FORMULACIÓN

POMCA

COMPLEJO HUMEDALES CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica



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

MINAMBIENTE

MINHACIENDA

TODOS POR UN NUEVO PAÍS
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

POMCA MAGDALENA AMBIENTAL

CORPAMAG

Fondo Adaptación

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO i
LISTA DE FIGURAS ix
LISTA DE TABLAS xxii
1. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA CUENCA. 30
1.1. Localización Geográfica y Límites l 31
1.2. Cartografía Base y Modelo Digital 31
1.2.1. Cartografía Base y temática 31
1.2.2. DEM 34
1.3. División Político Administrativa 39
1.3.1. Municipios participantes de la cuenca 39
1.3.2. Centros Poblados y Áreas Urbanas dentro de la cuenca. 41
1.3.3. División político administrativa 42
2. CLIMA 53
2.1. Caracterización De La Red Meteorológica Existente 53
2.2. Tratamiento De Información Climática. 58
2.2.1. Tratamiento de datos. 58
2.3. Caracterización Temporal Y Espacial Del Clima En La Cuenca 68
2.3.1. Distribución espacial de la precipitación 68
2.3.2. Distribución temporal de la precipitación 75
2.3.3. Distribución espacial de la temperatura 79
2.3.4. Distribución temporal de la temperatura en la cuenca. 86
2.3.5. Relación Precipitación-Temperatura: Diagrama Ombrotérmico. 93
2.3.6. Brillo solar 94
2.3.7. Humedad relativa. 100
2.3.8. Evaporación 105
2.3.9. Velocidad del viento 110
2.3.10. Estimación De Curvas Idf Por Medio De Regionalización De Información Secundaria. 115
2.3.11. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para diferentes períodos de retorno y duraciones. 121
2.3.12. Ajuste estadístico de Curvas IDF para el análisis de eventos extremos 128
2.3.13. Resultados por subcuenca. 129
2.3.14. Escenarios de precipitación para eventos extremos considerando períodos de retorno de 2,5,10,15,20,25,30,50,100 y 500 años. 136
2.4. Eventos Extremos Y Variabilidad Climática. 138
2.4.1. Variabilidad climática. 138
2.5. Balance Hídrico De Largo Plazo 146
2.5.1. Evapotranspiración. 147
2.6. Balances Hidroclimaticos A Nivel De Subcuenca 154
2.6.1. Determinación de la retención pluvial (Ret). 155

2.6.2. Determinación de la precipitación infiltrada, Pin 155
2.6.3. Balance del suelo 155
2.6.4. Cálculo de la recarga potencial (Rp) 156
2.6.5. Cálculo de las necesidades de riego (NR) 156
2.7. Clasificación Climática De La Cuenca. 156
2.7.1. Zonificación climática de Caldas Lang. 156
2.8. Índice De Aridez 160
2.1. Necesidades De Información Y Conocimiento Para El Componente Climática De La Cuenca Hidrográfica Complejo De Humedales Ciénaga Grande De Santa Marta. 161
3. GEOLOGÍA 165
3.1. Metodología 166
3.1.1. Actividades pre-campo 167
3.1.2. Actividades de campo 171
3.1.3. Actividades post-campo 174
3.2. Marco Geológico Regional 181
3.3. Geología a Escala Media con Fines de Ordenamiento de la Cuenca 183
3.3.1. Estratigrafía 183
3.3.2. Geología estructural 189
3.3.3. Sismicidad 190
3.4. Unidades Geológicas Superficiales 193
3.4.1. Objetivos. 193
3.4.2. Metodología. 194
3.4.3. Factores considerados para caracterizar las unidades de roca. 203
3.4.4. Factores considerados para caracterizar las unidades de suelo. 210
3.4.5. Unidades del Área de Influencia de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 212
3.4.6. Observaciones Generales 215
3.5. Conclusiones 216
4. HIDROGEOLOGÍA. 218
4.1. Metodología 219
4.1.1. Actividades pre-campo 220
4.1.2. Actividades de campo 220
4.1.3. Fase de post campo 255
4.2. Identificación y Caracterización de Unidades Geológicas que pueden conformar Sistemas Acuíferos. 270
4.2.1. A. Sedimento y rocas con flujo esencialmente intergranular 270
4.2.2. B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas 271
4.3. Usos Actuales y Potenciales del Recurso Hídrico Subterráneo. 274
4.4. Estimación de la Oferta Hídrica Subterránea y Parámetros Hidráulicos de Acuíferos Confinados. 276
4.4.1. Determinación de la recarga potencial 276
4.4.2. Pruebas de Bombeo 279
4.5. Calidad de agua subterránea 297

4.6. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación..... 304
4.7. Identificación de zonas objeto de protección y medidas de manejo especial..... 310
4.8. Priorización de acuíferos y zonas de manejo especial..... 313
5. HIDROGRAFÍA..... 315
5.1. Delimitación de la Cuenca y Unidades Hidrográficas Subsiguientes..... 315
5.1.2. Criterios y geoprocesos para la obtención del límite de la cuenca y niveles subsiguientes. 316
5.1.3. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas..... 324
5.1.4. Identificación de unidades abastecedoras de centros urbanos y centros poblados..... 329
5.2. Caracterización De La Red De Drenaje..... 339
5.2.2. Unidades hidrográficas segundo Nivel subsiguiente..... 342
5.2.3. Unidades hidrográficas tercer nivel subsiguiente..... 352
5.3. Caracterización de unidades abastecedoras de centros poblados..... 363
5.3.1. Datos morfométricos por subcuencas..... 363
5.3.2. Jerarquización del drenaje..... 364
5.3.3. Patrón de alineamiento..... 366
5.3.4. Patrón de drenaje..... 366
5.3.5. Densidad de drenaje..... 367
5.3.6. Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales..... 367
6. MORFOMETRÍA..... 369
6.1. Factores Geométricos de las Unidades Hidrográficas..... 369
6.1.1. Parámetros de forma..... 369
6.1.2. Parámetros de relieve..... 378
6.1.3. Altura y elevación..... 378
6.1.4. Pendiente de la cuenca..... 379
6.2. Características de los Cauces..... 380
6.2.1. Parámetros de cauce principal..... 380
6.2.2. Parámetros de la red de drenaje..... 381
7. PENDIENTES..... 397
7.1.1. Clasificación de la pendiente según el SGC..... 397
7.1.2. Clasificación de la pendiente según el IGAC..... 398
7.2. Metodología..... 398
7.3. Análisis de Pendientes según clasificación IGAC..... 401
7.4. Análisis de Pendientes según clasificación SGC..... 402
7.5. Conclusiones..... 404
8. HIDROLOGÍA..... 405
8.1. Descripción Y Evaluación De La Red De Estaciones Hidrológicas En La Cuenca..... 405
8.2. Análisis de calidad, validez, consistencia y tendencia de la información..... 407
8.3. Inventario De Infraestructuras Hidráulicas Que Afectan La Oferta Hídrica..... 414
8.3.1. Cabeceras municipales..... 414
8.3.2. Áreas rurales y centros poblados..... 417
8.3.3. Concesiones de agua superficial para actividades productivas..... 423
8.4. Análisis De Sistemas Lénticos Naturales..... 428
8.4.1. Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca-NSS (Cód. 2906-0106)..... 429

8.4.2. Complejo Lagunar Ciénaga Grande-NSS (Cód. 2906-0107). 430
8.5. Caracterización Del Régimen Hidrológico 435
8.5.1. Estimación oferta subcuencas del margen derecho del río Magdalena. 443
8.5.2. Estimación oferta subcuenca Complejo Lagunar Ciénaga Grande. 444
8.5.3. Régimen hidrológico. 448
8.5.4. Curvas de duración de caudales. 448
8.5.5. Caudales máximos. 450
8.5.6. Caudales mínimos. 453
8.5.7. Dinámica de sedimentos 455
8.6. Estimación de la oferta hídrica. 457
8.7. Validación de caudales obtenidos con balance hídrico. 458
8.8. Caudales Ambientales. 459
8.9. Estimación De Demanda Hídrica 461
8.9.1. Demanda de agua por uso doméstico 462
8.9.2. Demanda de agua por uso agrícola. 463
8.9.3. Demanda de agua por uso pecuario y avícola. 466
8.9.4. Demanda de agua por uso industrial, comercial y de servicios. 468
8.9.5. Demanda hídrica total. 468
8.10. Índices Hidrológicos. 469
8.10.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH). 469
8.10.2. Índice de Uso del Agua (IUA). 471
8.10.3. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH). 474
8.11. Necesidades De Información Y Conocimiento. 477
9. CALIDAD DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO 478
9.1. Evaluación De Redes De Monitoreo Existentes En La Cuenca 478
9.1.1. Identificación y descripción de redes existentes. 478
9.1.2. Resultados de monitoreo para las redes existentes 481
9.1.3. Evaluación del Índice de Calidad del Agua para las redes de monitoreo existentes 490
9.2. Monitoreo De Cuerpos De Agua Superficial 493
9.2.1. Oxígeno disuelto (OD) 496
9.2.2. Potencial de hidrógeno (pH) 497
9.2.3. Conductividad eléctrica 498
9.2.4. Materia Orgánica (DBO_5 y DQO) 499
9.2.5. Sólidos suspendidos totales 501
9.2.6. Nutrientes 502
9.2.7. Coliformes 504
9.3. Generación De Vertimientos 505
9.3.1. Descripción general de actividades generadoras de vertimiento en la Cuenca 505
9.3.2. Sistemas de manejo de vertimientos municipales 507
9.3.3. Manejo de vertimientos en áreas rurales y centros poblado 508
9.3.4. Manejo de vertimientos por actividades productivas 510
9.3.5. Instrumentos de gestión y control ambiental para vertimientos 511
9.4. Estimación De Cargas Contaminantes. 512

9.4.1. Metodología 512
9.4.2. Resultados de carga contaminante por nivel subsiguiente 513
9.5. Manejo De Residuos Sólidos 518
9.5.1. Descripción de Sistemas para el Manejo de los Residuos 518
9.5.2. Planes de Gestión de Residuos Sólidos 520
9.6.3. Índice de Calidad de las Aguas Marinas y Costeras – ICAM 526
9.7. Índice De Alteración Potencial De La Calidad Del Agua -IACAL- 528
9.7.1. Metodología de Cálculo 528
9.7.2. Resultados de IACAL para la Cuenca 530
9.8. Anexos 533
9.8.1. Anexo 01. Datos INVEMAR 533
9.8.2. Anexo 02. Ruta Veredal 533
9.8.3. Anexo 03. Laboratorios 533
9.8.4. Anexo 04. Cálculos 533
9.8.5. Anexo 04. ICA 534
9.8.6. Anexo 05. IACAL 534
10. GEOMORFOLOGÍA 535
10.1. Marco Geológico – Geomorfológico Regional. 535
10.1.1. Secuencia estratigráfica y unidades geológicas 535
10.1.2. Geología estructural regional (pliegues, fallas y lineamientos) 536
10.1.3. Evolución geológica regional 536
10.1.4. Información geomorfológica a escala regional 537
10.2. Metodología para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica. 538
10.2.1. Métodos de obtención de las salidas cartográficas 539
10.2.2. Insumos 541
10.2.3. Descripción de atributos 541
10.3. Caracterización Geomorfológica de la Cuenca. 544
10.3.1. Geomorfoestructura 544
10.3.2. Provincias geomorfológicas 544
10.3.3. Regiones geomorfológicas 545
10.3.4. Unidades y subunidades geomorfológicas 546
10.4. Procesos Morfodinámicos 557
10.4.1. Inundaciones 557
10.4.2. Encharcamiento 558
10.4.3. Socavación lateral 558
10.4.4. Erosión costera 558
10.5. Conclusiones 558
11. CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS 563
11.1. Objetivos 564
11.1.1. General. 564
11.1.2. Específicos 564
11.2. Metodología Para El Análisis De La Capacidad De Uso De Las Tierras 564
11.2.1. Marco conceptual 564

