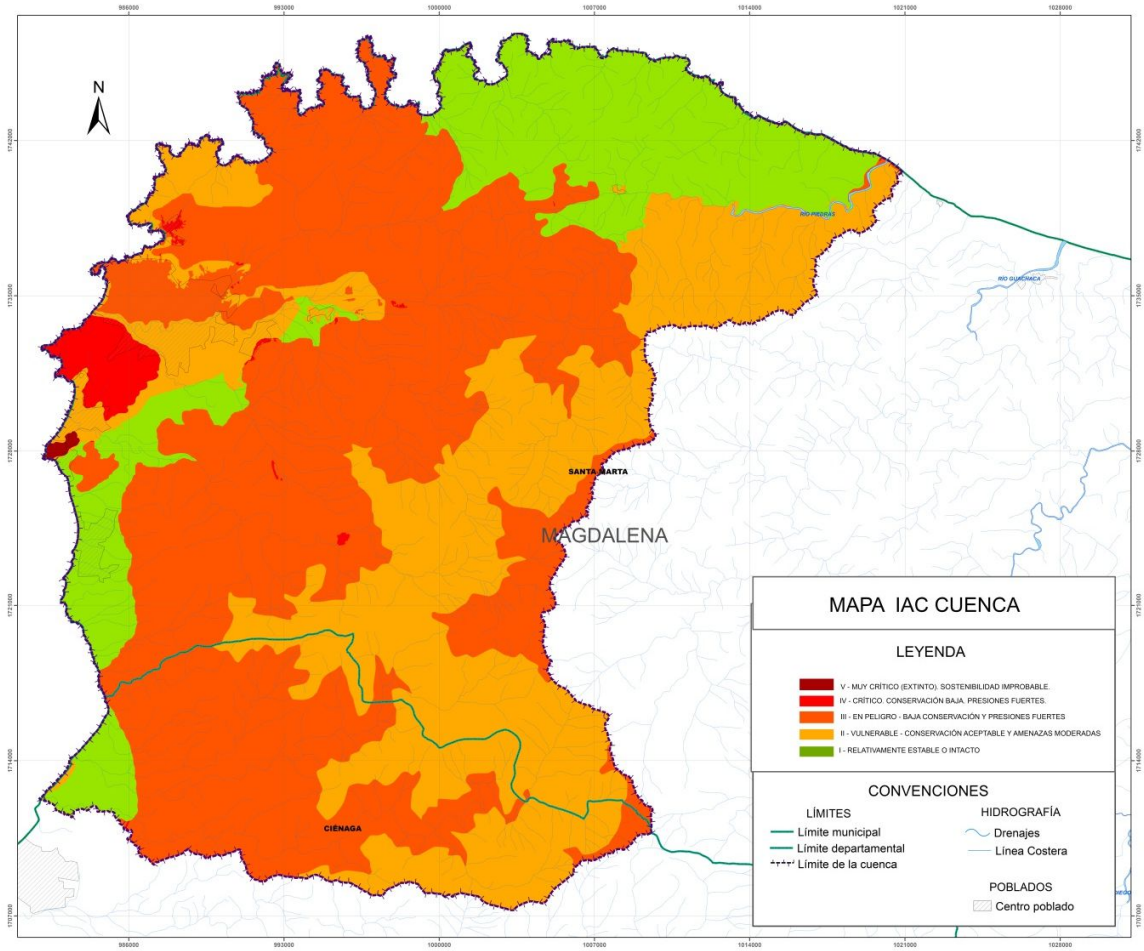


Figura 12.54. Mapa Índice de ambiente crítico



12.7. Conclusiones

- Se debe tener en cuenta que debido a las características de las coberturas en el área la contabilización de los cuerpos de agua lóticos (ríos y quebradas) no son fácilmente observables en la imagen, por lo que su cuantificación en la cuenca no se puede tomar como el valor absoluto, pues muchos de ellos se encuentran recorriendo el interior de los bosques y no son visibles en la imagen.

- La parte occidental de la cuenca presenta los mayores niveles de transformación y concentra a la mayor cantidad de población que habita el área.

- Se debe tener en cuenta que debido a las características de las coberturas en el área los cuerpos de agua lóticos (ríos y quebradas) no son fácilmente observables en la imagen, lo que hace difícil su cuantificación y el valor presentado en el mapa de coberturas no se puede tomar como el valor absoluto para esta cobertura, pues muchos de ellos se encuentran corriendo al interior de los bosques y no son visibles en la imagen.

- Es de anotar que debido a que no se cuenta con la información relacionada con todas las zonas de protección establecidas a nivel local y regional y no existe una categoría de diferenciación especial para las zonas naturales no incluidas en ninguna figura de conservación, la totalidad de las coberturas naturales (bosques, pantanos,herbazales,etc.) se incluyeron dentro de las áreas con uso de protección y restauración sin embargo cabría llevar a cabo este análisis para determinar el verdadero status de estas áreas, lo que permitiría a las autoridades ambientales realizar las acciones pertinentes para su conservación el tiempo, esto a nivel de recomendación.

- La parte occidental de la cuenca presenta los mayores niveles de transformación y concentra a la mayor cantidad de población que habita el área.

- Los factores de cambio que más influyeron en la cuenca durante el período de análisis fueron la urbanización, la ganancia de pastos y la desintensificación de la agricultura, esta última para el establecimiento de pastos, urbanización o simplemente descanso de tierras. Lo cual indica que la actividad antrópica sigue ampliando sus fronteras.

- Los indicadores de cambio resultantes del análisis multitemporal para el área de la cuenca ofrecen un panorama general de las dinámicas del uso del suelo y coadyuvan en la determinación de las presiones y amenazas a las coberturas naturales. Es importante tener en cuenta que el tipo de imágenes utilizadas en la elaboración de las capas para los períodos de análisis y la escala de trabajo influyen en los resultados obtenidos.

- Se recomienda que el proceso de análisis de dinámicas se lleve a cabo con información de coberturas a escalas más detalladas, para lo cual de hace necesaria la obtención de capas fuente con excelentes niveles de calidad cartográfica y temática para obtener unos resultados óptimos que reflejen la realidad del territorio de la cuenca. Esta Producción se debe llevar a cabo de forma periódica.

13. FLORA Y VEGETACIÓN

13.1. Generalidades

De acuerdo a los alcances técnicos propuestos para la presente consultoría en cuanto al desarrollo de lo establecido en la normatividad relativa a la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y de manera particular, la aplicación de la *Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS)* contenida en la Resolución 1907 del 2013 se hace necesario la elaboración del *Plan de Ordenación y Manejo para la Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)* en el departamento del Magdalena Figura 13.1.

Figura 13.1. Localización de Cuenca Río Piedras - Manzanares



Del mismo modo, el desarrollo del plan de ordenación para esta cuenca se sujetará y deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Título IV "*De los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*" del Decreto 1640 de 2012.

En general, la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)*, deberá comprender las siguientes fases:

1. Aprestamiento
2. Diagnóstico
3. Prospectiva y Zonificación Ambiental
4. Formulación

13.2. Objetivos Generales Y Específicos

Para efectos de la realización del diagnóstico de los aspectos bióticos dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)* se pretenden los objetivos indicados a continuación.

13.2.1. Objetivos Generales

- Realizar el diagnóstico del componente biótico dentro del área de la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)* lo cual involucra lo relativo a la flora y la fauna junto con los aspectos ecosistémicos
- Proveer información de apoyo a las fases de zonificación ambiental y formulación para que definan, diseñen, programen e implementen todas las acciones tendientes a la conservación, protección, recuperación y adecuado uso de los recursos bióticos dentro de la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)*

13.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la revisión de la información secundaría operacionalmente disponible sobre los temas de flora y fauna que pueda ser útil para el desarrollo del presente diagnóstico en la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares*
- Estructurar la estrategia logística más idónea para la realización de la toma de información primaria durante los trabajos de campo de acuerdo a los alcances técnicos, metodologías y programaciones interdisciplinarias establecidas en el presente proyecto
- Recopilar y obtener la mayor y mejor información primaria posible junto con consultas y trabajos con los residentes y comunidades de los sitios involucrados en los muestreos dentro de la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares*
- Procesar e interpretar adecuadamente la información primaria y secundaria obtenida para la presentación del diagnóstico de los aspectos bióticos en la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe*
- Proponer para la fase de zonificación ambiental y de formulación aquellas acciones necesarias para mantener la integralidad, conservación y adecuado uso de los recursos bióticos en la *Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares)*

13.3. Metodología Para Caracterización De La Flora Y Vegetación

Con base en las descripciones metodológicas del documento de referencia "*Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas* EER – TNC (2002)", se presentan a continuación las metodologías adaptadas y enriquecidas de dicho documento, de forma tal que permitieron el diagnóstico y caracterización de la flora y vegetación de la cuenca.

13.3.1. Fase metodológica levantamiento de información secundaria

Para tener un conocimiento básico general de las especies de la flora en la región, se usaron fuentes de información secundaria con registros de especies según localidades geográficas, regiones políticas y zonobiomas del (o los) Departamento(s) junto a datos de altura de la cuenca, tanto en listas abiertas en Colombia, artículos y publicaciones científicas, POTs, EOTs, base de datos del Instituto de Investigación Alexander Von Humboldt y del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia – ICN, como aquellas en el extranjero con colecciones de la zona.

Con base en toda la información secundaria básica se organizó y realizó el trabajo de campo (toma de información primaria) haciendo énfasis en aquellas especies potencialmente presentes en listados de la Resolución 192 de 2014 o aquella norma que la modifique, adicione o sustituya, la UICN, libros rojos, CITES, especies endémicas, vedadas, invasoras, raras o de importancia económica o cultural.

De otra parte, para la definición de las unidades de vegetación se utilizó por un lado los resultados generados por el Consorcio en cuanto a tipos de coberturas y/o vegetación siguiendo la metodología de *Corin Land Cover* dado que era una condición contractual implementarla para los temas de vegetación.

Una vez definidas nominal y cartográficamente las diversas coberturas vegetales presentes en la cuenca, de acuerdo a su presencia y dominancia espacial se listaron las unidades con su consecuente codificación para efectos de revisar su dispersión espacial para definir los sitios donde para cada una de las coberturas se harían los trabajos de campo a nivel de parcelas cuyo número estaba definido para cada cuenca.

Por ello, se trató que la ubicación y definición de las parcelas en la cuenca pudiera abarcar no solamente las coberturas más importantes sino en sitios representativos dentro de una facilidad y factibilidad logística de los trabajos de campo en la medida que igualmente había que considerar que las mismas parcelas y/o sitios serían usados para la realización del reconocimiento de los grupos de la macrofauna tal como lo solicitan los alcances técnicos.

A continuación se hace detalle del procedimiento utilizado para la selección, filtración y definición de las coberturas vegetales, rutas de trabajo y parcelas de muestreo en las cuencas bajo estudio.

13.3.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria

13.3.2.1. *Distribución espacial de sitios de muestreo (parcelas)*

Como ejemplo para la descripción de esta metodología y con base en lo establecido en los Alcances Técnicos para el *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares*, en los cuales se especificaba el uso de cincuenta y un (51) parcelas para caracterizar todo tipo de cobertura natural de la cuenca (bosques, vegetación herbácea, arbustiva y vegetación acuática), se procedió a determinar la distribución espacial de dichas parcelas mediante el siguiente protocolo:

A Determinación de las coberturas vegetales naturales

Usando el mapa de coberturas vegetales, elaborado por el consorcio elaborado bajo la metodología *Corine Land Cover*, se seleccionaron aquellas coberturas vegetales naturales presentes en las cuencas, las cuales incluyeron diversos tipos de vegetación desde bosques de tierra firme, vegetación secundaria, arbustales, herbazales hasta zonas pantanosas

B Cuantificación de las coberturas vegetales naturales

Una vez seleccionadas las coberturas vegetales naturales, se generó un listado con el total de dichas coberturas y se cuantificaron los polígonos de cada una de ellas, de forma tal que fuera posible diferenciar las más comunes por su abundancia de aquellas con mayor rareza

C Asignación del número de parcelas por cobertura vegetal

En una primera aproximación, el número total de parcelas se asignaron de forma equivalente al total de coberturas, tanto de tierra firme como de la vegetación acuática, para cumplir con el objetivo de caracterizar todo tipo de cobertura natural de la cuenca

D Validación de la asignación y distribución espacial de las parcelas

Haciendo uso de una imagen satelital de la cuenca, sobrepuesta con los polígonos de las coberturas vegetales, se procedió a ubicar espacialmente la cantidad asignada de parcelas para cada cobertura, cumpliendo un supuesto de distribución espacial homogénea, de forma que fuera en la medida de lo posible poder caracterizar toda la cuenca a lo largo y ancho de la misma pero dentro de posibilidades logísticas y de accesibilidad por razones de terrenos, seguridad y acompañamientos

E Ajuste al modelo de distribución

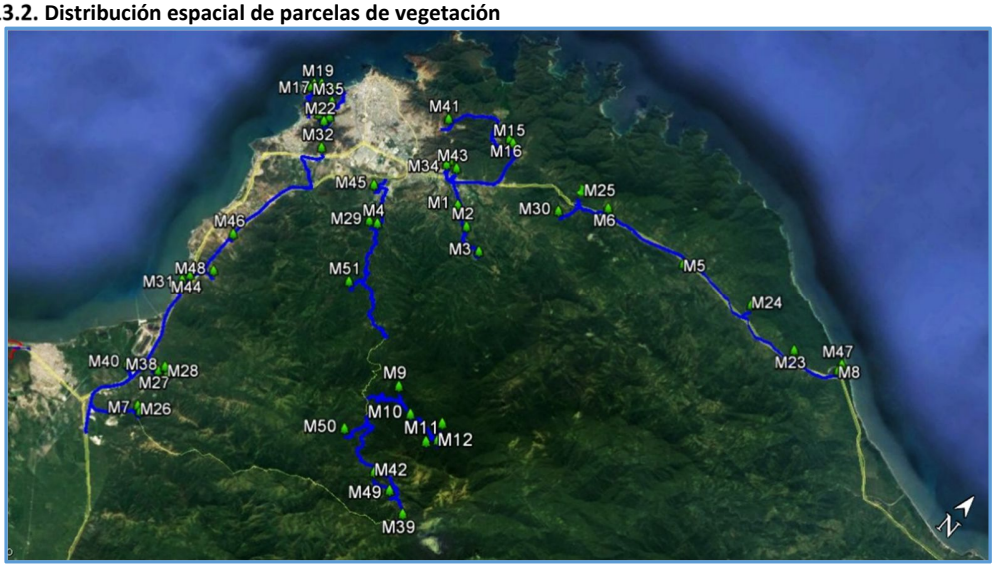
Con base a la rareza de algunas de las coberturas naturales de la cuenca, se consideró que entre menos abundantes fuesen los polígonos de alguna cobertura, menor cantidad de parcelas tendría, sumando las que se restaran de estas a aquellas con mayor abundancia de polígonos, de forma tal que pudiera capturase la mayor variabilidad florística que pudiese tener un tipo de cobertura abundante, dadas las diferencias altitudinales, geomorfológicas, de humedad o alteración antrópica que se pueden presentar en una escala espacial tan grande como lo es la unidad "*Cuenca*".

La ubicación de las parcelas obedeció igualmente a la facilidad de acceso a las mismas, según su cercanía a vías y centros poblados, todas consideraciones logísticas.

Como resultado del procedimiento anterior, en el ejemplo de la cuenca del complejo de humedales de la CGSM, se obtuvo la ubicación de las 36 parcelas sobre un total de doce coberturas vegetales naturales, que incluyen tanto vegetación de tierra firme como vegetación acuática, ubicándose estratégica y espacialmente con una distribución que abarcó la mayor área de la cuenca, en sitios

que facilitaron el acceso y el trabajo del levantamiento de información de las parcelas tal como lo muestra la Figura 13.2.

Figura 13.2. Distribución espacial de parcelas de vegetación



Posteriormente, para el desarrollo de la caracterización de la vegetación en cada tipo de coberturas se utilizaron las metodologías establecidas en los alcances técnicos para obtener los datos de acuerdo a los tipos de vegetación bien fuese terrestre o acuática, por ejemplo.

Finalmente, la información de campo obtenida fue revisada, procesada y analizada de acuerdo a los resultados que se esperaban en los alcances técnicos para este tema de la flora en las cuencas en cuestión y se contrastó con la información secundaria obtenida para magnificar los resultados de acuerdo a la escala y alcance de los trabajos realizados.

Adicionalmente, se usaron también como parte del trabajo de oficina todas las metodologías, indicadores y demás instrumentos de análisis y despliegamiento de la información textual, tabular y cartográfica.

13.3.2.2. *Muestreo para la vegetación de tierra firme*

La metodología propuesta para la vegetación terrestre se basa en una adaptación al documento de referencia "Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas EER – TNC (2002)", en la cual para la vegetación boscosa se propone el uso de transectos tipo Gentry, tomando datos de altura y DAP de los individuos encontrados al interior del transecto.

Sin embargo, con el fin de enriquecer dicha propuesta, la caracterización de esta comunidad se basó además en los criterios fisionómicos detallados por Rangel & Velásquez (1997), los cuales se fundamentan en la estructura vertical y horizontal de los componentes del bosque a través del levantamiento de datos de densidad, altura y DAP, tomando dicha información a través del Método

de los Cuadrantes Centrados en un Punto (PCQM) para caracterizar comunidades boscosas adaptado por Rudas (2009).

La metodología del transecto propuesta por Gentry (1988) en la cual en un área específica se toma medidas de densidad, altura y DAP, hace referencia a las simorfias, donde pueden distinguirse los estratos o partes de la comunidad con cierto rango de dominancia, según los enunciados de la fitosociología (Rangel & Velásquez, 1997). Por su fundamentación teórica y sencillez esta metodología ha sido ampliamente usada, sin embargo, para este trabajo se optó por el Método de los Cuadrantes Centrados en un Punto (PCQM) para caracterizar comunidades boscosas adaptado por Rudas (2009).

Este método es uno de los más usados dentro de aquellos basados en la distancia como fuente para determinar la densidad de especies en comunidades de plantas en ambientes boscosos. Con este método se obtiene la menor variabilidad en los resultados para la determinación de las distancias, proporciona más datos por punto de muestreo, es el menos susceptible a la parcialidad subjetiva y proporciona la estimación más exacta de la densidad (Rudas, 2009). Para su ejecución se siguió el siguiente protocolo:

- Se trazaron dos líneas perpendiculares de 50 m de largo cada una usando para ello una cuerda debidamente marcada en distancias. Con base en este diseño se cubre un área de 50 x 20 m (0,1 ha) por estación de muestreo, siendo esta el área mínima recomendada por Rangel & Velásquez (1997)
- Sobre cada línea se dispusieron puntos de muestreo cada 7 m. En cada punto de muestreo se divide el área alrededor en cuatro cuadrantes de 90 º
- En cada cuadrante se estableció el árbol y el arbolito (vivos) más cercanos al centro del cuadrante. Se identificó la especie (o morfotipo), se midió la distancia al punto central y se registró el diámetro –DAP- (o la circunferencia –C130–), altura y cobertura (%) de los cuatro árboles y los cuatro arbolitos más cercanos al centro del cuadrante. Para este ejercicio se consideraron árboles aquellos individuos con altura ≥ 12 m y arbolitos aquellos con alturas entre 5 y 12 m.

Los sitios en los cuales se realizaron los levantamientos o censos de la vegetación se seleccionaron con base en la homogeneidad fisionómica, procurando no incluir partes con marcados rastros de intervención humana, además de cubrir con el total de coberturas vegetales presentes en la presente cuenca, que para el caso en Río Piedras-Manzanares fue de 51 parcelas.

Adicional a los datos fisionómicos (densidad, altura y DAP), se identificaron áreas de interés y hábitats para las plantas, amenazas a la vegetación (antrópicas y naturales), usos por parte de las comunidades, especies introducidas, endémicas o en categorías de amenaza y demás información pertinente para la zonación de las comunidades vegetales y formulación del Pomca junto con temas relacionados con fauna.

13.3.2.3. *Análisis de la Información para la Flora*

Para obtener resultados del análisis estructural y fisionómico de la vegetación así como de su composición florística, se realizaron las respectivas determinaciones taxonómicas, definición de unidades de vegetación en base a la dominancia (por cobertura % o área basal según aplica para herbazales o arboles), zonación de las comunidades, determinación de los valores absolutos y relativos para la densidad, la dominancia y la frecuencia, junto con el valor de la importancia para cada especie IVI (según aplicó para arboles usando las ecuaciones propuestas por Rudas, 2009):

- **Densidad absoluta (DEN)** individuos /m^2 = 1/ **$(DPROM)^2$** (1)
- **Densidad absoluta por especie (DENSP)** = (cuadrantes con la especie ÷ 4n) × DEN (2)
- **Densidad relativa por especie (RELDENSP)** = (DESNSP ÷ DEN) × 100 (3)
- **Dominancia relativa por especie (RELDOMSP)** = (DOMSP ÷ DOMTOT) × 100 (4)
- **Frecuencia absoluta por especie (FREQSP)** (5)
  = (ptos. En que la sp. Ocurre ÷ total de ptos. Muestreados) × 100
- **Frecuencia relativa por especie (RELFREQSP)** = (FREQSP ÷∑FREQSP) × 100 (6)
- **Valor de importancia por especie (IV)**
  = RELDENSP (3) + RELDOMSP (4) + RELFREQSP (6) (7)

13.4. Área De Estudio

13.4.1. Río Piedras – Manzanares

Esta cuenca de Río Piedras – Manzanares está ubicada sobre el flanco norte y occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta abracando formaciones vegetales que van desde las zonas planas y de lomeríos de la ciudad de Santa Marta, hasta altitudes de 2500 msnm sobre la propia serranía.

La singularidad de la flora de la Sierra Nevada ha sido destacada desde las primeras exploraciones botánicas realizadas; varios autores como Campbell (1989) y Dinerstein et al. (1995) plantean que la Sierra es una de las áreas prioritarias en Suramérica para la realización de inventarios botánicos mientras Phillis & Raven (1997) resaltan la importancia de esta región como un área potencial para el estudio y monitoreo de la biodiversidad en el Neotrópico.

Para esta cuenca ubicada en la Sierra Nevada de Santa Marta se registra un mosaico de formaciones vegetales que incluyen, entre otros, herbazales desérticos, matorrales espinosos, bosques secos caducifolios, bosques secos semi-húmedos, bosques húmedos y bosques muy húmedos.

Dichas formaciones se caracterizaron en un total de doce (12) coberturas vegetales naturales de tierra firme mediante 51 parcelas (Tabla 13.1).

Tabla 13.1. Ubicación parcelas caracterización flora y fauna Río Piedras-Manzanares

Cobertura vegetal	Nombre Parcela	Coordenadas Geográficas Magna-Sirgas
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	PPM 1	N11 16.747 W74 00.117
	PPM 2	N11 16.498 W74 03.361
	PPM 3	N11 01.185 W74 11.301
	PPM 4	N11 17.392 W73 53.605
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	PPM 5	N11 04.890 W74 03.735
	PPM 6	N11 17.631 W73 53.642
	PPM 7	N11 06.316 W74 12.353
	PPM 8	N11 04.785 W74 02.990
	PPM 9	N11 05.280 W74 05.389
	PPM 10	N11 09.007 W74 08.506
Bosque de galería y ripario	PPM 11	N11 13.371 W74 07.375
	PPM 12	N11 12.989 W74 06.660
	PPM 13	N11 12.605 W74 05.779
	PPM 14	N11 11.128 W74 09.081
Vegetación secundaria alta	PPM 15	N11 04.495 W74 02.181
	PPM 16	N11 02.003 W74 12.540
	PPM 17	N11 15.424 W74 09.552
Vegetación secundaria baja	PPM 18	N11 14.293 W74 08.226
	PPM 19	N11 05.678 W74 12.893
	PPM 20	N11 12.060 W74 10.044
	PPM 21	N11 07.709 W74 12.615
Bosque denso alto de tierra firme	PPM 22	N11 07.476 W74 04.921
	PPM 23	N11 07.083 W74 04.081
	PPM 24	N11 06.800 W74 03.190
	PPM 25	N11 07.068 W74 02.931
	PPM 26	N11 07.527 W74 03.132
Bosque denso bajo de tierra firme	PPM 27	N11 12.629 W74 12.827
	PPM 28	N11 16.927 W73 55.263
	PPM 29	N11 17.116 W73 57.446
	PPM 30	N11 16.299 W74 04.486
	PPM 31	N11 01.095 W74 11.108
Bosque abierto bajo de tierra firme	PPM 32	N11 13.401 W74 13.938
	PPM 33	N11 16.182 W74 07.290
	PPM 34	N11 16.224 W74 07.475
	PPM 35	N11 13.317 W74 13.710
Arbustal denso	PPM 36	N11 02.523 W74 11.552
	PPM 37	N11 02.659 W74 11.242

Cobertura vegetal	Nombre Parcela	Coordenadas Geográficas Magna-Sirgas
	PPM 38	N11 11.020 W74 09.350
	PPM 39	N11 15.352 W74 04.596
Arbustal abierto esclerófilo	PPM 40	N11 12.864 W74 12.771
	PPM 41	N11 13.566 W74 13.742
	PPM 42	N11 13.707 W74 13.336
	PPM 43	N11 13.659 W74 13.384
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	PPM 44	N11 05.380 W74 12.988
	PPM 45	N11 11.884 W74 12.290
	PPM 46	N11 12.693 W74 13.135
	PPM 47	N11 14.180 W74 08.580
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	PPM 48	N11 13.314 W74 13.052
	PPM 49	N11 14.339 W74 08.568
	PPM 50	N11 13.223 W74 13.998
	PPM 51	N11 02.787 W74 11.443

Fuente: Grupo Consultor, 2016.

13.5. Análisis Estructural, Fisionómico Y Composición Florística

13.5.1. Información secundaria flora

Rangel (2012) en su compilación para la vegetación de la Región Caribe y enfocado al área de estudio de esta cuenca, plantea que la Sierra Nevada de Santa Marta es una de las áreas prioritarias en Suramérica para la realización de inventarios botánicos; Phillis & Raven (1997), resaltan la importancia de esta región como un área potencial para el estudio y monitoreo de la biodiversidad en el Neotrópico.

Respecto a la diversidad por regiones, en la cual esta cuenca se presenta inmersa en la Sierra Nevada de Santa Marta, se describe que las familias más diversas son Poaceae (con 205 especies), Asteraceae (163), Fabaceae (70), Melastomataceae (68), Rubiaceae (56), Bromeliaceae (49) y Euphorbiaceae (47). A nivel de género los más diversificados son Miconia (28), Solanum (24), Tillandsia (22), Piper (16), Ficus y Passiflora (14 cada una) y Diplostephium (13 especies).

De forma más específica, en la compilación de Rangel (2012), se destaca la vegetación del sector noroccidental de la presente cuenca, la cual abarca los bosques secos que se distribuyen sobre el Caribe a lo largo de la marguen de la costa y limitan con el mar.

En cuanto a su fisionomía, la vegetación del orden incluye bosques espinosos con elementos hasta de 7 m de altura, matorrales espinosos, cardonales, matorrales-cardonales y herbazales-matorrales.

Entre las especies características además de la de las alianzas, figuran: *Melochia tomentosa, Lippia origanoides, Pereskia guamacho, Stenocereus griseus, Diphysa carthagenensis, Opuntia caracasana, Ayenia magna, Ipomea incarnata, Varronia globosa, Matelea cumanensis, Cnidoscolus tubulosus,*

Cissus trifoliatata, Doyerea emetocathartica, Pseudobombax septenatum, Bursera graveolens y *Cynophalla linearis*.

Igualmente, algunos sectores de esta área incluyen vegetación de bosques bajos con elementos espinosos y bosques bajos secos con alto porcentaje de especies con follaje caedizo.

- Hay un estrato sub-arbóreo con un 45% de cobertura dominado por *Gyrocarpus americanus* con 16% de cobertura, *Bursera graveolens* (17%) y *Pereskia guamacho* (7%).
- En el estrato arbustivo con una cobertura promedio de 80% dominan *Coursetia caribaea, Platymiscium pinnatum, Senna sophera* y *Melochia tomentosa*.
- En el estrato herbáceo bastante pobre (8% de cobertura) dominan *Ayenia magna* (3% de cobertura), *Opuntia caracasana* (1%) y *Talinum triangulare* (1%).

Las zonas con cardonal-matorral presentan elementos que alcanzan la siguiente estructura:

- El estrato sub-arbóreo con 13% de cobertura dominado por *Stenocereus griseus* (7% de cobertura), *Pereskia guamacho* (3%) y *Subpilocereus repandus* (3%).
- En el estrato arbustivo con 57% de cobertura dominan Mimosa arenosa con 30% de cobertura, *Lippia origanoides* (5%) y *Diphysa carthagenensis* (5%).
- En el estrato herbáceo con 13% de cobertura dominan *Ayenia magna, Opuntia caracasana, Pedilanthus tithymaloides* y *Cnidoscolus tubulosus*.

Por su parte, para la vegetación de los bosques húmedos propios de la Sierra, Rangel (2012) reporta también para la Región tropical entre los 500 y 1000 m, una *vegetación selvática* con elementos hasta de 35 m de altura.

- En el estrato arbóreo (80% de cobertura), las especies dominantes son *Virola sebifera, Cedrela mexicana, Ficus macrosyce* y *Guarea guidonia*.
- En el estrato de arbolitos dominan *Zygia longifolia, Cyathea pungens, Conostegia icosandra* En el arbustivo *Psychotria limonensis, Costus pulverulentus* y *Palicourea crocea* pero también hay un *Palmar mixto* con elementos que alcanzan 35 m de altura.
- En el estrato arbóreo con cobertura del 85% dominan *Dictyocaryum lamarckianum, Virola sebifera, Guarea guidonia* y *Weinmannia pinnata*
- En el estrato de arbolitos dominan *Zygia longifolia, Cyathea pungens* y *Palicourea crocea*
- En el arbustivo *Costus pulverulentus* y *Miconia biappendiculata*.

Finalmente, la *vegetación boscosa* posee elementos que alcanzan 25 m de altura y posee:

- Un estrato arbóreo diferenciado con 75% de cobertura dominado por *Persea americana*, *Virola sebifera* y *Guarea guidonia*
- En el estrato de arbolitos dominan *Cyathea pungens, Poulsenia armata*
- En el arbustivo *Diplazium grandifolium, Cyclanthus sp* y *Calathea insignis*.

Para la vegetación de la Región subandina que incluye a la vegetación que se establece entre 1150 y 2500 m aproximadamente, el estrato arbóreo alcanza hasta 35 m en la franja inferior de la zona y hasta 20-25 m en la franja superior.

Entre las especies características se encuentran a *Gustavia speciosa, Sloanea sp., Geonoma sp., Chamaedorea pinnatifrons* y *Dictyocaryum lamarckianum*, así como bosques con elementos hasta de 25 m de altura. Entre las especies características figuran *Graffenrieda santamartensis, Faramea santamartensis, Lozania mutisiana, Cyathea divergens* y *Securidacca sp.*

Otras áreas como la Región Andina y la vegetación paramuna de la Sierra no se consideran en esta contribución en el marco de la ventana cartográfica de la presente cuenca Río Piedras-Manzanares.

13.5.2. Información Primaria flora

Los levantamientos de la vegetación de bosques, arbustales y herbazales sobre las doce (12) coberturas vegetales caracterizadas para la cuenca Río Piedras - Manzanares dieron como resultado un total de 71 especies, que se agrupan en 33 familias y 23 órdenes taxonómicos (ANEXO VEGETACIÓN Y FLORA).

De dichos ordenes, Fabales se presentó como el de mayor riqueza al agrupar el 22,5% de las especies (16 especies), seguido por Sapindales con el 15,4% de la riqueza (11 especies) y por Malpighiales con el 8,4% (6 especies), mientras que los demás órdenes agruparon menos del 7% de la riqueza con seis a una especies.

Para las familias taxonómicas, Fabaceae presentó la mayor riqueza con el 25,3% (18 especies), seguida por Malvaceae con el 7,04% de la riqueza (5 especies) y por Anacardiaceae con el 5,6%, las familias restantes presentan una acumulación de la riqueza por debajo del 4% lo que consiste en agrupar entre cuatro y una especie.

Esta composición tanto para los órdenes como para las familias se presentó congruente con lo presentado por Rangel *et. al.,* (2012) para la vegetación de la Región Caribe y se asocia principalmente con las formaciones vegetales de los bosques secos y húmedos de la Sierra Nevada de Santa Marta.

A nivel de cuenca se reportaron tres (3) especies incluidas en categorías de amenaza, con dos *En Peligro (EN)* y una en *Peligro Crítico (CR)* a nivel nacional e internacional en las coberturas de Bosque Denso Bajo de Tierra Firme, Bosque Fragmentado con Vegetación Secundaria (Tabla 13.2).

.

Tabla 13.2. Especies de flora en Cuenca Río Piedras - Manzanares con amenazas

Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192 / 2014	CITES
Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*	EN	EN	No incluida
Chrysobalanaceae	*Parinari pachyphylla*	EN	EN	No incluida
Meliaceae	*Swietenia macrophylla*	CR	CR	No incluida

Fuente: Grupo consultor, 2016

13.5.3. Caracterización Vegetación Tierra Firme: Bosques naturales y vegetación secundaria

13.5.3.1. *Bosque fragmentado con pastos y cultivos*

- Composición florística y Estructura

Se reportan 19 especies, donde el dosel superior llega hasta los 15 m, sin estratos arbustivos y con un suelo cubierto de pastos introducidos para la ganadería (Figura 13.3).

Figura 13.3. Bosque fragmentado con pastos y cultivos



La vegetación arbórea tiene un cubrimiento del 50% y especies propias de áreas abiertas donde se mezclan elementos de la regeneración seccional como *Cecropia peltata*, así como especies de interés agronómico como *Gliricidia sepium* (mataratón), *Spondias mombin* (jobo) o *Cocos nucifera* (coco) (Tabla 13.3).

Tabla 13.3. Especies del bosque fragmentado con pastos y cultivos

Orden	Familia	Especie
Arecales	Arecaceae	*Cocos nucifera*
Fabales	Fabaceae	*Crudia aequalis*
Fabales	Fabaceae	*Enterolobium cyclocarpum*
Fabales	Fabaceae	*Gliricidia sepium*
Fabales	Fabaceae	*Phaseolus vulgaris*
Gentianales	Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*
Malpighiales	Chrysobalanaceae	*Parinari pachyphylla*
Malpighiales	Euphorbiaceae	*Ricinus communis*
Malpighiales	Hypericaceae	*Vismia sp*
Malvales	Malvaceae	*Ochroma pyramidale*
Malvales	Malvaceae	*Sterculia apetala*
Pandanales	Cyclanthaceae	*Carludovica palmata*
Rosales	Urticaceae	*Cecropia peltata*
Rosales	Moraceae	*Ficus maxima*
Rosales	Urticaceae	*Sterculia apetala*
Sapindales	Anacardiaceae	*Anacardium excelsum*
Sapindales	Burseraceae	*Bursera simaruba*
Sapindales	Sapindaceae	*Paullinia fuscescens*
Sapindales	Anacardiaceae	*Spondias mombin*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0.1 has fueron *Cecropia peltata* con 7,5 individuos, *Spondias mombin* con 3,8 individuos y *Phaseolus vulgaris* con 1,5 individuos.

Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Sterculia apetala* con el 26,7% de los individuos con mayor CAP, seguida por *Spondias mombin* con el 17,4%, mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Cecropia peltata* con el 21,3% de los individuos, seguida por *Spondias mombin* con el 17,3% y por Bursera simaruba con el 6,6%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Cecropia peltata* (21%), *Spondias mombin* (17,6%) y *Sterculia apetala* (13,4%). De estas se destacan las dos últimas por sus usos ya sea como alimento para el ganado o para la gente (Jobo), cercas vivas, medicinales, maderables y

artesanales, razones por las cuales son árboles que no son aprovechados forestalmente en los pastizales.

13.5.3.2. *Bosque fragmentado con vegetación secundaria*

- Composición florística y Estructura

Se reportan 21 especies, agrupadas en 15 familias y siete órdenes, donde el dosel superior llega hasta los 25 metros, con un estrato arbustivo de hasta 5 metros y con un suelo mezclado entre hojarasca y zonas abiertas de pastizal.