11.2.2. El problema de la escala 1:25.000 exigida para elaborar el estudio edafológico. 565
11.2.3. Estrategia para obtener el conocimiento requerido por la escala 1:25.000. 565
11.3. Etapas y actividades 566
11.3.1. Etapa 1: Análisis y evaluación del estudio general de los suelos del departamento de Magdalena, elaborado en el año 2009. 566
11.3.2. Etapa 2: Oferta de Información generada por el POMCA..... 577
11.3.3. Etapa 3: Mosaicos edáficos de la cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta modificado y complementado con los mapas generados por el POMCA 598
11.3.4. Etapa 4: Planeación trabajo de Campo 600
11.3.5. Capacidad de Uso y Manejo de las Tierras..... 621
11.4. Usos principales propuestos 650
11.4.2. Cultivos transitorios intensivos (CTI)..... 653
11.4.3. Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS) 653
11.4.4. Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) 654
11.4.5. Pastoreo semi-intensivo (PSI) 654
11.4.6. Pastoreo extensivo (PEX) 654
11.4.7. Sistemas forestales protectores (FPR) 655
11.4.8. Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza (CRE)..... 655
12. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA. 656
12.1. Objetivos 657
12.1.1. Generales 657
12.1.2. Específicos 658
12.2. Metodología 658
12.2.1. Metodología Corine Land Cover 658
12.2.2. Imágenes 661
12.2.3. Metodología uso actual del suelo 662
12.2.4. Metodología análisis Multitemporal..... 666
12.2.5. Metodología cálculo indicadores de estado 668
12.2.6. Otras consideraciones metodológicas 671
12.2.7. Sobre el área de trabajo..... 672
12.3. Etapas para l Desarrollo del Componente de Coberturas y Uso del Suelo 674
12.3.1. Etapas en la elaboración y verificación del mapa de coberturas de la tierra 674
12.3.2. Etapas en la clasificación de uso actual del suelo 678
12.3.3. Etapas en la realización del análisis multitemporal de coberturas..... 679
12.3.4. Cálculo de indicadores 680
12.3.5. Otros aspectos a tener en cuenta 680
12.4. Resultados proceso interpretación de Coberturas de la tierra y Uso del Suelo 681
12.4.1. Resultados del mapa de coberturas..... 681
12.4.2. Resultado del análisis de uso del suelo..... 693
12.5. Resultado del proceso de análisis multitemporal de coberturas..... 697
12.6. Resultados de la determinación de Índicadores de Estado – Tenencia..... 708
12.6.1. Índicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN). 708
12.6.2. Índice de fragmentación (IF) 709

12.6.3. Índice de vegetación remanente (IVR) 711
12.6.4. Índice de presión demográfica. (IPD) 717
12.6.5. Índice de ambiente crítico (IAC) 721
12.7. Conclusiones. 723
13. FLORA Y VEGETACIÓN. 726
13.1.1. Generalidades 726
13.1.2. Objetivos Generales y Específicos 727
13.2. Metodología Para La Caracterización De La Flora Y Vegetación 727
13.2.1. Fase metodológica levantamiento de información secundaria 727
13.2.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria 728
13.2.3. Análisis de la Información para la Flora 732
13.2.4. Área de estudio Complejo humedales CGSM 733
13.3. Análisis Estructural Y Fisionómico De La Vegetación 734
13.3.1. Información Secundaria flora 734
13.3.2. Información Primaria flora 740
13.4. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial 764
13.5. Conclusiones 765
14. FAUNA 767
14.1. Objetivos Generales y Específicos 767
14.1.1. Objetivos Generales 767
14.1.2. Objetivos Específicos 767
14.2. Metodología Para La Caracterización Faunística 768
14.2.1. Fase metodológica levantamiento de información secundaria 768
14.2.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria 768
14.2.3. Área de estudio Complejo humedales CGSM 770
14.3. Composición De La Fauna En La Cuenca 771
14.3.1. Información Secundaria fauna 771
14.3.2. Información Primaria fauna 774
14.4. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial 795
14.4.1. Especies amenazadas de Mamíferos 795
14.4.2. Especies amenazadas de Aves 797
14.4.3. Especies amenazadas de Reptiles 800
14.4.4. Especies amenazadas de Anfibios 801
14.5. Conclusiones 801
15. ÁREAS Y ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS 803
15.1. Biomas Y Ecosistemas Presentes En La Cuenca 804
15.1.1. Bioma Humedales y zonas lacustres tropicales 804
15.1.2. Bioma Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas) 806
15.1.3. Bioma Mangle tropical-natales 806
15.1.4. Bioma Bosque seco tropical 806
15.1.5. Bioma Playas, médanos, dunas tropicales 806
15.1.6. Bioma Bosque de galería tropical 807
15.2. Áreas Protegidas De Orden Nacional Y Regional Declaradas 807

15.2.1. Sistema de Parques Nacionales Naturales 807
15.3. Áreas Complementarias Para La Conservación 812
15.3.1. Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta 813
15.3.2. Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta 815
15.3.3. Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICA) Ciénaga Grande, Isla de Salamanca y Sabana Grande 816
15.3.4. Suelos de protección 819
15.4. Áreas De Importancia Ambiental 821
15.4.1. Humedales 822
15.4.2. Bosques 822
15.4.3. Bosque seco 823
15.4.4. Manglares 824
15.4.5. Capacidad de Uso del suelo 826
15.4.6. Rondas hídricas 826
15.4.7. Zonas de Recarga 827
15.5. Áreas De Reglamentación Especial 827
15.6. Análisis Porcentual 828
15.7. Justificación De La Inclusión Del Sistema Delta Estuarino Río Magdalena, Ciénaga Grande De Santa Marta En El Registro Montreux 830
15.8. Índice De Estado Actual De Coberturas Naturales (IEACN) 832
15.9. Ecosistemas Marinos 837
15.10. Consideraciones Finales 838
BIBLIOGRAFIA. 841
ANEXOS. 859

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización geográfica de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 30
Figura 1.2. Distribución de planchas escala 1:25.000 para el proyecto 32
Figura 1.3. Estructura de la geodatabase temática del proyecto 33
Figura 1.4. Plantilla utilizada para la publicación de mapa a escala 1:100.000 (plancha 1/2) 34
Figura 1.5. Curvas de nivel presentes en la cuenca 36
Figura 1.6. DEM con resolución de 30m 38
Figura 1.7. DSM con resolución de 12.5m 38
Figura 1.8. DEM con resolución de 10m, utilizando interpolador geoestadístico de Kriging 38
Figura 1.9. Mapa municipal de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta . 40
Figura 1.10. Porcentaje de participación de los municipios en la cuenca 41
Figura 1.11. Mapa veredal de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta ... 43
Figura 1.12. Porcentaje de participación del municipio de Cerro de San Antonio en la cuenca. 44
Figura 1.13. Porcentaje de participación del municipio de El Piñón en la cuenca. 45
Figura 1.14. Porcentaje de participación del municipio de Pivijay en la cuenca. 46
Figura 1.15. Porcentaje de participación del municipio de Pueblo Viejo en la cuenca. 48
Figura 1.16. Porcentaje de participación del municipio de Remolino en la cuenca. 49
Figura 1.17. Porcentaje de participación del municipio de Salamina en la cuenca. 51
Figura 1.18. Porcentaje de participación del municipio de Sitionuevo en la cuenca. 52
Figura 2.1. Estaciones climatológicas y pluviométricas analizadas en la fase de aprestamiento. 53
Figura 2.2. Localización espacial de las estaciones de precipitación y clima para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 58
Figura 2.3. Curva de dobles masas Estación Tasajera 64
Figura 2.4. Curva de dobles masas estación San Pablo. 64
Figura 2.5. Curva de dobles masas estación San Pablo. 65
Figura 2.6. Curva de doble masa estación Gavilan. 65
Figura 2.7. Curva de dobles masas estación Esperanza La. 66
Figura 2.8. Curva de dobles masas estación Caracolí. 66
Figura 2.9. Curva de dobles masas estación Campanos los. 67
Figura 2.10. Isoyetas de la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.. 71
Figura 2.11. Espacialización de la precipitación a nivel mensual. 72
Figura 2.12. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca. 81
Figura 2.13. Isotermas para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 82
Figura 2.14. Distribución espacial de la temperatura a escala mensual. 83
Figura 2.15. Variación temporal de la temperatura media mensual 87
Figura 2.16. Distribución temporal de la temperatura máxima por estación. 88
Figura 2.17. Distribución temporal de la temperatura máxcima en la cuenca. 90
Figura 2.18. Distribución temporal de la temperatura mínima por estación. 91

Figura 2.19. Distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca. 93
Figura 2.20. Climodiagrama Ombrotérmico de Gaussen. 94
Figura 2.21. Distribución espacial del brillo solar a nivel mensual. 95
Figura 2.22. Distribución temporal del número de horas de brillo solar mensual multianual. 99
Figura 2.23. Distribución espacial de la humedad relativa media mensual..... 101
Figura 2.24. Distribución espacial de la humedad relativa media anual. 104
Figura 2.25. Distribución temporal de la humedad relativa media mensual multianual en la cuenca 104
Figura 2.26. Distribución espacial de la evaporación media mensual en la cuenca. 106
Figura 2.27. Distribución espacial de la evaporación media anual. 109
Figura 2.28. Distribución temporal de la evaporación media mensual multianual en el área de estudio..... 109
Figura 2.29. Distribución espacial de la velocidad del viento a nivel medio mensual. 110
Figura 2.30. Distribución espacial anual de la velocidad del viento. 113
Figura 2.31. . Distribución temporal de la velocidad media del viento (m/s). 114
Figura 2.32. Rosa de los vientos totales aeronáutica civil – IDEAM..... 115
Figura 2.33. Rangos de velocidad del viento para la estación San Lorenzo. 115
Figura 2.34. Estaciones pluviográficas del Sistema Zona 3 involucradas- Proyecto "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." 116
Figura 2.35. Curva IDF, estación 15015050 APTO SIMON BOLIVAR. 117
Figura 2.36. Curva IDF, estación 15015020 YE LA. Fuente: (Ecopetrol S.A) 117
Figura 2.37. Ubicación de las estaciones con curvas IDF del IDEAM. 124
Figura 2.38. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación UNIV. TEC. MAGDALENA (MAGDALENA)-1501504. 125
Figura 2.39. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación PADELMA-PATUCA (MAGDALENA)-2906502..... 126
Figura 2.40. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia- Estación APTO LAS FLORES (MAGDALENA) - 2502509..... 127
Figura 2.41. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración 60 minutos, en segundo nivel subsiguiente..... 135
Figura 2.42. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración 120 minutos, en segundo nivel subsiguiente..... 136
Figura 2.43. Variabilidad climática interanual - ONI 140
Figura 2.44. Trimestres móviles, serie de datos de precipitación, estación Tasajera..... 142
Figura 2.45. Trimestres móviles, serie de datos de temperatura, estación Apto Simón Bolívar.... 143
Figura 2.46. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niña 144
Figura 2.47. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niño..... 144
Figura 2.48. Distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial de la cuenca según metodología de Penman- Monteith..... 148
Figura 2.49. Distribución espacial de la evapotranspiración real de la cuenca según método de Budyko..... 152

Figura 2.50. Zonificación climática de Caldas – Lang para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 158
Figura 2.51. Índice de aridez para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 161
Figura 3.1. Esquema del proceso de elaboración del Mapa de Geología Básica para el POMCA... 167
Figura 3.2. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 168
Figura 3.3. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC. Empalmes entre las planchas 24, 25, 31 y 32. 170
Figura 3.4. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC. Empalmes entre las planchas 16-17, 18, 24, 25 170
Figura 3.5. Ubicación de las Estaciones registradas durante el Control Campo en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 173
Figura 3.6. Ejemplo de salida cartográfica empleado en el desarrollo de la Ruta de la Tierra en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 177
Figura 3.7. Diferentes insumos de apoyo para la interpretación de sensores remotos, partiendo de las imágenes de satélite. 178
Figura 3.8. Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, Mapa 04. 179
Figura 3.9. Mapa de Geología Básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, Mapa 05. 180
Figura 3.10. Localización geológica regional del área de estudio, marcada en el recuadro verde. 181
Figura 3.11. Depósito aluvial, Sector la Puente. Coordenadas N: 1.661.564 – E: 939.158 186
Figura 3.12. Depósito Fluvio lacustre, Ciénaga Buenavista. Coordenadas N: 1.661.564– E: 939.158 187
Figura 3.13. Depósito de Llanura aluvial, Sector Paraco. Coordenadas N: 1.699.595 – E: 928.786 188
Figura 3.14. Depósito de Llanura aluvial, Sector Popeye, Vía Barranquilla - Ciénaga. Coordenadas N: 1.706.615 – E: 975.387 189
Figura 3.15. Subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana 190
Figura 3.16. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. 192
Figura 3.17. Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería 194
Figura 3.18. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000. 195
Figura 3.19. Salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 para Unidades Geológicas Superficiales 197
Figura 3.20. Salida Cartográfica con estaciones de control de campo para Unidades Geológicas Superficiales 200
Figura 3.21. Insumos de apoyo utilizados para la interpretación de sensores remotos. 201
Figura 3.22. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 202
Figura 3.23. Perfil de Meteorización Deere-Patton integrado con la clasificación de Dearman. ... 204
Figura 3.24. Factor GSI para macizos rocosos. 208
Figura 4.1. Esquema de actividades 220