Figura 13.4. Bosque fragmentado con vegetación secundaria



La vegetación arbórea tiene un cubrimiento del 70% y donde las especies son elementos boscosos de gran porte como el samán (*Samanea saman*) o el balso (*Ochroma pyramidale*) de gran valor como maderables.

En esta cobertura se presentan las tres especies mencionadas por estar incluidas en alguna de las categorías de amenaza, siendo las tres maderables de gran calidad (caracoli (*Anacardium excelsum*), palo rosa (*Aspidosperma polyneuron*) y caoba (*Swietenia macrophylla*)) (Figura 13.4).

Tabla 13.4. Especies del bosque fragmentado con vegetación secundaria

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192 / 2014
Caryophyllales	Caryophyllales	*Triplaris sp*		
Fabales	Fabaceae	*Crudia aequalis*		
Fabales	Fabaceae	*Enterolobium cyclocarpum*		
Fabales	Fabaceae	*Erythrina fusca*		
Fabales	Fabaceae	*Phaseolus vulgaris*		

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192 / 2014
Gentianales	Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*	EN	EN
Malpighiales	Malpighiaceae	*Malpighia glabra*		
Malpighiales	Chrysobalanaceae	*Parinari pachyphylla*		
Malpighiales	Euphorbiaceae	*Ricinus communis*		
Malpighiales	Hypericaceae	*Vismia sp*		
Malvales	Malvaceae	*Ochroma pyramidale*		
Malvales	Malvaceae	*Sterculia apetala*		
Rosales	Urticaceae	*Cecropia peltata*		
Rosales	Moraceae	*Ficus maxima*		
Rosales	Urticaceae	*Urera baccifera*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Anacardium excelsum*	EN	EN
Sapindales	Burseraceae	*Bursera simaruba*		
Sapindales	Sapindaceae	*Melicoccus bijugatus*		
Sapindales	Sapindaceae	*Paullinia fuscescens*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Spondias mombin*		
Sapindales	Meliaceae	*Swietenia macrophylla*	CR	CR

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Spondias mombin* con 25 individuos seguida por *Ficus maxima* con 11,9 y por *Erythrina fusca* con 7,1 individuos. Para la misma área, la mayor dominancia relativa la presenta *Spondias mombin* con el 18,3% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Anacardium excelsum* con el 17,8% y por *Ficus máxima* con el 17,1% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Spondias mombin* con el 14% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Ficus máxima* con el 10% y por *Vismia sp* con el 8,5%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Spondias mombin* (19%), *Ficus maxima* (13%) y *Anacardium excelsum* (9,6%). Dichas especies son representantes típicos de los bosques secos del Caribe con presencia de zonas pantanosas o inundables, así como de bosques secos de los alrededores de las ciénagas.

Se destacan el caracolí (*Anacardium excelsum*) por sus usos no solo como maderable, sino como ornamental y para sombrío, razón por la cual para esta cobertura su IVI se relaciona con el mantenimiento que hacen las comunidades de esta especie en espacios naturales muy entresacados e intervenidos.

13.5.3.3. *Bosque de galería y/o ripario*

- Composición florística y Estructura

Se reportan 22 especies, agrupadas en 14 familias y siete órdenes. Los bosques riparios alcanzan hasta 25 m creciendo sobre las terrazas aluviales en áreas inundables con un cubrimiento del 90% (Figura 13.5).

Figura 13.5. Bosque ripario, alrededores de quebradas



Hacia las partes planas y más secas del pie de monte de la Sierra Nevada, la estructura del bosque es más achaparrado y con elementos típicos de bosques secos, pero a medida que suben por la Sierra los bosques se hacen más húmedos y con elementos típicos de bosques de la zona tropical donde se destaca la presencia de dos especies en categorías de amenaza, como son caracolí (*Anacardium excelsum*) y Caoba (*Swietenia macrophylla*) (Tabla 13.5).

Tabla 13.5. Especies del bosque de galería y/o ripario

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192/ 2014
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia alba*		
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia dentata*		
Fabales	Fabaceae	*Crudia aequalis*		
Fabales	Fabaceae	*Enterolobium cyclocarpum*		
Fabales	Fabaceae	*Erythrina fusca*		
Fabales	Fabaceae	*Gliricidia sepium*		
Fabales	Fabaceae	*Phaseolus vulgaris*		
Malpighiales	Malpighiaceae	*Malpighia glabra*		

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192/ 2014
Malpighiales	Chrysobalanaceae	*Parinari pachyphylla*		
Malpighiales	Euphorbiaceae	*Ricinus communis*		
Malpighiales	Hypericaceae	*Vismia sp*		
Malvales	Malvaceae	*Gossypium barbadense*		
Malvales	Malvaceae	*Sterculia apetala*		
Myrtales	Combretaceae	*Terminalia catappa*		
Rosales	Moraceae	*Ficus maxima*		
Rosales	Urticaceae	*Urera baccifera*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Anacardium excelsum*	EN	EN
Sapindales	Burseraceae	*Bursera simaruba*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Mangifera indica*		
Sapindales	Sapindaceae	*Paullinia fuscescens*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Spondias mombin*		
Sapindales	Meliaceae	*Swietenia macrophylla*	CR	CR

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Anacardium excelsum* con 13,4 individuos seguida por *Ficus maxima* y *Erythrina fusca*, ambas con 8,9 individuos.

Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Anacardium excelsum* con el 41% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Ficus maxima* con el 2% y por *Enterolobium cyclocarpum* con el 6,6%, mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Anacardium excelsum* con el 13% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Cordia dentata* con el 8,4% y por *Ficus maxima* con el 6,3%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Anacardium excelsum* (22,7%), *Ficus maxima* (12,2%) y *Spondias mombin* (6%). El mayor IVI presentado por la especie en categoría de amenaza: *Anacardium excelsum*, lo cual es causado por encontrar en dos de las cuatro parcelas con las que se caracterizaron esta cobertura. Algunos pobladores tienen iniciativas propias de reforestación con esta especie, la cual consideran de importancia para la protección de las cuencas.

13.5.3.4. *Bosque denso alto de tierra firme*

- Composición florística y Estructura

Se reportan ocho especies, agrupadas en ocho familias y ocho órdenes. Es una vegetación boscosa propia de las zonas tropicales con altas precipitaciones de la Sierra Nevada, ubicada en alturas que van desde los 500 a los 1000 msnm (Figura 13.6).

Figura 13.6. Bosque denso alto de tierra firme



La estructura muestra un dosel de hasta 30 m y con coberturas hasta del 100% donde se destaca el alto grado de conservación de este tipo de cobertura en esta cuenca, así como la dificultad para acceder a las mismas, en especial en el sector de Minca y de la Cuchilla de San Lorenzo (Tabla 13.6).

Tabla 13.6. Especies del bosque denso alto de tierra firme

Orden	Familia	Especie
Arecales	Arecaceae	*Dictyocaryum lamarckianum*
Ericales	Sapotaceae	*Chrysophyllum auratum*
Fabales	Fabaceae	*Zygia longifolia*
Magnoliales	Myristicaceae	*Virola sebifera*
Myrtales	Melastomataceae	*Miconia biappendiculata*
Rosales	Moraceae	*Ficus macrosyce*
Rubiales	Rubiaceae	*Palicourea crocea*
Sapindales	Meliaceae	*Guarea guidonia*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Guarea guidonia* con 22,9 individuos, seguida por *Chrysophyllum auratum* con 21,4 y *Virola sebifera* con 17,1 individuos.

Para la misma área de muestreo, la mayor dominancia relativa la presenta *Guarea guidonia* con el 23,4% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Chrysophyllum auratum* con el 18,6% y por *Virola sebifera* con el 17,3%, mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Guarea guidonia* con el 22% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Chrysophyllum auratum* con el 20,4% y por *Miconia biappendiculata* con el 16,4%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Guarea guidonia* (22,8%), *Chrysophyllum auratum* (12,2%) y *Virola sebifera* (16,7%).

Estas especies se reportan por Rangel *et al.* (2012) como propias de esos bosque húmedos donde la cobertura se presenta como una de las más abundantes en la cuenca de Manzanares y da el carácter de gran conservación, lo cual se asocia principalmente al hecho de la presencia del PNN Sierra Nevada de Santa Marta.

13.5.3.5. *Bosque denso bajo de tierra firme*

- Composición florística y Estructura

Se reportan 16 especies, agrupadas en doce familias y diez órdenes, donde se aprecian dos tipos de bosque densos bajos; el primero corresponde con bosques de hasta 20 m creciendo en zonas húmedas principalmente del pie de monte de la Sierra Nevada de Santa Marta donde los elementos típicos son especies como *Bursera simaruba, Tabebuia sp, Ceiba pentandra* y *Astronium graveolens* (Figura 13.7).

El segundo tipo de bosque corresponde a los denominados bosques secos espinosos ubicados en el sector sur del PNN Tayrona con alturas de hasta 8 m con especies dominantes como *Pereskia guamacho, Haematoxylum brasiletto, Gyrocarpus americanus, Senna atomaria* y la especie en categoría de amenaza *Aspidosperma polyneuron*.

Estos bosques se apreciaron bien conservados en todas las localidades visitadas, principalmente en aquellas con influencia de los parques nacionales naturales Tayrona y Sierra Nevada de Santa Marta (Tabla 13.7).

Figura 13.7. Bosque denso bajo de tierra firme



Tabla 13.7. Especies del bosque denso bajo de tierra firme

Orden	Familia	Especie	IUCN	Res. 192/ 2014
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia alliodora*		
Caryophyllales	Cactaceae	*Pereskia guamacho*		
Fabales	Fabaceae	*Haematoxylum brasiletto*		
Fabales	Fabaceae	*Pterocarpus acapulcensis*		
Fabales	Fabaceae	*Senna atomaria*		
Fabales	Fabaceae	*Trifolium sp*		
Gentianales	Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*	EN	EN
Gentianales	Apocynaceae	*Plumeria alba*		
Lamiales	Bignoniaceae	*Tabebuia sp*		
Laurales	Hernandiaceae	*Gyrocarpus americanus*		
Malpighiales	Euphorbiaceae	*Manihot carthaginensis*		
Malvales	Malvaceae	*Ceiba pentandra*		
Myrtales	Myrtaceae	*Psidium guajava*		
Sapindales	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*		
Sapindales	Burseraceae	*Bursera simaruba*		
Sapindales	Sapindaceae	*Melicoccus oliviformis*		

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

En cuanto a densidad, las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Haematoxylum brasiletto* con 22,9 individuos, seguida por *Astronium graveolens* con 15,7 y por *Cordia alliodora* con 12,9.

Para la misma área muestreada, la mayor dominancia relativa la presenta *Ceiba pentandra* con el 43,3% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Astronium graveolens* con el 10,8% y por *Bursera simaruba* con el 10,3% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Haematoxylum brasiletto* con el 18,6% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Astronium graveolens* con el 15,8% y por *Cordia alliodora* con el 12,1%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Ceiba pentandra* (20,4%), *Haematoxylum brasiletto* (16,2%) y *Astronium graveolens* (14,1%).

De estas especies, el Urunday (*Astronium graveolens*) es muy apreciado como maderable y está considerada una de las mejores maderas de América del Sur al poseer una coloración castaño-rojiza y una superficie lisa, agradable al tacto y de poco brillo, es también muy pesada y dura por lo que

se usa en acabados de interior y en la construcción naval y civil, en exteriores como postes, cubiertas y durmientes, en la confección de muebles de lujo, torneados y carrocerías.

Por su parte, el palo Brasil (*Haematoxylum brasiletto*) presenta diversas propiedades en la farmacología.

13.5.3.6. *Bosque abierto bajo de tierra firme*

- Composición florística y Estructura

En este bosque abierto bajo de tierra firme se reportan nueve especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes. Son bosques bajos con dosel de hasta 12 m, caracterizados por corresponder con bosques secos espinosos-cardonales propios de las colinas del PNN Tayrona y en un buen estado de conservación (Tabla 13.8) (Figura 13.8).

Figura 13.8. Bosque abierto bajo de tierra firme

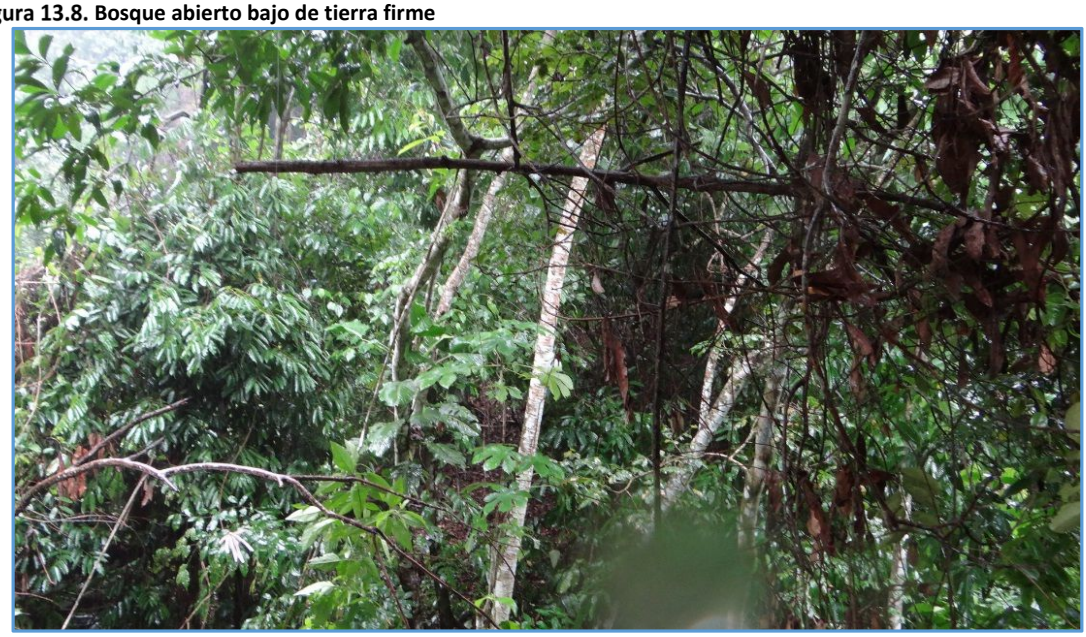


Tabla 13.8. Especies del bosque abierto bajo de tierra firme

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Cactaceae	Pereskia guamacho
Fabacea	Fabaceae	Coursetia caribaea
Fabacea	Fabaceae	Platymiscium pinnatum
Fabales	Fabaceae	Senna sophera
Laurales	Hernandiaceae	Gyrocarpus americanus
Malpighiales	Euphorbiaceae	Croton niveus

Orden	Familia	Especie
Malpighiales	Euphorbiaceae	Manihot carthaginensis
Rubiales	Rubiaceae	Randia obcordata
Sapindales	Burseraceae	Bursera graveolens

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Gyrocarpus americanus* con 32,1 individuos, seguida por *Pereskia guamacho* con 17,9 y por *Bursera graveolens* con 14,3 individuos.

Para la misma área, la mayor dominancia relativa la presenta *Gyrocarpus americanus* con el 30,5% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Pereskia guamacho* con el 18,6% y por *Bursera graveolens* con el 16,5% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Gyrocarpus americanus* con el 23,2% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Pereskia guamacho* con el 18,6% y por *Bursera graveolens* con el 15,1%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Gyrocarpus americanus* (28,6%), *Pereskia guamacho* (18,4%) y *Bursera graveolens* (15,3%), todas especies características de bosques secos espinosos.

13.5.3.7. *Vegetación secundaria alta*

- Composición florística y Estructura

Se reportan ocho especies, agrupadas en cinco familias y cinco órdenes. La estructura de esta vegetación secundaria alta muestra un dosel de hasta 8 m con una mezcla de elementos de bosques seco espinoso, bosques húmedos tropicales y especies frutales plantadas (Tabla 13.9) (Figura 13.9).

Tabla 13.9. Especies de la vegetación secundaria alta

Orden	Familia	Especie
Brassicales	Capparaceae	*Quadrella odoratissima*
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus hexagonus*
Caryophyllales	Cactaceae	*Pereskia guamacho*
Fabales	Fabaceae	*Acacia macracantha*
Fabales	Fabaceae	*Albizia niopoides*
Fabales	Fabaceae	*Trifolium sp*
Malvales	Malvaceae	*Ceiba pentandra*
Myrtales	Myrtaceae	*Psidium guajava*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Figura 13.9. Vegetación secundaria alta



- Cobertura

La caracterización para coberturas muy abiertas y de bajo porte en un área de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta el guamacho (*Pereskia guamacho*) con el 29,4% de la abundancia, seguido por *Acacia macracantha* y *Ceiba pentandra* cada una con el 19,6% mientras que las demás especies agrupan cada una porcentajes menores al 13%.

13.5.3.8. *Vegetación secundaria baja*

- Composición florística y Estructura

Se reportan diez especies, agrupadas en cinco familias y cinco órdenes. La estructura de tipo arbustivo alcanza hasta los 7 m de altura en donde se presentan elementos muy característicos de los bosques secos espinos ampliamente dominados por el trupillo (*Prosopis juliflora*), el guamacho (*Pereskia guamacho*) y el captus (*Cereus hexagonus)* (Figura 13.10).

Se pueden presentar también en varias áreas de las llanuras del Caribe pero su tendencia es a formar amplios parches de vegetación en zonas de bosques secos (Tabla 13.10).

Figura 13.10. Vegetación secundaria baja



Tabla 13.10. Especies de la vegetación secundaria baja

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus hexagonus*
Caryophyllales	Cactaceae	*Pereskia guamacho*
Fabales	Fabaceae	*Acacia macracantha*
Fabales	Fabaceae	*Haematoxylum brasiletto*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
Fabales	Fabaceae	*Senna atomaria*
Fabales	Fabaceae	*Trifolium sp*
Laurales	Hernandiaceae	*Gyrocarpus americanus*
Malvales	Malvaceae	*Sida acuta*
Sapindales	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de arbustales en un área de 100 m^2 y elementos leñosos (CAP> 31 cm) evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta el guamacho (*Pereskia guamacho*) con el 26,7% de la abundancia, seguido por *Gyrocarpus americanus* con el 16,5% y por *Cereus hexagonus* con el 14,9% mientras que las demás especies agrupan cada una porcentajes menores al 9%.

13.5.4. Caracterización de Vegetación de Tierra Firme: Arbustales y herbazales

13.5.4.1. *Arbustal denso*

- Composición florística y Estructura

Se reportan seis especies agrupadas en dos familias y dos órdenes donde la estructura del arbustal alcanza alturas de hasta 8 m tal como lo reporta Rangel *et al.,* (2012) con elementos de Bosques secos espinosos hasta cardonales ubicados en los cerros que circundan la Ciudad de Santa Marta (Tabla 13.11) (Figura 13.11).

Tabla 13.11. Especies del Arbustal denso

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus hexagonus*
Caryophyllales	Cactaceae	*Pereskia guamacho*
Fabales	Fabaceae	*Acacia macracantha*
Fabales	Fabaceae	*Caesalpinia coriaria*
Fabales	Fabaceae	*Haematoxylum brasiletto*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Figura 13.11. Arbustal denso



- Cobertura

La caracterización para coberturas de arbustales para un área de muestreo de 100 m^2, evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta en el estrato arbustivo *Acacia macracantha* con el 39,3% de la abundancia, seguido por *Cereus hexagonus* con el 32% y por *Caesalpinia coriaria* con el 22%.

Estos arbustales se encuentran muy intervenidos por efecto de la urbanización de los cerros aledaños a la ciudad de Santa Marta.

13.5.4.2. *Arbustal abierto esclerófilo*

- Composición florística y Estructura

En este arbustal se reportan diez especies agrupadas en cuatro familias y cuatro órdenes donde la estructura es del tipo arbustivo de hasta 7 m de altura (Figura 13.12).

Figura 13.12. Arbustal abierto esclerófilo



Se presentan elementos muy característicos de los bosques secos espinos ampliamente dominados por el trupillo (*Prosopis juliflora*) y el guamacho (*Pereskia guamacho*). Cobertura presente en los cerros bajos que rodean la ciudad de Santa Marta y el municipio de Ciénaga (Tabla 13.12).

Tabla 13.12. Especies del Arbustal abierto mesófilo

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus hexagonus*
Caryophyllales	Cactaceae	*Pereskia guamacho*
Fabales	Fabaceae	*Acacia macracantha*
Fabales	Fabaceae	*Albizia niopoides*
Fabales	Fabaceae	*Caesalpinia coriaria*
Fabales	Fabaceae	*Haematoxylum brasiletto*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
Fabales	Fabaceae	*Senna atomaria*
Laurales	Hernandiaceae	*Gyrocarpus americanus*
Sapindales	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para la coberturas de arbustales en un área de 100 m^2 evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta en el estrato arbustivo *Cereus hexagonus* con el 18,4% de la abundancia, seguido por *Pereskia guamacho* con el 17% y por *Acacia macracantha* con el 10,5%.

Estos arbustales se encuentran muy intervenidos por efecto de la urbanización de los cerros aledaños a la ciudad de Santa Marta.

13.5.4.3. *Herbazal denso de tierra firme no arbolado*

- Composición florística y Estructura

Se reportan seis especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes. La estructura de este herbazal es con vegetación tipo prado con un evidente estrato rasante bien desarrollado, con pastos y ciperáceas en los cuales pueden crecer de forma muy dispersa algunos arbustos y cactus (Tabla 13.13).

Tabla 13.13. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus hexagonus*
Fabales	Fabaceae	*Acacia macracantha*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
Poales	Poaceae	*Andropogon fastigiatus*
Poales	Poaceae	*Rhipidocladum sp*
Poales	Cyperaceae	*Eleocharis interstincta*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para las coberturas de herbazales densos de tierra firme no arbolados en un área de muestreo de 100 m^2 y elementos no leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa en el estrato herbceo la presenta *Rhipidocladum sp* con el 34,2% de la abundancia, seguido por *Andropogon fastigiatus* con el 28,5% y por *Eleocharis interstincta* con el 14,2%.

Esta cobertura de herbazal denso de tierra firme no arbolado es muy común en áreas altamente intervenidas por la urbanización, bordeando construcciones y vías, por lo cual los elementos de arbustales son remanentes de coberturas intervenidas (Figura 13.13).

Figura 13.13. Herbazal denso de tierra firme no arbolado



13.5.4.4. *Herbazal denso de tierra firme con arbustos*

- Composición florística y Estructura

Se reportan siete especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes. La estructura de este tipo de herbazal denso de tierra firme con arbustos muestra una vegetación tipo prado con un estrato rasante bien desarrollado con pastos y ciperáceas, donde se presentan elementos arbóreos y de arbustales típicos de bosques secos espinosos y que son usuales en los cerros cercanos a la ciudad de Santa Marta y El Rodadero (Tabla 13.14).

Tabla 13.14. Especies del Herbazal denso de tierra firme con arbustos

Orden	Familia	Especie
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia alba*
Fabales	Fabaceae	*Albizia niopoides*
Fabales	Fabaceae	*Senna atomaria*
Gentianales	Apocynaceae	*Calotropis procera*
Malpighiales	Euphorbiaceae	*Manihot carthaginensis*
Poales	Poaceae	*Andropogon fastigiatus*
Poales	Cyperaceae	*Eleocharis interstincta*
Rosales	Urticaceae	*Cecropia peltata*
Sapindales	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de estos herbazales en un área de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta *Senna atomaria* con el 26,1% de la abundancia, seguido por *Manihot carthaginensis* con el 20,6% y por *Cordia alba* con el 18,2%.

Estos arbustales, como los anteriores, se encuentran muy intervenidos por efecto de la urbanización de los cerros aledaños a la ciudad de Santa Marta (Figura 13.14).

Figura 13.14. Herbazal denso de tierra firme con arbustos



13.6. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial

Rangel (2012) reporta que la región del caribe registra un total de 56 taxones en alguna categoría de amenaza; sin embargo, para el sector que compone esta cuenca DE Río Piedras-Manzanares (en la Sierra Nevada de Santa Marta) se registran cinco (5) especies en categoría de Peligro Crítico (CR), once (11) en categoría En Peligro (EN) y tres (3) en Vulnerable (VU) (Tabla 13.15).

Tabla 13.15. Especies con amenazas en la cuenca Río Piedras-Manzanares

Familia	Especie	Categoría IUCN
Asteraceae	*Libanothamnus neriifolius*	EN
	Libanothamnus occultus	CR
Bromeliaceae	*Guzmania pallida*	EN
	Mezobromelia hospitalis	EN
	Mezobromelia magdalenae	EN
	Puya brachystachya	CR
	Puya sanctae-martae	EN
	Tillandsia brevior	CR
	Tillandsia ultima	EN
Lamiaceae	*Hyptis diffusa*	EN
	Salvia codazziana	EN
	Salvia funckii	EN
	Salvia libanensis	EN
	Salvia sphacelioides	CR
Podocarpaceae	*Podocarpus oleifolius*	VU
	Prumnopitys harmsiana	VU
	Prumnopitys montana	VU
Zygophyllaceae	*Bulnesia arborea*	EN
	Guaiacum officinale	CR

Fuente: Modificado de Rangel, 2012.

13.7. Conclusiones

Para el caso de biota de esta cuenca de Río Piedras - Manzanares es evidente la influencia positiva que tiene la presencia espacial de dos Parques Nacionales Naturales, siendo estos el PNN Tayrona y PNN Sierra Nevada de Santa Marta sobre la conservación de buena parte de estos ecosistemas regionales frente a los proceso de intervención antrópica que han sido fuertes y continuados.

En este marco, la proporción de áreas vegetales naturales conservadas llega a ser casi del 70% para la cuenca Río Piedras - Manzanares, porcentaje que puede ser dividido en dos sectores principales;

el primero, los sectores del bosque húmedo tropical de la Sierra Nevada y el segundo, del bosque seco de los cerros del Parque Tayrona y de las inmediaciones de la ciudad de Santa Marta.

En el caso de los bosques húmedos tropicales, su funcionalidad ecológica y su gran adecuabilidad del hábitat para los diferentes grupos de la fauna se pueden considerar como óptima, de forma tal que una de sus manifestaciones son los muchos endemismos que allí se presentan y que pueden significar al aún buen estado de los ecosistemas presentes.

Es importante resaltar, sin embargo, que a pesar de la figura de los parques naturales, muchas zonas han sido desafortunadamente intervenidas a gran escala y magnitud para la implementación de áreas básicamente de cultivos principalmente de café, ante lo cual sigue siendo muy importante generar diversas medidas de conservación, protección o la generación de otras opciones como los cultivos agroecológicos que permitan hasta donde sea posible revesar la intervención de ciertas áreas que son cruciales para la estabilidad de los ecosistemas y su recuperación.

Para el caso de los bosques secos, a pesar de encontrarse en alguna proporción resguardados por la presencia del parque natural Tayrona, se evidencia una intervención muy alta sobre este bosque principalmente en las zonas que rodean la ciudad de Santa Marta, donde los proceso de urbanización tanto legales como ilegales han desplazado las coberturas vegetales y su fauna inherente, todo lo cual ha acusado que se disminuya la cobertura espacial y las conectividades de este ecosistema tan único y sensible.

14. FAUNA

14.1. Introducción

De acuerdo a lo indicado en los alcances técnicos para la presente consultoría, para el desarrollo de lo establecido en la normatividad relativa a la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y de manera particular, la aplicación de la *Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS)* contenida en la Resolución 1907 del 2013 se hace necesario la elaboración del *Plan de Ordenación y Manejo para la Cuenca Hidrográfica de Río Piedras – Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501)* en el departamento del Magdalena (Figura 13.1).

En general, la elaboración del *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de Río Piedras - Manzanares y otros directos al Caribe - SZH (1501)* en el departamento del Magdalena, deberá comprender las siguientes fases:

1. Aprestamiento
2. Diagnóstico
3. Prospectiva y Zonificación Ambiental
4. Formulación

14.2. Objetivos Generales Y Específicos

Para la realización del diagnóstico de los aspectos faunísticos dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de Río Piedras - Manzanares y otros directos Caribe - SZH (1501) en el departamento del Magdalena se pretenden los siguientes objetivos.

14.2.1. Objetivos Generales

- Realizar el diagnóstico del componente biótico dentro del área de la Cuenca Río Piedras – Manzanares cual involucra lo relativo a la flora y la fauna junto con los aspectos ecosistémicos
- Proveer información de apoyo a las fases de zonificación ambiental y formulación para que definan, diseñen, programen e implementen todas las acciones tendientes a la conservación, protección, recuperación y adecuado uso de los recursos bióticos dentro de la cuenca

14.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la revisión de la información secundaría operacionalmente disponible sobre los temas de fauna que pueda ser útil para el desarrollo del presente diagnóstico
- Estructurar la estrategia logística más idónea para la realización de la toma de información primaria de fauna durante los trabajos de campo de acuerdo a los

alcances técnicos, metodologías y programaciones interdisciplinarias establecidas en el presente proyecto

- Recopilar y obtener la mayor y mejor información primaria posible junto con consultas y trabajos con los residentes y comunidades de los sitios involucrados en los muestreos
- Procesar e interpretar adecuadamente la información primaria y secundaria de fauna obtenida para la presentación del diagnóstico de los aspectos bióticos en la Cuenca Río Piedras – Manzanares
- Proponer para la fase de zonificación ambiental y de formulación aquellas acciones necesarias para mantener la integralidad, conservación y adecuado uso de los recursos bióticos en la cuenca

14.3. Metodología Para La Caracterización Faunística

Con base en las descripciones metodológicas del documento de referencia "*Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas* EER – TNC (2002)", se presentan a continuación las metodologías adaptadas y enriquecidas de dicho documento, de forma tal que permitieron el diagnóstico y caracterización de la fauna de la cuenca.

14.3.1. Fase metodológica para levantamiento de información secundaria

Para tener un conocimiento básico general de las especies de la fauna en la región donde se ubica le cuenca Río Piedras-Manzanares, se usaron diversas fuentes de información secundaria para obtener registros de especies según localidades geográficas, regiones políticas y zonobiomas del Departamento de Magdalena junto a datos de altura de la cuenca, tanto en listas abiertas en Colombia, artículos y publicaciones científicas, POTs, EOTs, bases de datos del Instituto de Investigación Alexander Von Humboldt y del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia – ICN, así como aquellas en el extranjero con colecciones de la zona.

Con toda dicha información básica se preparó, organizó y realizó el trabajo de campo (toma de información primaria) haciendo énfasis en aquellas especies potenciales en listados de la Resolución 192 de 2014 o aquella norma que la modifique, adicione o sustituya, la UICN, libros rojos, CITES, especies endémicas, vedadas, invasoras, raras o de importancia económica o cultural.

14.3.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria

Para la caracterización de la fauna terrestre y acuática (peces) se utilizó como metodología establecida técnica y contractualmente la *Evaluación Ecológica Rápida (EER)*, en la cual la riqueza y abundancia se evaluó a través de métodos de observación directa (transectos de observación) e indirecta (búsqueda de rastros y encuestas).

Estas *EER* se ejecutaron en áreas de marcado interés faunístico, previstas por la distribución de la vegetación y teniendo en cuenta las coberturas vegetales representativas de la zona donde se realizaron las parcelas para la caracterización de la flora (51 parcelas para el Pomca Río Piedras-Manzanares), al ser áreas de alimentación, desplazamiento, refugio, zonas de reproducción, microhábitats, entre otras.

14.3.3. Métodos de observación Directa

Para los transectos de observación se recorrieron caminos y trochas al interior de las coberturas vegetales y de forma específica en las mismas parcelas para la caracterización de la flora.

Los transectos de observación se realizarán por un biólogo con experiencia y conocimiento en cada grupo de fauna a una velocidad aproximada de 0,7- 1,0 Km/hora y se efectuarán en horas de mayor actividad de las especies, según grupo así: aves entre 5:30 a 18:00; herpetofauna entre 8:00 a 12:00 y 18:00 a 22:00; y mamíferos entre 5:30 a 10:30 y 14:00 a 21:00.

Las observaciones diurnas y nocturnas en los transectos se hicieron para todos los estratos de las coberturas, se observó y registró cada individuo de la fauna presente desde el inicio hasta el fin del transecto, teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- Todos los animales sobre la línea del transecto son detectados
- Los animales se detectan en su lugar inicial, antes de cualquier movimiento en respuesta al observador y no se cuentan dos veces
- Los animales de las especies se mueven lentamente en relación con la velocidad del observador
- Las distancias desde el transecto se miden con exactitud
- Las detecciones deben ser eventos independientes

En cada transecto se realizó la búsqueda extensiva de cada uno de los grupos de la fauna tetrápoda, haciendo énfasis en los diferentes microhábitats según el grupo de fauna y experiencia del biólogo a cargo. Sobre lo anterior se especifica el tipo de búsqueda y observación para cada grupo como sigue.

14.3.3.1. *Herpetofauna (anfibios y reptiles)*

Para este grupo se enfatizó la búsqueda diurna y nocturna en microhábitats cercanos a cuerpos de agua, en vegetación herbácea no leñosa, raíces o árboles caídos y/o muertos, a su vez también en la hojarasca y en los diferentes estratos del sotobosque y en los diferentes sustratos que se encuentren.

Para el caso de los miembros del suborden Serpentes (Serpientes y Culebras), se emplearon además pinzas herpetológicas, rastrillos y ganchos herpetológicos para facilitar la exploración en refugios.

14.3.3.2. *Aves*

Se realizaron observaciones y registros auditivos diurnos realizados en todos los estratos de las coberturas a través de binoculares (10 x 42) y cámaras de gran alcance (lentes réflex de 800 a 1200 mm o su equivalencia en Zoom de 30 a 50 aumentos), además de puntos fijos de observación en sectores de mayor interés según la composición de la vegetación.

14.3.3.3. *Mamíferos*

Las observaciones se hicieron en recorridos diurnos y nocturnos en todos los estratos de las coberturas a través de binoculares (10 x 42) y cámaras de gran alcance (lentes réflex de 800 a 1200 mm o su equivalencia en Zoom de 30 a 50 aumentos).

Para todos los grupos de mamíferos, estos transectos se complementaron de dos formas; en primer lugar, con un muestreo denominado *Ad libitum*, que no implica ninguna limitación en el muestreo, es decir, que se registraron los individuos o grupos que se observaron con facilidad dentro o alrededor y a lo largo y ancho de los hábitats, aunque estén fuera de los transectos.

En segundo lugar, se realizaron encuestas informales a los pobladores de la cuenca, apoyadas en guías de campo y fichas ilustradas especializadas de cada grupo, de forma tal que puedan incrementarse los listados taxonómicos además de identificar aquellas especies con valor sociocultural y económico.

14.3.3.4. *Peces*

Se planteó hacer observaciones y/o acompañamiento en las jornadas de pesca realizadas por las comunidades locales para obtener información biológica (talla, peso, sexo y madurez sexual), complementadas por encuestas y registros en pescaderías del área de trabajo.

A través de todos estos registros se pretendía obtener información sobre las especies de peces apreciadas por su valor sociocultural y económico, migraciones reproductivas, artes de pesca y esfuerzos de captura.

14.3.4. Métodos de observación indirecta

Se pretendía registrar toda evidencia de actividad que pudiera identificarse como perteneciente a la fauna (huellas en caminaderos, heces fecales, hozaderos, cuevas, pepiaderos, rastros de depredación, rasguños, huevos eclosionados, nidos, mudas de piel, etc.) y se comparó con lo reportado en la literatura especializada para cada grupo. Los registros indirectos se realizaron en los mismos transectos de observación directa.

Por su parte, la información levantada en campo fue complementada con encuestas informales a los pobladores del área de trabajo, haciendo uso de guías de campo y fotografías de las especies más representativas, de forma tal que puedan incrementarse los listados taxonómicos además de identificar aquellas especies con valor sociocultural y económico.

14.3.5. Análisis estadísticos de la información para la Fauna

Los datos colectados de cada grupo de la fauna fueron incluidos en una base de datos, donde se compiló la información taxonómica para elaborar una lista de especies registradas en los sitios de muestreo y su posterior clasificación de acuerdo con la información biológica y ecológica recopilada.

Dichos listados incluyen información ecológica, de hábitos alimenticios, de hábitat, singularidad de las especies, distribuciones restringidas, endemismos, categorías de amenaza según Resolución

192/2014 del MADS, UICN y CITES, así como valor sociocultural y económico y presencia de exóticas e invasoras.

Se incluye descripción de distribución de especies faunísticas y un análisis de uso e importancia ecológica y cultural de las especies de la fauna, así como un registro fotográfico de las observaciones directas e indirectas de cada especie de cada grupo evaluado.

14.4. Composición De La Fauna En La Cuenca

14.4.1. Información Secundaria FAUNA

14.4.1.1. *Mamíferos*
Se estima que la región Caribe colombiana alberga poco más del 50% de los mamíferos de Colombia. Entre las razones probables de esta singularidad se tienen su historia geológica, la gran diversidad de ambientes que van desde desiertos hasta selvas húmedas, y la presencia de diferentes macizos montañosos, como la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá (Muños-S & Hoyos-R, 2012).

Muños-S & Hoyos-R (2012) al recopilar la información de mamíferos registrados para la región Caribe colombiana a partir de información publicada, revisión de colecciones biológicas y catálogos, obtuvieron registros de 188 especies de mamíferos continentales para la región Caribe colombiana de 113 géneros, 38 familias y once órdenes. El orden Chiroptera (murciélagos) es el más diverso, con 103 especies, 51 géneros y nueve familias, seguido por Rodentia con 28 especies, 21 géneros y ocho familias y Carnivora con 19 especies, 15 géneros y seis familias.

Por su parte, respecto a la riqueza según distribución de tamaños se presenta:

1. Medianos y Grandes Mamíferos (MGM), 62 especies (32,98%): Carnivora, 19; Rodentia, once; Primates, diez; Didelphimorphia, seis; Cetartiodactyla, Pilosa, cinco; Cingulata, tres; Lagomorpha, dos; Perissodactyla una especie.
2. Pequeños Mamíferos No Voladores (PMNV), 22 especies (11,70%): Rodentia, 17; Didelphimorphia, cinco especies.
3. Pequeños Mamíferos Voladores (PMV), 103 especies (54,79%), orden Chiroptera.

14.4.1.2. *Aves*
El grupo de fauna mejor conocido en el país es el de las aves, el cual es considerado el más rico con 1871 especies (Álvarez 1979, Stiles 1998, Rangel-Ch. 2004, Salaman et al. 2009). La avifauna de la región Caribe ha sido objeto de varias contribuciones, lo cual ha permitido contar con información precisa y detallada de su ecología y distribución de las aves.

Para la Planicie del Caribe se distinguieron registros de 617 especies distribuidas en 364 géneros, 69 familias y 20 órdenes, estas especies constituyen el 67% de la avifauna de la región. Se destacan por su diversidad los órdenes Passeriformes (293 especies), Charadriiformes (49), Apodiformes (41) y Falconiformes (39). Entre las familias mejor representadas se encuentran Tyrannidae (85 especies-

50 géneros), Trochilidae (32-18), Accipitridae (27-19), Thraupidae (26- 13), Psittacidae (26-9), Thamnophilidae (24-16), Parulidae (23-11) e Icteridae (21-10. Tabla 118); los géneros Dendroica (ocho especies) y Calidris (siete especies) figuran entre los más diversos.

De forma específica para el área de esta cuenca, según las categorías definidas por Bernal-Gonzales *et al.*, (2012) en las unidades climáticas de loso 600 a los 1000 mm de lluvias anuales, entre los municipios de Ciénaga a Pivijay, Se encontraron 459 especies, que pertenecen a 288 géneros y 65 familias (Tabla 120). Entre las familias mejor representadas se encuentra Tyrannidae (75 especies – 45 géneros), Accipitridae (20- 15), Ardeidae (19-11) y Psittacidae (18-7). El género más diverso fue Calidris con siete especies, seguido por Icterus con seis especies, Charadrius, Dendroica, Falco y Myiarchus con cinco especies cada uno.

En cuanto a las especies de aves migratorias y endémicas, se hallaron registros de 128 especies migratorias que corresponden al 14% de las especies de la región, de éstas, 119 especies hacen migración desde el norte del continente y las restantes desde la región austral, *Falco peregrinus* y *Vireo olivaceus* migran desde ambas regiones del continente (Salaman et al. 2009). El grupo de aves migratorias más diverso son los Passeriformes con 58 especies, seguido por los Caprimulgiformes con 43 especies.

Entre las especies sobre sale por su distribución *Coccyzus americanus* que se encuentra en toda la región, para las especies *Charadrius semipalmatus, Gelochelidon nilotica, Protonotaria citrea, Sterna hirundo, Tringa flavipes* y *Tyrannus dominicensis* se cuentan con registros para seis de los siete departamentos del Caribe, mientras que se hallaron registros de 34 especies que se encuentran distribuidas en un solo departamento. Se ha estimado que en Colombia se encuentran por lo menos 70 especies endémicas y 100 especies casi endémicas (Bravo & Naranjo 2006), para el Caribe se registraron 28 especies endémicas (40% de las especies de Colombia), 30 casi endémicas y una especie introducida *Columba livia* (Salaman et al. 2009).

14.4.1.3. *Reptiles*

Uno de los grupos faunísticos poco estudiado, pero de gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas son los reptiles. La caracterización de este grupo en la región Caribe en términos de taxonomía y en algunos casos con enfoques ecológicos ha sido abarcada por diversos trabajos que se remontan a la década de los años 20's, con las investigaciones basales de Ruthven (1922) en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), que proporcionó una descripción y la distribución de las especies en el macizo montañoso.

Dahl & Medem (1964) hicieron énfasis en la fauna acuática de la cuenca del río Sinú, dando a conocer la distribución y apuntes del estado de las poblaciones de tortugas continentales en el departamento de Córdoba. Dugand (1975) mencionó una lista de las serpientes presentes en la llanura Caribe. Otros trabajos importantes son los de Pérez-Santos & Moreno (1986) sobre las serpientes del departamento del Atlántico, Bernal-Carlo & Roze (1992) en la SNSM, Renjifo & Lundberg (1999) en localidades del sur del departamento de Córdoba.

En base a la información recopilada por Carvajal-Cogollo *et al.,* (2012) para el Caribe Colombiano, se determinó que para las Tierras Bajas del Caribe (0-1000 m), se obtuvieron registros de 167 especies, 158 del orden Squamata (81 fueron serpientes, 74 lagartos y tres anfisbaenias), siete de Testudinata y dos especies de Crocodylia. A nivel de familia el grupo más diverso fueron las lagartijas con 13, seguido de las serpientes con nueve. Las familias más ricas en especies fueron Colubridae y Dipsadidae. La riqueza genérica estuvo dominada por las serpientes (49 especies).

El género más diverso fue Anolis con 15 especies. Las especies más ampliamente distribuidas en las planicies son *Anolis tropidogaster, A. auratus, Basiliscus basiliscus, Ameiva ameiva, A. festiva* y *Cnemidophorus lemniscatus*. Recientemente se registraron por primera vez en Colombia las especies *Drymobius margaritiferus* (culebra cazadora) y *Anadia ocellata* y el primer registro para la región Caribe de las serpientes *Dypsas temporalis* y *Scaphiodontophis annulatus*.

En cuanto a las especies endémicas, se registraron 21 especies endémicas de la región Caribe, 16 de lagartos, cuatro de serpientes y una de tortuga. La mayoría del as especies pertenece al género Anolis con sietes especies. De estas, para el área de las planicies donde se encuentra esta cuenca se presenta cinco especies endémicas: *Amphisbaena medemi, Trilepida dugandi, Cnemidophorus arenivagus, Micrurus camilae* y *Mesoclemmys dalhi*.

14.4.1.4. *Anfibios*

La región Caribe consta de una gran extensión de planicies que se extienden desde el norte en La Guajira hasta el sur en tierras más húmedas, presenta igualmente macizos montañosos como la Sierra Nevada de Santa Marta, las serranías de Perijá, San Lucas, San Jacinto y Macuira. Para el caso de los anfibios es importante tener en cuenta esta distinción entre planicie o tierras bajas y macizos, debido a que en éstos últimos se encuentran especies que no habitan las planicies ya que las condiciones ecológicas (altitud, humedad, suelos, vegetación) no son ideales para su desarrollo.

Respecto a los anfibios de las Tierras bajas del Caribe, por si solas no forman una unidad ecogeográfica y aunque presenta una fauna anfibia muy homogénea, no presenta endemismos, pero junto con los valles interandinos forman una región como lo demostraron Lynch et al., (1997), la que llamaron región ecogeográfica B, posee un 36% de especies endémicas. Para la región Caribe se obtuvieron registros de 104 especies, de las cuales aproximadamente el 70% son de distribución restringida a las tierras más altas y húmedas (Macizos, Sierra Nevada de Santa Marta, Serranías de Perijá, Macuira y San Lucas), el 30% de especies restantes tiene amplia distribución en las tierras bajas del Caribe, siendo ésta junto con la fauna anfibia de los Llanos Orientales las más pobres del país en cuanto a riqueza de especies.

Cuando no se diferencia entre la fauna de tierras bajas y altas, en la región Caribe se encuentra cerca del 15% del total de especies para Colombia. De esto que para el Departamento del Magdalena, en las zonas de tierras bajas como las de esta cuenca, la riqueza especifica de anfibios sea de apenas 25 especies, asociadas principalmente a los humedales.

14.4.2. Información Primaria FAUNA

Se presenta a continuación las caracterizaciones de las especies de la fauna que fueron registradas en relación con las parcelas de vegetación muestreadas en el tema de la flora en la cuenca Río Piedras- Manzanares, tal como había sido establecido en el proceso metodológico anteriormente indicado.

Sin embargo, se destaca que dichas observaciones fueron enriquecidas con observaciones directas tipo *Ad libitum*, de forma tal que no se restringieron a dichas parcelas dada la característica de movilidad de la fauna.

De igual forma, se obtuvo información de diversos encuentros informales con los residentes y los pobladores de la región, con lo cual se podía confirmar la presencia de las especies reportadas por medio de guías de campo y literatura científica junto con la descripción de la distribución de las especies encontradas.

14.4.2.1. *Mamíferos*

Se registraron un total de 26 especies que se agrupan en 19 familias y nueve órdenes taxonómicos (Tabla 14.1).

En cuanto a la riqueza de estos órdenes, Chiroptera (Murciélagos) presenta la mayor cantidad de especies con el 32,4% de las especies registradas (12 especies), seguidos por los Rodentia (roedores) y los Carnívora (carnívoros) cada uno con el 18,9% (cada uno con siete especies), Didelphimorphia (chuchas y marmosas) con el 8,1% (3 especies), mientras que los demás órdenes (Artiodactyla, Primates, Pilosa, Cingulata y Lagomorpha) presentan menos del 5,4% cada una presentando de dos a una especie.

Dicha composición es típica para la diversidad de mamíferos de Colombia, en la cual los Chiroptera y Rodentia agrupan el 65% de las especies del país, seguidos por Didelphimorphia, Carnívora y Primates con riquezas intermedias y por último se presentan ordenes como Cingulata, Pilosa, Artiodactyla y Lagomorpha presentado bajas riquezas en el país (Solari *et al.,* 2013).

Tabla 14.1. Mamíferos reportados para la cuenca Manzanares

Orden	Familia	Especie	Nombre Común	Tipo de observación
Didelphimorphia	Didelphidae	*Didelphis marsupialis*	Chucha	Rastro/Encuesta
		Metachirus nudicaudatus	Chucha mantequera	Encuesta
		Marmosa sp	Marmosa	Visual
Cingulata	Dasypodidae	*Dasypus novemcinctus*	Armadillo	Rastro/Encuesta
Pilosa	Cyclopedidae	*Cyclopes didactylus*	Oso hormiguero dorado	Encuesta
	Myrmecophagidae	*Tamandua mexicana*	Oso hormiguero	Rastro/Encuesta
Chiroptera	Emballonuridae	*Saccopteryx leptura*	Murciélago de sacos	Visual
	Mormoopidae	*Pteronotus parnellii*	Murciélago de Parnell	Visual
	Phyllostomidae	*Artibeus lituratus*	Murciélago frutero	Visual

Orden	Familia	Especie	Nombre Común	Tipo de observación
		Carollia perspicillata	Murciélago frutero común	Visual
		Dermanura anderseni	Murciélago frutero	Visual
		Desmodus rotundus	Murciélago vampiro	Visual/Encuesta
		Glossophaga soricina	Murciélago nectarívoro común	Visual
		Micronycteris microtis	Murciélago orejudo	Visual
		Platyrrhinus brachycephalus	Murciélago frutero	Visual
		Sturnira lilium	Murciélago flor de lis	Visual
		Trachops cirrhosus	Murciélago labio verrugoso	Visual
		Uroderma bilobatum	Murciélago orejiamarillo	Visual
Carnivora	Felidae	*Leopardus pardalis*	Tigrillo	Rastro/Encuesta
		Puma concolor	Puma	Encuesta
	Canidae	*Cerdocyon thous*	Zorro perro	Rastro/Encuesta
	Mephitidae	*Conepatus semistriatus*	Mapurito	Encuesta
	Mustelidae	*Eira barbara*	Taira	Rastro
		Lontra longicaudis	Nutria	Encuesta
	Procyonidae	*Procyon cancrivorus*	Zorro patón	Rastro/Encuesta
Artiodactyla	Tayassuidae	*Pecari tajacu*	Zaino de collar	Rastro/Encuesta
	Cervidae	*Mazama sanctaemartae*	Venedo rojo	Rastro/Encuesta
Primates	Aotidae	*Aotus griseimembra*	Mono nocturno	Visual/Encuesta
	Atelidae	*Alouatta seniculus*	Mono aulladro	Visual/Encuesta
Rodentia	Sciuridae	*Sciurus granatensis*	Ardilla	Visual/Encuesta
	Muridae	*Rattus norvegicus*	Rata parda	Visual
	Erethizontidae	*Coendou prehensilis*	Puerco espín	Visual
	Cuniculidae	*Cuniculus paca*	Paca	Rastro
	Dasyproctidae	*Dasyprocta punctata*	Ñeque	Rastro
Lagomorpha	Leporidae	*Sylvilagus brasiliensis*	Conejo	Rastro/Encuesta

Fuente: Grupo consultor, 2016.

De estas, 18 especies fueron reportadas visualmente durante los recorridos en los transectos, las demás especies fueron reportadas por rastros, a través de huellas y heces fecales o por descripción de las encuestas informales realizadas a los pobladores. Estos resultados para un grupo tan poco conspicuo como los mamíferos es un buen indicativo de su actividad dentro del área.

14.4.2.1.1. *Relación mamíferos – Coberturas vegetales*

Para las doce coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia para la mastofauna que las coberturas con una estructura boscosa (Bosque ripario, bosques densos y vegetación secundaria) presentan la mayor riqueza de especies, comparado con otras coberturas más abiertas, donde la densidad y altura de la vegetación es menor (Tabla 14.2). Este resultado evidencia la importancia frente a los requerimientos de hábitat de los mamíferos de porte mediano,

los cuales solo encuentran en las zonas boscosas áreas de refugio, reproducción, alimentación y desplazamiento.

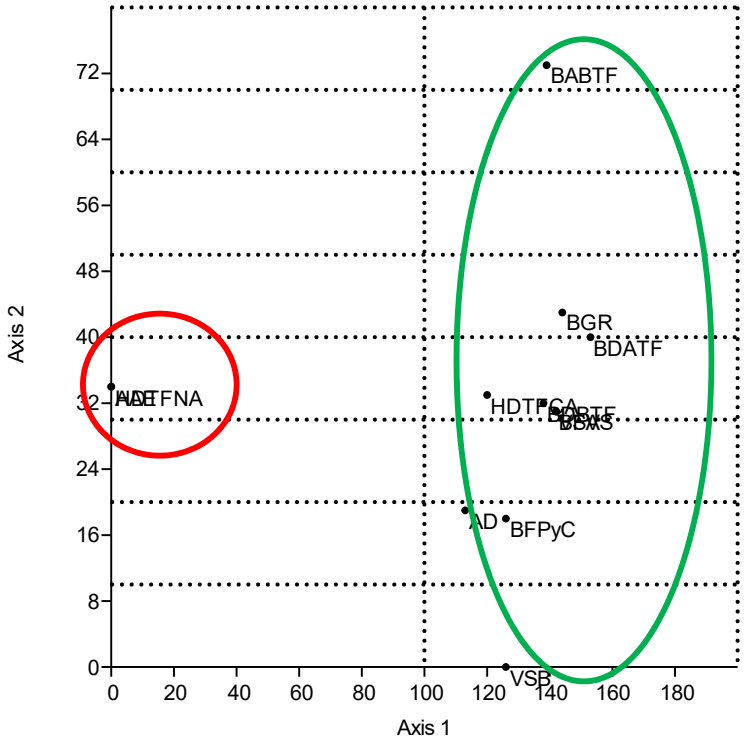
Tabla 14.2. Riqueza de Mamíferos por cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Mamíferos
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	28
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	34
Bosque de galería y ripario	35
Vegetación secundaria alta	34
Vegetación secundaria baja	28
Bosque denso alto de tierra firme	32
Bosque denso bajo de tierra firme	32
Bosque abierto bajo de tierra firme	32
Arbustal denso	24
Arbustal abierto esclerófilo	10
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	10
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	26

Ahora bien, para evidenciar la correlación entre la riqueza de mamíferos y las características del hábitat de las coberturas vegetales, se realizó un Análisis de Correspondencia Linealizado (DCA) (Figura 14.1) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO 13 FAUNA MANZANARES) el cual evidenció en el gradiente ambiental la preferencia de la mastofauna por dos tipos de hábitat, siendo el primero el representado por las zonas con un buen desarrollo del dosel, como lo son los bosques riparios, bosques densos y la vegetación secundaria en las cuales se presentaron casi todas las especies de mamíferos observadas (círculo en verde), mientras que el segundo corresponde a las zonas abiertas (herbazales y arbustales abiertos) que solo presentaron pocas especies conocidas por ser cosmopolitas y adaptadas fácilmente a la antropización (círculo rojo).

Por su parte, este análisis presenta robustez estadística con un autovalor (eugenval) del primer eje que explica el 65,67% de la varianza de los datos.

Figura 14.1. Análisis de correspondencia Linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de mamíferos



14.4.2.2. *Aves*

La composición de la avifauna registrada en esta cuenca Río Piedras – Manzanares registró un total de 71 especies para la zona de la cuenca (Tabla 14.3).

Tabla 14.3. Composición, riqueza y abundancia de avifauna

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN	Tipo de observación
Galliformes	Cracidae	*Ortalis garrula*	guacharaca	Visual
	Odontophoridae	*Colinus cristatus*	perdiz común	Visual/Encuesta
Suliformes	Fregatidae	*Fregata magnificens*	fragata real	Visual/Encuesta
	Anhingidae	*Anhinga anhinga*	pato aguja	Visual/Encuesta
Pelecaniformes	Pelecanidae	*Pelecanus occidentalis*	pelicano	Visual
	Ardeidae	*Tigrisoma lineatum*	vaco tigre	Visual
		Nyctanassa violacea	guaco manglero	Visual/Encuesta
		Butorides striata	garcita rayada	Visual/Encuesta
		Bubulcus ibis	garcita del ganado	Visual/Encuesta
Cathartiformes	Cathartidae	*Cathartes aura*	guala comun	Visual

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN	Tipo de observación
		Coragyps atratus	golero, chulo	Visual
Accipitriformes	Accipitridae	*Gampsonyx swainsonii*	aguililla enana	Visual
		Rupornis magnirostris	gavilán caminero	Visual/Encuesta
Charadriiformes	Charadriidae	*Vanellus chilensis*	pellar,tanga	Visual/Encuesta
	Scolopacidae	*Actitis macularius*	andarríos	Visual/Encuesta
	Jacanidae	*Jacana jacana*	gallito de ciénaga	Visual/Encuesta
Columbiformes	Columbidae	*Patagioenas cayennensis*	torcaza morada	Visual
		Leptotila verreauxi	torcaza	Visual
		Zenaida auriculata	paloma sabanera	Visual
		Columbina talpacoti	abuelita	Visual/Encuesta
Cuculiformes	Cuculidae	*Crotophaga ani*	garrapatero	Visual/Encuesta
		Piaya cayana	cuco ardilla	Visual/Encuesta
Apodiformes	Trochilidae	*Lepidopyga goudoti*	colibrí de goudot	Visual/Encuesta
Coraciiformes	Alcedinidae	*Chloroceryle amazona*	martín pescador matraquero	Visual
Coraciiformes	Momotidae	*Momotus subrufescens*	barranquero coronado	Visual
Galbuliformes	Bucconidae	*Hypnelus ruficollis*	bobo punteado	Visual
Piciformes	Ramphastidae	*Pteroglossus torquatus*	pichi	Visual/Encuesta
	Picidae	*Melanerpes rubricapillus*	carpintero	Visual
		Colaptes punctigula	carpintero buchipecoso	Visual
		Dryocopus lineatus	carpintero real	Visual/Encuesta
Falconiformes	Falconidae	*Herpetotheres cachinnans*	halcón reidor	Visual/Encuesta
		Milvago chimachima	pigua	Visual
Psittaciformes	Psittacidae	*Brotogeris jugularis*	periquito palmero	Visual
		Pionus menstruus	cotorra cabeciazul,cheja	Visual
		Amazona amazonica	loro caternica	Visual
		Forpus conspicillatus	perico cascabelito	Visual
		Eupsittula pertinax	perico carisucio	Visual
Passeriformes	Thamnophilidae	*Sakesphorus canadensis*	batará copetón	Visual
		Thamnophilus doliatus	batará barrado	Visual
		Formicivora grisea	hormiguerito pechinegro	Visual
	Furnariidae	*Dendroplex picus*	trepatroncos	Visual
		Furnarius leucopus	hornero patiamarillo	Visual
	Tyrannidae	*Elaenia flavogaster*	elaenia copetona	Visual
		Poecilotriccus sylvia	espatulilla común	Visual

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN	Tipo de observación
		Tolmomyias flaviventris	atrapamoscas amazónico real	Visual
		Fluvicola pica	viudita común	Visual
		Machetornis rixosa	siriri bueyero	Visual
		Pitangus sulphuratus	bichofué menor	Visual
		Myiodynastes maculatus	atrapamoscas picudo	Visual
		Tyrannus melancholicus	siriri comun	Visual
		Myiarchus tuberculifer	atrapamoscas venezolano	Visual
	Tityridae	*Pachyramphus rufus*	cabezón cinéreo	Visual
		Pachyramphus polychopterus	cabezón aliblanco	Visual/Encuesta
	Corvidae	*Cyanocorax affinis*	chau-chau,charan	Visual
	Hirundinidae	*Progne chalybea*	golondrina de campanario	Visual
		Tachycineta albiventer	golondrina aliblanca	Visual
		Hirundo rustica	golondrina tijereta	Visual
	Troglodytidae	*Troglodytes aedon*	cucarachero común	Visual
		Campylorhynchus griseus	chupahuevo	Visual
	Thraupidae	*Thraupis episcopus*	azulejo	Visual
		Conirostrum bicolor	azulejo bicolor	Visual
		Volatinia jacarina	volatinero negro	Visual
		Coereba flaveola	mielero común	Visual
	Incertae sedis	*Saltator coerulescens*	papayero	Visual
	Parulidae	*Protonotaria citrea*	chechelita, limoncito	Visual
	Icteridae	*Icterus nigrogularis*	turpial amarillo	Visual
		Quiscalus mexicanus	mariamulata	Visual

Fuente: Grupo consultor, 2016.

La avifauna de esta cuenca Río Piedras – Manzanares está conformada por 15 órdenes y 33 familias para las 71 especies reportadas, las cuales despliegan variadas formas, tamaños, colores, múltiples nichos y relaciones ecológicas, que van desde organismos heterótrofos de primer orden (frugívoros, granívoros, nectarívoros), depredadores muy especializados (insectívoros, carnívoros) y carroñeros.

Así mismo, la riqueza avifaunística del lugar se compone de una mezcla de aves típicas de tierras bajas y de amplia distribución altitudinal en el país, tanto de ecosistemas terrestres y acuáticos (tanto marinas como de agua dulce), así como también de algunos elementos migratorios de la región boreal y austral del continente que encuentran en los hábitats de la planicie caribeña, un lugar de paso en sus rutas de migración.

Dentro de los órdenes reportados, Passeriformes agrupó el 44,77% (30 especies) de todas las especies registradas, lo cual es un indicador de riqueza que obedece a su alta diversidad dentro de las aves de percha, ya que comprende alrededor del 60% de las especies del alado, constituyendo el grupo más diverso y de mayor radiación adaptativa en la actualidad.

Este agrupa especies que presentan una variada estructura morfológica, patrones de comportamiento, ecología, con hermosos plumajes y cantos, que les han permitido su diversificación, colonización y alta riqueza en la mayoría de hábitats terrestres (Barker, e*t al*., 2004), lo cual justifica su representatividad en la cuenca.

Seguidamente, los órdenes Psittaciformes y Pelecaniformes fueron de importancia notable en términos riqueza con cinco (5) especies cada uno. Psittaciformes lo conforman aves que generalmente tienen requerimientos complejos de hábitat (loros, guacamayas y pericos), ya que sus patrones de anidación exigen la presencia de árboles de gran tamaño y estratos altos para hacer sus nidos o bien como fuente de alimento (frutos y semillas), las cuales además están fuertemente relacionadas con la dispersión de semillas y el mantenimiento del bosque; no obstante, la riqueza de este orden concierne con una heterogeneidad de hábitats donde puedan coexistir varias especies con requerimientos similares (Davies, *et al*., 2007).

Entre tanto, Pelecaniformes representa un grupo diverso que agrupa especies de tamaños medianos a grandes y de hábitos gregarios, lo que facilita el registro y conteo de sus individuos (garzas, pelicanos e ibis). Adicionalmente, suelen asociarse a coberturas con o sin estratificación vegetal como cuerpos de aguas (ríos, lagos, lagunas, quebradas, caños, jagüeyes, entre otras) o zonas inundables y húmedas (bajos, zonas pantanosas, herbazales, entre otras) durante gran parte del año, de tal manera que esto incrementa su avistamiento y detección (Lorenzón, *et al*., 2013).

La presencia de zonas abiertas y de vegetación herbácea (pastos limpios y enmalezados, áreas de cultivos, etc.), permiten el predominio de este orden en el área de estudio, siendo además una cantidad importante de las aves reportadas, las cuales han tenido la capacidad de adaptarse a medios intervenidos por sus hábitos generalistas; además, estas no requieren condiciones complejas de hábitat, algunas pueden inclusive tolerar la presencia y estructuras artificiales humanas.

El resto de órdenes estuvo representado con menos de cuatro (4) especies, entre los que se mencionan Columbiformes y Piciformes con cuatro (4) especies haciendo un aporte importante a la composición de las aves en la zona de la cuenca Río Piedras - Manzanares.

Las aves consideradas comunes y abundantes de registrar para la zona del proyecto de la cuenca Río Piedras - Manzanares son, en general, especies cosmopolitas y con amplios rangos de distribución en todo el país, se consideran altamente tolerantes a cualquier tipo de ambientes ya sean conservados (ej. bosques densos), zonas parcialmente intervenidas (vegetación secundaria), hasta áreas más abiertas como pastizales, cultivos y zonas residenciales.

Adicionalmente, son aves generalmente de tamaños corporales medianos a grandes, lo que facilita su avistamiento y altas abundancias en el área de influencia del proyecto como en otras regiones del país, tal es el caso de la abuelita *(Columbina talpacoti)*, la torcaza *(Leptotila verreauxi)* y la perdiz común *(Colinus cristatus)* que constituyeron las especies más abundantes en número de individuos.

Se resalta que muchas especies evidenciadas en el presente trabajo, las cuales son consideradas en una categoría dada, no necesariamente correspondan a esa condición en otras regiones del país y viceversa, lo cual depende de la frecuencia con que estas se registran.

14.4.2.2.1. *Relación aves – Coberturas vegetales*

Para las doce coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia para la avifauna que las mayores riqueza se dividen en dos grupos de coberturas principales, las boscosas y las relacionadas con los cuerpos de agua, como el manglar y el bosque ripario mostrándose esto congruente con la composición de especies de este grupo (Tabla 14.4).

Las cobertura con baja preferencia por las aves fueron las de los herbazales y arbustales, ya que estas coberturas se encuentran dominada por pocas especies generalistas, que las utilizan esporádicamente para alimentarse de los pocos recursos que este ecosistema puede ofrecer, como insectos y semillas de herbáceas.

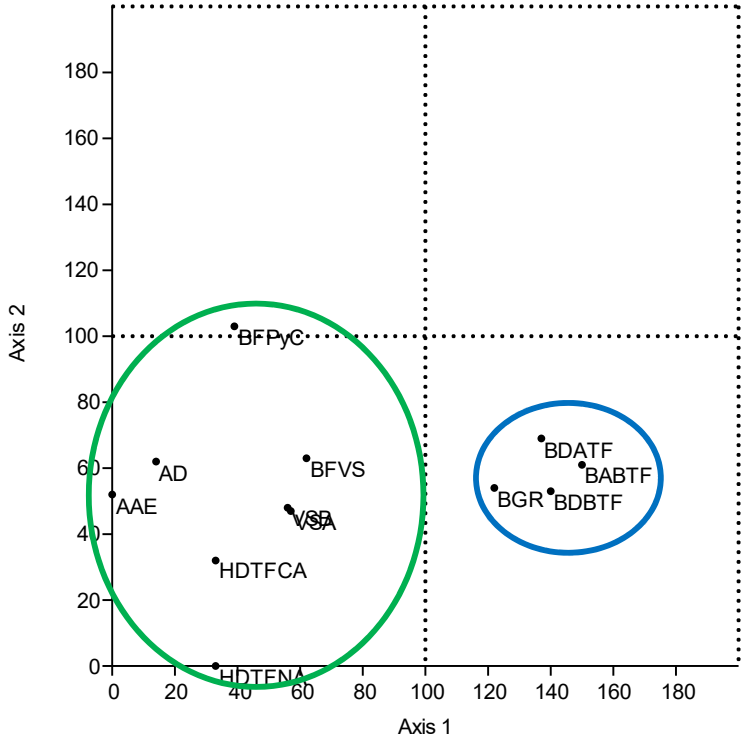
Tabla 14.4. Riqueza de aves por cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Riqueza de Aves
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	45
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	59
Bosque de galería y ripario	50
Vegetación secundaria alta	54
Vegetación secundaria baja	53
Bosque denso alto de tierra firme	44
Bosque denso bajo de tierra firme	44
Bosque abierto bajo de tierra firme	44
Arbustal denso	33
Arbustal abierto esclerófilo	30
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	37
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	42

Respecto a la correlación entre la riqueza de aves y las características del hábitat de las coberturas vegetales, se realizó un Análisis de Correspondencia Linealizado (DCA) (Figura 14.2) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO 13 FAUNA MANZANARES) el cual evidenció en el gradiente ambiental dos conglomeraciones.

Por su parte, en el primero se presentan especies que pertenecen tanto a las coberturas boscosas como a coberturas más abiertas como los arbustales y herbazales (círculo verde), siendo este un resultado evidente de la antropización de la cuenca, en donde las especies comunes, ampliamente distribuidas y adaptadas al disturbio son muy abundantes, mientras que en el segundo se presentan especies con mayores requerimientos del hábitat y fuertemente asociadas a los bosques densos de las partes altas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Este análisis presenta una robustez estadística con un autovalor (eugenval) del primer eje que explica el 76,97% de la varianza de los datos.

Figura 14.2. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de aves



14.4.2.3. *Reptiles*

Para la cuenca Río Piedras - Manzanares se registraron un total de diez especies, que se agrupan en siete familias y tres órdenes taxonómicos (Tabla 14.5).

De estos órdenes taxonómicos, los Squamata/Serpentes y Lacertilla (Serpientes y Lagartijas), se presentan como los de mayor diversidad ocho especies del total, mientras que los Crocodylia/Eusuchia (Babillas) solo presentan una especie y los Testudines (tortugas) una especie registrada como trofeo de cacería.

Tabla 14.5. Especies de reptiles para cuenca Río Piedras - Manzanares

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	**Familia**	**Especie**		
Squamata	Boidae	*Corallus ruschenbergerii*	Boa arborícola	Visual
	Iguanidae	*Anolis tropidogaster*	Lobito	Visual
		Iguana iguana	Iguana	Visual/encuesta
	Sphaerodactylidae	*Gonatodes albigularis*	Geko cabeciamarilla	Visual
		Sphaerodactylus lineolatus	Geko	Visual
	Scincidae	*Tretioscincus bifasciatus*	Loba lisa de cola azul	Visual
	Teiidae	*Ameiva ameiva*	Lobito	Visual
		Cnemidophorus lemniscatus	Lobo	Visual
Crocodylia	Alligatoridae	*Caiman cocodrilus*	Babilla	Visual/encuesta

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Todas las especies fueron reportadas a través de encuentros visuales durante los recorridos en los transectos, con abundancias muy similares para todas las especies, dada la característica generalista de todas estas y su presencia en todas las zonas del país. Solo dos especies fueron reconocidas fácilmente por la comunidad durante las encuestas informales.

Respecto a las familias encontradas, Iguanidae y Sphaerodactylidae y Teiidae presentan la mayor riqueza con dos especies cada una, mientras que Boidae, Scincidae, Alligatoridae y Cheloniidae presentan una sola especie.

Los resultados encontrados para la riqueza de los reptiles, en donde los saurios son abundantes y las serpientes raras, parece ser general para la fauna de reptiles en Colombia, relacionando básicamente con el hecho de que las serpientes son más crípticas que los lagartos por lo que, generalmente, no presentan poblaciones de tamaño grande y están más sometidas a presión antropogénica (Renjifo *et al.,* 2002, Renjifo *et al.,* 2003).

Esto contrasta con la tendencia de los Squamata en Colombia, en el cual la diversidad de serpientes es más alta que la de lagartos (Castaño, *et al.,* 2004), evidenciando la necesidad de generar metodologías para los reptiles que permitan incrementar la incidencia de serpientes, en especial para aventajar sus hábitos fosoriales.

Sobre la abundancia de las especies, se presenta una marcada dominancia de tres lagartos: *Ameiva ameiva* con doce individuos, *Gonatodes albigularis* (Geko cabeciamarillo) con siete individuos y *Cnemidophorus lemniscatus* con cinco individuos, encontradas la primera y la tercera en zonas abiertas como los pastizales donde pueden termorregular fácilmente y donde prefieren cazar y perchar debajo de pequeños matorrales, mientras que la segunda fue encontrada perchando sobre el estrato herbáceo y la hojarasca de los bosques de mangle y la vegetación secundaria, siendo esto un resultado similar con lo presentado por Calderón-Espinosa *et al.* (2010), en un estudio de hábitat

para ensamblajes de reptiles al sur del Departamento de Córdoba, donde la cobertura del dosel y la profundidad de la hojarasca del suelo hacen parte de los requerimientos de hábitat de esta especie.

Todas las especies registradas fueron observadas directamente en campo. Para el caso de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) solo se realizaron observaciones de un caparazón guardado como trofeos de caza, pero no se observaron individuos vivos durante los transectos realizados. Esta tortuga según informan los poseedores fue encontrada en una de las playas por pescadores locales, quienes la capturaron para aprovechar su carne y placas dérmicas de carey para venderlas a artesanos del pueblo.

Esta preferencia del hábitat es evidenciada por la presencia en las coberturas boscosas de los lagartos *Anolis tropidogaster*, *Gonatodes albigularis* y *Tretioscincus bifasciatus*, los cuales como se mencionó anteriormente, requieren de bosques con un buen dosel y hojarasca como requerimientos del hábitat para alimentarse y reproducir (Calderón-Espinosa et al., 2010); respecto de la boa *Corallus ruschenbergerii*, ésta requiere bosques con una productividad secundaria estructurada que provea aves y mamíferos pequeños, de los cuales se alimentan en un 85% (Esqueda & La Marca, 2004).

Para las zonas abiertas, los lagartos lobos *Ameiva ameiva* y *Cnemidophorus lemniscatus*, así como las iguanas *Iguana iguana* y el gekos *Sphaerodactylus lineolatus*, se presentan como representantes típicos de estos hábitats, donde la falta de cobertura del dosel facilita la termorregulación y las actividades de percha y búsqueda activa de alimento (Duellman, 1978).