Figura 4.2. Esquema de un arreglo geométrico típico 235
Figura 4.3. Esquema de la tomografía de resistividad eléctrica por el método Wenner 241
Figura 4.4. Resistencias típicas en ohm para distintas rocas, minerales y químicos. 242
Figura 4.5. Ubicación espacial de las tomografías realizadas 245
Figura 4.6. Ubicación en Google Earth de la línea Geoomográfica 1 realizada en Medialuna 245
Figura 4.7. Localización de la Línea de Geotomografía 2 realizada en Pivijay 246
Figura 4.8. Localización de la Línea de Geotomografía 3 realizada en Salamina 246
Figura 4.9. Localización de la Línea de Geotomografía 4 realizada en el Piñón 247
Figura 4.10. Ubicación geológica de la Geotomografía 1 256
Figura 4.11. Tomografía 1, interpretada 258
Figura 4.12. Ubicación geológica de la Tomografía 2 259
Figura 4.13. Tomografía 2 interpretada 260
Figura 4.14. Ubicación geológica de la Tomografía 3 262
Figura 4.15. Tomografía 3 interpretada 264
Figura 4.16. Ubicación geológica de la Tomografía 4 266
Figura 4.17. Tomografía 4 interpretada 267
Figura 4.18. Mapa de Unidades Hidrogeológicas 273
Figura 4.19. Leyenda unidades hidrogeológicas 274
Figura 4.20. Distribución porcentual de los puntos de captación 275
Figura 4.21. Tipo de captación 275
Figura 4.22. Curvas patrón de Schosinsky 280
Figura 4.23. Gráfica del periodo de validez de Jacob 282
Figura 4.24. Ubicación geográfica de las pruebas de bombeo 285
Figura 4.25. Formato Prueba de bombeo 1 290
Figura 4.26. Gráfica Prueba 1 291
Figura 4.27. Formato Prueba 2 292
Figura 4.28. Gráfica Prueba 2 293
Figura 4.29. Formato Prueba 3 294
Figura 4.30. Gráfica Prueba 3 295
Figura 4.31. Formato Prueba 4 296
Figura 4.32. Grafica prueba 4 297
Figura 4.33. Mapa de isoconductividad para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 298
Figura 4.34. Mapa de isosalinidad para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 300
Figura 4.35. Mapa de isopotencial de hidrógeno (iso-pH) para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 301
Figura 4.36. Mapa de isotemperatura para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 303
Figura 4.37. Proceso metodológico desarrollado para la evaluación de la vulnerabilidad. 304
Figura 4.38. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación 309
Figura 4.39. Raster de los valores de recarga. 311
Figura 4.40. Polígonos de recarga, reclasificados. 312

Figura 4.41. Zonas objeto de protección y manejo especial. 314
Figura 5.1. Localización de los niveles subsiguientes que integran la gran cuenca de la Ciénaga Grande de Santa Marta 316
Figura 5.2. Detalle del ajuste del límite de la cuenca sobre el río Magdalena 317
Figura 5.3. Detalle del ajuste de límite de la cuenca sobre el mar Caribe 318
Figura 5.4. Flujos e intercambio del agua entre las ciénagas del Chino y Grande de Santa Marta 318
Figura 5.5. Desembocadura río Aracataca, detalle del delta progradante y delimitación IDEAM (magenta) POMCA (verde) 320
Figura 5.6. Desembocadura río Fundación, delimitación IDEAM (magenta) y del POMCA (verde) 320
Figura 5.7. Detalle de los límites del IDEAM (magenta) y del POMCA (verde) en uniones de los cuerpos de agua Fundación, Palenque y Schiller 321
Figura 5.8. Drenajes presentes en el área de estudio y alrededores. 322
Figura 5.9. Tramo Arroyo Palenque a Media Luna 324
Figura 5.10. Subzonas hidrográficas Bajo Magdalena 326
Figura 5.11. Codificación subzonas hidrográficas. 326
Figura 5.12. Niveles de codificación, cuencas hidrográficas. 327
Figura 5.13. Unidades de segundo nivel subsiguiente 328
Figura 5.14. Unidades de tercer nivel subsiguiente 329
Figura 5.15. Microcuencas abastecedoras de centros poblados. 330
Figura 5.16. Localizacion microcuenca 2906-010103 331
Figura 5.17. Localizacion microcuenca 2906-010104 331
Figura 5.18. Localizacion microcuenca 2906-010106 332
Figura 5.19. Localizacion microcuenca 2906-010200 333
Figura 5.20. Localizacion microcuenca 2906-010301 334
Figura 5.21. Localizacion microcuenca 2906-010302 335
Figura 5.22. Localizacion microcuenca 2906-010400 336
Figura 5.23. Localizacion microcuenca 2906-010501 337
Figura 5.24. Localizacion microcuenca 2906-010600 338
Figura 5.25. Patrón de alineamiento trenzado. 339
Figura 5.26. Patrón de alineamiento recto. 341
Figura 5.27. Patrón de alineamiento meándrico. 341
Figura 5.28. Ahorcamiento de un río meándrico. 342
Figura 5.29. Jerarquización de drenajes “Caño Schiller 2906-0101” 343
Figura 5.30. Jerarquización de drenajes, Caños Hondo, El Loro y otros directos al Río Magdalena 2906-0102 344
Figura 5.31. Jerarquización de drenajes, Complejo Humedal Buenavista 2906-0103 345
Figura 5.32. Jerarquización de drenajes, Complejo Caño El Salado 2906-0104 346
Figura 5.33. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo 2906-0105 347
Figura 5.34. Jerarquización de drenajes, Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 2906-0106 349
Figura 5.35. Jerarquización de drenajes, Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-0107 351

Figura 5.36. Localización del punto de entrega de la Ciénaga Grande de Santa Marta en la Boca de la Barra 352
Figura 5.37. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM 2906-010101 353
Figura 5.38. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga Playazo 2906-010102 354
Figura 5.39. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey 2906-010103 .. 355
Figura 5.40. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre el río Magdalena y La Loma 2906-010104 356
Figura 5.41. Jerarquización de drenajes, Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller 2906-010105..... 357
Figura 5.42. Jerarquización de drenajes, Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos 2906-010106 358
Figura 5.43. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga de Buenavista 2906-010301..... 359
Figura 5.44. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga El Diluvio 2906-010302 360
Figura 5.45. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso-Sector Palermo 2906-010501 361
Figura 5.46. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo 2906-010502.... 362
Figura 5.47. Jerarquización de drenajes, Caño Los Micos-NSS 2906-010503 363
Figura 5.48. Orden de drenajes..... 364
Figura 6.1. Esquema parámetros morfométricos. 372
Figura 6.2. Determinación de drenajes principales 377
Figura 6.3. Esquema orden de drenajes..... 382
Figura 6.4. Orden de drenajes..... 382
Figura 6.5. Patrones de drenaje más comunes. 391
Figura 6.6. Tipos de curva hipsométrica. 394
Figura 6.7. Curva hipsométrica. Cuenca “Caño Schiller 2906-0101” 395
Figura 7.1. Proceso de generación de la capa de pendientes según clasificación IGAC, capa raster sin ningún proceso 2016..... 399
Figura 7.2. Generación de la capa de pendientes capa raster con un filtrado, 2016. 400
Figura 7.3. Generación de la capa de pendientes con varios filtros (mayoritarios tipos zonales o focales), 2016. 400
Figura 7.4. Generación de la capa de pendientes con varios filtros (mayoritarios tipos zonales o focales), 2016. 400
Figura 7.5. Capa de pendientes en formato vector, 2016. 401
Figura 7.6. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno según SGC, 2016. 402
Figura 7.7. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno según SGC, 2016. 404
Figura 8.1. Distribución espacial de las estaciones hidrométricas..... 406
Figura 8.2. Series de caudales medios diarios estación CALAMAR (29037020). 408
Figura 8.3. Series de caudales medios diarios estación PLANTA EL RIO (29047060)..... 408
Figura 8.4. Diagrama de cajas y bigotes datos estación CALAMAR (29037020)..... 410
Figura 8.5. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación CALAMAR (29037020). 410
Figura 8.6. Diagrama de cajas y bigotes datos estación PLANTA EL RIO (29047060). 410
Figura 8.7. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación PLANTA EL RIO (29047060). 411

Figura 8.8. Series de datos completados y periodo seleccionado estación CALAMAR (29037020). 411
Figura 8.9. Series de datos completados y periodo seleccionado estación PLANTA EL RIO (29047060). 412
Figura 8.10. Curva de masa datos estación CALAMAR (29037020). 412
Figura 8.11. Curva de masa datos estación PLANTA EL RIO (29047060). 413
Figura 8.12. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación CALAMAR (29037020). 413
Figura 8.13. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación PLANTA EL RIO (29047060). 413
Figura 8.14. Puntos de captación de agua superficial y vertimientos 423
Figura 8.15. Puntos de aforo 426
Figura 8.16. Valores históricos de la salinidad (‰) del agua superficial para Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 430
Figura 8.17. Contribuciones de agua dulce a la Ciénaga Grande de Santa Marta para un periodo de 2001-2008 433
Figura 8.18. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1976-1978. 435
Figura 8.19. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1979-1981. 436
Figura 8.20. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1981-1986. 436
Figura 8.21. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1976-1978. 438
Figura 8.22. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1976-1978. 438
Figura 8.23. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1979-1981. 439
Figura 8.24. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1979-1981. 439
Figura 8.25. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1981-1986. 440
Figura 8.26. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1981-1986. 440
Figura 8.27. Serie generada a partir de la diferencia entre los caudales de la estación CALAMAR [9037020] y el promedio de las diferencias quincenales multianuales obtenidas para 1979-1986. 441
Figura 8.28. Serie generada a partir de la diferencia entre los caudales de la estación CALAMAR [29037020] y el promedio de las diferencias quincenales multianuales obtenidas para 1976-1978. 442
Figura 8.29. Serie generada en la estación PLANTA EL RIO [29047060] para el periodo 1983-2013. 442
Figura 8.30. Cuenca aferente aguas arriba al punto de cierre de la estación PLANTA EL RIO [29047060]. 443
Figura 8.31. Relación volumen almacenado – nivel para CGSM. 444
Figura 8.32. Relación volumen almacenado – nivel para Ciénaga de Pajaral. 445

Figura 8.33. Nivel simulado CGSM. 445
Figura 8.34. Volumen simulado CGSM. 446
Figura 8.35. Caudal simulado CGSM. 446
Figura 8.36. Nivel simulado Ciénaga de Pajaral. 446
Figura 8.37. Volumen simulado Ciénaga de Pajaral. 447
Figura 8.38. Caudal simulado Ciénaga de Pajaral. 447
Figura 8.39. Análisis de frecuencia caudales máximos 451
Figura 8.40. Análisis de frecuencia caudales máximos 452
Figura 8.41. Análisis de frecuencia caudales mínimos. 453
Figura 8.42. Análisis de frecuencia caudales mínimos. 454
Figura 8.43. . Valores totales de transporte de sedimentos para la estación CALAMAR [29037020] 455
Figura 8.44. Valores totales de transporte de sedimentos para la estación FUNDACION [29067120] 457
Figura 8.45. Metodología para la determinación de caudal ambiental. 460
Figura 8.46. Demanda hídrica sectorial para la cuenca del Complejo de Humedales ciénaga Grande de Santa Marta. 469
Figura 8.47. Índice de retención y regulación hídrica para la cuenca. 471
Figura 8.48. Índice de Uso del agua Normal 473
Figura 8.49. Índice de Uso del agua Seco 474
Figura 8.50. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica normal 476
Figura 8.51. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica Seco 477
Figura 9.1. Estaciones de monitoreo de INVEMAR con registros existentes 479
Figura 9.2. Distribución espacial de temperatura en estaciones INVEMAR (1993-2014) 482
Figura 9.3. Distribución espacial de salinidad para estaciones INVEMAR (1993-2014) 483
Figura 9.4. Distribución espacial de pH en estaciones INVEMAR (1993-2014) 484
Figura 9.5. Distribución espacial de oxígeno disuelto para estaciones INVEMAR (1993-2014) 485
Figura 9.6. Distribución espacial de SST para estaciones INVEMAR (1993-2014) 486
Figura 9.7. Distribución espacial de nitrógeno amoniacal en estaciones INVEMAR (1993-2014) .. 487
Figura 9.8. Distribución espacial de fosfatos para estaciones INVEMAR (1993-2014) 488
Figura 9.9. Distribución espacial de coliformes totales para estaciones INVEMAR (1993-2014) ... 489
Figura 9.10. ICA para condiciones secas en estaciones continentales de monitoreo de calidad del agua - INVEMAR 491
Figura 9.11. ICA para condiciones de lluvia en estaciones continentales de monitoreo de calidad de agua - INVEMAR 492
Figura 9.12. Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca 494
Figura 9.13. Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto para la Cuenca 497
Figura 9.14. Resultados de monitoreo de pH para la Cuenca 498
Figura 9.15. Resultados de monitoreo de Conductividad eléctrica para la Cuenca 499
Figura 9.16. Resultados de monitoreo de Demanda Química de Oxígeno para la Cuenca 500
Figura 9.17. Resultados de monitoreo de Demanda bioquímica de oxígeno para la Cuenca 501
Figura 9.18. Resultados de monitoreo de SST para la Cuenca 502
Figura 9.19. Resultados de monitoreo de Nitrógeno Total para la Cuenca 503