Dentro de este grupo se presenta igualmente la babilla *Caiman cocodrilus*, la cual se asocia a los cuerpos de agua artificiales que se hallan embebidos en la matriz de pastizales, ocupando este hábitat por sus requerimientos de obtención de alimento como cazadores acuáticos y por las posturas de huevos en zonas de arenales húmedos (Rodríguez, 2000).

14.4.2.3.1. *Relación reptiles – Coberturas vegetales*

Para las doce coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia para los reptiles se aprecia una marcada diferenciación entre el uso del hábitat, con especies propias de las coberturas vegetales boscosos y otras de las áreas abiertas, por lo cual la riqueza de especies es similar en todas las coberturas pero su composición no (Tabla 14.6).

Tabla 14.6. Riqueza de reptiles por cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Riqueza de Reptiles
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	6
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	5
Bosque de galería y ripario	8
Vegetación secundaria alta	5
Vegetación secundaria baja	5
Bosque denso alto de tierra firme	5
Bosque denso bajo de tierra firme	7
Bosque abierto bajo de tierra firme	7
Arbustal denso	5
Arbustal abierto esclerófilo	4
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	5
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	7

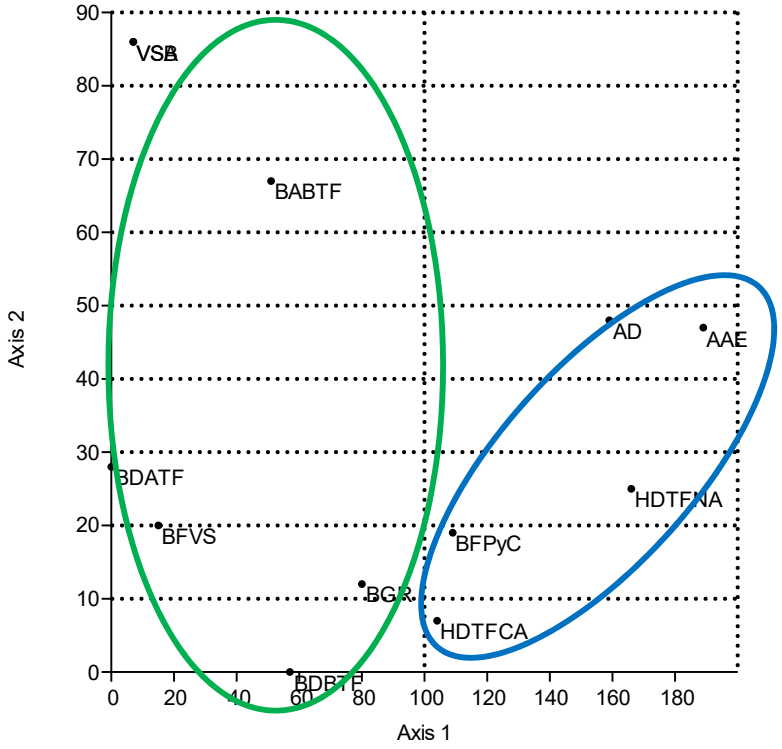
Esta preferencia del hábitat es evidenciada por la presencia en las coberturas boscosas de los lagartos *Anolis tropidogaster*, *Gonatodes albigularis* y *Tretioscincus bifasciatus* los cuales como se mencionó anteriormente, requieren de bosques con un buen dosel y hojarasca como requerimientos del hábitat para alimentarse y reproducir (Calderón-Espinosa et al., 2014), en el caso de la boa *Corallus ruschenbergerii*, ésta requieren bosque con una productividad secundaria estructurada que provea aves y mamíferos pequeños, de los cuales se alimentan en un 85%.

Para las zonas abiertas, los lagartos lobos *Ameiva ameiva* y *Cnemidophorus lemniscatus*, así como las iguanas *Iguana iguana* y el gekos *Sphaerodactylus lineolatus*, se presentan como representantes típicos de estos hábitats, donde la falta de cobertura del dosel facilita la termorregulación y las actividades de percha y búsqueda activa de alimento.

Dentro de este grupo se presenta igualmente la babilla *Caiman cocodrilus*, la cual se asocia a los cuerpos de agua artificiales que se hallan embebidos en la matriz de pastizales, ocupando este hábitat por sus requerimientos de obtención de alimento como cazadores acuáticos y por las posturas de huevos en zonas de arenales húmedos (Rodríguez, 2000).

Lo anterior se aprecia congruente en cuanto a la correlación entre la riqueza de reptiles y las características del hábitat de las coberturas vegetales, según evidenció el Análisis de Correspondencia Linealizado (DCA) (Figura 14.3) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO FAUNA MANZANARES), el cual evidenció en el gradiente ambiental la preferencia por los dos tipos de coberturas descritos.

Figura 14.3. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de reptiles



14.4.2.4. *Anfibios*

Para la cuenca Río Piedras - Manzanares se registraron un total de nueve especies, las cuales se agrupan en cinco familias y un solo orden taxonómico (Anura).

Dentro de las familias encontradas, Hylidae y Leptodactylidae presenta la mayor riqueza con tres especies cada una, seguida de Bufonidae, Craugastoridae y Microhylidae que presentan una especie.

Esta composición muestra una marcada tendencia de elementos de paisajes con coberturas abiertas donde se expresan familias como Hylidae, Leptodactylidae y Bufonidae, que son propias de la composición de la mayoría de zonas bajas del país (Acosta, 2000) (Tabla 14.7).

Tabla 14.7. Especies de anfibios reportadas para el área del proyecto

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	Familia	Especie		
Anura	Bufonidae	*Rhinella marina*	Sapo	Visual
	Craugastoridae	*Craugastor longirostris*	Ranita	Visual
	Hylidae	*Hypsiboas crepitans*	Platanera	Visual
		Hypsiboas pugnax	Platanera	Visual
		Scinax rubra	Platanera	Visual
	Leptodactylidae	*Engistomos pustulosus*	Rana espumera	Visual
		Leptodactylus fuscus	Rana espumera	Visual
		Leptodactylus insularum	Rana espumera	Visual
	Microhylidae	*Relictivomer pearsei*	Rana cavadora	Visual

Fuente: Grupo consultor, 2016

Todas las especies registradas fueron observadas directamente en campo, siendo en su mayoría capturadas para su determinación pero con posterior liberación. De algunas se realizaron registros auditivos de cantos de machos adultos, los cuales fueron útiles para las determinaciones taxonómicas. Dentro de las encuestas este grupo no fue reportado, ya que los pobladores desinan con el nombre de “rana” o “sapo” a cualquier individuo del orden Anura, por lo cual no es posible relacionarlo con alguna especies en particular.

A pesar de la gran cantidad de endemismos de este grupo para la cuenca Río Piedras - Manzanares, no fue posible el registro de estas especies como efecto del tipo de muestreo de Evaluación Ecológica Rápida (EER) y por la visita a sitios que abarcaran toda heterogeneidad, los cuales no eran específicos de las áreas donde se distribuyen estas especies.

Las especies asociadas a zonas abiertas, se caracterizan por tener unos requerimientos de hábitat que pueden ser satisfechos en bosques degradados, sabanas húmedas de tierras bajas, pastizales y áreas agrícolas y urbanas, como es el caso principalmente de los Hylidos *Hypsiboas crepitans* e *Hypsiboas pugnax*, Leptodactílidos como *Leptodactylus fuscus* y *Leptodactylus insularum* o Bufónidos como *Rhinella marina*.

Dentro de los requerimientos de hábitat que pueden satisfacer en estas zonas degradadas, está la posibilidad de poner huevos en sustratos de arena cerca de cuerpos de agua artificial, sin necesidad de protección por cobertura del dosel (Rodríguez &. Duellman, 1994).

Aquellas especies asociadas a la vegetación secundaria, fueron especies igualmente encontradas en los pastizales con jagüeyes pero en menor abundancia, siendo especies con grandes rangos de hogar (*home range*) que posiblemente pasen de los pastizales al interior de la vegetación secundaria en busca de alimento.

14.4.2.4.1. *Relación anfibios – Coberturas vegetales*

Para las doce coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia una alta homogeneidad en el uso del hábitat, lo cual como se describe arriba es efecto de la presencia de especies de amplia distribución en el país, con requerimientos mínimos de hábitat, habitando tanto en zonas boscosas como incluso sobre charcas temporales en medio de pastizales en las temporadas secas, propias de las tierras bajas del país (Tabla 14.8).

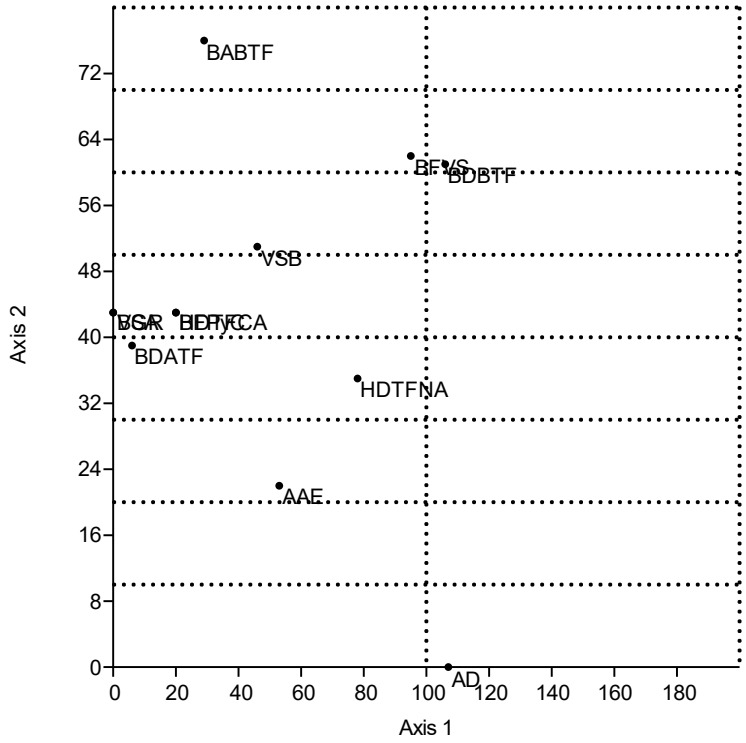
Tabla 14.8. Riqueza de anfibios por cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Riqueza de Anfibios
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	6
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	7
Bosque de galería y ripario	5
Vegetación secundaria alta	5
Vegetación secundaria baja	7
Bosque denso alto de tierra firme	5
Bosque denso bajo de tierra firme	8
Bosque abierto bajo de tierra firme	5
Arbustal denso	7
Arbustal abierto esclerófilo	5
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	6
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	6

Ahora bien, para evidenciar la correlación entre la riqueza de anfibios y las características del hábitat de las coberturas vegetales, se realizó un Análisis de Correspondencia Linealizado (DCA) (Figura 14.4) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO FAUNA MANZANARES) el cual evidenció en el gradiente ambiental la homogeneidad propia de una comunidad compuesta principalmente por especies generalistas, por lo cual no hay diferenciación en la ubicación de las coberturas vegetales sobre el gradiente.

Este análisis se considera efectivo al presentar una robustez estadística con un autovalor (eugenval) del primer eje que explica el 79,36% de la varianza de los datos.

Figura 14.4. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de anfibios



14.5. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial

14.5.1. Mamíferos

En cuanto a las especies en categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica, para el caso de los mamíferos se reporta la presencia de dos especies en categorías de amenaza según los listados internacionales (IUCN) y nacionales (Resolución 192/2014 del MADS), una de las cuales presenta una distribución restringida, nueve especies en listados CITES y ninguna endémica (Tabla 14.9).

Tabla 14.9. Mamíferos en categorías de amenaza nacional e internacional

Orden	Familia	Especie	IUCN	Res 192/2014	CITES	Restringidas
Carnívora	Felidae	*Leopardus pardalis*			I	
	Felidae	*Puma concolor*			II	
	Canidae	*Cerdocyon thous*			II	
	Mustelidae	*Eira barbara*			III	
	Mustelidae	*Lontra longicaudis*	NT	VU	I	
Artiodactyla	Tayassuidae	*Pecari tajacu*			II	
Primates	Aotidae	*Aotus griseimembra*	VU	VU	II	X
	Atelidae	*Alouatta seniculus*			II	
Rodentia	Cuniculidae	*Cuniculus paca*			III	

Fuente: Threatened Species. Version 2012. 1. <www.iucnredlist.org>; Resolución 0192 del 2014 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, lista de especies amenazadas por el comercio CITEShttp://www.cites.org/esp/app/2013/S-Appendices-2013-09-30.pdf.
Convenciones: Categorías de las listas rojas: CR= En peligro crítico EN= En Peligro VU= Vulnerable DD= sin datos NT= cerca de la amenaza, Categorías CITES: I: Comercio internacional prohibido, excepto si se realiza sin fines comerciales; II y III: Comercio permitido pero controlado.

Se aprecia claramente, entonces, a la Nutria de Río (*Lontra longicaudis*) que a pesar de estar ampliamente distribuida en Centro y Suramérica presenta una población decreciente, por lo cual se la cataloga internacionalmente como *Cerca de la Amenaza (NT)*.

Se presenta igualmente en estado *Vulnerable* de extinción para Colombia y dentro de las causas de su vulnerabilidad se incluye la fuerte cacería y los efectos de la agricultura, deforestación, contaminación, polución y vertimientos que influyen en el deterioro de los ecosistemas acuáticos donde vive de forma exclusiva.

Se incluye también en reportes de CITES I para prohibir su cacería en Colombia y otros países de Suramérica, pero no se encuentra legalmente protegida en Belice, El Salvador y Guatemala.

La marteja o mono nocturno (*Aotus griseimembra*) se reporta como *Vulnerable (VU)* a nivel nacional (Resolución 192/ 2014 del MADS) e internacional (IUCN), además de estar incluida en listados CITES apéndices II, el cual incluye las especies en las que el comercio debe de ser controlado para evitar un uso incompatible con su supervivencia.

De esta especie se observó un grupo familiar de tres individuos en el bosque ripario en el área de Caño Babilla. Se considera que esta especie presenta un fuerte decrecimiento poblacional a causa de la deforestación para la expansión agrícola, lo cual genera grandes dificultades para su desplazamiento, alimentación y reproducción al ser altamente dependientes de los bosques en cuanto a sus requerimientos de hábitat.

Se reporta además con una distribución restringida al estar presente solo al norte de Colombia entre el Río Cesar pasando por la Serranía del Perijá hasta el Lago Maracaibo en Venezuela, por lo cual la rápida destrucción de sus hábitats la puede llevarla en corto plazo a la extinción.

Para los listados CITES, vale la pena destacar a la Nutria y al Tigrillo por su prohibición de comercio internacional restringido (CITES I), mientras que las demás especies en CITES II y III pueden ser comercializadas pero de forma controlada.

14.5.2. Aves

Las especies en Categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica para las aves hay que decir inicialmente que Colombia es conocida a nivel mundial por ser megadiverso y el de mayor riqueza en especies de aves, ya que alberga alrededor del 20% de la avifauna que se conoce en el mundo. Sin embargo, se estima que alrededor de unas 112 especies están bajo alguna categoría de amenaza a nivel global, 43 se encuentran en peligro, 19 peligro crítico y 50 vulnerables (Andrade, 2011).

Entre las causas que han puesto en riesgo la avifauna colombiana, se encuentran principalmente aquellas relacionadas con los cambios en los usos del suelo para expansión de la frontera ganadera y agrícola, explotación minera, cacería ilegal y contaminación (utilización inadecuada de plaguicidas) en los ecosistemas naturales del país (Franco, et al., 2009).

Con base en lo anterior, se hizo una revisión de las especies registradas para la zona del proyecto**,** listado en el que se consigna el grado de amenaza a nivel global y/o nacional, CITES así como endemismo (Tabla 14.10).

Tabla 14.10. Especies en Categorías de amenaza, CITES, endemismos

Familia	Especie	Nombre común	IUCN	MADS	CITES	Endemismo
Cracidae	*Ortalis garrula*	guacharaca				END
Accipitridae	*Gampsonyx swainsonii*	aguililla enana			II	
	Rupornis magnirostris	gavilán caminero			II	
Trochilidae	*Lepidopyga goudoti*	colibrí de goudot			II	CE
Bucconidae	*Hypnelus ruficollis*	bobo punteado				CE
Falconidae	*Herpetotheres cachinnans*	halcón reidor			II	
	Milvago chimachima	pigua			II	
Psittacidae	*Brotogeris jugularis*	periquito palmero			II	
	Pionus menstruus	cotorra cabeciazul,cheja			II	
	Amazona amazonica	loro caternica			II	
	Forpus conspicillatus	perico cascabelito			II	CE
Corvidae	*Cyanocorax affinis*	chau-chau,charan				CE

Convenciones: Categoría IUCN: CR: En Peligro Crítico; EN: En Peligro; VU: Vulnerable; NT: Casi Amenazado; LC: Preocupación Menor; NI: No incluida. CITES: Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. APÉNDICES: I, II y III; NI: No Incluida.

Endemismo: END: Endémico; CE: Casi endémico; EI: Especie de interés. NA: No Aplica.

Fuente: Grupo consultor, 2016.

De dicha revisión, en el presente estudio no se encontró especies amenazadas para Colombia según la Resolución 0192/2014 y los libros rojos de aves del país, así como tampoco a nivel global de acuerdo con los criterios evaluados por la IUCN.

Entre tanto, en el área de influencia del proyecto de la cuenca Río Piedras - Manzanares se registró una (1) especie endémica de Colombia, teniendo en cuenta la lista actual de aves endémicas y casi endémicas del país (Chaparro-Herrera, *et al* ., 2013) y el listado elaborado por la SACC (South American Classification Committee) (Remsen, et al., 2016) que corresponde a la Guacharaca *(Ortalis garrula)*, la cual tiene distribución muy restringida a los rangos geográficos del territorio, principalmente a las tierras bajas de la región caribe colombiana (Hilty & Brown, 1986).

Igualmente, se registran cuatro (4) especies categorizadas como *Casi-endémicas (CE)* del país: el colibrí de Goudot *(Lepidopyga goudoti)*, el bobo punteado *(Hypnelus ruficollis)*, el perico cascabelito *(Forpus conspicillatus)* y el chau-chau *(Cyanocorax affinis)*, obedeciendo a que estas presentan por distribución geográfica, alrededor del 50% de las poblaciones conocidas en el territorio colombiano y comparten el 50% restante con algún país vecino (Chaparro-Herrera, *et al* ., 2013).

Por su parte, para las especies incluidas en los apéndices de la convención internacional para el tráfico ilegal de especies silvestres amenazadas (CITES) y cuyo acuerdo busca regular el comercio para evitar su extinción (CITES, 2015), se encontraron 10 especies en el apéndice II de esta convención.

Si bien dicho apéndice agrupa aquellas no necesariamente amenazadas, pero se ejercerse un control en su comercio para evitar un riesgo para las especies, en el presente trabajo agrupó aves que por sus coloraciones, vocalizaciones o usos ornamentales (mascotas) están sujetas a actividades constantes de comercio, siendo el caso de rapaces de la familia Accipitridae *(Gampsonyx swainsonii, Rupornis magnirostris)* y Falconidae *(Milvago chimachima, Herpetotheres cachinnans)*, el colibrí de Goudot *(Lepidopyga goudoti)*, loras y pericos de la familia Psittacidae *(Brotogeris jugularis, Pionus menstruus, Amazona amazónica, Forpus conspicillatus, Eupsittula pertinax)*.

Entre tanto, se resalta que durante la fase campo no se registraron ya sea por observación directa y/o capturas, especies en alguna resolución nacional de veda expedidas en su momento por el anterior Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA).

Por otro lado, las aves es un grupo que ha tenido distintos usos etnobiológicos en las comunidades a través de la historia de la humanidad, principalmente como aprovechamiento para supervivencia (alimento) y recreación (mascotas), lo que ha permitido ser un grupo parte de la identidad cultural de las comunidades (Aranda, *et al.*, 1999;" Coroana-Martinez, 2008).

De igual forma, las apreciaciones con respecto al uso de la avifauna por la población, sugiere una importancia atribuida a su utilidad y es por tanto un elemento más de los recursos naturales al servicio del hombre (Londoño-Betancourt, 2009).

En este sentido, algunas especies registradas en la zona del proyecto de la cuenca Río Piedras - Manzanares son usadas por la comunidad local ya sea con fines alimenticios, ornamentales (mascotas) o sufren presiones de cacería por representar algún peligro.

Entre las aves usadas como fuente de alimento se encuentran principalmente la guacharaca *(Ortalis garrula)*, la perdiz común *(Colinus cristatus)*, el pato aguja *(Anhinga anhinga)* y palomas o tórtolas *(Patagioenas cayennensis, Leptotila verreauxi, Zenaida auriculata, Columbina talpacoti)*, a pesar de que algunas de estas no constituyen un recurso significativo en términos de proteína animal consumida (Fernandez-Lavado, & Peñuela-Recio, 2011).

Es de anotar que ninguna de las aves mencionadas anteriormente se encuentra en la lista de especies amenazadas a nivel global según los criterios de la IUCN, así como tampoco para los listados de los libros rojos de Colombia y la Resolución 0192/2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MASD).

Sin embargo, dentro de las especies con uso potencial como fuente de alimento esta la guacharaca *(Ortalis garrula)*, la cual es endémica del país y cuyas poblaciones han sufrido presiones de cacería debido al valor comercial que tiene como fuente de alimento y mascota en las zonas donde se encuentra (Rodríguez-Mahecha, 2005).

Otras aves como loras y pericos de la familia Psittacidae *(Brotogeris jugularis, Pionus menstruus, Amazona amazónica, Forpus conspicillatus, Eupsittula pertinax)* que están incluidas en el apéndice II de CITES, el azulejo *(Thraupis episcopus)*, el papayero *(Saltator coerulescens)*, el turpial amarillo *(Icterus nigrogularis)*, son especies que sufren presiones de cacería siendo extraídas de su hábitat natural (capturadas) y comercializadas como mascotas gracias a los hermosos patrones de coloración y/o vocalizaciones llamativas que estas presentan, tanto en la región como en otras zonas del país (Fernandez-Lavado & Peñuela-Recio, 2011).

En cambio, las aves rapaces como la aguililla enana *(Gampsonyx swainsonii)*, el gavilán caminero *(Rupornis magnirostris)*, el halcón reidor *(Herpetotheres cachinnans)* y la pigua *(Milvago chimachima)*, son usualmente objeto de cacería porque representan un peligro para los animales domésticos así como para los cultivos de la población local. Se resalta además, que estas se encuentran en el apéndice II de la CITES.

Por último, se consideran las especies focales y sombrillas encontradas en el área de estudio de acuerdo con el listado de especies focales elaborado para el departamento de Córdoba y los criterios tenidos en cuenta para dicho listado (Baptispe, & Franco, 2006).

En este contexto las especies sombrillas o focales para la zona del proyecto de la cuenca Río Piedras - Manzanares son las siguientes: la guacharaca *(Ortalis garrula)* por ser endémica del país y que su rango de distribución está restringido a las tierras bajas del caribe. Otras que se incluyen son el turpial amarillo *(Icterus nigrogularis)* y los Psitácidos *(Brotogeris jugularis, Pionus menstruus, Amazona amazónica, Forpus conspicillatus, Eupsittula pertinax)* por ser aves cazadas y explotadas (cosechadas) por la población.

En particular, los Psitácidos actúan como especies «*Sombrilla*» en las zonas donde habitan, ya que la conservación de sus hábitats permite el beneficio de otras especies, además presentan un amplio rango de distribución y alto grado de especificidad de hábitat (Quevedo–Gil, 2006).

Así mismo, al ser especies que basan su dieta en el consumo de semillas y frutos, las convierte en excelentes dispersoras de semilla, cumpliendo un papel importante en los procesos de sucesión y regeneración del bosque, y manteniendo así el hábitat para la supervivencia de estas y otras especies(Rodríguez-Mahecha, *et al*., 2005).

14.5.3. Reptiles

Para el caso de los reptiles, las especies en Categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica que se reportan para este grupo de la macrofauna es la presencia de cuatro especies incluida en listados CITES (tres en CITES II y una en CITES I) y una especie incluida en alguna categoría de amenaza tanto nacional (Resolución 192/2014) como internacional (UICN).

Respecto al apéndice CITES II, este incluye las especies que no necesariamente están amenazadas con la extinción, pero en las que el comercio debe de ser controlado para evitar un uso incompatible con su supervivencia, entre las cuales se presentan las boas, la iguana y la babilla, mientras que el apéndice CITES I prohíbe el comercio de especies en amenaza de extinción o de productos derivados de estas. Por su parte, ninguna de las especies reportadas se considera como endémica (Tabla 14.11).

Tabla 14.11. Listado taxonómico de reptiles en categorías de amenaza

Familia	Especie	Nombre común	IUCN	MADS	CITES
Boidae	*Corallus ruschenbergerii*	Boa arborícola			II
Iguanidae	*Iguana iguana*	Iguana			II
Alligatoridae	*Caiman cocodrilus*	Babilla			II
Cheloniidae	*Eretmochelys imbricata*	Tortuga carey	CR	CR	I

Convenciones: Categoría IUCN: CR: En Peligro Crítico; EN: En Peligro; VU: Vulnerable; NT: Casi Amenazado; LC: Preocupación Menor; NI: No incluida. CITES: Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Apéndices: I y II

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Sobre la tortuga Carey evaluada como en *Peligro Crítico (CR)* a nivel nacional e internacional, esta consideración resulta de una caza intensa por parte de los humanos ya sea para el consumo o para la elaboración de artefactos a partir de las placas dérmicas de su caparazón, razón que llevo a la reducción de su población mundial en un 80%. Además de la cacería, se suma la invasión y destrucción de sus hábitats y zonas de anidación en las playas.

14.5.4. Anfibios

Para los anfibios, en cuanto a las especies en Categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica, ninguna de las especies de anfibios registradas en el área de la cuenca

Río Piedras - Manzanares se encuentra en listados de amenaza nacional (Resol. 192/2014), internacional (IUCN), listados CITES o con distribución de endemismo para Colombia.

14.6. Conclusiones

Para el caso de la fauna de la cuenca Río Piedras – Manzanares, tal como se mencionó para el componente flora es evidente la influencia positiva de la presencia espacial de dos Parques Nacionales Naturales, siendo estos el PNN Tayrona y PNN Sierra Nevada de Santa Marta.

Dado que hay una gran proporción de áreas vegetales naturales conservadas que llega a ser casi del 70% para la cuenca Río Piedras – Manzanares que involucra dos sectores principales: los sectores del bosque húmedo tropical de la Sierra Nevada y el bosque seco de los cerros del Parque Tayrona y de las inmediaciones de la ciudad de Santa Marta, ello tiene gran significado también para la conservación de los diversos grupos de la fauna.

Los diversos bosques húmedos tropicales y secos presentes en la cuenca y sus alrededores conservados, asegura tal funcionalidad ecológica que ello permite una importante adecuabilidad de diversos hábitat para los grupos de la fauna con lo cual sus actividades de vida, alimentación, reproducción e interacción son óptimas, al igual que sus poblaciones de tal forma que evidencia de ello son los muchos endemismos que se han reportado y presentado en esta eco-región.

Por ello es importante nuevamente resaltar, la importancia de los parques naturales como áreas de protección, conservación y promoción de la fauna, con lo cual también hay que trabajar sobre aquellas zonas colaterales o aledañas en donde ha habido procesos de intervención muy fuertes básicamente para la implementación de cultivos principalmente de café, ante lo cual es importante generar medidas de protección para los bosques y la fauna a través de la generación de otras opciones para los residentes como cultivos agroecológicos que no entren en afectación directa con la fauna o sus territorios necesarios para su conservación.

Igualmente, se deben implementar tareas como la educación ambiental para seguir en el proceso de reducción de otros factores que afectan la fauna en la cuenca de Río Piedras – Manzanares como la cacería que se ha venido reduciendo como factor de presión pero también reducir o controlar la introducción de especies domésticas que impactan la fauna especialmente los grupos de aves, reptiles y anfibios.

15. ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

Una importante estrategia de conservación adoptada por Colombia es el establecimiento oficial del Sistema Nacional de Áreas Protegidas –SINAP- (Decreto 2372 de 2010), encargado de las áreas protegidas de orden regional y nacional (Latorre et al., 2014). Mediante este sistema se conservan ecosistemas estratégicos, aquellos que cumplen papeles fundamentales en los procesos naturales, sociales, económicos y ecológicos; todos los procesos y funciones vitales para el bienestar y desarrollo de la sociedad, a través de la prestación de bienes y servicios ambientales esenciales (Márquez, 2003).

Los servicios ambientales se pueden definir como los procesos mediante los cuales los ecosistemas mantienen y satisfacen la vida humana, o de forma más sencilla, como los beneficios que las personas reciben de los ecosistemas (MEA, 2005). Entre estos se encuentran: la regulación del clima, la provisión de agua para consumo, abastecimiento y generación de energía, el mantenimiento de los suelos para la producción y el mantenimiento del sistema natural para prevención de desastres; la preservación cultural representa un aspecto de vital importancia en la conservación de las áreas protegidas por el SINAP (Márquez, 2003; Latorre et al., 2014). A nivel Nacional existen innumerables ecosistemas catalogados de función estratégica por la prestación de estos servicios.

La evaluación de los ecosistemas del Milenio (2005), clasifica los servicios ecosistémicos en cuatro categorías:

- **Servicios de aprovisionamiento:** Son los productos obtenidos de los ecosistemas, incluyen: alimentos y fibras, agua para consumo, combustible, madera, recursos genéticos y medicinas.

- **Servicios de regulación:** Son los beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos tales como mantenimiento de la calidad del aire, regulación del clima, regulación de agua, control de erosión, control biológico, entre otros.

- **Servicios de soporte:** Estos son necesarios para la provisión de todos los otros servicios. Difieren de los demás en que sus efectos en las personas son indirectos u ocurren en un período largo de tiempo, mientras que los cambios en los otros servicios, tienen impactos directos y de corto plazo en las personas. Algunos servicios son: producción de oxígeno atmosférico, producción primaria, formación y retención de suelo, ciclado de nutrientes, ciclado de agua y provisión de hábitat.

- **Servicios culturales:** Son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas por medio del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación, entre otros. Estos están fuertemente ligados a los valores humanos y al

comportamiento, por lo que las percepciones de estos servicios difieren entre individuos y comunidades.

Teniendo en cuenta lo anterior se entiende entonces que el análisis de ecosistemas estratégicos se debe realizar de manera integral desde una perspectiva de valor social (bienestar), que permite entender de forma sencilla la articulación de los ecosistemas con el desarrollo humano incluyendo la economía, la salud, las relaciones sociales y la cultura de las sociedades humanas. A continuación se realiza una descripción general de los biomas y ecosistemas presentes en la cuenca, de las áreas de importancia ambiental y de los ecosistemas estratégicos identificados dentro de la misma.

15.1. Biomas Y Ecosistemas Presentes En La Cuenca

A partir de la información cartográfica disponible en el Atlas-SINAP realizado por Latorre et al. (2014), se presentan las unidades ecológicas (Biomas) potenciales presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe como punto de partida en el establecimiento de Áreas y ecosistemas estratégicos a evaluar. El termino bioma se usa para designar una comunidad biótica integrada por plantas y animales que posee una uniformidad fisonómica determinada por una formación vegetal madura y estable. Los biomas se consideran “ambientes grandes y uniformes de la biosfera” que corresponden a un área homogénea en términos biofísicos, ubicada dentro de una misma formación biogeográfica. Por lo tanto, un bioma puede considerarse como un conjunto de ecosistemas afines por sus rasgos estructurales y funcionales, los cuales se diferencian por sus características vegetales (IDEAM, 2015).