Figura 9.20. Resultados de monitoreo de Fósforo Total para la Cuenca 503
Figura 9.21. Resultados de monitoreo de Coliformes fecales para la Cuenca 504
Figura 9.22. Resultados de monitoreo de Coliformes Totales para la Cuenca 505
Figura 9.23. Resultados de Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones normales. 523
Figura 9.24. Resultados del Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones secas 525
Figura 9.25. Valores de calidad porcentual para las variables evaluadas en el cálculo del $ICAM_{PFF}$ en la estación Boca de la Barra 2013-2014 527
Figura 9.26. Metodología para el Cálculo del IACAL 529
Figura 9.27. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones normales 531
Figura 9.28. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones secas 532
Figura 10.1. Fases metodológicas para la caracterización geomorfológica 539
Figura 10.2. Procedimiento para la generación de cartografía geomorfológica 540
Figura 10.3. Patrones de drenaje 542
Figura 10.4. Geomorfoestructura de la Cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 545
Figura 10.5. Laderas de lomas denudacionales 547
Figura 10.6. Playa 548
Figura 10.7. Laguna Costera 550
Figura 10.8. Plano de marea lodoso 550
Figura 10.9. Plano de la terraza aluvial nivel 2 552
Figura 10.10. Agrietamiento en construcciones San Basilio 553
Figura 10.11. Cuenca de decantación 553
Figura 10.12. Cauce del caño Renegado 555
Figura 10.13. Planicie de inundación 556
Figura 10.14. Cubeta de desborde 556
Figura 10.15. Inundaciones 557
Figura 10.16. Erosión costera 558
Figura 11.1. Unidades Cartográficas de suelos dentro de la cuenca 568
Figura 11.2. Figura del Mapa de pendientes de la cuenca 579
Figura 11.3. Figura del mapa geológico de la cuenca 580
Figura 11.4. Figura del mapa climático de la cuenca 581
Figura 11.5. Figura del mapa de erosión 582
Figura 11.6. Figura del mapa de salinidad de la cuenca 583
Figura 11.7. Figura mapa de geomorfología de la cuenca 584
Figura 11.8. Factores considerados en la identificación de las formas del terreno 588
Figura 11.9. Geoestructuras para la cuenca del complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 590
Figura 11.10. Perfil esquemático con laderas estructurales y denudacionales. 591
Figura 11.11. Distribución de los diferentes paisajes 592
Figura 11.12. Paisajes dentro de la cuenca del Complejo de Humedales 593
Figura 11.13. Distribución de los tipos de relieve encontrados en la cuenca de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 598
Figura 11.14. Figura del mapa geomorfopedológico de la cuenca 600

Figura 11.15. Leyenda geomorfopedológica 611
Figura 11.16. Salinidad en la superficie y materia orgánica en los horizontes subsiguientes 629
Figura 11.17. Zonas afectadas por erosión 630
Figura 11.18. Usos agrícolas intensivos de tomate y yuca en las napas cerca del río Magdalena. 631
Figura 11.19. Distribución porcentual de las clases de tierras en la cuenca 633
Figura 11.20. Distribución de las clases de tierras en la cuenca 634
Figura 11.21. Leyenda de Capacidad de Uso de las Tierras 635
Figura 11.22. Distribución de las tierras de la clase 3 en la cuenca de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 637
Figura 11.23. Tierras de la subclase 4s 639
Figura 11.24. Tierras de la sub clase 4hs 640
Figura 11.25. Distribución de las tierras de la clase 4 en la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande del Santa Marta. 641
Figura 11.26. Distribución de las tierras de la clase 5 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 643
Figura 11.27. Distribución de las tierras de la clase 9 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 645
Figura 11.28. Tierras de la clase 8hs con problemas por desecamiento de los cuerpos de agua para expandir la frontera agropecuaria. 647
Figura 11.29. Tierras de la clase 8hs con problemas por excesos de sales en superficie y en el perfil. 647
Figura 11.30. Tierras de la clase 8s con problemas de sales y erosión. 648
Figura 11.31. Distribución de las tierras de la clase 8 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 649
Figura 11.32. Usos Principales Propuestos 650
Figura 11.33. Distribución porcentual Usos Principales Propuestos 651
Figura 11.34. Leyenda Usos propuestos 652
Figura 12.1. Proceso para la identificación de coberturas mediante la aplicación del método PIAO y la metodología CLC. 660
Figura 12.2. Indicadores de estado para el componente de cobertura y uso actual del suelo establecidos por el POMCA. 668
Figura 12.3. Proceso cálculo TCCN. 669
Figura 12.4. Proceso cálculo IF. 669
Figura 12.5. Proceso cálculo IVR. 670
Figura 12.6. Proceso cálculo IPD. 670
Figura 12.7. Proceso cálculo IAC. 671
Figura 12.8. Porcentaje de área ocupada por cada bioma dentro de la cuenca 672
Figura 12.9. Mapa área de trabajo 673
Figura 12.10. Proceso para la obtención del mapa de coberturas de la tierra CLC. 674
Figura 12.11. Imágenes Rapideye del área de trabajo. 676
Figura 12.12. Montaje información para campo. 677
Figura 12.13. Proceso para la realización del análisis multitemporal de coberturas 679
Figura 12.14. Número de coberturas por tipo. 681

Figura 12.15. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca 683
Figura 12.16. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca 684
Figura 12.17. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura antrópica con relación al área total de la cuenca..... 685
Figura 12.18. Porcentaje de área ocupado por cada tipo de cobertura antrópica con relación al área total antropizada..... 686
Figura 12.19. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura 687
Figura 12.20. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total natural 688
Figura 12.21. Estado de las coberturas en la cuenca 689
Figura 12.22. Porcentaje área cobertura por grandes grupos en la cuenca 690
Figura 12.23. Interpretación del tejido urbano discontinuo 112 pueblo palafítico en la Ciénaga, en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3 y desviación estándar 2,5. 691
Figura 12.24. Interpretación del tejido urbano continuo (111) en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3 y desviación standar. 691
Figura 12.25. Interpretación de lagunas costeras 521 en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3. 692
Figura 12.26. Pastos limpios en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296 con combinación de bandas 5-4-3. 692
Figura 12.27. Manglar en imagen Rapideye 2014-01-12t162401_re5_1b-nac_15474476_177385 con combinación de bandas 5-4-3. 693
Figura 12.28. Cobertura de palma de aceite en imagen Rapideye 2014-01-12t162401_re5_1b-nac_15474476_177385, con combinación de bandas 5-4-3. 693
Figura 12.29. Porcentaje área por grupos de uso en la cuenca 694
Figura 12.30. Mapa Uso actual del suelo en la cuenca. 695
Figura 12.31. Porcentaje área uso actual en la cuenca..... 696
Figura 12.32. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca 697
Figura 12.33. Mapa multitemporal cuenca..... 698
Figura 12.34. Estado coberturas primer período 699
Figura 12.35. Estado coberturas segundo período 699
Figura 12.36. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012. 701
Figura 12.37. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012. 702
Figura 12.38. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012. 703
Figura 12.39. Coberturas pasaron a cultivos para el año 2012. 704
Figura 12.40. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012. 705
Figura 12.41. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012. 706
Figura 12.42. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012. 707
Figura 12.43. Porcentaje TCCN coberturas naturales 708
Figura 12.44. Mapa TCCN..... 709
Figura 12.45. Porcentaje área categorías IF Ciénaga 710
Figura 12.46. Mapa índice de fragmentación 711

Figura 12.47. Porcentaje área biomas prístinos Ciénaga 712
Figura 12.48. Mapa Biomas prístinos cuenca 714
Figura 12.49. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca. 715
Figura 12.50. Mapa Índice de vegetación remanente 716
Figura 12.51. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca 716
Figura 12.52. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca. 717
Figura 12.53. Densidad poblacional por municipio en cuenca 718
Figura 12.54. Población en la cuenca por municipio 718
Figura 12.55. Porcentaje rango IPD en cuenca 719
Figura 12.56. Mapa índice de presión demográfica. 720
Figura 12.57. Porcentaje área por categoría IAC 721
Figura 12.58. Mapa índice de ambiente crítico 722
Figura 13.1. Localización de Cuenca Complejo de humedales 726
Figura 13.2. Distribución espacial de parcelas de vegetación 730
Figura 13.3. Bosque fragmentado con pastos y cultivos 741
Figura 13.4. Bosque fragmentado con vegetación secundaria 743
Figura 13.5. Bosque ripario aledaño a quebradas 744
Figura 13.6. Vegetación secundaria alta 746
Figura 13.7. Vegetación secundaria baja en Manzanares 747
Figura 13.8. Bosque abierto bajo inundable 749
Figura 13.9. Manglares densos altos 750
Figura 13.10. Arbustales densos 752
Figura 13.11. Arbustal abierto mesófilo 754
Figura 13.12. Herbazal abierto arenoso 756
Figura 13.13. Herbazal denso de tierra firme no arbolado 757
Figura 13.14. Herbazal denso de tierra firme con arbustos 758
Figura 13.15. Palma noli (*Elaeis oleífera*) en Peligro 759
Figura 13.16. Herbazal denso inundable no arbolado 760
Figura 13.17. Herbazal denso inundable arbolado 761
Figura 13.18. Zonas pantanosas con macrófitas 763
Figura 14.1. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de mamíferos 778
Figura 14.2. Especies de la mastofauna 779
Figura 14.3. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de aves 785
Figura 14.4. Columbina talpacoti 785
Figura 14.5. *Actitis macularius* observada en el mar 785
Figura 14.6. Gampsonyx swainsonii 786
Figura 14.7. Milvago chimachima 786
Figura 14.8. Chloroceryle amazona 786
Figura 14.9. Pelecanus occidentalis 786
Figura 14.10. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de reptiles 790

Figura 14.11. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de anfibios 793
Figura 14.12. Cnemidophorus lemniscatus en cultivo de coco 793
Figura 14.13. *Anolis tropidogaster* en vegetación secundaria 793
Figura 14.14. *Gonatodes albigularis* en vegetación secundaria 794
Figura 14.15. Corallus ruschenbergerii en manglar 794
Figura 14.16. Caparazón de *Eretmochelys imbricata,* trofeo de caza 794
Figura 14.17. *Tretioscincus bifasciatus* en vegetación secundaria 794
Figura 14.18. *Leptodactylus insularum* en jagueys de pastizal 795
Figura 14.19. Rhinella marina en pastizales 795
Figura 15.1. Biomas presentes en la cuenca complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 805
Figura 15.2. Áreas protegidas presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 809
Figura 15.3. Áreas complementarias para la conservación presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 814
Figura 15.4. Áreas de importancia ambiental presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 825
Figura 15.5. Gráfico de resultados IEACN para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 835
Figura 15.6. Mapa IEACN para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 836
Figura 15.7. Áreas de ecosistemas estratégicos presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 840

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Municipios de Magdalena en la cuenca 39
Tabla 1.2. Distribución de veredas, cabeceras y centros poblados dentro de la cuenca 41
Tabla 1.3. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Cerro de San Antonio en la cuenca 42
Tabla 1.4. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de El Piñón en la cuenca 44
Tabla 1.5. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Pivijay en la cuenca 46
Tabla 1.6. Porcentaje de participación veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Pueblo Viejo en la cuenca 47
Tabla 1.7. Porcentaje de participación veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Remolino en la cuenca 49
Tabla 1.8. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Salamina en la cuenca 50
Tabla 1.9. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Sitionuevo en la cuenca 52
Tabla 2.1. Estaciones pluviométricas, pluviográficas y Sinópticas utilizadas en el presente estudio para el análisis de la precipitación. 54
Tabla 2.2. Estaciones climatológicas utilizadas en el presente estudio. 57
Tabla 2.3. Relación de estaciones seleccionadas para el llenado de datos a nivel diario. 60
Tabla 2.4. Variación temporal de la precipitación media mensual para la caracterización climática de la cuenca 75
Tabla 2.5. Variación temporal promedio de la precipitación media mensual para el Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 79
Tabla 2.6. Gradientes altitudinales de temperatura media mensual y anual para la cuenca de del CHCGSM. 80
Tabla 2.7. Valores medios mensuales multianuales de temperatura (°C) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca 86
Tabla 2.1. Valores máximos de temperatura 87
Tabla 2.2. Valores mínimos de temperatura. 90
Tabla 2.3. Variación temporal del brillo solar a nivel mensual. 94
Tabla 2.4. Valores medios mensuales multianuales de humedad relativa en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca 100
Tabla 2.5. Valores totales mensuales multianuales de evaporación (mm) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca. 105
Tabla 2.6. Distribución mensual de la velocidad del viento (m/s). 110
Tabla 2.7. Estaciones curvas IDF-ECOPETROL. 116
Tabla 2.8. Coeficientes para la determinación de IDF para cada una de las subcuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 120

Tabla 2.9. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia, Estación UNIV. TEC. MAGDALENA (MAGDALENA)-1501504. 125
Tabla 2.10. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia Estación PADELMA-PATUCA (MAGDALENA)-2906502. 126
Tabla 2.11. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia. 127
Tabla 2.12. Intensidad de la lluvia en [mm/h] (1 mm/h=1 (L/s)/m2=0,28·10-6 m/s). 129
Tabla 2.13. . Resultados ajuste IDF, subcuencas de primer nivel subsiguiente. 129
Tabla 2.14. Resultados ajuste IDF, subcuencas de segundo nivel subsiguiente. 130
Tabla 2.15. Recopilación series históricas ONI. Fuente: (NOAA, 2015) 141
Tabla 2.16. Evapotranspiraciones potenciales medias anuales por subcuenca. 150
Tabla 2.17. Valores medios anuales de Evapotranspiración real para las subcuencas del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 152
Tabla 2.18. Balance hídrico a largo plazo para las subcuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 153
Tabla 2.19. Clasificación climática según el factor de Lang. 157
Tabla 2.20. Área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas de Caldas Lang. 159
Tabla 2.21. Categorías de Índice de aridez 160
Tabla 3.1. Priorización de transeptos en empalmes entre planchas geológicas a escala 1:25.000 del SGC. 169
Tabla 3.2. Recorridos principales desarrollados en campo 171
Tabla 3.3. Fragmento ilustrativo del Anexo 1 del componente de geología que contiene la información levantada en Campo. 172
Tabla 3.4. Unificación de los símbolos de nomenclatura y actualización de las Unidades geológicas presentes en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, de acuerdo con la nomenclatura empleada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, 2015. 176
Tabla 3.5. Evolución cronológica del área de la cuenca. 182
Tabla 3.6. Tipos de Rocas y Edad de las unidades geológicas presentes en la - Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 184
Tabla 3.7. Valores Aceleración sismica cm/s2 193
Tabla 3.8. Condición de fracturamiento de las rocas. 205
Tabla 3.9. Descripción del tamaño del bloque en función del número de discontinuidades. 206
Tabla 3.10. Calidad del macizo rocoso según el índice de fracturamiento. 206
Tabla 3.11. Rangos de RQD para clasificar la calidad del macizo rocoso. 207
Tabla 3.12. Índices de campo la determinación de la resistencia a la compresión simple 207
Tabla 3.13. Sistema de calificación del RMR para determinar la calidad de macizos rocosos de Bieniawski (1989). 209
Tabla 3.14. Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas. 209
Tabla 3.15. Valores generales para Porosidad Total y Porosidad Eficaz 210
Tabla 3.16. Descripción de la textura de suelos – tamaño 210
Tabla 3.17. Terminología para describir la consistencia de un suelo arcillosos 211
Tabla 3.18. Terminología para describir la densidad relativa de los suelos arenosos 211
Tabla 3.19. Terminología para describir la humedad en el campo 211

Tabla 3.20. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple de suelos cohesivos. 211
Tabla 4.1. Marco conceptual 219
Tabla 4.2. Localización y titular del pozo 222
Tabla 4.3. Material, geometría y usos 223
Tabla 4.4. Nivel piezométrico, parámetros físico-químicos y Equipo de bombeo 224
Tabla 4.5. Localización y titular del aljibe 225
Tabla 4.6. Material, Geometría y usos 226
Tabla 4.7. Nivel Piezométrico, parámetros físicos y químicos, equipo de bombeo 227
Tabla 4.8. Registro fotográfico del inventario de pozos realizado en campo. 229
Tabla 4.9. Tipos de arreglos 239
Tabla 4.10. Coordenadas de las tomografías 244
Tabla 4.11. Resumen de los modelos de Geotomografía tomados en campo. 248
Tabla 4.12. Puntos de captación 275
Tabla 4.13. Tipo de Captación 275
Tabla 4.14. Resumen de recargas por sub cuencas 278
Tabla 4.15. Permeabilidad por tipo de material. 283
Tabla 4.16. Ubicación de las pruebas de bombeo realizadas. 284
Tabla 4.17. Registro fotográfico 285
Tabla 4.18. Resultados Prueba 1 289
Tabla 4.19. Resultados Prueba 2 291
Tabla 4.20. Resultados Prueba 3 293
Tabla 4.21. Resultados Prueba 4 295
Tabla 4.22. Intervalos de recarga para la cuenca 310
[redacted]. Código áreas hidrográficas. 325
Código zonas hidrográficas. 325
[redacted] Codificación para las unidades hidrográficas del Complejo de humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 327
[redacted] Microcuencas abastecedoras. 329
Datos morfométricos 364
Orden de drenajes 366
Análisis de Patrón de alineamiento 366
Análisis de Patrón de drenaje 366
[redacted] Densidad de drenaje para cada unidad hidrográfica abastecedoras de segundo nivel subsiguiente 367
[redacted] Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales para cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente 367
[redacted] Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo al área 370
Áreas y clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 370
Perímetro de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 371
Longitud axial para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 372
Ancho para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 373
Formas de la cuenca relativas a Kc 374

Implicaciones del Índice de Gravelius 374
Coeficiente de compacidad y su clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 374
Formas de la cuenca relativas a Kf 375
Factor de forma y su clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente..... 376
Longitud del cauce principal para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 376
Desnivel altitudinal de las unidades de tercer nivel subsiguiente. 378
Altura y elevación para las unidades de segundo nivel Subsiguiente..... 378
Clasificación por rangos de pendiente 379
Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente 379
Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente 381
Orden de drenajes..... 384
Categorización según densidad de drenaje. 384
Categoría relativas a la densidad de drenaje 385
densidad de drenaje para las unidades de tercer nivel subsiguiente 385
Coeficiente de torrencialidad a nivel de microcuenca. 387
Cálculos por las metodologías mencionadas. 390
Patrón de drenaje..... 392
Datos para la construcción de la curva hipsométrica. Cuenca “Caño Schiller 2906-0101” 395
Tabla 7.1. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno. 397
Tabla 7.2. Clases e intervalos en porcentaje y grados, utilizados por el IGAC para clasificar las pendientes del terreno. 398
Tabla 7.3. Resultados de las clases por pendiente y su correspondiente área en hectáreas y porcentaje. 401
Tabla 7.4. Clases e intervalos en porcentaje y grados con sus respectivas áreas, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno. 403
Tabla 8.1. Estaciones disponibles para el análisis del régimen hidrológico de la cuenca..... 406
Tabla 8.2. Cobertura del acueducto de municipios en la cuenca 415
Tabla 8.3. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable de los municipios en la Cuenca 416
Tabla 8.4. . Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Remolino 419
Tabla 8.5. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Pivijay. 420
Tabla 8.6. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de El Piñón 421
Tabla 8.7. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Salamina 422
Tabla 8.8. Descripción de concesiones de agua en la cuenca..... 425
Tabla 8.9. Recopilación de resultados puntos de aforo..... 427

Tabla 8.10. Superficie promedio del espejo de agua para las ciénagas de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente 429
Tabla 8.11. Superficie promedio del espejo de agua para las ciénagas de las unidades hidrográficas de tercer nivel subsiguiente 429
Tabla 8.12. Estaciones de monitoreo al interior del Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 430
Tabla 8.13. Caudales característicos máximos, medio y mínimos (m3/s) 448
Tabla 8.14. Caudales característicos para año normal y año seco (m3/s) 450
Tabla 8.15. Caudales máximos 451
Tabla 8.16. Caudales máximos 452
Tabla 8.17. Caudales mínimos 454
Tabla 8.18. Caudales mínimos 455
Tabla 8.19. Oferta hídrica anual (m^3/s) 457
Tabla 8.20. Validación de los caudales obtenido en el régimen hidrológico de la cuenca. 458
Tabla 8.21. Caudal ambiental por Unidad hidrográfica (m3/s) 460
Tabla 8.22. Nivel de complejidad 462
Tabla 8.23. Dotación neta máxima 462
Tabla 8.24. Demanda doméstica 463
Tabla 8.25. Área por cultivo 464
Tabla 8.26. Variables por cultivo. 465
Tabla 8.27. Demanda de agua uso agrícola (m3/año) 466
Tabla 8.28. Cabezas por nivel subsiguiente y consumo por cabeza 467
Tabla 8.29. Demanda uso agrícola (m3/año) 467
Tabla 8.30. Demanda de agua sector Industrial, comercial e institucional. (m3/año) 468
Tabla 8.31. Demanda de agua total año normal y año seco (m3/año) 468
Tabla 8.32. Calificación del indicador 470
Tabla 8.33. Índice de retención y regulación hídrica 470
Tabla 8.34. Rangos del Índice de Uso del agua según IDEAM, ... 472
Tabla 8.35. Índice de Uso del agua 472
Tabla 8.36. . Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico según la metodología del ENA-2014 474
Tabla 8.37. Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico por Unidad hidrográfica de II nivel subsiguiente. 475
Tabla 9.1. Listado de estaciones INVEMAR con registros de monitoreo 480
Tabla 9.2. Estaciones de INVEMAR activas para monitoreo de calidad del agua 481
Tabla 9.3. Descripción de las estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca 495
Tabla 9.4. Resultados de monitoreo en condiciones secas 495
Tabla 9.5. Resultados de monitoreo en condiciones normales 496
Tabla 9.6. Clasificación de vertimientos en la Cuenca 506
Tabla 9.7. Cobertura del sistema de alcantarillado de municipios dentro de la cuenca 507
Tabla 9.8. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas urbanas 507

Tabla 9.9. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas rurales 509
Tabla 9.10. Descripción de permisos de vertimientos otorgados en la Cuenca 510
Tabla 9.11. Cargas contaminantes de origen doméstico 513
Tabla 9.12. Cargas contaminantes de origen pecuario 515
Tabla 9.13. Cargas contaminantes de origen agrícola 516
Tabla 9.14. Cargas contaminantes estimadas por nivel subsiguiente para la Cuenca 517
Tabla 9.15. Intensidad de la carga contaminante por nivel subsiguiente para la Cuenca 517
Tabla 9.16. Presiones por carga contaminante en cada nivel subsiguiente para la Cuenca 518
Tabla 9.17. Disposición de Residuos sólidos de los municipios de la Cuenca 519
Tabla 9.18. Variables involucradas en el cálculo del ICA 522
Tabla 9.19. Categorías de descripción del ICA 522
Tabla 9.20. Escala de valoración del ICAM 526
Tabla 9.21. Resultados de evaluación del $ICAM_{PFF}$ en la estación Boca de la Barra 2013-2014 527
Tabla 9.22. Formatos anexos de Ruta Veredal 533
Tabla 10.1. Relación de imágenes PALSAR 541
Tabla 10.2. Información utilizada para el análisis geomorfológico 541
Tabla 10.3. Rangos de relieve relativo 543
Tabla 10.4. Rangos de inclinación de la ladera 543
Tabla 10.5. Rangos de longitud de la ladera 543
Tabla 10.6. Forma de la ladera 543
Tabla 10.7. Síntesis explicativa para unidades y subunidades geomorfológicas 561
Tabla 11.1. Diversidad geomorfológica en la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 569
Tabla 11.2. Materiales geológicos (Litología / Sedimentos) a partir de los cuales se formaron los suelos de la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 570
Tabla 11.3. Ambientes edafogenéticos agrupados de acuerdo a los factores que direccionan la evolución de los suelos 571
Tabla 11.4. Fases por pendiente, erosión, inundabilidad, sales y/o sodio en la Cuenca 571
Tabla 11.5. Los suelos del Complejo de Humedales en la Pirámide Taxonómica 572
Tabla 11.6. Características químicas relevantes de los suelos de la Cuenca Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 573
Tabla 11.7. Vacíos de conocimiento, imprecisiones y errores en el estudio de suelos consultado (IGAC, 2009) 576
Tabla 11.8. Sistema taxonómico de las geoformas. Modificado de Zinck, 2012 587
Tabla 11.9. Relación de imágenes PALSAR 588
Tabla 11.10. Información utilizada para el análisis geomorfológico 589
Tabla 11.11. Leyenda geomorfología (Metodología Alfred Zinck) 594
Tabla 11.12. Pla de trabajo ruta veredal de la tierra 601
Tabla 11.13. Plan de trabajo para complementar el conocimiento de los suelos, precisar ambientes de formación y corregir errores que afectan la capacidad de uso de las tierras en el marco de la escala 1:25.000 603