Según Latorre et al. (2014), en la presente cuenca se encuentran 11 tipos de biomas potenciales; el Bosque seco tropical que representa la mayor área con el 37,9% del total de la cuenca, seguido por el Bosque húmedo subandino con el 27,9%, la Selva húmeda tropical con 15,2%, el Matorral seco tropical con 8,3%, el Bosque húmedo alto andino con el 4,9%, las Sabanas tropicales con 4,1%, estos representan la mayoría de los biomas presentes en la cuenca, los siguientes ocupan menos del 1% cada uno e incluyen el Bosque galería tropical con 0,8%; las Playas, médanos y/o dunas tropicales, los Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas), y los Humedales y zonas lacustres tropicales que ocupan el 0,1% cada uno, y por último los Bosques de mangle tropical-natales correspondiente al 0,03% de la totalidad de la cuenca (Figura 15.1)

15.1.1. Bioma Bosque seco tropical

Se caracteriza por presentar comunidades arbóreas que pierden sus hojas en los meses desprovistos de humedad; se desarrollan en climas semiáridos y áridos, y presentan largos periodos de sequía donde la evapotranspiración supera a las precipitaciones durante al menos cinco meses al año. Durante la época seca la fisionomía cambia abruptamente cuando las especies de árboles dominantes se desfolian y el dosel se vuelve grisáceo, este periodo dura aproximadamente seis meses; el dosel esta entre los 15 y 30 metros, copas muy amplias y convexas, fustes bien conformados o con ramificaciones bajas, sin embargo, presenta un estrato arbóreo de unos ocho a 20 metros con copas más abiertas y fustes menos regulares (Latorre et al., 2014). En la presente cuenca se encontraron 35.165,50 ha potenciales de este bioma, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.2. Bioma Bosque húmedo subandino

Se encuentra en el piso térmico templado isomacrotérmico con temperaturas medias anuales entre 18 a 24°C en climas húmedos a superhúmedos, con la característica de la elevación de la humedad por la frecuencia de nieblas. La altura del dosel es cercano a los 20 m, pero pueden aparecer elementos brevicaducifolios, los estratos arbustivo y herbáceo pueden ser bastante densos, con una cobertura de musgos y helechos que llega a ser muy densa, pueden presentar numerosas trepadoras y palmeras que llegan hasta sesenta metros de altura y forma un dosel relativamente denso que sobrepasa la altura de los árboles. Se distribuye principalmente en las montañas del piso térmico templado de las vertientes de las cordilleras y serranías (Latorre et al., 2014). Para la presente cuenca se determinaron 25.917,44 ha de este bioma, para la delimitación de este bioma se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

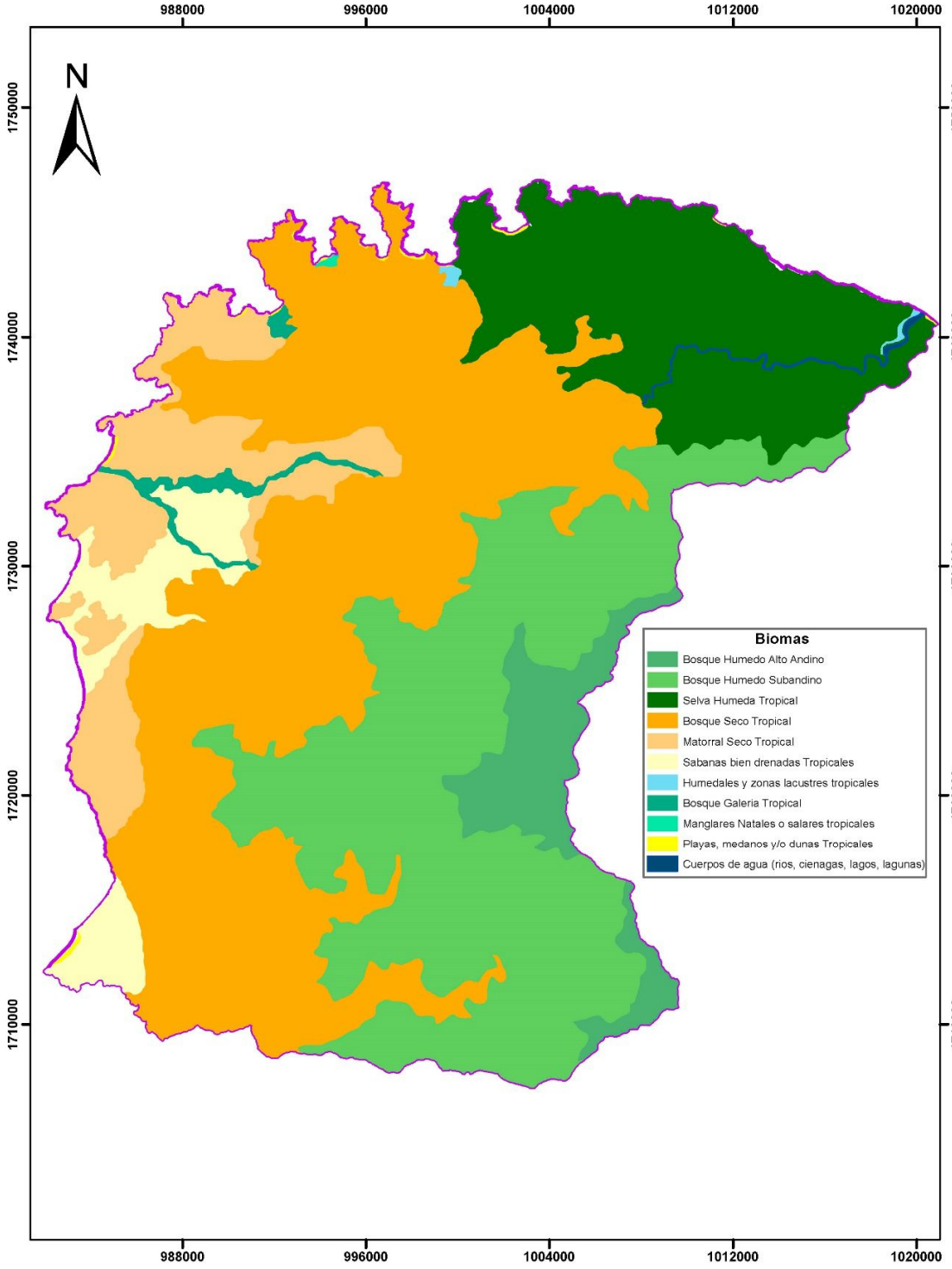
15.1.3. Bioma Selva húmeda tropical

Este bioma está conformado por árboles de fuste alto, llamados también “selvas húmedas” ecuatoriales; se caracteriza por presentar un clima lluvioso con precipitaciones entre 1.500 y 11.000 mm por año. Los suelos que presenta en su mayoría son valles interandinos con capas de cenizas volcánicas y en ocasiones desarrollan capas de alteritas de varios metros de espesor; su composición florística es extremadamente variada y su extensión representa el bioma predominante del país (Latorre et al., 2014). En la cuenca se dice que hay 14.073,13 ha correspondientes a este bioma, para la delimitación de este bioma se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.4. Bioma Matorral seco tropical

Este bioma está conformado por una vegetación con predominio de arbustales y/o matorrales de carácter xeromórfico pronunciado, denominados “matorrales secos”; se encuentra en climas cálidos a desérticos y en ocasiones semiáridos asociados a suelos con altos contenidos de sales. Las precipitaciones son superadas por la evapotranspiración durante al menos la mitad del año y se encuentra en espacios de sustrato rocoso y suelos compactos que limitan el almacenamiento y la disponibilidad de agua para las plantas, por lo que genera un crecimiento bajo y en parches. Puede considerarse un bioma de transición entre el bosque seco tropical y el desértico tropical (Latorre et al., 2014). En la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encontraron 7.699,16 ha potenciales de este bioma, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

Figura 15.1. Biomas presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



15.1.5. Bioma Bosque húmedo alto andino

Se caracteriza por el predominio de árboles, climáticamente está expuesto a los frentes de condensación que alcanzan a cubrir el bioma de páramo que se encuentra en la parte superior de este, por lo tanto sus condiciones son de semihúmedas a superhúmedas; comprende los pisos climáticos frío y muy frío, su vegetación puede alcanzar hasta los 18 metros de altura de bosques perennifolios, si el dosel alcanza mayor altura puede haber dos estratos de árboles pequeños. El suelo está cubierto por hierbas, helechos y musgos de capas densas hasta de 10 centímetros de espesor (Latorre et al., 2014). Este bioma se encuentra potencialmente en 4.535,23 ha del área de la cuenca, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.6. Bioma Sabanas tropicales

Se caracteriza por presentar una vegetación con predominio de herbáceas, pero que puede presentar arbustos, subarbustos e incluso árboles y palmeras de manera esparcida; las sabanas se presentan en climas cálidos, con promedios de precipitación entre 1.000 y 2.800 mm al año, las lluvias reflejan la alternancia de temporadas seca y lluviosa, con cuatro a siete meses de sequía pronunciada. Los suelos son pobres en materia orgánica y en nutrientes y con un nivel freático profundo; también presentan altos niveles de óxidos de hierro y aluminio limitantes para la vegetación. Las sabanas constituyen un complejo de formaciones naturales que son clímax edáficos que pueden verse afectadas por incendios por causas naturales que se incrementan por causas antrópicas. Se pueden distinguir dos tipos de sabanas las estacionales o bien drenadas que presentan un régimen alternohígrico y las sabanas hiperestacionales o inundables que presentan un drenaje deficiente (Latorre et al., 2014). En el caso de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encuentran Sabanas tropicales bien drenadas o estacionales y se encuentran potencialmente en 3.827,35 ha, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.7. Bioma Bosque de galería tropical

Los bosques de galería tropical son biomas de tipo azonal localizados alrededor de los drenajes en zonas bajas de mal drenaje con fondos planos o cóncavos con depósitos de material fino; se asocia con bosques riparios que pueden formar fajas a lo largo de ríos y cursos de agua permanentes, pueden inundarse transitoriamente durante el año. Se localizan en climas desde semihúmedos a desérticos que pueden presentar estrés hídrico en diferentes periodos anuales, sin embargo sus características edáficas son más húmedas que sus alrededores por lo cual presenta una exuberante vegetación, por la misma razón funciona como corredor para la dispersión de biota y albergue de fauna durante las épocas secas en los alrededores (Latorre et al., 2014). Este bioma es de los menos representativos de la respectiva cuenca con 757,41 ha, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.8. Bioma Playas, médanos, dunas tropicales

Son un bioma de tipo azonal que se desarrolla en suelos arenosos poco evolucionados de playas y dunas o médanos; comprende sedimentos acumulados de forma sucesiva que están compuestos por arenas medias a gruesas, su formación se asocia a la redistribución de los aportes aluviales y a los sedimentos originados de la erosión litoral de acantilados y arrecifes de coral. Debido a su

localización alberga vegetación de tipo halófitas, se encuentran especies leñosas como el manzanillo, el icaco, el uvo de playa, entre otros. En cuanto a los médanos y dunas, se refieren a formaciones arenosas asociadas a climas áridos o desérticos (Latorre et al., 2014). En la presente cuenca se determinaron 125,45 ha correspondientes a este bioma, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.9. Bioma Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas)

Latorre et al., 2014 aseguran que este bioma corresponde a los cuerpos de agua dulces o salobres que se encuentran en valles aluviales de los drenajes, depresiones tectónicas, o formas cóncavas asociadas a la disolución de rocas; están localizados a lo largo del país en todos los climas, por lo que su fauna y flora asociada presentan gran variedad de adaptaciones. Este bioma se clasifica según la velocidad de los flujos de agua: aguas corrientes o loticas (ríos), y aguas quietas o lenticas (lagos, lagunas, ciénagas y pantanos). Para la presente cuenca se determinaron 124,85 ha, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.10. Bioma Humedales y zonas lacustres tropicales

Se encuentra en llanuras o valle aluviales inundables por desborde y/o encharcamiento por lluvias; presenta un relieve de morfología plano-cóncava con pendientes inferiores a un grado, predominan las formaciones aluviales heterométricas con dominancia de materiales finos, niveles freáticos altos y baja velocidad de corrientes. Este ecosistema se encuentra localizado a lo largo del país con climas desde áridos hasta superhúmedos; y los suelos presentan regímenes de humedad con saturación temporal o permanente de agua; debido a esto la vegetación presenta adaptaciones a altos niveles de humedad (Latorre et al., 2014). Dentro de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe este bioma ocupa potencialmente 106,19 ha, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.11. Bioma Mangle tropical-natales

Comprende la franja litoral, está localizado en áreas bajas mal drenadas que presentan morfología plana-cóncava, donde se llevan a cabo procesos de sedimentación marina y terrestre; contienen coberturas de mangle, o salares en condiciones áridas y desérticas. La vegetación está representada por manglares, bosques densos con arbolado desde porte pequeño hasta unos cuarenta metros de altura. Los suelos se componen de material fino orgánico, son pobremente drenados a pantanosos con sales y un nivel freático muy superficial. Las especies suelen aparecer siguiendo una zonación definida donde predomina una sola especie, el sotobosque presenta plántulas o brinzales de mangle, helechos y ocasionalmente bejucos (Latorre et al., 2014). Este bioma es el de menor representación en la cuenca con 27,98 ha del total, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.2. Áreas Protegidas De Orden Nacional Y Regional Declaradas

Latorre et al., 2014 define las áreas protegidas como “escenarios ideales para la realización de investigaciones que permite conocer más y mejor la diversidad”, por lo tanto la tipificación de estas hace parte de los objetivos de conservación y protección del país. La identificación de las áreas protegidas presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe para la

formulación de planes de ordenación y manejo, se realiza teniendo en cuenta el siguiente orden de prioridad: Parque Nacional Natural (PNN), Reserva Forestal Protectora Nacional (RFPN), Parque Natural Regional (PNR), Reserva Forestal Protectora Regional (RFPR), Distrito de conservación de Suelos (DCS), Distritos de Manejo Integrado (DRMI), Área de Recreación (AR) y Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC).

La cuenca hidrográfica río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe presenta diferentes áreas protegidas que evidencian el efecto que tienen para la conservación de la zona, en la Tabla 15.1 se consolida la información sobre estas áreas que incluyen dos parques nacionales naturales, una reserva forestal protectora nacional y cuatro reservas naturales de la sociedad civil.

Tabla 15.1. Áreas protegidas de orden nacional y regional

Tipo de área	Nombre	Resolución	Área (ha)	% de la cuenca
Parques Nacionales Naturales	Sierra Nevada de Santa Marta	0164 de 06/06/1977	220,3	0,24
	Tayrona	0292 de 18/08/1969	12.256,0	13,21
Reserva Forestal Protectora Nacional	Cuenca Alta del río Jirocasaca	0241 de 15/10/1981	292,2	0,31
Reservas naturales de la Sociedad Civil	Pachamama	0007 de 06/02/2014	3,1	0,003
	Las Aves El Dorado	0109 de 21/06/2010	582,6	1,00
	Parque Ambiental Palangana	0091 de 19/05/2010	13,5	0,01
	La Iguana Verde	0179 de 08/08/2007	59,0	0,06

15.2.1. Sistema de Parques Nacionales Naturales

Se denomina Sistema de Parques Nacionales al conjunto de áreas con excepcionales valores de patrimonio nacional, se declara debido a sus características naturales, culturales e históricas en beneficio de los habitantes de toda la nación, está integrado por los tipos de áreas consagradas en el Decreto – Ley 2811 de 1974 (Latorre et al., 2014).

Un Parque Nacional se comprende como el área de extensión que permite su autorregulación ecológica y cuyos ecosistemas no han sido perturbados por explotación u ocupación humana; para su perpetuación se somete a un régimen adecuado de manejo debido a su valor científico, educativo, estético y recreativo en cuanto a sus especies vegetales y animales, características geomorfológicas y manifestaciones históricas o culturales (PNNC, 2017).

15.2.1.1. *Sierra Nevada de Santa Marta*

El Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta se estableció en 1964, adscrito a la Corporación de los Valles del Magdalena y del Sinú, luego en 1968 se adjudicó al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables INDERENA, posteriormente en 1977 se amplió a 383.000 ha y bajo la jurisdicción de los departamentos de Magdalena, Cesar y La Guajira. La Sierra Nevada de Santa Marta cuenta con diferentes distinciones, entre ellas Reserva de Biosfera declarada por UNESCO en 1979 y Reserva Forestal de Ley segunda que se superponen dentro del área del Parque Nacional Natural (Viloria De la Hoz, 2005).

La Sierra se conoce como la cuna de los Tayrona, una civilización indígena que existió hace algún tiempo en el país. Incluso allí se encuentran descendientes de esa cultura con alrededor de 70.000 indígenas de las etnias Kogui, Arhuaco, Kankuamo y Wiwa. Es la formación montañosa litoral más elevada del mundo, con dos picos de 5.775 m de altitud; el pico Cristóbal Colón y el pico Simón Bolívar. Por su variedad de ecosistemas, pisos térmicos junto al mar, su belleza singular y su riqueza histórica y cultural constituye un paraje único para visitar (PNNC, 2017).

Dadas sus características geográficas, geomorfológicas y climáticas el Parque presenta todo tipo de ecosistemas, selva húmeda ecuatorial, selva subandina, selva andina, páramo, superpáramo y piso de nieve. Otra riqueza presente en la Sierra está representada por las fuentes hídricas; dentro de esta área se forma una estrella hidrográfica conformada por 35 ríos de los cuales 16 nacen en el Parque, el caudal riega las tierras de, las planicies y los valles de los ríos Cesar y Ariguaní y una extensa zona semiárida de La Guajira, también abastece los acueductos que surten cerca de 1,5 millones de habitantes de varias ciudades principales (PNNC, 2017).

En cuanto al patrimonio floral cabe destacar la presencia de 126 especies endémicas, entre ellas el árbol gigante caracolí (*Anacardium excelsum*), el chupo (*Quararibea cordata*), la tagua distinguida como el "marfil vegetal" (*Gaia dendron*), la palma de cera (*Ceroxylon*) y la ceiba de leche (*Hura crepitans*). La riqueza faunística está dada por la presencia de 44 especies endémicas de las 340 registradas para toda Colombia; según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) en el área viven cerca de 49 especies con alguna categoría de amenaza, entre ellas se puede destacar el cóndor (*Vultur gryphus*), el jaguar (*Panthera onca*), el venado de páramo (*Mazama Rufina*), el paujil (*Crax Alberti*) y la danta (*Tapirus kabomani*; PNNC, 2017). Según el Sistema de PNN de Colombia los principales objetivos de conservación del parque son:

- Conservar los ecosistemas de páramo, de selva andina y subandina representados en el Parque, como zonas estratégicas por la regulación hídrica y por presentar endemismo.

- Conservar y facilitar la recuperación natural representada por el zonobioma húmedo ecuatorial y el orobioma selva subandina, por que agrupan gran cantidad de especies en alguna categoría de amenaza en la Sierra Nevada de Santa Marta.

- Conservar Ezwamas y demás sitios sagrados presentes en el Parque, correspondientes a los cuatro grupos indígenas, como patrimonio cultural y natural de estas comunidades.

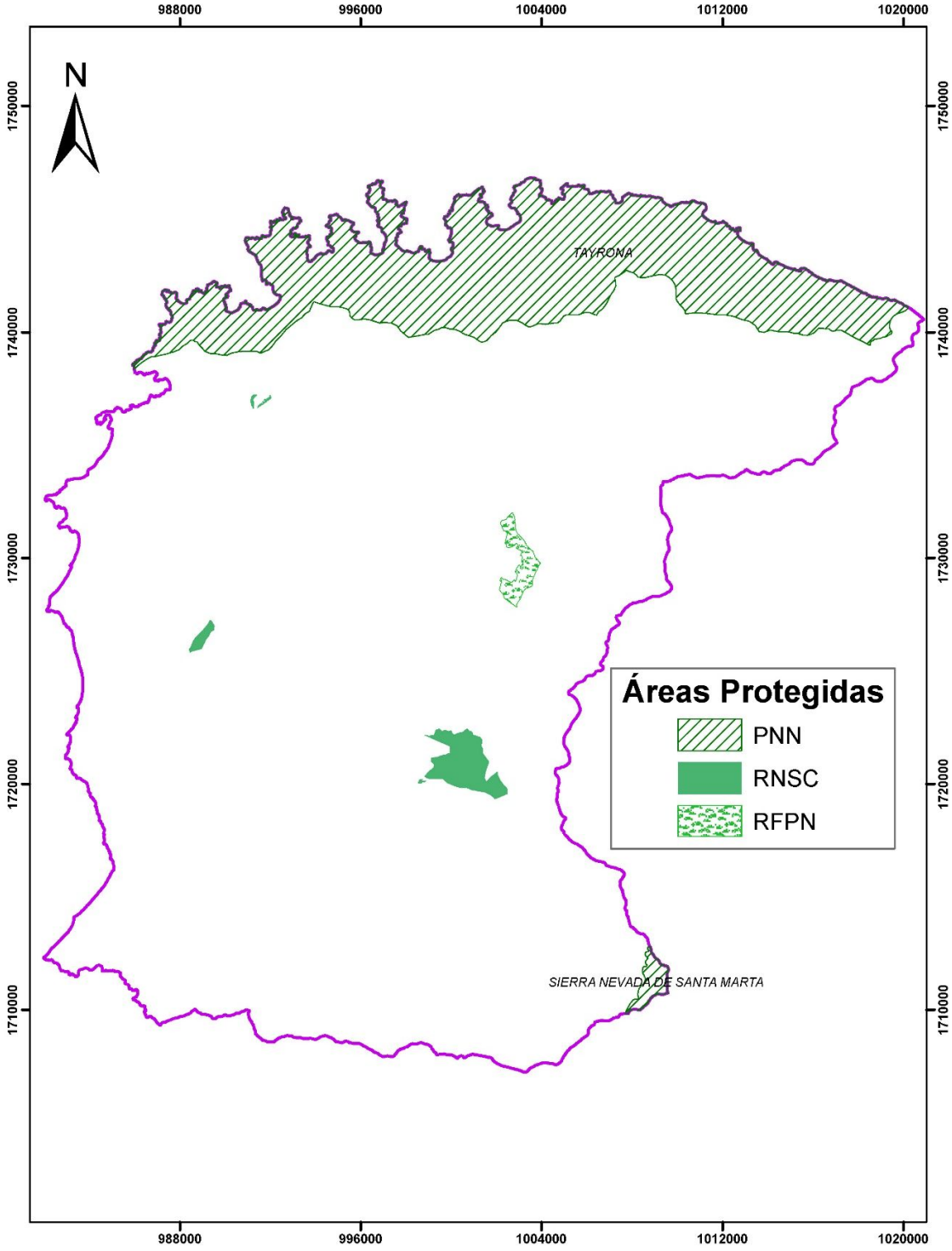
El Parque es una zona de vital importancia por los innumerables servicios ecosistémicos que este presta; no solo servicios culturales por el enriquecimiento recreacional, también de abastecimiento por presentar grandes fuentes hídricas y de regulación por el gran aporte al mantenimiento de la biodiversidad biológica. Del total del área del parque 220,30 ha se encuentran dentro de la cuenca, conformando menos del 0.3% de la misma (Figura 15.2). Aunque representa un área mínima corresponde al bioma potencial de Bosque húmedo alto andino de gran importancia para la zona.

15.2.1.2. *Tayrona*

El parque Tayrona, declarado en 1964 y modificado en 1969, cuenta con una extensión total de 15.000 ha de las cuales 12.256 ha corresponden al área continental del parque el área restante pertenece a la franja marina (Viloria De la Hoz, 2005). Se ubica en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, con bahías y ensenadas como: Chengue, Gayraca, Cinto, Neguanje, Concha, Guachaquita, que presentan playas de arenas blancas delimitadas por, manglares, matorrales o bosques, y bañadas por las aguas del mar Caribe; tiene vestigios arqueológicos de una antigua ciudad de la comunidad Tayrona (PNNC, 2017).

Presenta una temperatura de 27°C en promedio y se encuentra a una altura desde los 0 hasta los 900 m.s.n.m.; el Parque exhibe gran variedad de tipos de vegetación, se encuentra matorral espinoso y bosques nublados, húmedos y secos, los últimos se consideran los mejores conservados del país. En cuanto al área marina se encuentran ecosistemas costeros como lagunas costeras, manglares, playas arenosas, litoral rocoso, fondos arenosos, formaciones coralinas y pastos marinos. Hidrográficamente el Parque cuenta con dos sistemas de drenaje, uno formado por pequeñas quebradas y arroyos que fluyen directamente al mar Caribe y el segundo de tipo continental integrado por las quebradas que desembocan al río Piedras (PNNC, 2017).

Figura 15.2. Áreas protegidas presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



La riqueza florística del Parque está dada por la presencia de especies determinantes para cada uno de los ecosistemas, los bosques secos están representados por especies como el aromo (*Acacia tortuosa*), la ceiba (*Hura crepitans*), el candelabro (*Subpilocereus russellianus*), el trupillo (*Prosopis julliflora)*, la olla de mono (*Lecythis minor*), el dividivi (*Caesalpinia coriaria*), el resbalamono (*Bursera simarouba*), el guamacho (*Pereskia guamacho*) y la tuna (*Opuntia wentiana*) y el brasil (*Haematoxylon brasiletto*); para los boques de tipo húmedo destacan especies como la palma de vino (*Sheelea magdalenica*), la palma amarga (*Sabal mauritiiformis*), el caracolí (*Anacardium excelsum*), el guáimaro (*Brosimun alicastrum*), la iraca (*Caludovica palmata*), el higuerón (*Ficus* sp.), el macondo o bonga (*Cavanillesia platanifolia*), la ariza (*Brownea ariza*) y una gran variedad de epífitas, bromelias, orquídeas, aráceas y musgos; mientras que los bosques nublados se caracterizan por especies como el cafecillo (*Senna occidentalis*), el guarumo (*Cecropia peltata*), el aguacate (*Persea americana*),el guáimaro (*Brosimum* sp.) y la majagua blanca (*Heliocarpus americanus*; PNNC, 2017).

La gran variedad de fauna está representada por grandes grupos como mamíferos, aves y reptiles, sin contar la notable diversidad de especies marinas donde se encuentran mamíferos, crustáceos, moluscos y corales. Entre los mamíferos terrestres se puede destacar el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), el armadillo (*Dasypus novemcinctus*), el mono nocturno (*Aotus lemurinus*), el perezoso (*Bradypus variegatus*), el mico maicero (*Cebus albifrons*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el venado colorado (*Mazama americana*) y el jaguar (*Panthera onca*); por otra parte, las aves representan un importante grupo por la presencia de más de 390 especies, entre ellas el buitre rey (*Sarcoramphus papa*), el tinamú chico (*Cripturellus soui*), el halcón garrapatero (*Milvago chimachima*), la torcaza morada (*Columba cayannensis*) y el gavilán caminero (*Buteo magnirostrisy*). En cuanto a los reptiles, hace poco se reportó la presencia del caimán aguja (*Crocodylus acutus*), siendo este Parque una de los pocos nichos del país donde aún se encuentra (PNNC, 2017). Según el Sistema de PNN de Colombia el Tayrona tiene como principales objetivos de conservación:

- Conservar el mosaico ecosistémico terrestre y las especies asociadas, en este se incluye el mosaico espinoso y los bosques húmedo, tropical y seco con sus respectivos servicios ambientales.

- Conservar el mosaico ecosistémico marino–costero y las especies asociadas, en este se incluyen las formaciones coralinas, los pastos marinos, los fondos sedimentarios, las playas, el litoral rocoso, las lagunas costera y los manglares con sus respectivos servicios ambientales.

- Mantener las diferentes fuentes de agua como autorreguladores ecosistémicos del área del parque.

- Conservar los ecosistemas asociados a los puntos de “Línea Negra” dentro del área como parte constitutiva del territorio indígena del complejo de la Sierra Nevada de Santa Marta y los vestigios arqueológicos como “Chairama” o Pueblito, considerado monumento y patrimonio nacional.

El Parque Tayrona representa un área de gran importancia por la cantidad de servicios ecosistémicos que ofrece entre ellos de tipo cultural que incluye no solo el enriquecimiento recreacional sino también espiritual y el mantenimiento de la riqueza cultural; en cuanto a los servicios de soporte se puede mencionar la producción de oxígeno y en los de regulación la protección costera, entre muchos otros. Para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, según el SIAC se registra un área de 12.256 ha, correspondientes al 13% del área (Figura 15.2). Dentro de esta zona se encuentran la gran mayoría de biomas potenciales presentes en la cuenca; los de mayor representatividad son la Selva húmeda y el Bosque secos tropical, pero también se encuentran los biomas de playas, manglares, bosques de galería tropical y cuerpos de agua, cada uno de ellos representa los servicios ecosistémicos anteriormente mencionados y permite ver la importancia del manejo adecuado de un área tan importante con el PNN Tayrona.

15.2.2. Reserva Forestal Protectora Nacional

Las Reservas Forestales Protectoras (RFPN), se definen como los espacios geográficos en los que los ecosistemas de bosque mantienen su función a pesar de que su estructura y composición hayan sido modificadas, y los valores naturales asociados se ponen a disposición de la comunidad para destinarlos a su preservación, restauración, uso sostenible, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los boques y demás coberturas vegetales naturales (Latorre et al., 2014).

En la presente cuenca se encuentra la RFPN de la Cuenca Alta del río Jirocasaca, establecida mediante Resolución 0241 del 15 de Octubre de 1981, donde la Junta Directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente – INDERENA, declara como Zona de reserva forestal protectora a dicha cuenca ubicada en el Municipio de Santa Marta en el Departamento del Magdalena, con un área de 292,23 ha, todas inmersas dentro de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, correspondientes al 0,31% del total (Figura 15.2).

El área correspondiente a esta categoría de áreas protegidas corresponde al bioma potencial de Bosque húmedo, el cual cobra un alto grado de importancia debido a la gran cantidad de servicios ambientales que presta este ecosistema, entre sus funciones esta la estabilización climática y atmosférica como almacén de carbono y también son fundamentales en la regulación del ciclo hídrico, sin mencionar el mantenimiento de la biodiversidad (Díaz et al., 2008).

15.2.3. Reserva Natural de la sociedad civil

Están definidas en Decreto 2372 de 2010 como parte o un todo del área perteneciente a un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural, que es manejado por voluntad de su propietario bajo los principios de sustentabilidad en el uso de recursos, preservación o restauración a largo plazo (Latorre et al., 2014).

Dentro del área de la presente cuenca se encuentran cuatro reservas de la sociedad civil: La Iguana Verde, primera en ser registrada con la Resolución 0179 del 08 de agosto de 2007 con un área de 59 ha; el Parque Ambiental Palangana registrado bajo la Resolución 0091 del 19 de mayo de 2010 con un área de 13,45 ha; Las Aves El Dorado registrada mediante la Resolución 109 del 21 de junio

de 2010 que es la de mayor área con 582,60 ha; luego se registró Pachamama por medio de la Resolución 0007 del 6 de febrero de 2014 con 3,05 ha. Estas áreas suman un total de 658,1 ha correspondientes a menos del 1% del área de la cuenca (Figura 15.2) y prestan importantes servicios ecosistémicos donde se destaca el mantenimiento de la diversidad bilógica, el abastecimiento de agua y producción de oxigeno atmosférico entre otros.

Estas reservas se ubican en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y fueron conformadas con diferentes objetivos de conservación en el que se destaca la preservación de la biodiversidad, particularmente de la avifauna local; es el caso de Las Aves El Dorado ubicada en la Vereda Minca, Municipio de Santa Marta, Departamento del Magdalena, de propiedad de la Fundación ProAves de Colombia con número de N.I.T:8110316471, como Reserva de la Sociedad Civil, que se encuentra inmersa dentro de la Reserva Forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, la importancia de esta reserva radica en el alto número de especies endémicas de fauna y flora presentes en la cuenca, de igual manera allí se protegen bosques subtropicales de las franjas subandina y andina que se encuentran entre los 1.000 y los 2.300 m.s.n.m., donde se destacan procesos de investigación biológica encaminados a la conservación.

La Resolución 0109 de 2010 indica la siguiente zonificación para esta reserva, **Zona de conservación:** caracterizada por los ecosistemas de bosque pluvial tropical, montano y premontano, es un área de 500 ha aproximadamente donde la vegetación nativa y secundaria esta poco intervenida; la **Zona de restauración o manejo especial:** consta de un área de aproximadamente 20 ha no continuas, sembradas de pino patula principalmente con algunas hectáreas reemplazadas con pino colombiano, palma de cera, rampacho y paragnynoxis; por ultimo esta la **Zona de uso intensivo o infraestructura:** está conformada por un vivero de un área aproximada de 50 m^2, acompañado del área destinad a viviendas, oficinas, salón de reunión, casa del guardabosque y zona de cultivos de pancoger, todo esto suma aproximadamente 9 ha sin incluir los senderos y la carretera que atraviesa la reserva hacia el alto del cerro Kennedy.

La misma resolución destino en ese entonces esta reserva para cumplir las siguientes actividades primordiales (servicios ecosistémicos): reservorios de variabilidad genética, regulación de caudales e intercepción de neblina, conservación de la mayor parte de la biodiversidad, regulación en la evaporación y la precipitación y provisión de una gran diversidad de hábitats para fauna y flora. Por otra parte se destinó para adelantar procesos de investigación que incluían programas de conservación del bosque, programas de educación ambiental y aquellos relacionados con el tema de aves.

En general las áreas protegidas de orden Nacional y Regional declaradas que se encentran presentes en el área de la cuenca se destacan por la inmensa cantidad de servicios ecosistémicos radicados allí, la zona se destaca por servicios de tipo cultural asociados a los Parques Nacionales Naturales como el enriquecimiento espiritual y de recreación; sin embargo la cuenca cuenta con múltiples áreas de gran importancia biológica por la búsqueda de la conservación de la biodiversidad, un servicio de regulación de gran importancia, sin mencionar los servicios de soporte y abastecimiento como la producción de oxígeno y la obtención de productos obtenidos de los ecosistemas.

15.3. Áreas Complementarias Para La Conservación

El Decreto 2372 de 2010 reconoce estas áreas, aunque no se consideran como protegidas, si como áreas estratégicas para la conservación *in situ* que aportan a la protección, planeación y manejo de los recursos naturales renovables y en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos generales de conservación del país. En la formulación de planes de ordenación y manejo de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, se identifican áreas complementarias para la conservación de distinción internacional como sitios Ramsar, Reservas de la Biósfera, AICAS, Patrimonio de la humanidad, entre otras; y de distinción nacional las Zonas de Reserva Forestal de la Ley 2 de 1959, Áreas regionales que no hacen parte del SINAP y Áreas metropolitanas, departamentales, distritales y municipales; por último se incluyen los suelos de protección (Planes y esquema de ordenamiento territorial). En la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encuentran la Reserva de la Biosfera Sierra Nevada de Santa Marta, dos áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICAS) a nivel internacional y la Zona de Reserva Forestal de la Ley 2 Sierra Nevada de Santa Marta a nivel nacional.

15.3.1. Área de distinción Internacional Reserva de Biosfera Sierra Nevada de Santa Marta

Las Reservas de Biosfera son zonas de ecosistemas terrestres, costeros/marinos o una combinación de estos, reconocidas en un plano internacional en el marco del Programa MAB (programa sobre el hombre y la biosfera) de la UNESCO; estas zonas tienen como objetivo impulsar armónicamente la integración de las poblaciones con la naturaleza, con el fin de promover un desarrollo sostenible, el intercambio de conocimiento, la reducción de la pobreza, la mejora del bienestar, el respeto a los valores culturales y la capacidad de adaptación de la sociedad ante los cambios, todo esto mediante el diálogo participativo; también sirven como laboratorios en donde se estudia la gestión integrada de las tierras, el agua y la biodiversidad, formando una Red Mundial en la cual los Estados participan voluntariamente (UNESCO, 2017).

Dentro de la categoría de áreas complementarias para la conservación, el modelo de reserva de biosfera concebido por la UNESCO a principios de los años 70, se destaca porque toma en consideración la estructura dinámica de los paisajes regionales, integra el concepto de ecosistemas e incorpora la presencia de asentamientos humanos y las actividades productivas de la comunidad. Este modelo tiene tres zonas la **Zona núcleo**, la cual justifica la declaración de la reserva, es la mejor conservada y la que contiene la mayor biodiversidad; alrededor de esta se encuentra la **Zona de amortiguamiento**, en la cual se permiten actividades productivas de bajo impacto y se encarga de proteger la zona núcleo del impacto humano; por último se encuentra la **Zona de transición**, está alrededor de la zona de amortiguamiento y allí se permite el uso del suelo de los habitantes locales, mientras sea congruente con las metas de conservación (Guevara y Laborde, 2009).

La UNESCO declaró a la Sierra Nevada de Santa Marta como Reserva de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad en 1979, dada la red de ecosistemas que albergan innumerables formas de vida y que son hogar de varias comunidades indígenas. La Reserva de biosfera Sierra Nevada de Santa Marta esta bordeada hacia el norte por el mar Caribe y las planicies de la península de la Guajira, hacia el suroriente está enmarcada por los ríos Ranchería y Cesar, y hacia el occidente limita con la gran planicie aluvial del río Magdalena y la Ciénaga Grande de Santa Marta, esta reserva tiene como

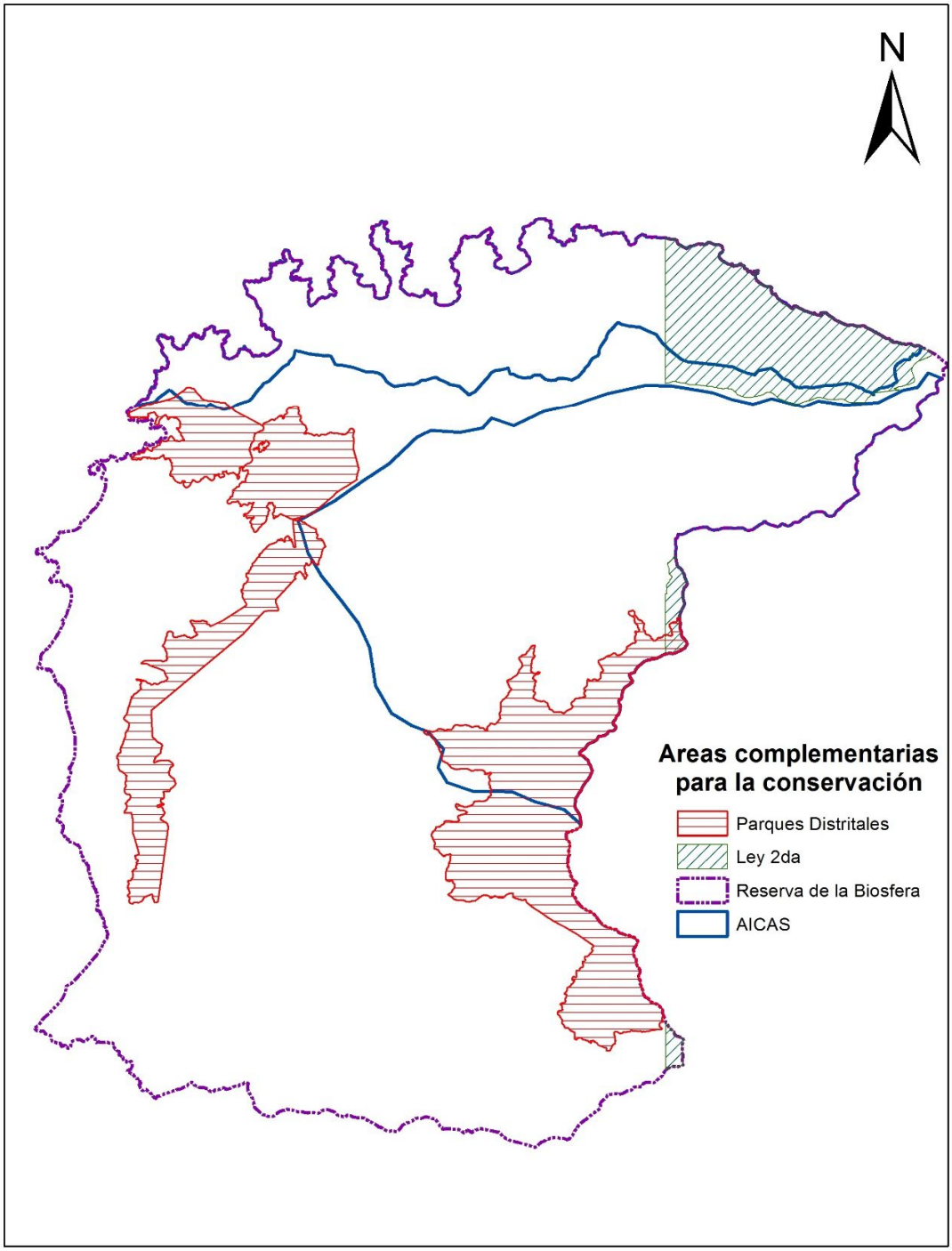
entidad administradora la UAESPNN (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales; UNESCO, 2017).