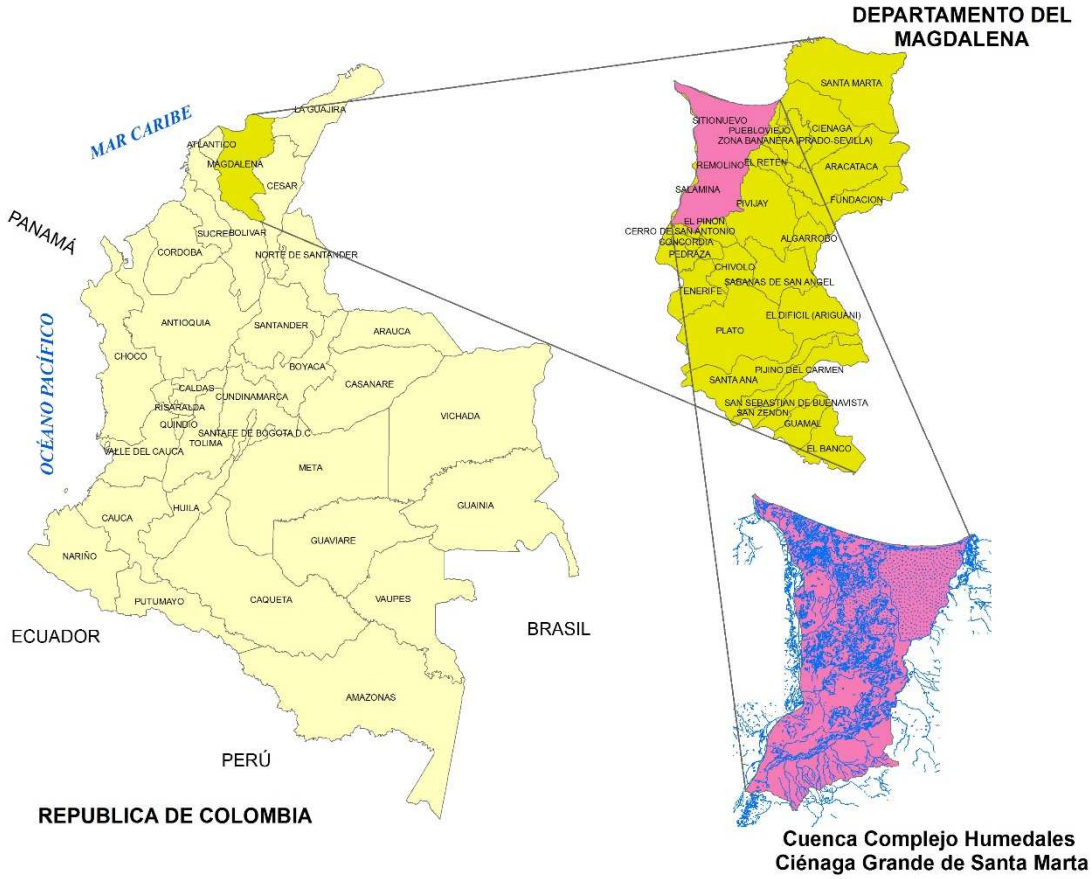
Tabla 11.14. Actividades realizadas para complementar el conocimiento del componente suelos de la cuenca de los Humedales de Ciénaga Grande de Santa Marta en el marco de la elaboración del mapa de capacidad de uso de las tierras escala 1:25 000 607
Tabla 11.15. Número de observaciones realizadas en la cuenca..... 609
Tabla 11.16. Unidades Geomorfopedológicas con sus respectivos perfiles de suelos..... 610
Tabla 11.17. Estado del Manglar en los diferentes años (Fuente González 1991) 625
Tabla 11.18. Clases agrológicas identificadas y su distribución (Has) en los municipios que participan en La cuenca..... 633
Tabla 12.1. Características de las imágenes del sensor Rapideye. 661
Tabla 12.2. Usos del suelo por cobertura CLC dentro de la cuenca..... 662
Tabla 12.3. Indicadores de cambio de coberturas considerados en el análisis multitemporal. 667
Tabla 12.4. Biomas presentes en el área de la Cuenca. 673
Tabla 12.5. Imágenes utilizadas. 675
Tabla 12.6. Número de coberturas por tipo. 681
Tabla 12.7. Coberturas presentes en la cuenca. 681
Tabla 12.8. . Área Coberturas antrópicas con relación al área total de la cuenca..... 685
Tabla 12.9. Área coberturas antrópicas con relación al área total antropizada..... 686
Tabla 12.10. Área coberturas naturales con relación al área total de la cuenca..... 687
Tabla 12.11. Área coberturas naturales con relación al área total en coberturas naturales 688
Tabla 12.12. Estado de las coberturas en la cuenca 689
Tabla 12.13. Área de cobertura por grandes grupos en la cuenca. 689
Tabla 12.14. Áreas por grupo de uso en la cuenca 694
Tabla 12.15. Áreas por uso actual en la cuenca..... 696
Tabla 12.16. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca 697
Tabla 12.17. Estado coberturas primer período 698
Tabla 12.18. Estado coberturas segundo período 699
Tabla 12.19. Tabla de los cambios identificados en el análisis multitemporal..... 700
Tabla 12.20. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012. 701
Tabla 12.21. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012..... 702
Tabla 12.22. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012. 703
Tabla 12.23. Coberturas que pasaron a cultivos para el año 2012. 704
Tabla 12.24. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012..... 705
Tabla 12.25. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012..... 706
Tabla 12.26. Coberturas que dieron pasó a vegetación secundaria para el año 2012. 707
Tabla 12.27. TCCN 708
Tabla 12.28. Categorías IF Ciénaga 709
Tabla 12.29. Biomas prístinos cuenca. 712
Tabla 12.30. Estado general de los biomas en la cuenca..... 713
Tabla 12.31. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca 714
Tabla 12.32. Información poblacional por municipio en la cuenca. 717
Tabla 12.33. Índice de presión demográfica por municipio dentro de la cuenca. 719
Tabla 12.34. Área por categoría de IAC en la cuenca..... 721
Tabla 13.1. Parcelas caracterización flora y fauna complejo humedales CGSM..... 733

Tabla 13.2. Especies del bosque fragmentado con pastos y cultivos 741
Tabla 13.3. Especies del bosque fragmentado con vegetación secundaria 742
Tabla 13.4. Especies del bosque de galería y/o ripario 744
Tabla 13.5. Especies de la vegetación secundaria alta 745
Tabla 13.6. Especies de la vegetación secundaria baja 747
Tabla 13.7. Especies del bosque abierto bajo inundable 749
Tabla 13.8. Especies del Manglar denso alto 750
Tabla 13.9. Especies del Arbustal denso 753
Tabla 13.10. Especies del Arbustal abierto mesófilo 754
Tabla 13.11. Especies del herbazal abierto arenoso 756
Tabla 13.12. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado 757
Tabla 13.13. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado 759
Tabla 13.14. Especies del Herbazal denso inundable no arbolado 760
Tabla 13.15. Especies del Herbazal denso inundable arbolado 762
Tabla 13.16. Especies de las Zonas pantanosas – Macrófitas 763
Tabla 13.17. Especies con amenaza para la Cuenca Complejo Humedales CGSM 764
Tabla 13.18. Especies de flora en amenaza en el complejo humedales CGSM 765
Tabla 14.1. Mamíferos reportados para complejo humedales CGSM 775
Tabla 14.2. Riqueza de Mamíferos por cobertura vegetal 777
Tabla 14.3. Composición, riqueza y abundancia avifauna complejo humedales 780
Tabla 14.4. Riqueza de aves por cobertura vegetal 784
Tabla 14.5. Reptiles reportados para la cuenca complejo de humedales 788
Tabla 14.6. Riqueza de reptiles por cobertura vegetal 789
Tabla 14.7. Especies de anfibios reportadas en complejo humedales CGSM 791
Tabla 14.8. Riqueza de anfibios por cobertura vegetal 792
Tabla 14.9. Mastofauna en amenaza, Complejo Humedales CGSM 795
Tabla 14.10. Especies de mamíferos en amenaza nacional e internacional 796
Tabla 14.11. Especies amenazadas, CITES, endemismos y/o importancia ecológica 797
Tabla 14.12. Listado taxonómico de reptiles en categorías de amenaza 801
Tabla 15.1. Suelos de protección municipal 819
Tabla 15.2. Área de superposición de áreas protegidas y áreas complementarias en hectáreas 828
Tabla 15.3. Porcentaje de superposición de áreas protegidas y áreas complementarias 828
Tabla 15.4. Valores para cada variable y categoría para la construcción del índice de estado de coberturas naturales 832
Tabla 15.5. Valores índice estado actual de coberturas naturales 833
Tabla 15.6. Análisis de resultados del IEACN en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 834

1. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE LA CUENCA.

La Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta[1], está localizada dentro del departamento de Magdalena y colinda con el departamento del Atlántico y el río Magdalena al occidente; al norte con el mar Caribe, al sur y al oriente con municipios del mismo departamento del Magdalena. Esta cuenca pertenece a la macro Cuenca Magdalena Cauca, posee una extensión total aproximada de 278.423,43 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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



[1] Léase en adelante CH-CHCGSM

1.1. Localización Geográfica y Límites l

La Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra enmarcada entre las coordenadas geográficas:

X min: - 74,871	X max: -74,263
Y min: 10,277	Y max: 11,104

Los límites hidrográficos de la cuenca son:

- Norte:
  Océano Atlántico

- Sur:
  Cuenca Directos al Bajo Magdalena entre El Plato y Calamar (md) – SZH

- Occidente:
  Con el río Magdalena de por medio, las cuencas Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)-SZH

- Oriente
  Cuenca Rio Frio - Rio Sevilla – NSS, Cuenca Rio Aracataca – NSS, Cuenca Rio Fundación - NSS

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 para esta cuenca consta de 34 planchas las cuales cubren un área de 278.423,43Ha (ver la 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_2906_01.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_CN.gdb, la cual contendrá toda la temática 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

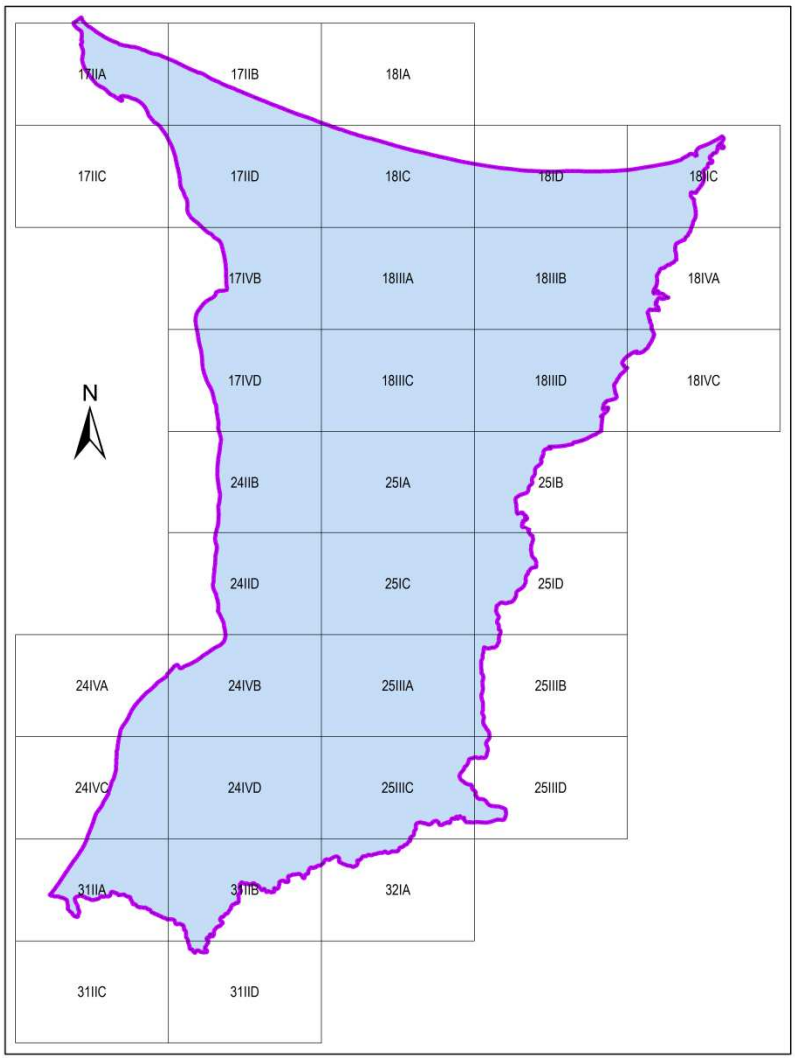
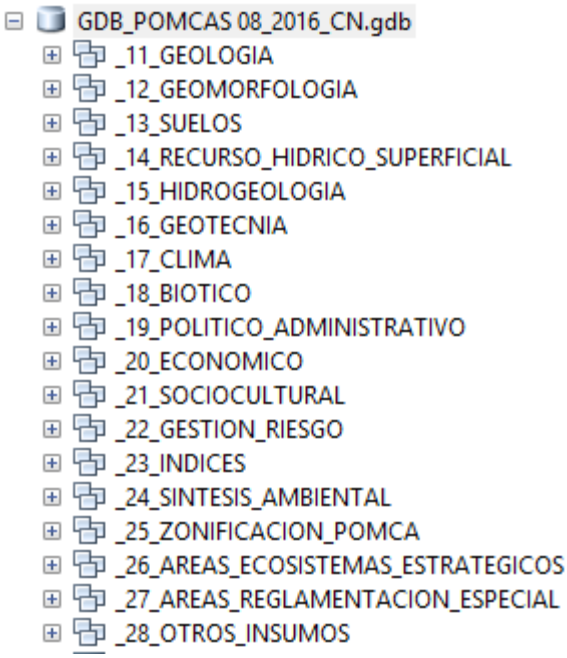


Figura 1.3. Estructura de la geodatabase temática del proyecto



1.2.1.1. *Productos cartográficos*

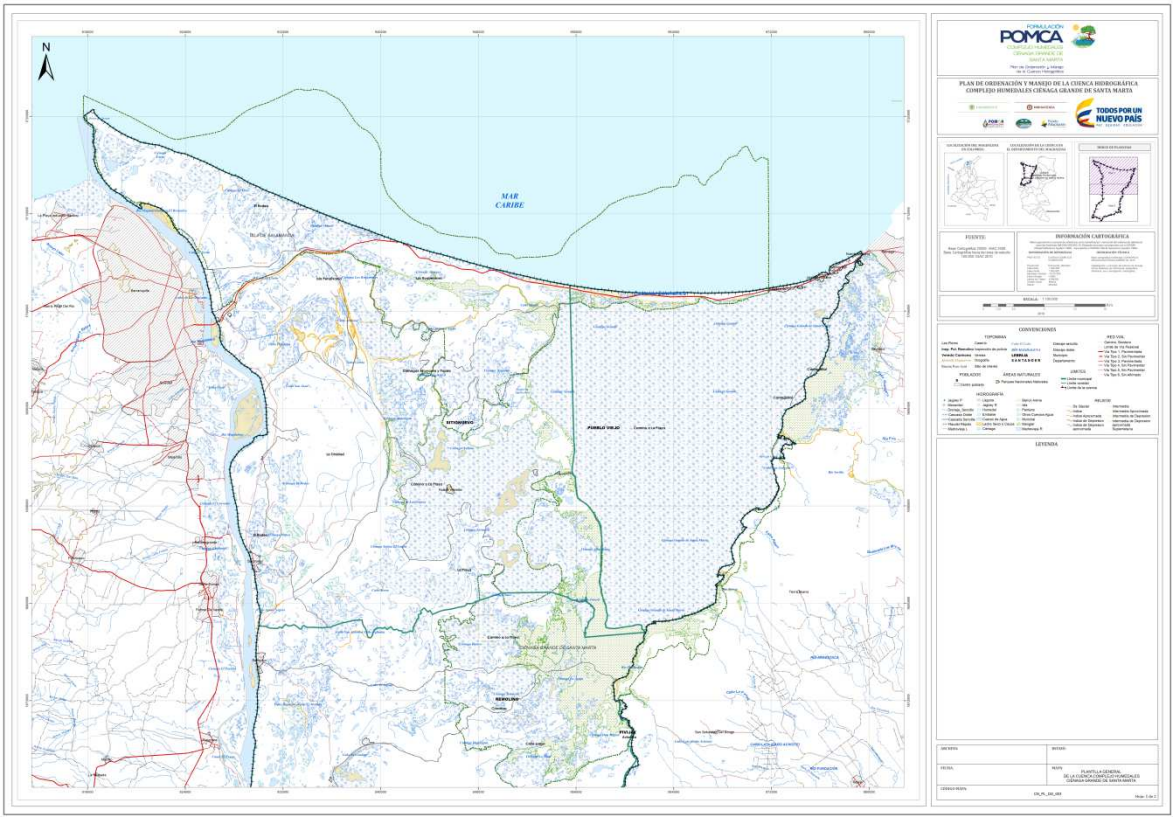
Se refiere a las diferentes formas de expresar los temas del proyecto, en este sentido se hace claridad que existen cuatro tipos de productos, ellos son el modelo digital del terreno, las plantillas, las salidas cartográficas y los mapas; con respecto al modelo digital del terreno sobre este se hablará 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 70cm de ancho por 100cm de alto.

Figura 1.4. Plantilla utilizada para la publicación de mapa a escala 1:100.000 (plancha 1/2)



1.2.2. DEM

El modelo digital de elevación[2] (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[3], 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

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

drenaje; el otro modelo es el DSM[4] 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 adecuado para el proyecto POMCA es que se hubiese contado con el DEM construido para generar las curvas de nivel de 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.

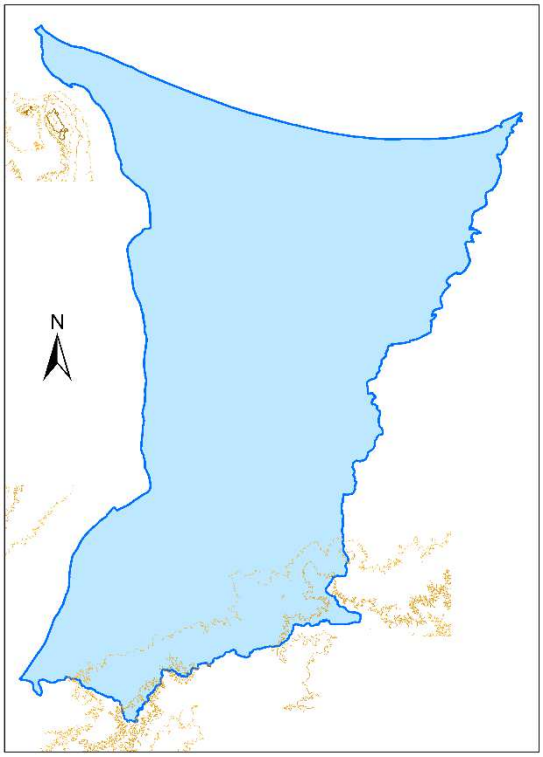
1.2.2.1. *Estado de la información y su valoración*

Entre la información recopilada para el POMCA y que se encuentra relacionada con el relieve y el modelado de la cuenca podemos mencionar tres tipos de información.

- La base cartográfica, resulta ser la primera fuente de información para la construcción del DEM, de ella se extraen las curvas de nivel y los drenajes; lamentablemente para toda la cuenca la cartografía base oficial solo presenta tres curvas nivel, como se aprecia en la Figura 1.5 entre el río Magdalena y la primera cota la distancia más corta es de 5.5Km y esta aumenta progresivamente, tanto que la distancia entre la playa del mar y la cota más cercana hay entre 54 y 76Km. Lo anterior hace inadecuado el uso de esta información para la construcción del TIN, puesto que la información arrojada por este no representa en nada a la realidad de la cuenca; por lo tanto se descarta este tipo de información como fuente en la construcción del modelo digital de elevaciones.

[4] DSM:por su sigla en inglés de Digital Surface Model

Figura 1.5. Curvas de nivel presentes en la cuenca



- Otra fuente de información fue el DEM de 30m generado por la SRTM[5],que fue ajustado y corregido por el IGAC para generar las curvas de nivel de la cartografía base oficial a escala 1:100.000, este DEM aunque ha sido validado por el IGAC, presenta demasiados errores para la escala 1:25.000, al tener muchas alteraciones dispersas sobre la superficie del terreno; adicionalmente los datos se encuentran muy separados y no cumple con la distancia máxima de separación en la horizontal que de acuerdo conTobler (1987), debe ser de 12.5m.

  En términos de calidad para la escala 1:25.000 este DEM no cumple lo indicado, presenta una mejor definición del relieve (con respecto al TIN) en la parte sur; sin embargo, para la zona "plana" tiene errores en los datos (aberraciones) que imposibilitan su uso.

- La última fuente de información es el DEM de resolución de 12.5m, descargado de la página de la universidad de Alaska[6], cuyo origen se fundamenta en el proyecto ALOS / PALSAR y liberado por la NASA; este modelo corresponde a un DSM pues incluye dentro de los datos algunos objetos de la superficie terrestre a esta resolución.

[5] SRTM: Shuttle Radar Topography Mission - JPL - NASA
[6] https://vertex.daac.asf.alaska.edu/

En términos de calidad este DEM cumple con el mínimo de resolución exigido para la escala de trabajo, sin embargo tiene como desventaja la inclusión de otros objetos además del relieve.

En términos generales, ninguna de las tres fuentes de información ofrece la calidad cartográfica exigida para elaborar el DEM y entre ellos, se rechaza rotundamente de forma técnica la información ofrecida por las curvas de nivel en la base cartográfica oficial.

Sin embargo debe construirse un DEM y éste debe satisfacer, los requerimientos de la cartografía base a la escala 1:25000 y las exigencias de los diferentes temáticos que en el proyecto requieran este tipo de información. A continuación se indican los temas que requieren la información del DEM:

Capacidad de uso	Hidrología	Geomorfología
Clima	Riesgos	

Estos temas en general toman del DEM información relativa de alturas, pendientes, sombras (relieve) y curvatura; con lo anterior se propuso el siguiente proceso metodológico 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 deresolución 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.

- 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 las demás área de pixeles.

- Identificar si existen valores negativos en el modelo; dado el caso deberán ser modificados dichos pixeles, la decisión del nuevo valor deberá estar apoyada 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, dado que no existe otra información para corregir el DEM solo entrará aldataset principal el DEM de 12.5m.

Finalmente, se exporta la interpolación con una resolución de 10m (DEM 10m); en las Figura 1.6 a Figura 1.8 se presenta para una misma área de la cuenca los diferentes modelos digitales de elevación y como se puede apreciar, entre ellos los dos primeros presentan imperfecciones sobre la superficie, además de otras anomalías, el DEM de la Figura 1.8 presenta correcciones sobre la superficie.

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

Figura 1.6. DEM con resolución de 30m

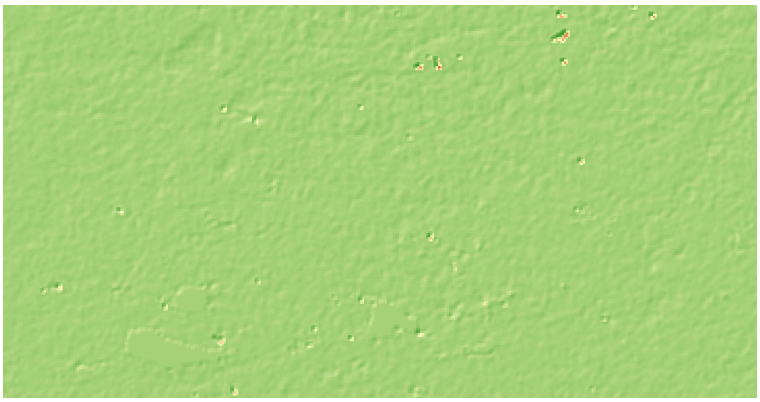


Figura 1.7. DSM con resolución de 12.5m



Figura 1.8. 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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta tienen territorialidad los municipios de Cerro de San Antonio, El Piñon, Salamina, Pivijay, Remolino, Sitionuevo y Pueblo Viejo. En la Tabla 1.1 (ver Figura 1.7) se indica el área de cada municipio en la cuenca y en la Figura 1.9 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	CERRO DE SAN ANTONIO	3.331,21	1,20%
	EL PIÑÓN	29.053,77	10,44%
	SALAMINA	15.492,79	5,56%
	REMOLINO	56.837,99	20,41%
	SITIONUEVO	93.532,54	33,59%
	PIVIJAY	36.369,71	13,06%
	PUEBLO VIEJO	43.805,41	15,73%
Total		278.423,43	100,00%

Figura 1.9. Mapa municipal de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta

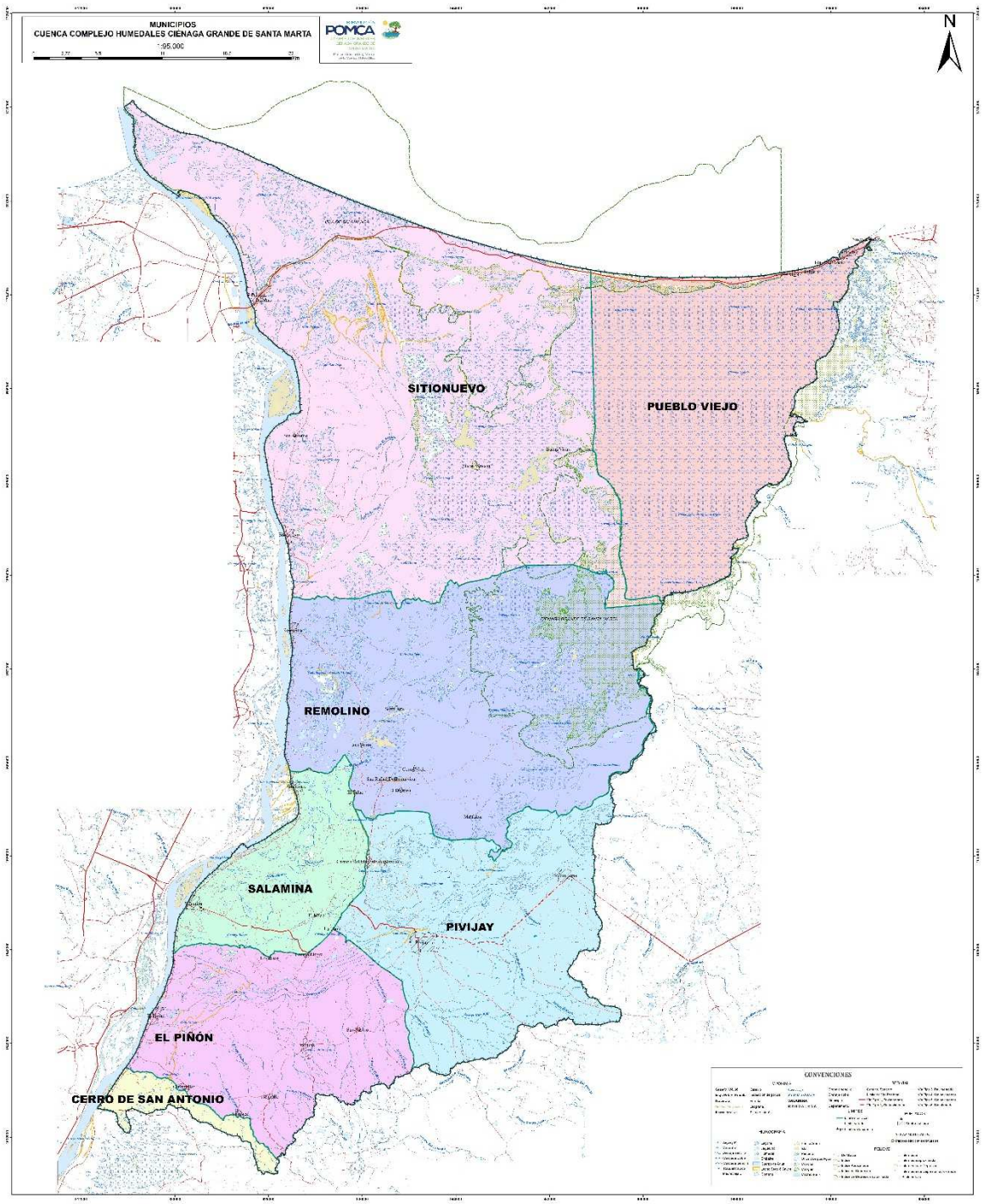
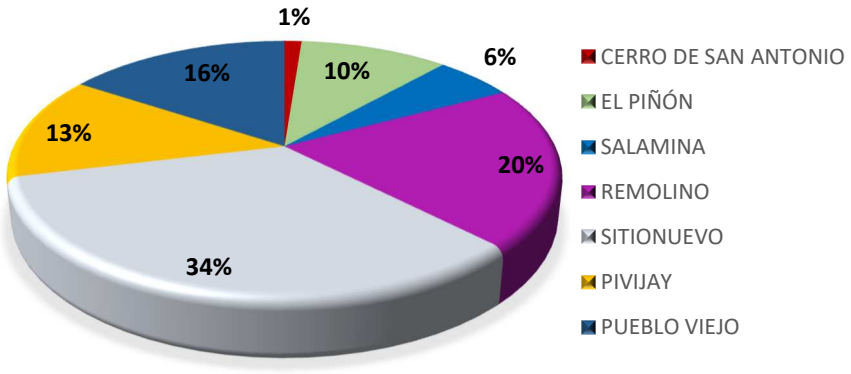