La mayor parte de la Reserva (675.000 ha) se encuentra en la Sierra Nevada de Santa Marta y los restantes 56.250 comprenden el Parque Nacional Tayrona. El área se extiende desde la costa del Caribe con un arrecife de coral finamente conservado, extensas playas, varias bahías y ensenadas, hasta la Sierra Nevada de Santa Marta con marcado relieve y pendientes pronunciadas. Independiente se encuentra la cordillera de los Andes, que se eleva a una altura de 5.775 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de sólo 42 km de la costa del Caribe. La vegetación varía de sub-higrófila a los niveles de nieve e incluye bosque de niebla y páramos.

Con respecto al PNN Tayrona, se estima que más del 10% de su población total, unos 26.500 habitantes, corresponden a pueblos indígenas, en particular los Arhuaco, Kogui y Wiwa que habitan dentro y fuera de los resguardos indígenas (ubicados fuera de la cuenca). Los grupos étnicos intentan desarrollar una política para la recuperación de sus tierras ancestrales a fin de fortalecer su cultura y asistir a sus prácticas tradicionales de conservación. No existe una política de gestión de la reserva en su conjunto y la zonificación no está establecida. Sin embargo, el diagnóstico y los estudios científicos técnicos han contribuido a la elaboración de un plan de desarrollo sostenible con programas en el Parque Nacional de Sierra Nevada, en el que se incluye la agroecología, la piscicultura y la salud ambiental. La zona es de gran valor arqueológico en particular en sitios como la “Ciudad Perdida” y muchos artefactos de la cultura Tayrona (UNESCO, 2017).

Como se ha mencionado antes en la descripción de las áreas protegidas correspondientes a PNN, esta zona presenta diferentes tipos de vegetación (numeral 1.2.), algunos de ellos están siendo utilizados para la agricultura y el pastoreo de ganado, así como para la extracción de madera de alto valor, deteriorando en gran medida los ecosistemas pertenecientes a esta reserva y todo los servicios ecosistémicos asociados a ellos. Con respecto a la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, esta se encuentra completamente inmersa dentro de la reserva con 92.799,45 ha que corresponden a la totalidad de la cuenca (Figura 15.3).

Figura 15.3. Áreas complementarias para la conservación presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



15.3.2. Áreas de distinción Internacional AICAS (Área Importante para la Conservación de Aves)

Colombia es signatario de varios acuerdos internacionales sobre diversidad biológica que incluyen la Convención sobre la Diversidad Biológica (ratificada en 1994), la Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural (1997), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (1987), Convención de Ramsar sobre Humedales (1997), el Tratado de Cooperación Amazónica (1979) y la Convención Marco sobre el Cambio Climático (1994) y también ha firmado con Perú, Ecuador y Brasil tratados bilaterales relacionados al medioambiente. Colombia cuenta con más especies de aves que cualquier otro país del mundo; los cálculos señalan aproximadamente 1860 especies (Restall et al., 2006; Salaman et al., 2007), sin incluir los taxones introducidos. A nivel de familias, Colombia también ostenta varios récords, entre ellos las familias de colibríes que cuentan con 163 especies que abarcan altitudes desde el nivel del mar hasta más de 4.000 m en los Andes.

El inicio del programa de las IBAs (Important Bird and Biodiversity Areas por sus siglas en ingles) en Colombia se remonta al año 1996 cuando el Instituto Humboldt inició con un proyecto para identificar áreas prioritarias para la conservación de las especies en el país. El programa de las IBAs inició formalmente como una iniciativa institucional en 2001 en el primer Taller Nacional de IBAs en Villa de Leyva, en línea con el objetivo 1.3 de la Estrategia Nacional de Conservación de Aves que incluye identificar "Áreas Clave para la conservación de las aves" (Franco et al., 2009).

La implementación de la iniciativa que busca identificar las zonas más importantes para la conservación de las aves denominada Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS), pretende establecer una red de áreas esenciales para las poblaciones de cada especie de ave que se encuentre amenazada; en 2005 se identificaron 112 AICAS en el territorio nacional, para el 2009 habían aumentado a 116. La importancia de estas áreas se ve reflejada en que para el año 2010, cerca del 90% de especies de la avifauna amenazada se encontraba representada en este tipo de áreas, sin embargo estas, en muchas ocasiones carecen de fuerza legal de protección (ProAves, 2014).

Según BirdLife International (2017), las zonas AICA están categorizadas bajo los siguientes criterios según los programas de IBAs:

A1. Especies amenazadas a nivel mundial. El área mantiene regularmente una población viable de al menos una especie amenazada a nivel global de acuerdo con la última lista oficial, u otras cuya conservación sea de interés mundial. El área califica si se sabe, se estima o se cree que mantiene una población de una especie amenazada (CR, EN, VU). Los niveles críticos poblacionales para especies con Datos Insuficientes (DD) y Casi Amenazadas (NT), se establecen regionalmente según sea adecuado para ayudar a la selección de áreas.

A2. Especies de distribución restringida. Se sabe o considera que el área mantiene un componente significativo de especies de distribución restringida. Estas áreas están identificadas de manera preliminar como Áreas de Endemismo de Aves (EBA) o Áreas Secundarias (SA) en Stattersfield et al. (1998). El área debe ser parte de un conjunto de áreas seleccionados para asegurar, en lo posible,

que todas las especies de distribución restringida de una EBA o SA estén presentes en cantidades significativas en por lo menos un área y de preferencia en más de una.

A3. Conjunto de especies restringidas a un bioma. Se sabe o considera que el área mantiene un componente significativo del grupo de especies cuyas distribuciones están muy o totalmente confinadas a un bioma. El área también tiene que ser parte de un conjunto de áreas seleccionadas para asegurar, en lo posible, que todas las especies restringidas a un bioma estén adecuadamente representadas.

Para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encuentran dos áreas AICA, el área de Cuchilla de San Lorenzo que comprende un área de 24.075,02 ha correspondientes al 26% de la cuenca y el Parque Nacional Natural Tayrona con 12.712,56 ha que representan el 14% del total (Figura 15.3).

15.3.2.1. *AICA Cuchilla de San Lorenzo*
La cuchilla de San Lorenzo identificada con el código CO005, cuenta con un área de 55.241 ha de las cuales 24.075,02 se encuentran dentro de la cuenca, cerca del 45%; esta área se extiende desde el pueblo de Minca (600 m.s.n.m.), a través de un área extensa de plantaciones de café de sombra, hasta el borde del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta. Cubre una serie de terrenos privados en los que predomina la agricultura, pero con áreas de bosque y elevaciones abruptas; presenta zonas de las categorías IBAs A1, A2 y A3. La mayoría de especies de aves endémicas se concentran en las partes altas de la cuchilla de San Lorenzo y el cerro Kennedy, una estribación abrupta que se eleva sobre la región hasta los 2.800 m. El cerro Kennedy presenta parches boscosos, dominados principalmente por bambú y arbustos; en el área son predominantes las plantaciones de café y pasto para el ganado (70%); sin embargo, la extensión de bosques se incrementa con la altitud, desde los 1.800 m. (Birdlife International, 2017).

Ésta es una de las mejores áreas de Santa Marta para observar especies endémicas y raras, pues presenta 15 especies de aves constituyéndose en una de las concentraciones más altas de endemismos del continente. Este sitio es excepcionalmente importante para los migrantes neárticos que cruzan el Caribe y también presenta una de las concentraciones más altas de especies endémicas de Santa Marta con la presencia de *Myiotheretes pernix, Pyrrhura viridicata* y *Anthocephala floriceps* entre otras. A pesar de la importancia de este tipo de áreas, algunas de las amenazas para el área son la expansión e intensificación de la agricultura, la quema de vegetación, introducción de especies exóticas, la deforestación y la recolección de leña (Birdlife International, 2017).

ALPEC (2008), realizaron un registro según el criterio AICA en donde se reportaron 13 especies en algún grado de amenaza, de estas una se encuentra en peligro crítico (CR), cinco en peligro (EN), seis vulnerables (VU) y una casi amenazada (CA). También se reportaron 29 especies con rangos restringidos y 29 restringidas a un bioma de la zona; este reconocimiento exige un cuidado especial con el fin de garantizar el mantenimiento de la diversidad biológica de tan alta importancia en la zona. Por este motivo esta organización coordinaba un proyecto de conservación y uso sostenible de los recursos naturales del AICA con el fin de luchar contra la reforestación por tala y quema para

la expansión de la agricultura y ganadería que son las principales actividades causantes de deterioro en el área.

15.3.2.2. *AICA Parque Nacional Natural Tayrona*

El área importante para la conservación de aves corresponde exactamente al parque que le da su nombre, está identificada con el código CO006 con una cobertura de área de 15.000 ha de las cuales 12.712,56 corresponden a la cuenca, se localiza en el departamento de Magdalena, ubicado en el cinturón árido pericaribeño. Por su riqueza ecológica, yacimientos arqueológicos y valores paisajísticos, ofrece diferentes atractivos tanto marinos como terrestres a miles de visitantes al año. Por estar localizado en una ramificación de las estribaciones del sistema montañoso más alto que existe a la orilla del mar (la Sierra Nevada de Santa Marta) así como por la existencia de una plataforma continental angosta y los fuertes vientos alisios del noreste, se forman acantilados y numerosas bahías protegidas de diferente tamaño, donde se favorece la concentración de la mayoría de los ambientes litorales del trópico en un área (Birdlife International, 2017).

En la parte terrestre del Parque (incluido dentro de la cuenca), la interacción entre las diferentes clases de suelos, las fallas geológicas, el relieve, las condiciones hidrológicas y, particularmente, las diferencias en la precipitación, llegan a definir la existencia de nueve zonas naturales y varias microunidades en cada uno de los tipos de bosque. Esta gran variedad de ecosistemas está en una angosta franja de tan solo 30 km. Se caracteriza por poseer bosques secos y húmedos tropicales, y al ser área protegida, el uso del suelo es de conservación principalmente, aunque existe aproximadamente un 20% de deterioro en su cobertura. Se han registrado cerca de 400 especies de aves en el área y presenta zonas de las categorías IBAs A1, A2 y A3 (Birdlife International, 2017).

El área del Parque cuenta con la presencia de más de 390 especies, entre ellas el buitre rey (*Sarcoramphus papa*), el tinamú chico (*Cripturellus soui*), el halcón garrapatero (*Milvago chimachima*), la torcaza morada (*Columba cayannensis*) y el gavilán caminero (*Buteo magnirostrisy*); también se encuentran más de 40 especies de aves migratorias como la Reinita cerúlea (*Dendroica cerulea*) y la Reinita alidorada (*Vermivora chrysoptera*). Se destaca la presencia de tres especies amenazadas, el Periquito (*Pyrrhura viridicata*), el Ala de Sable (*Campylopterus phainopeplus*) y el Atrapamoscas (*Myiotheretes pernix*), todas originarias de Santa Marta; se han registrado gran variedad de especies endémicas entre ellas: *Megascops* sp., *Scytalopus sanctaemartae*, *Automolus rufipectus*, *Atlapetes melanocephalus*, *Grallaria Bangsi*, *Anisognathus melanogenys*, *Basileuterus basilicus* (Birdlife International, 2016).

Según ProAves (2014), la mayor pérdida de cobertura de la región que causa detrimento de las poblaciones de aves, ha ocurrido debido a la expansión de la agricultura, los cultivos ilícitos y en menor proporción por la ganadería, el turismo mal planificado y sus implicaciones constituyen una gran amenaza para la zona.

15.3.3. Área de Distinción Nacional Zona de Reserva Forestal de la Ley 2 de 1959

La Ley 2 de 1959 establece zonas de reserva forestal con el fin de asegurar el desarrollo de la economía forestal y la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre. En ese momento se declararon los terrenos baldíos ubicados en las hoyas hidrográficas que pudieran servir de

abastecimiento, cuya pendiente fuera superior al 40%, excepto los terrenos sustraídos para actividad agropecuaria. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible bajo la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, desarrollo los procesos de zonificación y ordenamiento para orientar los procesos de ordenación ambiental en estas zonas, sin generar cambios en el uso del suelo ni modificar la naturaleza de la Reserva Forestal.

Se definen tres tipos de Zonas; **Zona A:** Están destinadas al mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática, la asimilación de contaminantes, la formación y protección del suelo, la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural y el soporte a la diversidad biológica; **Zona B:** Son áreas destinadas al manejo sostenible del recurso forestal, mediante un enfoque de ordenación forestal integral y la gestión de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; y por último la **Zona C:** que por sus características biofísicas ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de actividades agroforestales, silvopastoriles y otras compatibles con los objetivos de la Reserva Forestal, que no impliquen la reducción de las áreas de bosque natural presentes (Resolución 1924 de 2013).

15.3.3.1. *Reserva Forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta*
La reserva forestal Sierra Nevada de Santa Marta establecida mediante la ley 2da de 1959, dentro de los siguientes limites generales: del Mar Caribe hacia el Sur, siguiendo la longitud 74°, hasta la latitud Norte 10° 15', de allí hacia el Este, hasta la longitud 73° 30'; de allí hacia el Norte hasta la latitud Norte 10° 30'; de allí hacia el Este, hasta la longitud 73° 15'; de allí hacia el Norte, hasta el Mar Caribe, y de allí por la costa, hasta el punto de partida; en un principio contaba con 852.683 ha de las cuales por diferentes razones fueron sustraídas 313.468 ha mediante las resoluciones 123 y 124 de 1968. En la actualidad la reserva cuenta con una extensión aproximada de 526.235,7 ha, de las cuales 210.237,83 pertenecen al departamento del Magdalena, 179.951,58 al Cesar y 136.046,28 a la Guajira (IDEAM, sin año).

La reserva es ordenada posteriormente mediante Resolución 1276 de 2014 del Ministerio de Ambiente, mediante la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta y se establece que ésta es “una determinante ambiental y por lo tanto norma de superior jerarquía que no puede ser desconocida, contrariada o modificada en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios y distritos, de acuerdo con la Constitución y la ley. Dentro de los procesos de revisión y ajuste y/o modificación de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios y distritos, las Autoridades Ambientales Regionales deberán tener en consideración la zonificación y ordenamiento de la Reserva Forestal que se acogen por medio de la presente resolución”.

Al interior de la reserva se encuentran presentes territorios colectivos de comunidades indígenas, conformadas por tres resguardos de las etnias Koghi, Arhuacos y Arsarios. Cuenta con un amplio rango altitudinal desde el nivel del mar hasta las nieves perpetuas, donde se encuentra la vegetación de selva húmeda, bosque húmedo, páramo, superpáramo, aunque los últimos dos no se encuentran dentro de la cuenca. Se dice que es una de las reservas forestales más intervenida debido a su fácil acceso fluvial y terrestre, ha sufrido procesos de fragmentación por actividades agropecuarias y

evidencia la influencia de los factores de índole social sobre la degradación de los bosques (IDEAM, sin año).

Para el departamento de Magdalena dentro de la reserva están cinco municipios, Algarrobo, Aracataca, Fundación, Ciénaga y Santa Marta, de los cuales los dos últimos están presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe (IDEAM, sin año). La reserva ocupa 4.868,23 ha dentro de la cuenca correspondiente al 5,2% del total (Figura 15.3). Esta área corresponde principalmente al bioma potencial de Selva húmeda tropical.

Con respecto a la zonificación, las Zonas Tipo A se distribuye en el departamento del Magdalena en parte del suelo rural de los municipios de Fundación, Aracataca, Ciénaga y Santa Marta ; este tipo de zonas requieren las siguientes actividades: fomentar la investigación científica aplicada prioritariamente a la restauración ecológica, generación de información sobre la diversidad y los servicios ecosistémicos, fomentar la investigación básica sobre biodiversidad y manejo forestal sostenible, implementar acciones de restauración, rehabilitación y recuperación en procura del restablecimiento del estado natural de las coberturas y de las condiciones ambientales necesarias para la oferta de servicios ecosistémicos, reconversión de la producción agrícola y pecuaria, esquemas de producción sostenible, implementación del certificado de incentivo forestal con fines de conservación, desarrollar actividades de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación – REDD, incentivar el aprovechamiento sostenible de fauna, agricultura ecológica y biotecnología según la reglamentación vigente, así como impulsar las líneas establecidas en la Estrategia de Emprendimiento de Negocios verdes siempre y cuando sean compatibles con las aptitudes del suelo y las características de este tipo de zona (Resolución 1276 de 2014).

Para el caso de las Zonas B esta Reserva está presente en los municipios de Fundación y Aracataca, los cuales no se encuentran en la cuenca; las actividades a realizar en esta zona son: propender la ordenación forestal integral, estimular la investigación científica aplicada a la restauración ecológica, promover el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, incentivar la reconversión de la producción agrícola y pecuaria, promover la implementación del certificado de incentivo forestal, propender el desarrollo de actividades de desarrollo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación – REDD, impulsar líneas establecidas en la Estrategia de Emprendimiento de Negocios Verdes (Resolución 1276 de 2014).

15.3.4. Áreas Declaradas (Distritos y Municipios)

El Acuerdo 005 de 2000 por el cual se expide el Plan de Ordenamiento Territorial de Santa Marta "Jate Matuna" 2000 - 2009, define los Parque Naturales Distritales y el Complejo Ambiental, los cuales dentro de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, estos parque ocupan un área de 12.414,41 ha correspondientes al 13,4% del área de la cuenca (Figura 15.3)

Los Parques Distritales corresponden a aquellos espacios catalogados como verdes de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental, se consideran elementos representativos del patrimonio natural y que garantizan espacios libres destinados a recreación, contemplación y ocio para los habitantes; deben organizarse jerárquicamente y formando una red para que cubran toda

la ciudad, debe involucrar funcionalmente los elementos de la estructura ecológica principal con el fin de mejorar las condiciones ambientales del territorio.

15.3.4.1. *Parque Dumbira*

Categorizado como Parque Natural Distrital, se encuentra dentro de los siguientes límites, al Norte: desde Punta Las Minas en las coordenadas 985896E y 1738588N, donde se interceptan la cota 40 metros y el límite del Parque Nacional Tayrona, sigue el límite del PNNT en las coordenadas 990542E y 1738603N, en línea recta hasta encontrarse de nuevo la cota 40 metros en las coordenadas 991274E y 1738226N, se sigue la cota de 40 metros hasta interceptar la vía que conduce a Bahía Concha en la coordenada 991701E y 1737984N; al Oriente desde el punto anterior, se sigue la vía hasta volver a encontrar la cota de 40 metros hasta las coordenadas 991196E y 1736519N; al Sur: desde el punto anterior, se sigue la cota de 40 metros hasta la coordenada 986056E y 1736554N, y en línea recta hasta la línea de costa del mar Caribe en Punta Palancas en las coordenadas 985878E y 1736676N; al Occidente: desde el punto anterior se sigue la línea de costa en las coordenadas 986644E y 1737032N en línea recta hasta encontrar la cota de 40 metros en las coordenadas 986783E y 1737021N, se sigue la línea de la cota hasta el punto 986888E y 1738311N, siguiendo la línea costera hasta cerrar en puntas Las Minas en las coordenadas 985896E y 1738588N. Este parque dentro de la presente cuenta ocupa un área de 1.260,50 ha correspondientes al 1,4% del área total.

15.3.4.2. *Parque Bondigua*

Se categoriza como Parque Natural Distrital en los siguientes límites, al Norte: desde las coordenadas 991701E y 1737984N, donde se encuentra la cota de los 40 metros y la vía que conduce a Bahía Concha, se sigue la cota hasta el punto 995205E y 1737401N; al Oriente: desde el punto anterior siguiendo la cota hasta interceptarse con la Troncal del caribe en las coordenadas 995527E y 1735557N; al Sur: desde el punto anterior, siguiendo la troncal del Caribe hasta interceptarse con la Quebrada Mojada y el perímetro urbano en la coordenada 993009E y 1734014N, en línea recta hasta la intercepción con la cota de 40 metros, se sigue la cota hasta encontrarse con la vía que conduce a Bahía Concha en las coordenadas 991196E y 1736519N; al Occidente: desde el punto anterior siguiendo la vía a Bahía Concha hasta la intercepción con la cota de 40 metros en las coordenadas 991701E y 1737984N. El área del parque Bondigua corresponde a un 1,8% de la cuenca con 1.653,58 ha.

15.3.4.3. *Parque Pazverde*

Es un parque Natural Distrital que se encuentran dentro de los siguientes límites, al Norte: empieza en la intersección de la Troncal, Quebrada Mojada y el perímetro urbano en al coordenada 99309E y 1734014N, siguiendo el curso de la Quebrada Mojada arriba hasta la coordenada 994339E y 1732823N; al Oriente: sigue en la línea hasta encontrarse con la cota de 100 metros en la coordenada 994280E y 1732776N, siguiendo la cota de 100 metros hasta la coordenada 993003E y 1731403N, sigue en línea recta hasta la coordenada 992247E y 1730587N, sigue en línea recta hasta la coordenada 992365E, 1730173N, sique en línea recta hasta la coordenada 991842E, 1730105N en línea recta hasta el punto 990849E, 1729111N, en línea recta hasta la coordenada 990412E y 1728768N; línea recta hasta el punto 986935E y 1725878N, de ahí en línea recta hasta la intercepción con la cota de 500 metros. En la coordenada 986935E, 1724697N siguiendo la cota de 500 m hasta llegar a la coordenada 987656E y 1720889N y en línea recta hasta la intersección con

la Quebrada El Doctor en la coordenada 987224E y 1717721N; al Sur: siguiendo el curso de la Quebrad hasta la intersección con la cota de 100 metros en la coordenada 986101E y 1717613N, de ahí hacia el norte hasta la coordenada 986252E y 1719654N y siguiendo hacia el oriente en línea recta hasta la coordenada 986406E y 1719686N, siguiendo en línea recta hacia el norte hasta el punto 986227E, 17204470N; siguiendo en línea recta hasta la coordenada 986147E y 1720689N, siguiendo en línea recta con la coordenada 986160E y 1721188N, siguiendo en línea recta hasta llegar a la coordenada 986101E y 1721520N, siguiendo en línea recta hacia el occidente hasta interceptarse de nuevo con la cota de 100 metros con el punto 985795E y 1721507N, luego siguiendo la cota hasta la intercepción con el límite inferior de la ronda hídrica del río Gaira en la coordenada 987618E y 1727237N, siguiendo el límite de la ronda hasta la coordenada 986531E y 1727862N, luego en línea recta hasta el límite urbano en la coordenada 986657E y 1727977N luego siguiendo este límite hasta la intersección con el límite superior de la ronda hídrica del mismo río en la coordenada 987173E y 1727998N, se sigue el límite de la ronda hasta la intercepción con la cota de 100 metros con coordenada 987875E y 1727768, siguiendo la trayectoria de la cota hasta la intercepción con el límite urbano en el punto 989458E, 1729442N y de ahí en línea recta hasta la coordenada 989999E y 1729698N y de ahí en línea recta hasta la coordenada 991001E, 1730344N y en línea recta hasta el punto 990822E y 1730712N y en línea recta hasta interceptarse con la cota de 50 metros en la coordenada 990835E, 1730848N, siguiendo la cota de los 50 metros hasta la coordenada 990885E y 1731287N en línea recta con la coordenada 990974E y 1731287N y en línea recta con la coordenada 991065E y 1731408N y en línea recta con la coordenada 991064E y 1731507N, en línea recta interceptándose con la cota 50 m en la coordenada 990993E y 1731571N, siguiendo la cota de 50 hasta la coordenada 993000E, 1733277N y en línea recta hasta interceptarse con la Troncal del Caribe, Quebrada Mojada y perímetro urbano en la coordenada 993009E y 1732823N. El parque distrital Pazverde ocupa dentro del área un total de 2.642,99 ha que corresponden al 2,8% de la cuenca.

15.3.4.4. *Complejo ambiental SUHAGUA*

Este complejo representa un área de interés público distrital para la conservación y preservación del recurso hídrico, la flora y la fauna y se delimita desde el Sur: en la coordenada x=1711998, y=1008764, siguiendo el límite distrital hasta llegar al límite del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta coordenadas x=1711869, y=1008764; siguiendo la quebrada La Nieve hasta la coordenada x=1719132, y=1011712, nuevamente siguiendo el límite del PNN Sierra Nevada de Santa Marta hasta el punto x=1727537, y=1017173, siguiendo en línea Guachaca hasta la coordenada x=1727468, y=1016423, siguiendo el curso del río hasta la quebrada La Negra en el punto x=1725914, y=1013648, siguiendo la quebrada La Negra hasta llegar a la coordenada x=1728254, y=1013648, siguiendo en línea recta hasta la cota 1.500 m.s.n.m. en el punto x=17300658, y=1011416, siguiendo la curva de 1.500 m.s.n.m. hasta encontrarse con la quebrada Viernes Santo en las coordenada x=1717756, y=1002869 y luego hasta el río Córdoba en el punto x=1715825, y=1005777, siguiendo el río Córdoba hasta el punto x=1712796, y=100425, se empalma con la curva de nivel 1.000 cuya coordenada es x=1713211, y=1004947 hasta llegar al límite distrital punto x=1712032, y=1004907. Este complejo ocupa un área de 6.857,34 ha dentro de la presente cuenca, que corresponden a 7,4% del área total.

15.3.5. Suelos de protección

Están definidos como cualquier zona o área de terreno localizados dentro de los suelos urbanos, de expansión urbana, suburbano o rural, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por estar dentro de las zonas de utilidad pública para ubicación de infraestructura para la provisión de servicios públicos domiciliarios o en áreas de amenaza y riesgo no mitigable, tienen restringida la posibilidad de urbanizarse por su importancia estratégica para la designación de áreas protegidas públicas o privadas, que permitan la preservación, restauración o uso sostenible de la biodiversidad, de importancia municipal, regional o nacional (Decreto 2372, 2010).

Para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe los suelos de protección descritos en los planes de ordenamiento territorial hacen referencia principalmente a las zonas montañosas y cerros de la región, incluyendo la Sierra Nevada de Santa Marta, y se encuentran generalmente superpuestos con otras figuras de manejo. En la Tabla 15.2 se compilan las descripciones de los suelos de protección; no se incluyen suelos de protección asociados a infraestructuras como vías, cementerios, lagunas de oxidación, oleoductos, mataderos, entre otras. Cabe aclarar que la información disponible es deficiente, pues los planes y esquemas carecen de información cartográfica y se encuentran desactualizados en su mayoría.

Tabla 15.2. Suelos de protección municipal

Municipio	Suelo de protección
Santa Marta POT 2000-2009	**Suelos de protección urbana:** • Los cerros que conforman el límite norte del área urbana y que comprenden desde el área del puerto (incluido) hasta cuchilla de Palangana. • Las estribaciones de los cerros orientales desde el sector 11 de Noviembre hasta el sector del Cisne. • La banda de estribaciones paralela a la zona sur hasta la quebrada del Doctor • Todos los cerros o promontorios que se encuentran al interior del área urbana. • Los suelos que se encuentren dentro del perímetro urbano sobre la cota de 40 msnm. • Las rondas de los ríos. • El conjunto de playas y playones que se encuentren dentro del perímetro urbano. • El acuífero de Santa Marta. **Suelos de protección en el área rural:** • Parque Natural Distrital Dumbira. • Parque Natural Distrital Bondigua. • Parque Natural Distrital Pazverde. • Complejo ambiental SUHAGUA.
Ciénaga POT 2000-2009	• **Zonas de Protección, Conservación y Recuperación en la Sierra Nevada.** La zona va de la cota 1000 hasta la cota 3800. El área comprende unas 43.000 hectáreas, que serán destinadas a actividades de protección, conservación y recuperación. El control de la deforestación, la recuperación de áreas erosionadas, la protección de las cuencas requieren programas de educación ambiental, proyectos demostrativos y el establecimiento de centros de supervisión ambiental que involucre a miembros de las comunidades de campesinos y colonos. • **Zona de Reserva Natural Sierra Nevada.** Parque Natural/Resguardos Indígenas. Es una zona de protección y conservación. El área comprende aproximadamente unas 24 mil hectáreas. La zona está comprendida en la jurisdicción del sistema de parques nacionales. La preservación de la fauna y la flora endémica y del patrimonio étnico y arqueológico constituye la prioridad central en estas áreas.

15.4. Áreas De Importancia Ambiental

Existen variedad de áreas de importancia ambiental otorgadas por diferentes entidades públicas y privadas con el fin de enriquecer el análisis y caracterización del territorio nacional. Para la formulación de planes de ordenación y manejo de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se identificó la presencia de Ecosistemas estratégicos (manglares, bosques, etc.) y otras áreas de interés para la conservación.

15.4.1. Bosques

Esta capa adquirida a partir de las coberturas denominadas "Bosques" por el equipo técnico del POMCA, se refiere a todas aquellas coberturas que no presenta un intervención aparente, de estas se excluye la plantación forestal, las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, la vegetación secundaria o en transición, tierras desnudas o degradadas.

Para hablar de la cobertura de bosques en general hay que tener en cuenta que se refiere a cualquier tipo de cobertura vegetal natural, sin tener en cuenta las especificaciones antes nombradas como biomas en el numeral 15.1. En este sentido los bosques representan mucho más que suministro de madera como proveedor de servicios ecosistémicos, también es la cuna de 80% de la biodiversidad de flora y fauna a nivel mundial, por ello su presencia determina el mantenimiento de la riqueza ecológica; por otra parte funciona como sumidero de carbono al absorber el dióxido de carbono y fijarlo en forma de biomasa, los boques contiguos a los cuerpos de agua como embalses juegan un papel crítico en el aseguramiento del recurso hídrico, también contribuyen en el control de la erosión y su presencia evita derrumbes y deslizamientos (MinAmbiente, 2017).

Dentro de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe existen 42.017,95 ha de este ecosistema correspondientes al 45% del área total (Figura 15.4); en comparación con la presencia de los biomas potenciales en la cuenca, este ecosistema se encuentra a lo largo y ancho de la cuenca en las áreas representadas por la Selva húmeda tropical, los Bosques húmedos alto y subandino y en algunas partes del Bosque seco (Figura 15.1); existe una gran concentración del ecosistema en el área correspondiente al PNN Tayrona, lo que refleja la importancia de las áreas protegidas en la conservación de los ecosistemas estratégicos y los servicios ecosistémicos anteriormente mencionados; a pesar de la importancia de este ecosistema se ha visto gravemente disminuido por actividades de sobreexplotación y tala ilegal, conversión a tierras agrícolas y ganaderas, creación de asentamientos humanos, explotaciones mineras y petrolíferas, construcción de infraestructuras, incendios forestales, fragmentación de ecosistemas, entre otros, todo esto a causa de la mala gestión en el uso de la tierra (MinAmbiente, 2017).

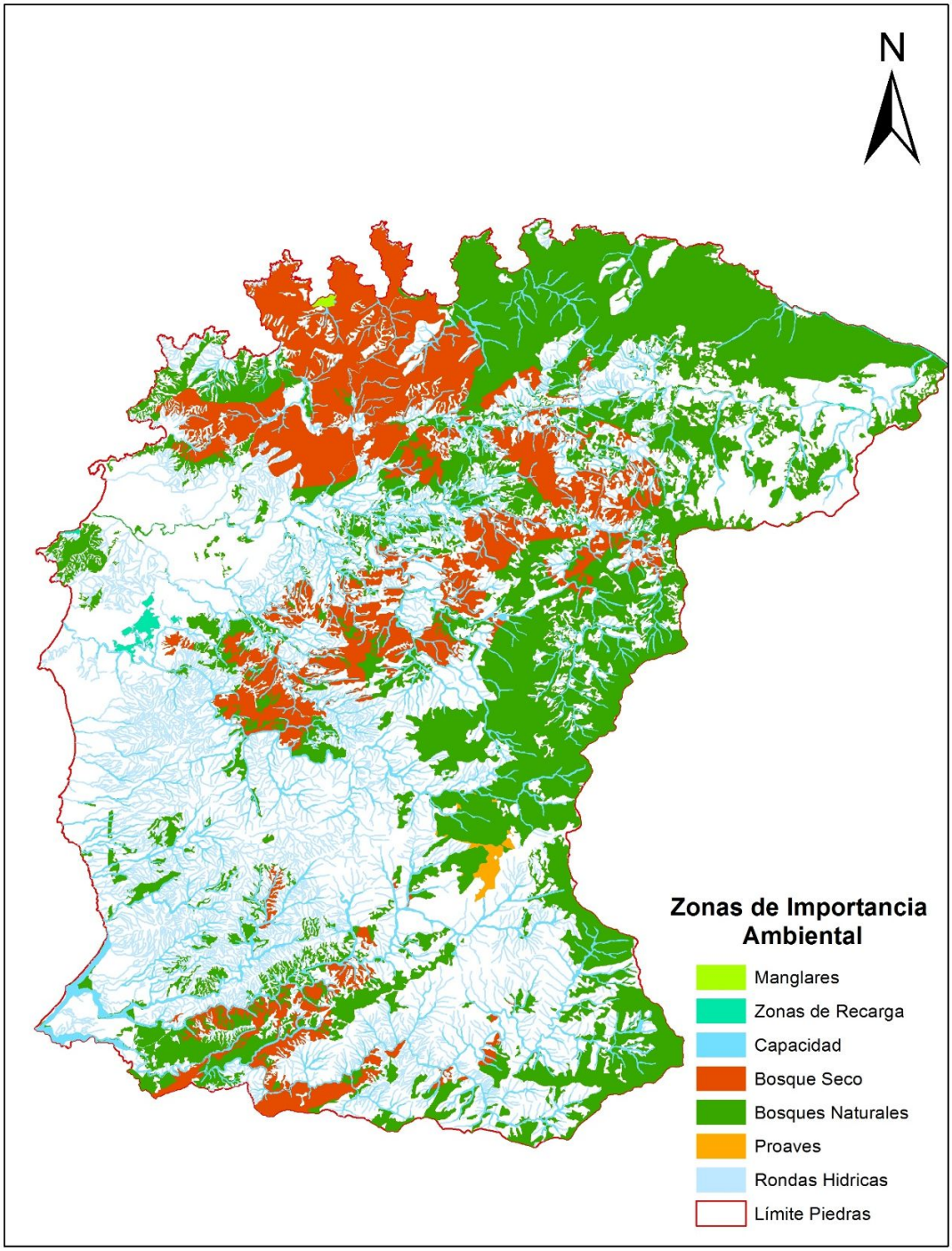
15.4.2. Bosque seco

Este ecosistema presenta una diversidad única de plantas y animales que se han adaptado a condiciones de estrés hídrico, lo cual se ve representado en altos niveles de endemismo, se dice que Colombia tiene casi 2.600 especies de plantas de las cuales 83 son endémicas, y en lo concerniente a la fauna 33 especies de aves y 3 de mamíferos cumplen esta condición. Los servicios ecosistémicos prestados por este ecosistema no se limitan al mantenimiento de la biodiversidad ecológica, otros bienes fundamentales para la comunidad incluyen, la regulación hídrica, la retención de suelos, la captura de carbono que regula el clima y la disponibilidad de agua y nutrientes (Humboldt, 2017).

El bosque seco es propio de tierras bajas y presenta una fuerte estacionalidad de lluvias; estas zonas se caracterizan por presentar suelos relativamente fértiles, lo que ha causado que haya sido fuertemente intervenido para producción agrícola y ganadera, y para desarrollo urbano y turístico, convirtiéndose en un ecosistema altamente degradado y amenazado. El Ministerio de Ambiente lo ha declarado como ecosistema estratégico para la conservación (Humboldt, 2017).

Esta delimitación de área se elaboró a partir del índice de áreas prístinas realizando un cruce de bosque denso o abierto, alto o bajo con zonobioma seco; para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se definieron 13.079,02 ha correspondientes al 14% del total (Figura 15.4). El área de este ecosistema corresponde a su respectivo bioma potencial, sin embargo se observa una evidente fragmentación de ecosistema debido a los factores anteriormente mencionados.

Figura 15.4. Áreas de importancia ambiental presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



15.4.3. Manglares

Los estuarios son áreas donde convergen el agua salada del mar con las aguas dulces de los ríos, presentan un gran dinamismo debido a los cambios de marea y a los caudales de los ríos; en estos lugares en el trópico y el subtrópico se forman los bosques de mangle, compuestos de un tipo de árbol leñoso que se conoce como la vegetación de mayor productividad biológica neta. Estos bosques son dominados por el mangle rojo, acompañado por el mangle salado y el mangle bobo y una gran variedad de especies vegetales. Los manglares crecen en suelos fangosos que se inundan periódicamente por aguas estuarinas y se caracterizan por recibir el aporte de los nutrientes de los ríos; poseen algunas características de adaptación como tolerancia a altos niveles de salinidad, raíces aéreas que estabilizan el árbol en terrenos blandos, semillas flotantes (plántulas) y estructuras especializadas que permite la entrada de oxígeno y salida de dióxido de carbono (Victorino, 2012).

Los manglares son ecosistemas de gran importancia, puesto que presta innumerables servicios ecosistémicos; es el caso del mantenimiento de la biodiversidad marina, casi todas las especies de valor económico como peces, moluscos, y crustáceos transcurren alguna etapa de sus ciclos de vida en estos, ya que las raíces de mangle ayudan a retener los sedimentos, consolidando el litoral y protegiéndolos de sus depredadores. Estos ecosistemas en específico también evitan que la costa se erosione o sufra daños por tempestades, son evapotranspiradores ya que suplen de humedad a la atmosfera, son un paliativo contra cambios climáticos no solo por ser fijadores de CO_2 sino porque inmoviliza grandes cantidades de sedimentos ricos en materia orgánica, asimismo atrapa contaminantes de compuestos orgánicos tóxicos persistentes y metales pesados (Victorino, 2012).

Por otra parte, son fuentes de innumerables recursos como madera para construcción y leña, hierbas medicinales y extracción de sal y taninos. A pesar de la gran importancia de estos ecosistemas se encuentran gravemente amenazados por distintas causas, entre ellas la expansión urbana, la explotación pesquera, la contaminación, la deforestación para producir tintes y carbón, las interrupciones de las áreas de conexión para obras civiles y los cambios de caudales de los ríos, afectan enormemente su funcionalidad; también las malas prácticas de conservación del suelo asociada a la erosión y sedimentación y la conversión para cultivos y ganadería (Victorino, 2012).

En general este ecosistema a nivel nacional está limitado y asociado a enclaves áridos y semiáridos, este tipo de vegetación se encuentra en un alto grado de degradación a excepción del Parque Nacional Natural Tayrona que puede decirse que está en buen grado de conservación en la bahías de Chenge, Cinto y Neguange (Sánchez-Páez et al., 2004). En la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe existen 33,30 ha de este ecosistema, correspondientes al 0,04% del área total (Figura 15.4).

15.4.4. Capacidad de Uso del suelo

El Decreto 1333 de 1986 en su Artículo 54 limita el perímetro urbano de tal manera que no se incorpore dentro del área determinada según la clasificación del Instituto Agustín Codazzi que pertenezca a las clases I, II o III, ni aquellos correspondientes a otras clases agrícolas, necesarias para la conservación de recursos de aguas, control de procesos erosivos y zonas de protección forestal. Posteriormente el Artículo 35 de la Ley 388 de 1997 define los suelos de protección como aquellos que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o que hagan parte de las zonas

de utilidad pública para la ubicación de infraestructura de servicios públicos o áreas de amenaza y riesgo no mitigable, tienen restringida la posibilidad de urbanizarse. La protección de suelos se categoriza en el Decreto 3600 de 2007 en: Áreas de conservación y protección ambiental, Áreas para la producción agrícola y ganadera y de explotación de recursos naturales, Áreas e inmuebles considerados como patrimonio cultural, Áreas del sistema de servicios públicos domiciliarios, Áreas de amenaza y riesgo.

En la determinación de ecosistemas estratégicos en las áreas de importancia ambiental se incluyeron las áreas de conservación y protección ambiental, aquellas que deben ser objeto de especial protección ambiental y hacen parte de la estructura ecológica principal y deben presentar medidas que garanticen su conservación y protección. En la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se determinaron 7.156,23 ha correspondientes a este tipo de áreas que ocupan un 8% de la totalidad de la cuenca (Figura 15.4); se utilizaron las clases 8 h y 5 h de la capacidad de uso de la tierra elaborada por el equipo técnico del POMCA, su importancia radica en su servicio como corredores biológicos que perpetúan la biodiversidad biológica y los servicios ambientales que con lleva la estructura ecológica relacionada con los humedales aledaños.

15.4.5. Rondas hídricas

Dentro de las áreas de importancia ambiental se encuentra la zona de ronda hídrica o hidráulica denominada como las zonas paralelas a las líneas de marea máximas o cauces permanentes de los cuerpos de agua hasta los 30 metros, son un bien destinado principalmente al manejo hidráulico y la restauración ecológica (Decreto 619 de 2000). Se han establecido normas para la explotación y ocupación de estos terrenos, su uso, conservación y la preservación de cauces y aguas.

Para la presente cuenca se obtuvo la información de estas áreas a partir del levantamiento de un buffer de 30 m de los drenajes sencillos y dobles de la cuenca. Las rondas hídricas ocupan un 28% del total del área de la cuenca con 26.216,50 ha (Figura 15.4).

15.4.6. Zonas de recarga

Su importancia ambiental está dada por ser áreas que presentan alta permeabilidad o fisuramiento que permiten la infiltración del agua al interior de la tierra, convirtiéndose en zonas de recarga para los acuíferos. La recarga del acuífero se refiere al proceso de entrada del agua al mismo, estas zonas presentan una presión hidráulica negativa y predominan la infiltración y percolación sobre la exurgencia. Es importante reconocer estas áreas como depósitos de agua subterránea, ubicados debajo del nivel freático y que dan origen al caudal basal de los ríos (Montoya, 2004).

Para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encontraron 221,43 ha correspondientes al 0,24% del total del área de la cuenca (Figura 15.4). Se puede observar que estas áreas están directamente relacionas con las que corresponden a capacidad de uso del suelo, y como prestadores de bienes como abastecimiento de agua, representan gran importancia dentro de los ecosistemas estratégicos y su adecuado uso se vuelve primordial en el establecimiento del POMCA.

Existen diferentes grados de vulnerabilidad a la contaminación intrínseca en los acuíferos; para el presente análisis se tuvo en cuenta dos grados de vulnerabilidad: Vulnerabilidad Extrema o Muy

Alta y Alta. En el primero se encuentran los acuíferos vulnerables a la mayoría de los contaminantes y con un impacto relativamente rápido a casi todos los escenarios de contaminación. En cuanto al grado de vulnerabilidad alta: en este se encuentran los acuíferos vulnerables a muchos contaminantes excepto a aquellos que son rápida y fácilmente biodegradables.

Las actividades prohibidas en las categorías de zona de vulnerabilidad alta a muy alta, están relacionadas con: Construcción y operación de rellenos sanitarios; Relacionadas con hidrocarburos; Actividades que incluyan sustancias de interés sanitario (Dec 1594 de 1984); Actividades que generen residuos peligrosos (Dec 4741 de 2005); Disposición en el suelo de efluentes finales de aguas residuales domesticas sin tratamientos de tercer nivel y tampoco con efluentes finales de tipo industrial.

15.4.7. Reserva ProAves

ProAves es una fundación que tiene como misión proteger las aves silvestres y su hábitat a lo largo del país, por medio de la investigación, las acciones estratégicas de conservación y el trabajo con la comunidad. Esta fundación ha establecido 27 Reservas Naturales dentro del marco de la estrategia de conservación con el objetivo de proteger el hábitat de diferentes especies con algún grado de amenaza a perpetuidad; estas reservas se encuentran en zonas estratégicas con relictos de bosque alto andino y páramo, bosque subtropical, bosque húmedo tropical, manglar y zona costera, donde no solos e encuentran gran cantidad de aves endémicas sino también otros grupo como mamíferos, anfibios y reptiles, junto a gran diversidad de flora de gran importancia (ProAves, 2017).

Particularmente en el caso de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe se encuentra la Reserva Natural de las Aves El Dorado, creada el 31 de marzo de 2006, con la urgencia de conservar uno de los sitios más frágiles e importantes de Colombia, la Sierra Nevada de Santa Marta, está ubicada sobre la Cuchilla de San Lorenzo en el sector de la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, corregimiento de Minca, municipio de Santa Marta, departamento del Magdalena, en un rango altitudinal entre los 950 y 2.600 m.s.n.m.; presenta un clima bimodal (épocas seca y lluviosa), con temperaturas de 18°C promedio; el sector norte de la reserva se encuentra sobre la cuenca del río Gaira de gran importancia para la ciudad de Santa Marta. Posee altos valores de diversidad por lo que está catalogada como un sitio AZE (Alianza para la Cero Extinción), un área AICA (área importante para la Conservación de Aves) y también hace parte del Distrito Chindúa de la Provincia Biogeográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta y de un área de Endemismo de Aves EBA 036 (ProAves, 2017).

Esta reserva está formada por bosques en diferentes estados sucesionales en importante estado de conservación, se presenta una vegetación típica de bosques húmedos subtropicales con dominancia de especies de géneros de árboles como *Guarea*, *Myrsine*, *Ficus*, *Poulsenia*, *Licania*, *Trichospermum* y *Vismia*; superando los 2.300 m se encuentra el bambú *Chusquea scandens*. Otros grupos de flora de gran importancia de conservación son el paraguas (*Gunnera tayrona*), los pinos nativos (*Podocarpus oleifolius* y *Prumnopitys montana*) y la salvia de San Lorenzo (*Salvia libanensis*) (ProAves, 2017).

Entre la fauna presente cabe destacar la presencia de tres especies amenazadas el Periquito (*Pyrrhura viridicata*), el Ala de Sable (*Campylopterus phainopeplus*) y el Atrapamoscas (*Myiotheretes pernix*), todo ellos originarios del área de Santa Marta; también se recalca que esta reserva protege áreas de gran importancia para más de 40 especies de aves migratorias como la Reinita cerúlea (*Dendroica cerulea*) y la Reinita alidorada (*Vermivora chrysoptera*). Otro grupos faunísticos de importantes para la conservación incluyen mamíferos como el puma (*Puma concolor*) y el mico de noche (*Aotus griseimembra*), y 14 especies de ranas endémicas de la Sierra Nevada de Santa Marta como *Colostethus ruthveni*, *Cryptobatrachus boulengeri* y dos especies del género *Atelopus* (ProAves, 2017).

Las áreas correspondientes a la Importancia ambiental están presentes a lo largo y ancho de la cuenca y representan la importancia de los ecosistemas presentes y todos los servicios ecosistémicos asociados a ellos en los que se puede destacar mantenimiento de la biodiversidad, sumideros de carbono, aseguramiento del recurso hídrico, control de la erosión y fuente de innumerables recursos de todo tipo; sin embargo han sido altamente degradados por diferentes actividades antrópicas que degradan los ecosistemas.

15.5. Áreas De Reglamentación Especial

Dentro de estas áreas se encuentran aquellas definidas como territorios étnicos, áreas de patrimonio cultural e interés arqueológico. Aunque en la zona se presentan comunidades indígenas, en el área de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe no hay registro de este tipo de zonas.

15.6. Índice De Estado Actual De Coberturas Naturales (IEACN)

De acuerdo a la Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS, Anexo A. Diagnóstico, este índice pretende analizar de forma consolidada los resultados de las calificaciones obtenidas de los índices evaluados en el capítulo de Cobertura y Uso de la Tierra (TCCN, IVR, IF e IAC). Teóricamente debería reflejar áreas óptimas para la conservación en las cuales se tengan mejores resultados de vegetación remanente y donde las presiones por aumento poblacional sean menores; este índice se podría tomar como un aspecto directo a tener en cuenta en el momento de plantear la zonificación.

Conforme al documento de Ballesteros (2016), la construcción de este índice resulta de la sumatoria de los cuatro índices: tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN), índice de vegetación remanente (IVR), índice de fragmentación (IF) e índice de ambiente crítico (IAC), a los cuales se les debe realizar una "recalificación" de acuerdo a los rangos que previamente se establecen para cada uno de ellos, siendo el mayor valor de 20 unidades por condición deseada o mejor condición y de 0 puntos para las categorías que reflejen las condiciones más afectadas o que no apliquen.

La Tabla 15.3 ilustra los valores para las posibilidades de cada uno de los índices:

Tabla 15.3. Valores para cada variable y categoría para la construcción del índice de estado de coberturas naturales

CATEGORIAS IVR	VALOR IVR PARA CALCULO IEACN	CATEGORIAS TCCN	VALOR TCCN PARA CALCULO IEACN	CATEGORIAS IF	VALOR IF PARA CALCULO IEACN	CATEGORIAS IAC	VALOR IAC PARA CALCULO IEACN
CT	0	< 40	0	10 - 100	0	V	0
MT	5	40- 31	5	10 - 1	5	IV	5
MDT	10	30 - 21	10	1 -0,1	10	III	10
PT	15	20 - 11	15	0,1 - 0,01	15	III	15
NT	20	> 10	20	> 0,01	20	I	20

Conforme a lo anterior y mediante algebra de mapas, se obtienen valores los cuales determinan la cualificación final conforme a la Tabla 15.4

Tabla 15.4. Valores Índice estado actual de coberturas naturales

VALORES INDICE ESTADO ACTUAL COBERTURAS NATURALES	
VALOR - RANGO	**CATEGORIA**
0	Completamente transformada
1 - 20	Altamente transformada
21 - 40	Transformada
41 - 60	Medianamente transformada
< 60	Conservada

Seguidamente se deben reclasificar las coberturas de la tierra, dado que según la literatura se pretende analizar el estado de cada cobertura natural, por ende se realiza una serie de reclasificaciones y exclusiones a lo siguiente: Se excluyen todas las coberturas de los grupos 1 (Territorios artificializados), se excluyen todas las coberturas del grupo 2 (Territorios Agrícolas), se excluyen todas las coberturas del grupo 5 (Superficies de agua), dados la importancia, biota y ecosistema, se analizan las zonas de áreas húmeda continentales en sus unidades de Zonas pantanosas continentales (411) y Pantanos costeros (421). De las unidades de Bosques y áreas seminaturales se excluyen todas las unidades de Áreas abiertas sin o con poca vegetación (33); de las unidades de Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva se excluyen las unidades de vegetación secundaria baja, que aunque pertenecen a lo natural, están muy relacionadas con procesos de producción antrópica y generalmente reincorporándose a los ciclos productivos. De las unidades de bosques se excluyen las unidades de Plantación forestal.

Conforme a lo anterior y dadas las exclusiones se analizan las unidades de bosques clasificadas ahora como código 31, las áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva codificadas ahora como 32, y las zonas húmedas tanto continentales como costeras codificadas ahora con códigos 41 y 42 respectivamente.

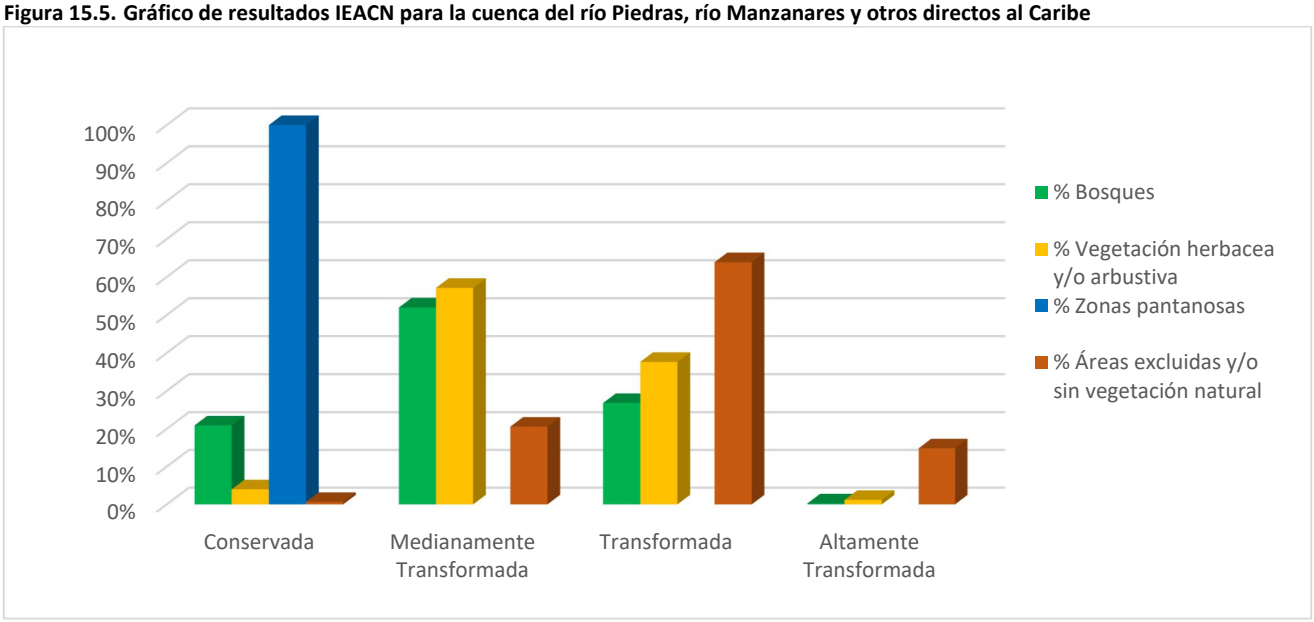
De acuerdo a los análisis del Sistema de Información Geográfica (algebra de mapas) para este índice se determinó que la cuenca tiene más del 42% del área Medianamente transformada y más del 41,5% Transformada (Tabla 15.5). Para los grupos de bosque naturales se observa un 52% de estos ecosistemas Medianamente transformados, y para las áreas de vegetación herbácea hay un 57% en este mismo grado; en el primer caso más del 78% de los bosques se encuentran entre Medianamente transformados y transformados, mientras que para la vegetación herbácea este porcentaje alcanza casi el 95%, lo que revela la importancia de llevar a cabo planes de restauración propuestos directamente sobre este tipo de cobertura vegetal.

De manera contraria se comportan las áreas pantanosas que de acuerdo al IEACN se determinó que se encuentran el 100% en estado de conservación (Figura 15.5), extrañamente esto puede deberse a que la alteración de la vegetación adyacente a los cuerpos de agua se ha transformado de una manera que permite que las áreas pantanosas conserven sus rangos de cobertura. Las zonas pantanosas están asociadas a las áreas que fueron anteriormente ocupadas por cuerpos de agua, y que deberían servir como sitios de descanso para los cuerpos cercanos en épocas de crecidas. Estas áreas no deberían permitir ser drenadas no solo por la calidad de suelos sino el alto riesgo que representan en la perdida tanto económica como de vidas en caso de presentarse fuertes inundaciones como las del pasado fenómeno de La Niña.

Tabla 15.5. Análisis de resultados de IEACN en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe

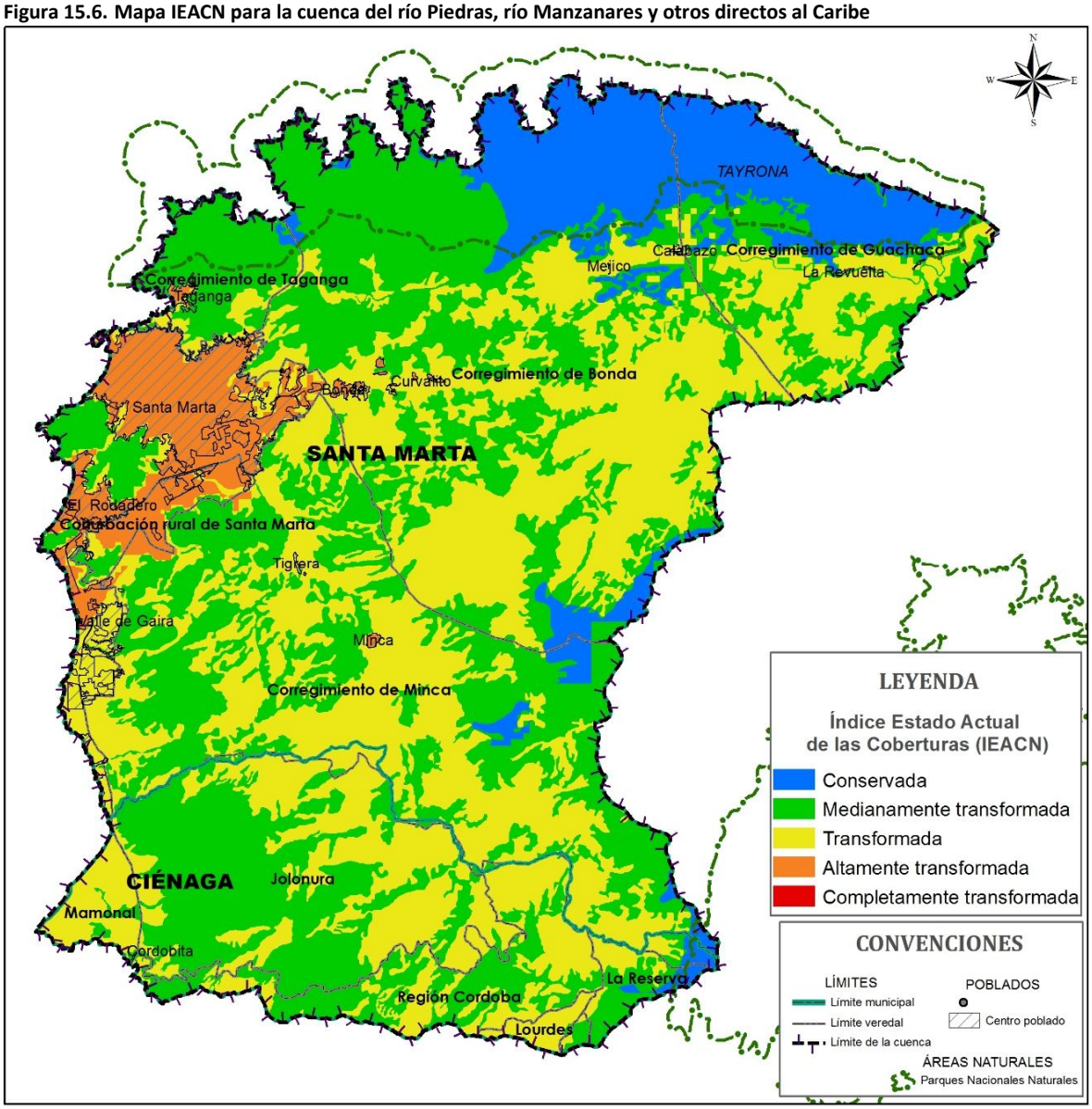
GRUPO	Áreas de bosques (Has)	% Bosques	Áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva	% Vegetación herbácea	Áreas pantanosas (Ha)	% Pantanosas	Áreas sin vegetación natural y/o excluidas	% Sin vegetación	Total general (Has)	% Totales
Conservada	8.783,64	20,9	797,18	4,0	14,51	100,0	205,40	0,7	9.800,72	10,6
Medianamente transformada	21.806,15	52,0	11.402,91	57,1	0,00	0,0	6.353,98	20,6	39.563,04	42,6
Transformada	11.262,07	26,8	7.515,36	37,7	0,00	0,0	19.723,54	63,9	38.500,97	41,5
Altamente transformada	111,32	0,3	240,20	1,2	0,00	0,0	4.583,20	14.8	4.934,72	5,3
Total general	**41.963,18**	**100,0**	**19.955,64**	**100,0**	**14,51**	**100,0**	**30.866,12**	**100,0**	**92.799,45**	**100,0**

Figura 15.5. Gráfico de resultados IEACN para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



De acuerdo al IEACN en la cuenca (Figura 15.6), se refleja claramente como los mayores grados de conservación corresponden a la potencialidad de biomas de Selva húmedas tropical y donde el equipo técnico reporto la mayor concentración de bosque natural (Figura 15.4), que justamente están inmersos en las áreas catalogadas como protegidas dentro de los Parque Nacionales Naturales, lo que muestra la importancia de las áreas de conservación aquí catalogadas y el aseguramiento de los servicios ecosistémicos que estos importantes ecosistemas pueden seguir prestando.

Figura 15.6. Mapa IEACN para la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



Por otra parte se puede identificar que el área que representa mayor grado de transformación corresponde al bioma de Matorral seco tropical (Figura 15.1), este bioma se considera de transición hacia el bosque seco tropical, el cual es de muy alta importancia y representa suelos relativamente fértiles, esta podría explicar su grado de intervención en comparación con el resto del área de la cuenca, ya que sufriría de cambios de uso de suelo dirigidos a actividades económicas de tipo agrícola y ganadera.

15.7. Ecosistemas Marinos

La cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe presenta cuerpos de agua con desembocadura directamente al mar, esta zona costero marina, hace parte de la Unidad Ambiental Costera de la vertiente Norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual va desde la boca del río Ranchería incluida, hasta la boca del río Córdoba en el departamento del Magdalena (INVEMAR, 2016). En estas aguas marinas receptoras del drenaje pueden presentarse algunos ecosistemas marinos, es el caso del Parque Nacional Natural Tayrona, que cuenta con formaciones coralinas, playas arenosas, litoral rocoso, fondos arenosos y los pastos marinos (PNNC, 2017). La literatura afirma la presencia de estos ecosistemas, sin embargo en el proceso de diagnóstico de la cuenca no fueron evaluados ya que están fuera de la zona delimitada y presentan su propio instrumento de manejo. A continuación se hace mención de algunos de ellos.

Los arrecifes de coral son ecosistemas marinos de estructura tridimensional, que al formarse transforman el fondo marino. Esta formados principalmente por diminutos organismos cuyos pólipos coralinos secretan su propio esqueleto de carbonato de calcio; estos organismos forman estructuras arrecifales generalmente en mares tropicales alrededor de islas, bajos y zonas costeras en aguas de poca profundidad. Estas complejas estructuras biogénicas constituyen uno de los ecosistemas más biodiversos del planeta, proporcionan hábitat para cerca de 25% de las especies marinas conocidas, muchas de ellas de sustento para la humanidad; su complejidad también está asociada a que a su alrededor se pueden encontrar diferentes biotopos como pastos marinos, fondos sedimentarios y manglares. Los servicios ambientales prestados por los arrecifes incluyen el abastecimiento de alimento, protección de la línea costera ante la erosión, alternativas de pesca, turismo y bioprospección en medicina, entre otras (INVEMAR, 2016).

Los Pastos marinos o praderas de fanerógamas se desarrollan sobre fondos arenosos y fangosos costeros que en conjunto con algas y fauna forman una comunidad estrechamente relacionada con los arrecifes de coral. Este ecosistema retiene y acumula sedimentos, y modifican la topografía del fondo, hasta casi llegar a la superficie donde se encuentran con el ecosistema de manglar (PNNC, 2017).

Los ecosistemas de playa han sido pobremente estudiados; Molina et al. (1998), los definen como la franja de material no consolidado, como arenas o gravas que se encuentran en la interfase mar y continente; esta deposición se compone de arenas entre finas y medias, de colores variados dependiendo del origen sedimentológico. Este ecosistema está limitado entre la línea de marea baja hasta donde se presenta un cambio marcado en la fisiografía, también existe la zonificación de las playas por perfil topográfico que se divide en: infralitoral, la cual está por debajo de la berma de bajamar; mesolitoral, donde rompen las olas entre las bermas de bajamar y pleamar; y supralitoral, desde la berma de pleamar donde se acumula material vegetal y basuras arrojadas por el mar hasta incluir dunas y cordones litorales (Restrepo-Villegas, 2001). No hay muchos estudios sobre la valoración de este ecosistema, sin embargo se reconoce por presentar el mayor valor de atractivo turístico ya que sobresalen por su extraordinaria belleza, es el caso del PNN Tayrona (Márquez, 2002).

El ecosistema de litoral rocoso presenta características muy particulares las cuales propician el establecimiento de comunidades de organismos con adaptaciones muy específicas, deben ser capaces de sobrevivir en superficies verticales, soportar largos periodos de desecación, resistir cambios fuertes de salinidad y temperatura y vivir bajo el fuerte impacto de las olas. Las costas rocosas pueden dividirse en zonas y subzonas u horizontes que están relacionados directamente por la distribución de los organismos y los factores que la afectan. La zonificación de este ecosistema se ve modificado en muchas ocasiones por los rangos mareales, pero independiente de estas variaciones se pueden identificar tres zonas: el supralitoral, humedecido por el spray marino; el mesolitoral, cubierto y mojado por las olas durante la marea alta y el infralitoral, permanentemente sumergido (Little y Kitching, 1996).

Los fondos blandos o arenosos están representados por sedimentos de diferente tipos como arenas, arcillas, cienos y limos; ofrecen alimento y protección a un sin número de animales, la flora y fauna que habitan este ecosistema se denomina bentos y pueden vivir dentro y sobre el sedimento, estas comunidades están compuestas por todos los phyla del reino animal La importancia de este ecosistema está dada por su rápida respuesta a las perturbaciones por medio de la valoración de estas comunidades que por su amplia diversidad en tamaños, formas de vida, alimentación y comportamiento, son considerados indicadores biológicos de la calidad del sistema; también presentan una estrecha relación con la red alimentaria pelágica, ya que llevan a los niveles superiores cualquier grado de toxicidad que exista en el sedimento, de igual manera son importantes en el reciclamiento de nutrientes y han sido ampliamente estudiados por estas propiedades (Lalli y Parsons, 1997).

Por otra parte dentro de la Unidad Ambiental Costera de la vertiente Norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, existen otras áreas que no se encuentran dentro de alguna figura protectora, de las cuales algunas pueden verse influenciada por la desembocadura de los cuerpos de agua de la presente cuenca; sin embargo los ecosistemas que se encuentran en estas zonas, presentan altos niveles de degradación. Los sistemas costeros en general sufren de los mismos tensores y presiones que se ejercen sobre todo el litoral a nivel nacional; estos ecosistemas son gravemente afectados por las fuentes de contaminación que afectan las zonas costeras como las descargas industriales, las aguas servidas urbanas, el lixiviado de basuras y residuos sólidos, sumándole a esto el material disuelto y particulado que llevan los ríos, en especial los que pasan por los centros urbanos y las áreas agrícolas. Todas las descargas que sufren las aguas costeras y por consiguiente los ecosistemas allí asentados sufren por las sustancias contaminantes, que además llevan una gran cantidad de sedimentos que crean fondos inestables para el asentamiento de los organismos (Garay et al., 2002).

15.8. Consideraciones Finales

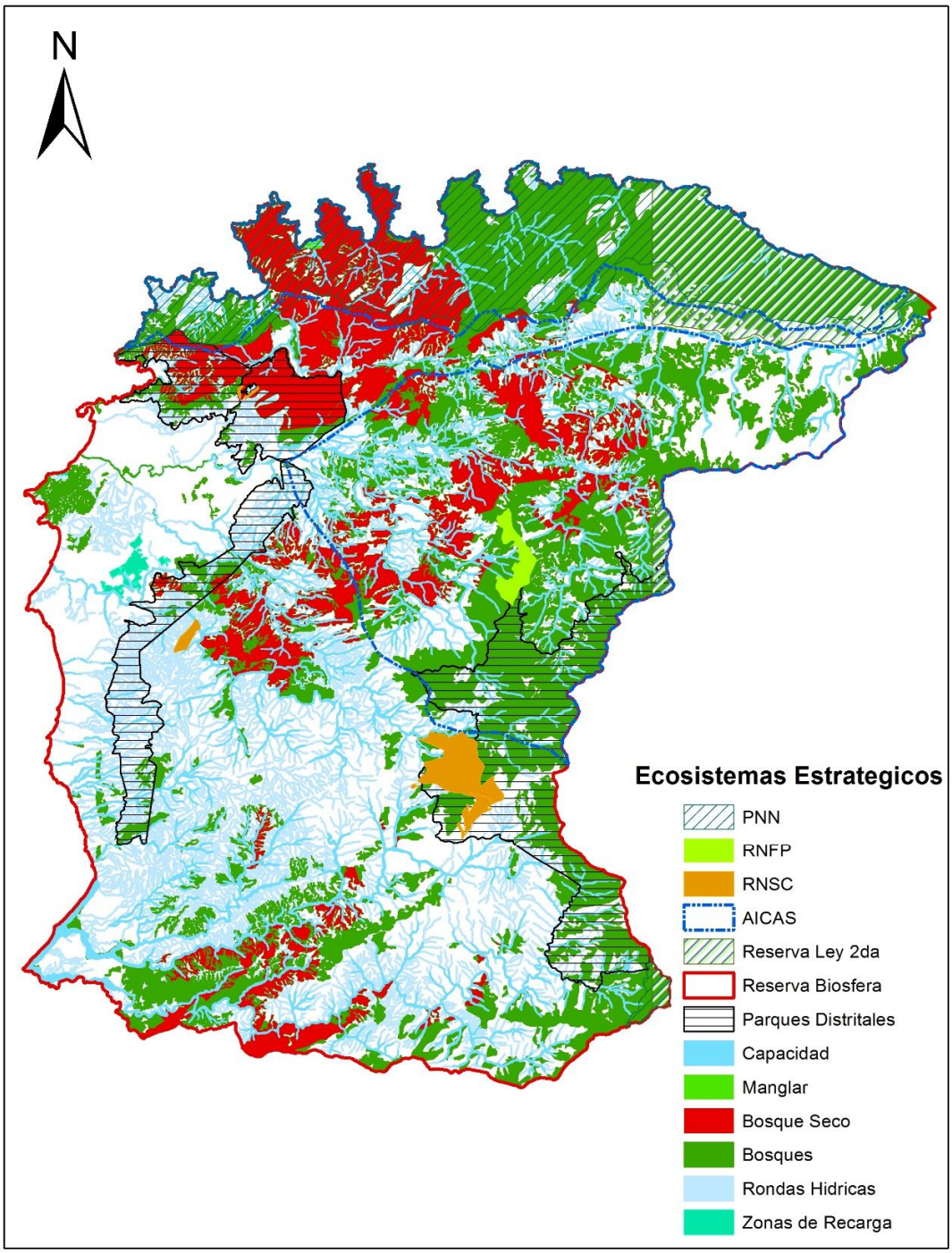
Las áreas protegidas dentro de la cuenca representan la mayor oferta de servicios ambientales, los cuales no solo están asociados al enriquecimiento cultural y de recreación como se suele ver, también se asocia a esta zona a los servicios de regulación por el mantenimiento de biodiversidad presente en los PNN, en especial la inmensa riqueza presente en el bosque húmedo tropical; en estas áreas se encuentran biomas catalogados como los “mejor conservados” del país, demostrando la importancia de estas áreas de conservación.

El deterioro de los ecosistemas de la cuenca puede estar determinado por la falta de injerencia en el cumplimiento de las normas establecidas para las áreas complementarias para la conservación, esta clasificación incluye áreas que abarcan la totalidad de la cuenca debido a su importancia ecológica, la importancia de estas áreas está asociada a que el caso de la Reserva de la Biosfera busca un objetivo importante y es de la integración entre el sistema social y el sistema natural, y en su clasificación incluye la dinámica de los paisajes y las actividades productivas de la comunidad de la zona. Otro caso de importancia incluido en las áreas complementarias es el alto grado de endemismo que otorga tan alto valor a la conservación de estas; sin embargo las actividades económicas realizadas en el área como la ganadería y la expansión agrícola, representa uno de los mayores inconvenientes en la búsqueda de la conservación.

Los ecosistemas presentes en la cuenca que representan las áreas de importancia ambiental, se han determinado como estratégicos por la importancia de los servicios y bienes ambientales que prestan, la determinación de ecosistemas estratégicos en el área de la cuenca (Figura 15.7), pretende mostrar la necesidad de regular las actividades y acciones que deben llevarse a cabo en lugares trascendentales en la conservación y restauración de los biomas que potencialmente regularían el estado de la cuenca. Específicamente se habla del estado de ecosistemas como bosques, bosques secos y manglares, que de acuerdo a este análisis requieren de un cuidado exhaustivo. Lo que implica un análisis estricto de áreas definidas para determinados usos que promuevan el manejo adecuado de las zonas, que infrinjan lo menos posible las normas establecidas para las zonas correspondientes a ecosistemas estratégicos específicos como bosques y manglares. Para esto hay que tener en cuenta que las actividades de mayor efecto negativo son las asociadas al sustento económico como la ganadería y la agricultura.

Por otra parte la influencia que tiene el manejo y ordenación de la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, sobre los ecosistemas marinos presentes en el área marina adyacente a la zona delimitada deben ser evaluados de manera exhaustiva, estos complejos sistemas son de gran desconocimiento y sería de gran relevancia conocer el estado y la calidad que permitirían evaluar el correcto proceso de ordenación y manejo que tendrá la cuenca a través de sus propios instrumentos de evaluación.

Figura 15.7. Áreas de ecosistemas estratégicos presentes en la cuenca del río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe



BIBLIOGRAFIA.

Acevedo, L. (2009). *Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Alcaldía de Ciénaga. (2003). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del Municipio de Ciénaga.*

Alcaldía Distrital de Santa Marta D.T.C.H. (2012 - 2015). *Plan de Desarrollo.*

Alcaldia Municipal de Santa Marta. (02 de 09 de 2016). *Alcaldia Distrital de Santa Marta*. Obtenido de Alcaldia Distrital de Santa Marta: http://www.santamarta.gov.co/portal/

Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruíz, J. (s.f.). *Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del sur (ENSO).* Grupo modelamiento de tiempo, clima y escenarios de cambio climático. Bogotá: IDEAM.

Camacho, L. A., & Lees, M. J. (1999). Multilinear discrete lag-cascade model for channel routing. *Journal of Hydrology, 226*, 30-47.

Cañada, R. (2008). *Sistemas y análisis de la información geográfica.* Alfaomega.

Corporación Autonoma Regional del Magdalena. (2015). *Informe de Monitoreo del Recurso Hídrico según el decreto 2667 de 2012.*

Duan, Q., Sorooshian, S., & Gupta, V. K. (1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology, 158*, 265-284.

Ecopetrol S.A. (s.f.). *CONSULTORÍA PARA EL MONITOREO CLIMÁTICO DE SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE INESTABILIDAD ACTIVADOS POR LLUVIAS EN LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE DE LA VIT DE ECOPETROL S.A.*

IDEAM. (2006). *Índice de disponibilidad hídrica (IDH).* Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales - Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.

IDEAM. (2011). *Estudio Nacional del Agua 2010.* Bogotá, Colombia.

Maricio Cabrera Leal, M. D. (1994). *Segunda Comunicacion Nacional ante la Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climatico.* Bogotá.

MinAmbiente. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas.* Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Montealegre, J. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala.* Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM.

Montealegre, J., & Pabón, J. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del sur y su efecto en el patrón pluviometrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 7-21.

Municipio de Cienaga en Magdalena. (02 de 09 de 2016). *Alcaldía de CIÉNAGA - Magdalena*. Obtenido de Alcaldía de CIÉNAGA - Magdalena: http://www.cienaga-magdalena.gov.co/index.shtml#7

NOAA. (4 de Noviembre de 2015). *National Weather Service*. Obtenido de Climate Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Oudin, L., Andréassian, V., Perrin, C., Michel, C., & Le Moine, N. (2008). Spatial proximity, physical similarity, regression and ungaged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments. *Water Resources Research, 44*, 1-15.

Oudin, L., Michela, C., & Anctil, F. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? *Journal of Hydrology, 303*, 275–289.

Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology, 279*, 275–289.

Pulido, A. (1979). *Contribución al conocimiento de la hidrología del prebetico nororiental (Provincias de Valencia y Alicante).* Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

Sánchez, J. (6 de Enero de 2001). Obtenido de http://fjferrer.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Evapotranspiracion.pdf

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2013). *Informe ejecutivo de gestión, Compañia del acueducto y alcantarillado metropolitano de Santa Marta S.A. ESP.*

Acevedo Aristizábal, Lina Alexandra (2009) Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia. Maestría tesis, Universidad Nacional de Colombia.

Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruíz, J. (s.f.). Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del sur (ENSO). Grupo modelamiento de tiempo, clima y escenarios de cambio climático. Bogotá: IDEAM.

Ávila, K.; Vide, J. (2013). Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación- Revista Universidad de Granada.

BARCO, O. J. CUARTAS, A. (1998). Estimación de la Evaporación en Colombia. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 136 p.

BUDYKO, M.I., (1958). "The Heat Balance of the Earth's Surface". US Department of Commerce, Washington, DC.

R. Cañada et al. (2008). "Sistemas y análisis de la información geográfica". Alfaomega.

Castañeda, M (). Zonificación climatológica según el modelo Caldas – Lang de la cuenca Río Negro mediante el uso del sistema de información geográfica sig. Bogotá.

Chow V. (1964). Statistical and probability analysis of hydrological data. Part I. Frequency analysis. En Chow Ven Te. Handbook of applied hydrology. McGraw Hill book Company.

Chow V.T. (1954). A general formula for hydrologic frequency analysis [Publicación periódica] // Transactions - American Geophysical Union, 32. - 1951. - págs. 231-237. Chow Ven. The log-probability law and its engineering applications. Proceedings American Society of Civil Engineers.

Copete Ríos, J. A., & Obregón Neira, N. (2009). Calibración y Funcionamiento de un Radar Meteorológico Concebido para el Estudio del Drenaje Urbano. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Copete, J., Obregón, N., & Herrera, E. (2013). Relación Z-R de Reflectividad e Intensidad de Precipitación para la Ciudad de Bogotá. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.

Ecopetrol S.A. (s.f.). CONSULTORÍA PARA EL MONITOREO CLIMÁTICO DE SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE INESTABILIDAD ACTIVADOS POR LLUVIAS EN LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE DE LA VIT DE ECOPETROL S.A.

Eslava, J., V. López & G. Olaya. 1986c: Los climas de Colombia (Sistema de Caldas - Lang). Atmósfera 7:41- 77. Bogotá.

Guía de prácticas climatológicas. Organización Meteorológica Mundial, 2011. Obtenida de http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf

Global Climate Observing System GCOS (2012). Evaluación del estado de necesidades para observaciones climáticas en América del Sur 2003-2011.

IDEAM. (2006). Índice de disponibilidad hídrica (IDH). Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.

IDEAM. (2011). Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

Cabrera, M. (1994). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. 2001: Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Plan Distrital para la Gestión del Riesgo de Desastres del Distrito Turístico Cultural e Histórico de Santa Marta (2012). Alcaldía de Santa Marta. Santa Marta, Magdalena.

Poveda G. (2004). La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna [Publicación periódica] // Revista Academia Colombiana de Ciencias. Págs. 201-222.

Poveda G., Rave C. R. y Mantilla R.I. (2001). Tendencias en la distribución de probabilidades de lluvias y caudales en Antioquia [Publicación periódica] // Meteorología Colombiana (3). Págs. 53-60.

Pulido, A. (1979). Contribución al conocimiento de la hidrología del prebetico nororiental (Provincias de Valencia y Alicante). Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

Pulgarín E. (2009). Curvas I-D-F usando escalamiento estadístico [Libro]. - Medellín: Tesis de Maestría en Ingeniería. Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

Rojo, J. (S.F). Recursos hidráulicos. Obtenido de http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/metodos_estimacion_de_et.pdf.

Sánchez, J. (6 de Enero de 2001). Obtenido de http://fjferrer.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Evapotranspiracion.pdf

Sun Y. et al. (2006). How often does it rain? [Publicación periódica] // Journal of. Climate, 19. Págs. 916-934.

Vélez, J., Poveda, G., Mesa, O., Hoyos, C. M., Quevedo, D., Salazar, L., & Vieira, S. (2002). APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA ESTIMACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD – FRECUENCIA – DURACIÓN EN COLOMBIA. Meteorología Colombiana, 91-100

Bieniawski, Z. (1979): "Tunnel design by Rock Mass Classification". Stare Universiry. U.S. Technical Report, GL-7919, 131 pp

Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications: A complete manual for enfineers and geologist in mining, civil, and petroleum engineering. New York: Jhon Wiley & Sons.

Collazos, P., Montaño,X., (2012) : Manual de Aguas Subterraneas. Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica. Montevideo, Paraguay.

Colmenares F., Mesa A., Roncancio J., Et al. Geología de las Planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33 y 34. Proyecto Evolución Geohistorica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, Bogotá, 2007.

Dearman, W.R. 1991. Engineering Geological Mapping. Butterworth– Heinemann, Oxford.

Dearman, W.R., 1976. Weathering classification in the characterisation of rock: a revision. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 13, 123–127.

Deere, D.U., Patton F.D. 1971. Slope stability in residual soils. En Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Puerto Rico. Vol. 1, Pág. 87-170.

Etayo Serna, F. Et al., Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicación Geológica Especial No. 14: 1-235, (1983) Publicación Efectiva, INGEOMINAS, Bogotá, 1986.

González de Vallejo, L.I. (2002): Ingeniería geológica, Pearsons Educación, ISBN 8420531049, 9788420531045, 715 pp.

Hermelin, M. (1987). Bases de geología ambiental. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2003.

IGAC. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia. Versión Multimedia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santa fe de Bogotá.

ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

Medina, J. Fenómenos Geodinamicos. Estudio y Medidas de Tratamiento. Tecnología Intermedia ITGD. Perú: 1991, 87 p.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Hacienda, Fondo De Adaptación. Proyecto formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País. Bogotá D.C., 2014.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá D.C., 2014.

Servicio Geológico Colombiano - SGC. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano – SGC

Suarez, J., (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Varnes, D. (1978): Slope movements, types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Krises editions, Landslides, analysis and control. Transportation Res. Board. Washington. Special report 176.

http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/PDF/MapaNacionalAmenazaSismica.pdf

https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/

http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/PDF/Mapasdeintensidadinstrumental.pdf

http://www2.sgc.gov.co/Geologia/Mapa-geologico-de-Colombia/Archivos/00_Gomez-et-al-2015_Compilando-la-geologia-de-Colo.aspx

http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/nuestro-planeta

Google Earth. (Noviembre de 2012). Imágen Google Street View. Santa Marta, Colombia.

IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrológicas de Colombia.* Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Iriondo, M. (2006). *Introducción a la geología.* Paraná: Brujas.

Martín, J. P. (2002). *Ingeniería de ríos.* Barcelona: Ediciones UPC.

MinAmbiente. (2012). Decreto 1640 "Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones". Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MinAmbiente. (2014). Guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible.

MinSalud. (2011). Diagnóstico de la situación de salud de Santa Marta Distrito Cultural e Histórico. Santa Marta: Ministerio de Salud y Protección Social.

Alfonso, L. (14 de Noviembre de 2014). HidroCHEP. Obtenido de Caja de Herramientas de Hidrología para POMCAS: https://sites.google.com/site/hydrotoolbox/fase-de-dianostico/hidrografia/caractericacion-de-los-sistemas-y-patrones-de-drenaje

Aparicio, F. (1992). FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPIERFICIE. México D.F, México: Limusa.

Cerignoni, F., y Rodrigues, V. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 355-366.

Chow Ven, T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

Campos, A. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis de Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.

Delgadillo, A., y Moreno, A. (s.f.). RedULA. Recuperado de Universidad de Los Andes Venezuela: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf

Domínguez, M. (9 de Febrero de 2015). INGECIV. Recuperado de http://www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/

Gisbert, J. (s.f). Caracterización hidrológica y de los procesos erosivos en la cabecera del Río Monachil (Granda). Granada: Universidad de Granada.
González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 311-329.

Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (s.f.). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Valencia.

IDEAM. (2013). Lineamientos y aspectos metodológicos para la Evaluación Regional del Agua ERA. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen . Revista de Geografía, 41-68.

Londoño, C. (2001). CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES – CARACTERIZACIÓNPLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN. Ibagué: Universidad del Tolima. Recuperado de http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracterizacion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf

Núñez, J. (2001). Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Rojo, J. (2012). Morfometría de cuencas. Recursos hidráulicos. Recuperado de http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf

ULA. (s.f.). Universidad de Los Andes Venezuela. Obtenido de RedULA: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf

UNAL. (s.f.). Datateca. Recuperado de Universidad Nacional de Colombia: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/leccin_14_caracteristicas_del_rea_de_captacin.html

UNIANDES. (2014). Estudio para el Fortalecimiento de la Infraestructura Sanitaria de Santa Marta para los Requerimientos Proyectados en los Próximos 50 Años. Universidad de Los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá: Universidad de Los Andes.

Hudson N.W., Jackson D.C. (1959). Results achieved in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia. In: C.R. 3er Inter African Soils Conf. Dalaba, section 2: 1-15.

IGAC. (2010). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso (Clases Agrológicas). Obtenido de M40100-02-10V1 Para la clasificacion de las tierras por su capacidad de uso. Intranet.

IGAC. (Septiembre de 2011). Metodología para levantamiento de suelos. Obtenido de M40100-01-11V1_Metodología para levantamiento de suelos. Intranet.

Jenness, J. (2013). DEM Surface Tools. Obtenido de Jenness Enterprises: http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm.

Wischmeier W.H., Smith D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA-ARS Agriculture Handbook N° 537, Washington DC. 58 p.

Castillo, V., Martínez-Mena, M., y Albaladejo, J. (s.f.). Validez del método del número de curva para el cáculo de caudales de escorrentía en área mediterráneas semiaridas.

Chow, V. T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

Ministerio de Fomento (2016). Norma 5.2-IC Drenaje superficial. (Boletín Oficial del Estado, 10-marzo-2016). Madrid, España: El Ministerio

Hawkins, R. (1998). Local sources for runoff curve numbers. The 11th Annual Symposium of the Arizona Hydrological Society. Tucson.

IDEAM. (2013). Lineamientos y aspectos metodológicos para la Evaluación Regional del Agua ERA. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

López, J., y Casali, J. (2000). Caracterización de los caudales de diseño del Río Arga a su paso por Pamplona - España. En J. Valderrama, & C. Rojas, Información Técnológica (págs. 15-20). La Serena, Chile: Editorial del Norte.

MinAmbiente. (2010). Decreto 3930 "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones". Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

OMM. (2011). OMM-Nº 168 Guía de prácticas hidrológicas: Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Pérez, D. (2014). Determinación de la oferta hídrica neta del caño La Ceiba en la vereda La Ceiba (municipio de Puerto Salgar - Cundinamarca). Estudio de caso: Desarrollo de proyecto de explotación de hidrocarburos. Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.

Sánchez, F. J. (s.f.). Cálculo de la precipitación neta mediante el método del S.C.S. Universidad de Salamanca. Obtenido de Cálculo de precipitación neta mediante el método del S.C.S.

Woodward, D., Hawkins, R., Hjelmfelt, A., y Van, M. J. (2002). Curve Number Method: Origins, Applications and Limitations. Maryland: USDA NRCS.

Caballero, J. (2011). Las avenidas torrenciales, una amenaza potencial en el valle de Aburrá. En: Revista Gestión y Ambiente volumen 14, N° 3 (Diciembre de 2011) págs. 45-50. Medellín.

Carvajal, J.H. (2011). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, 71 p.

Carvajal, H., Mendivelso, D., Pinzón, L. (2010). Estudio geomorfológico del sector comprendido entre Bocatocino, Atlántico y Ciánaga, Magdalena. Memoria de los mapas geomorfológicos a escala 1:25.000 de las planchas 17-III-A, 17-III-C, 17-I-B, 17-I-D, 17-III-B, 17-III-D, 17-II-A, 17-II-C, 17-IV-A Y 17-IV-C, 17_II_B, 17_II_D; 18_I_A, 18_I_C, 18_I_D, 18_II_A, 18_II_C,18_II_B y 18_II_D. informe final del proyecto Anden Caribe Fase-2. SGC, Bogotá D.C.

Colmenares, F.; Mesa, A.; Roncancio, J.; Arciniegas, E.; Pedraza, P.; Cardona, A.; Romero, A.; Silva, A.; Alvarado, S.; Romero, O. y Vargas, A. (2007). Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33, 34 y 40. Proyecto "Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta". SGC: Bogotá D.C. 401 p.

CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena (2013). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Gaira. CORPAMAG, Santa Marta.

CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena (2013). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Manzanares. CORPAMAG, Santa Marta.

CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., Universidad de Cartagena (2013). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Piedras. CORPAMAG, Santa Marta.

Guzmán, G., Idárraga, J., Henao, W., Posada, B. (2008). Mapa geomorfológico de la cuenca del río Manzanares, escala 1:100.000. SGC, Ecopetrol, ICP, Invemar. Proyecto: Evaluación preliminar de las amenazas naturales en la Cuenca del río Manzanares con énfasis en eventos fluviotorrenciales, Bogotá D.C.

Idárraga, J. Posada, B., Guzmán, G. (2011). Geomorfología de la zona costera adyacente al piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre los sectores de Pozos Colorados y el río Córdoba, caribe colombiano. En: Boletín de investigaciones Marinas y Costeras N° 40, p 41-58. Invemar: Santa Marta.

IDEAM (2010). Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. IDEAM, Bogotá D.C.

Martínez, J., Molina, L. (1992). Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano, sector Bocas de Ceniza - Parque Tayrona. SGC, Bogotá D.C., 110 págs.

Molina, L.E., Pérez, F., Martínez, J.O., Franco, J.V., Marín, L., González, J, L., Carvajal, J.H. (1996). Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano. En: Publicaciones Geológicas Especiales. Cartagena. Pág 1 - 65. SGC: Santa Marta.

Posada, P., Henao, P. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del caribe colombiano. En: Serie Publicaciones Especiales N° 13. 200 p. Invemar: Santa Marta.

Reyes, H.; Montenegro, B. y Gómez, P. (2004). Tectonoestratigrafía y evolución geológica del Valle Inferior del Magdalena. En: Boletín de Geología Vol. 26, No. 42, Enero - Junio de 2004

Robertson, K., Martínez, N., Jaramillo, O. (2003). Amenazas naturales asociadas al ascenso del nivel del mar en el caribe colombiano. En: Cuadernos de Geografía, XII (1-2), 2003, pp. 135-153 - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

SGC (1996). Atlas geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano. En: Publicaciones Geológicas Especiales. Cartagena. Pág 66-69. SGC, Bogotá D.C.

INTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Magdalena. Bogotá DC 300 p.

Dasmann, F.; Milton, J.; Freeman, P. Ecological Principles for Economic Development. Washington DC: International Union for Conservation of Nature Resources (IUCN), 1973. 252 p.

Hans, Jenny. Derivation of state factor equations of soil and ecosystems. Soil Science Society of America Procedings. 1961, vol. 25, 385-388 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Metodología para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Bogotá: IGAC, 2013. 65 p.

Klingebiel, A.A y Montgomery, P.H. Land Capability Classification. Washington D.C: Soil Conservation Service USDA, 1961. 21 p.

ACOSTA, HECTOR Et. Al (2008). Evaluación del estado de la cobertura boscosa mediante indicadores de fragmentación e impacto humano en la cuenca alta del río Guarinó aplicando sistemas de información geografía. Monografía para optar al título de especialista SIG. CIAF – IGAC. Bogotá. 117 p.

***IDEAM** (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE LandCover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.*

IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA *(2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE LandCover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.*

IDEAM,(2013)*. Análisis de Dinámicas de Cambio de las Coberturas de la Tierra en Colombia, Escala 1:100.000 Períodos 2000-2002 y 2005-2009. 148 pág. Bogotá, Colombia.*

FERANEC (2012).*Land Cover and its Change in Europa: 1990 – 2006.*

IGAC*. Municipios de Colombia. Capa geográfica. Bogotá, 2013.*

MINAMBIENTE *(2014). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas – POMCAS. Anexo A. Diagnóstico. Bogotá, Colombia. 112 p.*

PARQUES NACIONALES*. Mapa de biomas prístinos de Colombia. Capa geográfica. Bogotá, 2015.*

Andrade-C., M. G. 2011. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 35 (137): 491-507, ISNN 0370-3908

Barker FK, Cibois A, Schikler P, Feinstein J, Cracraft J: Phylogeny and diversification of the largest avian radiation. Proc Natl Acad Sci USA. 2004, 101: 11040-11045. 10.1073/pnas.0401892101.

Bernal-González, B. Azarys Paternina-Hernández, Juan E. Carvajal-Cogollo, J. Orlando Rangel-Ch. & Magaly E. Ardila-Reyes. 2012. RIQUEZA DE LA AVIFAUNA DEL CARIBE COLOMBIANO. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XII. La Región Caribe de Colombia: 365-476. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá D.C.

Carvajal-Cogollo, Juan. Gladys Cárdenas-Arévalo & Olga Castaño-Mora. 2012. en: J.O. Rangel-Ch. (ed.), Colombia Biodiversidad Biótica XII: la región Caribe de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, Impresión: Editorial CÓDICE Ltda., 1046p. ISBN: 978-958-761-215-8.

Lynch, J.D., P.M. Ruiz-Carranza & M.C. Ardila-Robayo. 1997. Biogeographic patterns of Colombia frogs and toads. Revista Acad. Colomb. Ci. Exact. 21: 237-248 p

Rangel-Ch., J.O. & A. Velásquez. 1997. Métodos de estudios de la vegetación. En: J.O., Rangel-Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica II. Tipos de vegetación en Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Pp 59- 87.

Rangel-Ch., J.O. 2012. La vegetación de la región Caribe de Colombia: Composición florística y aspectos de la estructura. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XII. La Región Caribe de Colombia: 365-476. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá D.C.

Rangel-Ch. J. Cortéz-Castillo, D. 2013. Vegetación acuática y de pantano de las Ciénagas del departamento de cesar (Colombia). En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XIII. Complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del Sur del Cesar: 301-329. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá D.C.

Rivera-Díaz. 2010. Los bosques de los alrededores de las ciénagas Zapatosa, Mata de Palma y La Pachita, Cesar, Colombia. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XIII. Complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del Sur del Cesar: 243-284. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá D.C.

Rudas, A. 2009. El muestreo de la vegetación forestal: Método de los Cuadrantes Centrados en un Punto. Práctica de Campo, Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Acosta Galvis, A. R. 2015. Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea V.05.2015.0 (Fecha de acceso). Página web accesible en http://www.batrachia.com Batrachia, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.

Álvarez-León, R. & J. Blanco-Racedo. Composición de las Comunidades Ictiofaunísticas de los Complejos Lagunares Estuarinos de la Bahía de Cartagena, Ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta. En: A. Yañez-Arancibia (Ed) Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration, 1985. 654 p. Dr (R) UNAM Press México, ISBN 968-837-618-3.
Andrade-C., M. G. 2011. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 35 (137): 491-507, ISNN 0370-3908

Bernal-González, B. Azarys Paternina-Hernández, Juan E. Carvajal-Cogollo, J. Orlando Rangel-Ch. & Magaly E. Ardila-Reyes. 2012. RIQUEZA DE LA AVIFAUNA DEL CARIBE COLOMBIANO. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XII. La Región Caribe de Colombia: 365-476. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá D.C.

Calderón-Espinosa, M. L. & Barragán-Contreras, L. A. 2014. Geographic body size and shape variation in a mainland Anolis (Squamata: Dactyloidae) from Northwestern South America (Colombia). Acta Biológica Colombiana, 19: 167-174

Castaño-M, O., G. Cárdenas-A, E. Hernández-R, Y Castro-H. F. 2004. Reptiles en el Chocó biogeográfico. 599-632 pp. En: J.O. Rangel-Ch. (ed.), Diversidad Biótica IV. El chocó Biogeográfico/Costa Pacífica. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Conservación Internacional. Bogotá, D.C. 997 Pp.

Chaparro-Herrera, S., M. Á. Echeverry-Galvis, S. Córdoba & A. Sua-Becerra. 2013. Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. Biota Colombiana 14 (2): 113-150

Dalh, G. & F. Medem. 1964. Informe sobre la fauna acuática del rió Sinú. C.V.M. Departamento de investigaciones ictiológicas y faunísticas. Los reptiles acuáticos de la hoya del Sinú: 110- 129

Davies RG, Orme CDL, Webster AJ, Jones KE, Blackburn TM, Gaston KJ. Environmental predictors of global parrot (Aves: Psittaciformes) species richness and phylogenetic diversity. Global Ecol Biogeogr. 2007; 16:220–233

Hilty, S. & W. Brown. 1986. A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. Princeton, N. J., USA. 717 Pp.

Lynch, J.D., P.M. Ruiz-Carranza & M.C. Ardila-Robayo. 1997. Biogeographic patterns of Colombia frogs and toads. Revista Acad. Colomb. Ci. Exact. 21: 237-248 p

Muñoz-Saba, Y., M. Hoyos-Rodríguez. 2012. Los mamíferos del Caribe Colombiano. Pp: 703-721 en: J.O. Rangel-Ch. (ed.), Colombia Biodiversidad Biótica XII: la región Caribe de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, Impresión: Editorial CÓDICE Ltda., 1046p. ISBN: 978-958-761-215-8.

Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, C. D. Cadena, A. Jaramillo, M. Nores, J. F. Pacheco, J. Pérez-Emán, M. B. Robbins, F. G. Stiles, D. F. Stotz, y K. J. Zimmer. 2016. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. Disponible en: http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html

Ruthven, A.G., 1922. The amphibians and reptiles of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Misc. Publ. Pap. Mus. Zool. Univ. Michigan (8): 1-93

Solari S., Muñoz-Saba Y., Rodriguez-Mahecha, J. V., Defler T.R., Ramírez-Chaves H. Y Trujillo, F. 2013. Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. Mastozoología Neotropical, 20 (2), pp. 301-365

Stiles, F. G. y L. Rosselli. 1998. Inventario de las aves de un Bosque Altoandino: Comparación de dos métodos. Caldasia: 20(1):29-43.

BirdLife International (2016) Important Bird Areas factsheet: Cuchilla de San Lorenzo. Recuperado de http://www.birdlife.org. 12/12/2016.

BirdLife International (2016) Important Bird Areas factsheet: Parque Nacional Natural Tayrona. Recuperado de http://www.birdlife.org. 12/12/2016.

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia.

Márquez, G. (2003). Ecosistemas estratégicos de Colombia. Revista de la Sociedad Geográfica de Colombia, 133, 87-103.

Marquez, G. (2001). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. Gestión y ambiente 5: 33-49. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Marulanda, l.; Uribe, A.; Velásquez, P.; Montoya, M.; Idárraga, A.; López, M.; López, J. (2003). Estructura y composición de la vegetación de un fragmento de bosque seco en San Sebastián, Magdalena (Colombia). i. composición de plantas vasculares. Actual biol 25 (78): 17-30.

Millennium Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being. Informe de síntesis. Borrador final. Recuperado de http://www.milleniumassessment.org

Minambiente (2016). Ecosistemas estratégicos. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co. 20/12/2016

UNESCO. (2016). Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB). Recuperado de http://www.unesco.org/mabdb/. 20/12/2016

Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2016). Parques Nacionales. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/. 20/12/2016.

Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2016). RUNAP-Registro único de áreas protegidas. Recuperado de http://runap.parquesnacionales.gov.co/

INTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Magdalena. Bogotá DC 300 p.

Dasmann, F.; Milton, J.; Freeman, P. Ecological Principles for Economic Development. Washington DC: International Union for Conservation of Nature Resources (IUCN), 1973. 252 p.

Hans, Jenny. Derivation of state factor equations of soil and ecosystems. Soil Science Society of America Procedings. 1961, vol. 25, 385-388 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Metodología para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Bogotá: IGAC, 2013. 65 p.

Klingebiel, A.A y Montgomery, P.H. Land Capability Classification. Washington D.C: Soil Conservation Service USDA, 1961. 21 p.

ALPEC – Alianza para Ecosistemas Críticos. (2008). AICA Cuchilla de San Lorenzo – Río Toribio. En línea: http://www.alpec.org/AICA_San_Lorenzo.html

Ballesteros, M. (2016). Índice del estado actual de coberturas naturales - Muestreos ecológicos rápidos. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, Dirección de gestión integral del recurso hídrico. Fondo de Adaptación. Bogotá D. C., 19 p.

BirdLife International (2017) Important Bird Areas factsheet. Data Zone. En línea: http://www.birdlife.org/

Franco, A. M., Devenish, C., Barrero, M. C. & Romero, M. H. (2009) Colombia. Pág. 135 –148 en C. Devenish, D. F. Díaz Fernández, R. P. Clay, I. Davidson & I. Yépez Zabala Eds. Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation. Quito, Ecuador: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16).

Garay, J., Marín, B. & Vélez, A. M. (2002). Contaminación marino-costera en Colombia, pp: 101-129 En: Ospina-Salazar G.H. y Acero A. (eds). INVEMAR, Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2001. Medellín: cuartas impresores, 178 p.

Guevara, S. & Laborde, J. (2009). El Enfoque Paisajístico en la Conservación: Rediseñando las Reservas para la Protección de la Diversidad Biológica y Cultural en América Latina. Environmental Ethics. 30:33-44.

Humboldt – Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2017). Investigación en biodiversidad y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones Bosques secos tropicales en Colombia En línea: http://www.humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia.

IDEAM. (2015). Memoria Técnica del Mapa de Ecosistemas Continentales, Marinos y Costeros 2005 – 2009.

IDEAM. (Sin Año). Sierra Nevada de Santa Marta, Zona de Reserva Forestal. 13 p.

INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis (2014). Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del INVEMAR Nº 4. Red de Vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe Técnico 2013. Santa Marta: INVEMAR, 314 p.

INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis. (2016). Informe del Estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2015. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 186 p.

Lalli, C. M. & Parsons, T. R. (1997). Biological Oceanography an introduction. Second edition. The Open. University, Oxford, 314 pp.

Latorre, J.P., Jaramillo, O. & Corredor, L. (2014). Atlas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas Continentales de Colombia. Parques Nacionales Naturales.

Little, C. & Kitching, J. A. (1996). The biology of rocky shores. Oxford University Press, Nueva York, 240 p.

Márquez, C. G. (2002). Ecosistemas marinos. En: Caribe Colombia. Fondo FEN. http://www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/carcol/ecomar1.htm

Márquez, G. (2003). Ecosistemas Estratégicos de Colombia. 65 p.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human well-being.

MinAmbiente – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Importancia de los bosques, Colombia tercer país de la región en cobertura boscosa. En línea.

Molina, L. M., Pérez, F., Martínez, J., Franco, J. V., Marín, L., González J. & Carvajal, J. (1998). Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe. Pub. Geol. Esp. INGEOMINAS No. 21. 114 p.

Montoya, S. (2004). Guía técnica para la restauración de áreas de rondas y nacederos del Distrito Capital. Departamento técnico administrativo Del Medio Ambiente (DAMA). 91 p.

PNNC – Parques Nacionales Naturales de Colombia (2017). Parque Nacional Natural Serranía de Los Yariguíes. En línea: http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-serrania-de-los-yariguies.

ProAves. (2014). El Estado de las aves en Colombia 2014: Prioridades de conservación de la avifauna colombiana. Conservación Colombiana 20.

ProAves. (2017). Reserva Natural de las Aves El Dorado. Sierra Nevada de Santa Marta. En línea: http://www.proaves.org/rna-el-dorado/

Restall, R., Rodner, C. & Lentino, M. (2006). Birds of Northern South America: an identification guide. Helm Field Guides.

Restrepo-Villegas, J. C. (2001). Geomorfología y Análisis de las Variaciones de la Línea de Costa de la Zona Norte del Golfo de Morrosquillo y el Archipiélago de las Islas de San Bernardo, Caribe Colombiano. Tesis de grado para optar al título de Geólogo, Universidad de Caldas, Manizales.

Salaman, P., Donegan, T.M. & Caro, D. (2007). Lista de Chequeo de las Aves de Colombia. Conservación Colombiana 2 Suplemento.85 pp. Fundación ProAves, Bogotá, Colombia.

Sánchez-Paez, H., Ulloa-Delgado, G. A. & Tavera-Escobar, H. A. (2004). Manejo Integral De Los Manglares Por Comunidades Locales Caribe De Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial Dirección de Ecosistemas.

UNESCO – Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). Gente, Biodiversidad y Ecología. Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB). Reservas de Biosfera. En línea: http://www.unesco.org.uy/mab/es/areas-de-trabajo/ciencias-naturales/mab/programa-mab/reservas-de-biosfera.html

Victorino, A. (2012). Bosques para las personas: Memorias del Año Internacional de los Bosques 2011. Instituto de Investigación de Recurso Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C., Colombia. 120 pág.

Viloria De la Hoz, J. (2005). Documentos de trabajo sobre Economía Regional. Banco de la República – Sucursal Cartagena. N° 61.

ANEXOS.

NOTA: Los anexos solicitados referentes a mapas o salidas cartográficas, se pueden observar en los anexos del Vol. VII., Actividades complementarias de Cartografía y SIG

Capítulo 1. Caracterización básica de la cuenca (Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)

ANEXO 1.	Plantilla general
ANEXO 2	Mapa de Localización general
ANEXO 3	Modelo digital de terreno

Capítulo 2 .Clima

ANEXO 1	Bases Originales
ANEXO 2	Bases_ Datos_tratados
ANEXO 3	Coef_IDF Ecopetrol
ANEXO 4	Distr_PP_Max
ANEXO 5	Coeficientes_ IDF_Subc
ANEXO 6	Gráficas ONI
ANEXO 7	ONI_PPT
ANEXO 8	ONI_T°
ANEXO 9	Balance hidro
ANEXO 10	Salidas Isoyetas
ANEXO 11	Salidas_Temp

Capítulo 3. Geología

ANEXO 1	Tabla Estaciones Geología
ANEXO 2	Fotos Estaciones de Campo
ANEXO 3	Tabla Estaciones UGS
ANEXO 4	Fotos Estaciones UGS
ANEXO 5	Tabla de Muestreo
ANEXO 6	Mapas y Salidas

Capítulo 4. Hidrogeología

ANEXO 1	Mapa de hidrogeología con fines de ordenación.
ANEXO 2	Tabla puntos hidrogeológicos.
ANEXO 3	Zonas de Objeto de Protección

Capítulo.5. Hidrografía

ANEXO 1	Mapa Hidrográfico (MZ_MP_DG_021_1)

Capítulo 6. Morfometría

ANEXO 1	Metros del cause principal

ANEXO 2	Tiempos de concentración
ANEXO 3	Curva Hipsomética

Capítulo 7 Pendientes (Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)

ANEXO 1	Salida Cartográficas de pendientes en porcentajes
ANEXO 2	Salida cartográfica de pendientes en grados

Capítulo 8 Hidrología

ANEXO 8.1	Información Estaciones Hidrometricas
ANEXO 8.2	ETP
ANEXO 8.3	QSimulados
ANEXO 8.4	Curvas Caudales
ANEXO 8.5	Histogramas_Q_mes
ANEXO 8.6	Caudales caracteristicos
ANEXO 8.7	Demandas hídricas.
ANEXO 8.8	Socialización
ANEXO	Salidas cartográficas del régimen hidrológico, **(Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)**
ANEXO	Rendimiento hídrico, **(Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)**
ANEXO	Mapas de IRH, IUA, IVH **(Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)**

Capítulo 9. Calidad de agua.

ANEXO 1	Datos_INVEMAR
ANEXO 2	Ruta Veredal
ANEXO 3	Resultados de análisis de laboratorio
ANEXO 4	Calculos
ANEXO 5	Mapa ICA
ANEXO 6	Mapa IACAL

Capítulo 10 Geomorfología

ANEXO 1	Fotos
ANEXO 2	GPS
ANEXO 3	Mapas
ANEXO 4	Formato Fotos
ANEXO 5	Formatos Campo
ANEXO 6	Anexo_fotos_CHCGSM

Capítulo.11. Capacidad de uso

ANEXO 1	Leyenda del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras
ANEXO 2	Leyenda de geomorfología metodología Zinck
ANEXO 3	Leyenda Geomorfopedológica
ANEXO 4	Leyenda Capacidad de Uso de las Tierras
ANEXO 5	Leyenda Usos Principales Propuestos
ANEXO 6	Resultados laboratorio de suelos
ANEXO 7	Mapa Geomorfopedológico.

ANEXO 8 Mapa Geomorfopedológico.
ANEXO 9 Mapa usos principales propuestos.
ANEXO 10 Mapa usos principales propuestos

Capítulo 12. Cobertura y uso de las tierras (Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)
ANEXO 1 Mapa de cobertura y usos actuales,
ANEXO 2 Salida cartográfica con el análisis multitemporal de coberturas naturales;

Capítulo.13. Vegetación y flora
ANEXO Resultados de las evaluaciones ecológicas rápidas por parcela.

Capítulo 14. Fauna
ANEXO Fauna

Capítulo.15. Ecosistemas estratégicos (Ver Vol.VII. Cartografía y SIG)
ANEXO 1 Mapa de áreas y ecosistemas estratégicos presentes en la Cuenca en la Cuenca