Figura 1.10. Porcentaje de participación de los municipios en la cuenca



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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Distribución de veredas, cabeceras y centros poblados dentro de la cuenca

Municipio	No. De Veredas con participación en la cuenca	Cabecera Incluida	Centros poblados
SITIONUEVO	8	Si	Sitio Nuevo, Nueva Venecia, Buena Vista, Palermo, San Antonio
PUEBLO VIEJO	1	Si	Pueblo Viejo, Tasajera, Palmira, Isla de Rosario, Nueva Frontera
SALAMINA	2	Si	Salamina, Guamaro, El Salado, La Loma, Aserradero, Vainillal, Julupe
REMOLINO	3	Si	Remolino, San Rafael de Buenavista, Corral Viejo, Santa Rita, El Dividivi, Martinete, Las Casitas, El Salado.
PIVIJAY	6	Si	Pivijay, Media Luna, El Carmen de Magdalena (Paraco) La Retirada
EL PIÑON	5	SI	Tío Gollo, El Piñon, San Basilio, Cantagallar, Sabanas, Los Patos, Campo Alegre, Vásquez
CERRO DE SAN ANTONIO	3	No	No

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 Cerro de San Antonio:*

El municipio se localiza en el norte de la República de Colombia, al nor-occidente del Departamento del Magdalena y hace parte de la subregión ribereña conformada por los municipios de Pedraza, El Piñón, Salamina, Pivijay y Remolino. Limita por el norte con el Municipio de El Piñón por el sur: Municipios de Pedraza y Concordia por el occidente con el Municipio de Pedraza y por el Oriente con el Río Magdalena, Tiene una extensión de 12.000 hectáreas.

Del municipio a la capital, Santa Marta, hay una distancia de 200 kilómetros, cuyo recorrido en carro se hace en 2 horas y 30 minutos aproximadamente.

La superficie del Municipio se caracteriza por ser, de plana a ondulada, con elevaciones inferiores a los 50m de altura. Geológicamente corresponde a la formación del delta del río Magdalena y la zona depresiva occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, del período Pleistocénico, Su clima es cálido, seco con una precipitación anual promedio de 1000 mm y un brillo solar de 45.8%. **Fuente especificada no válida.**

La distribución de las veredas, centros poblados y áreas urbanas dentro del municipio de Cerro de San Antonio se presenta en la Tabla 1.3

Tabla 1.3. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Cerro de San Antonio en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
CERRO DE SAN ANTONIO	Vereda	Concepción	2.432,28	73,01%
	Vereda	Puerto Niño	876,34	26,31%
	Vereda	Sector Manteca	22,59	0,68%

Figura 1.11. Mapa veredal de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta

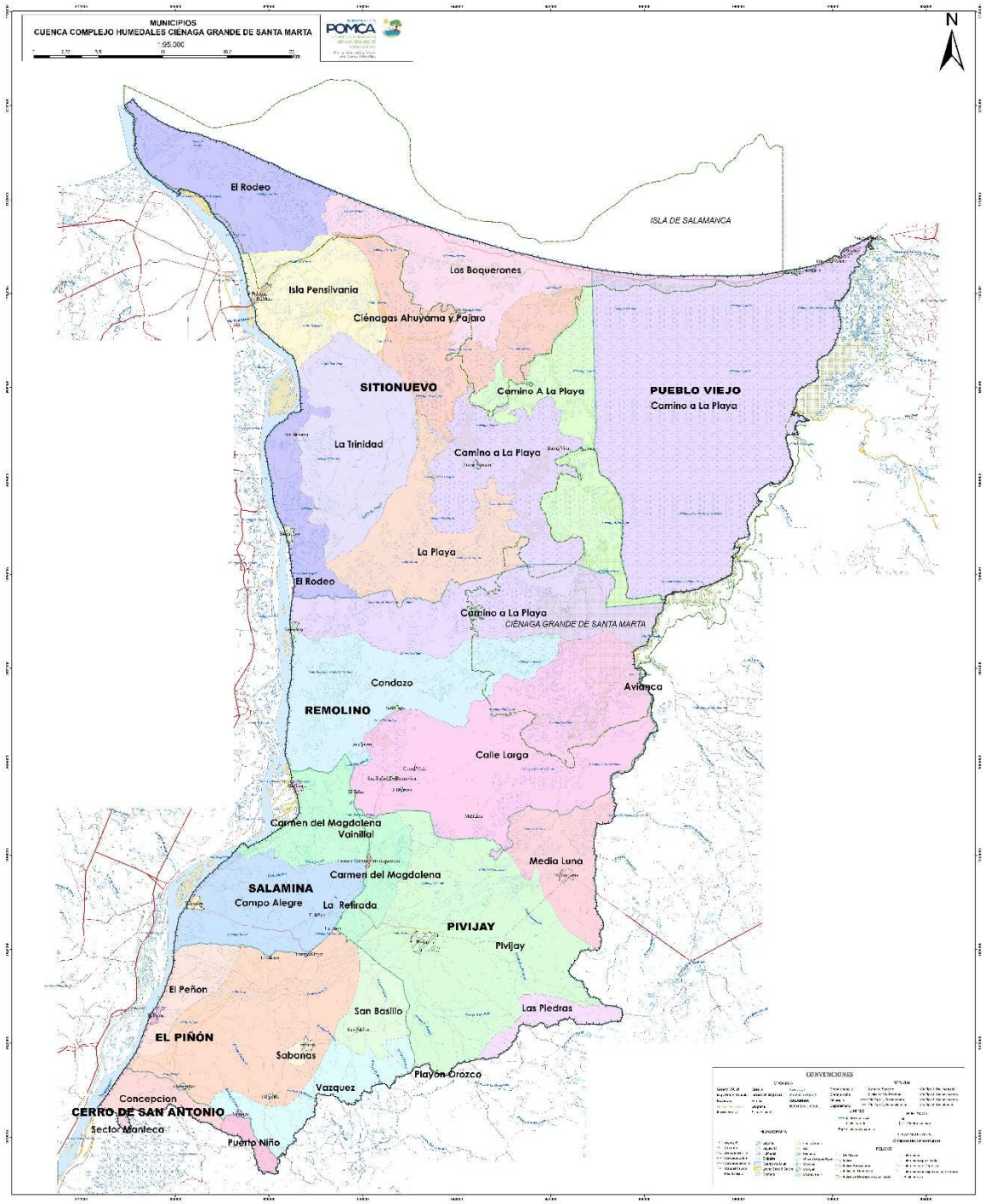
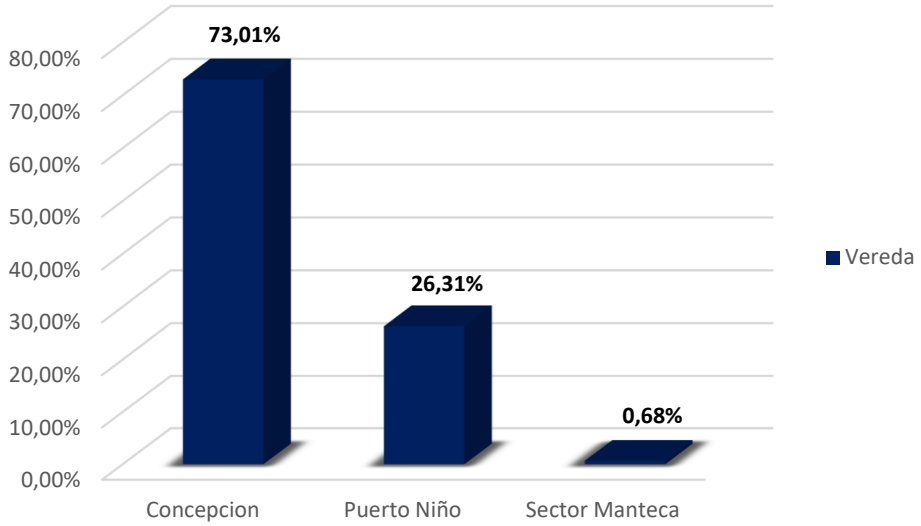


Figura 1.12. Porcentaje de participación del municipio de Cerro de San Antonio en la cuenca.



1.3.3.2. *Municipio de El Piñón*

El Municipio de el Piñón se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 10 °24’21’’ de Latitud Norte y 74°49’46’’ de longitud Oeste, limita por el norte con el Municipio de Salamina y Pivijay, al Sur con Cerro de San Antonio, Zapayán y Chivolo, al Este Pivijay al Oeste Río Magdalena.

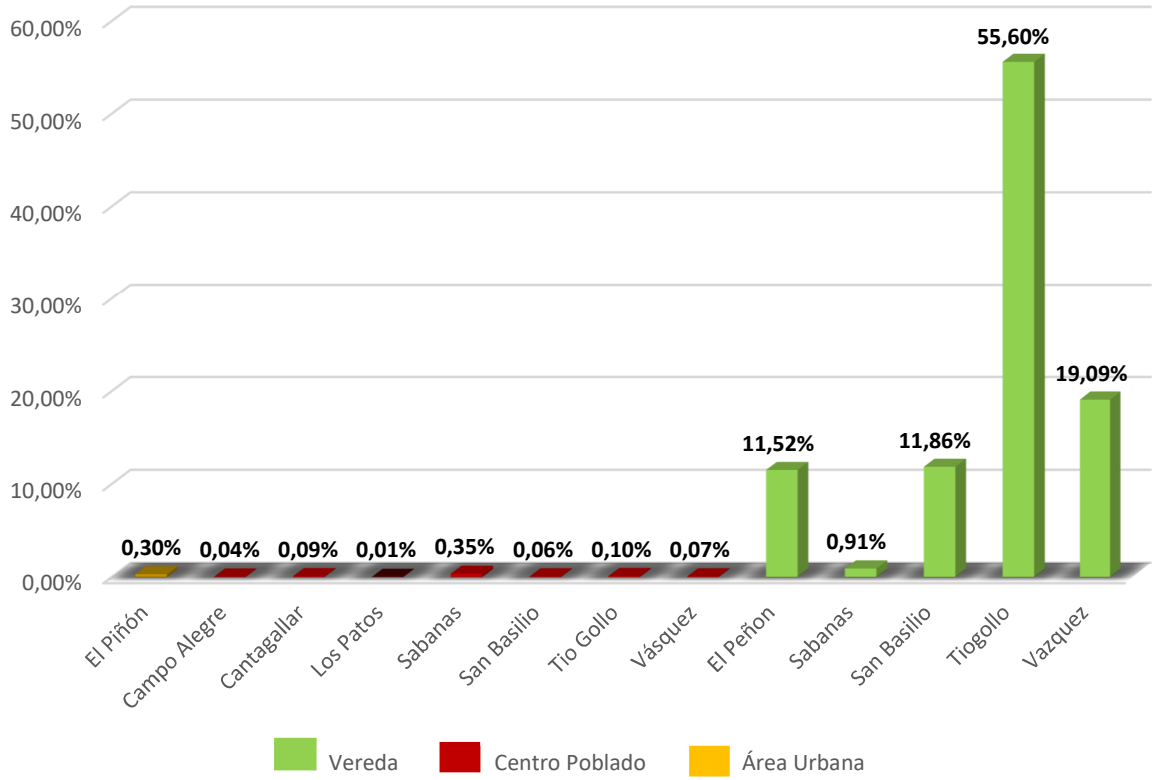
Cuenta con una extensión total de 581 Km^2, su temperatura promedio es de 28,03 °C y la altitud de su cabecera municipal es de es 7 m.s.n.m. **Fuente especificada no válida.**.

El municipio de El Piñon incluye 5 veredas dentro de la cuenca como se muestra en la Tabla 1.4

Tabla 1.4. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de El Piñón en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
EL PIÑÓN	Centro poblado	Campo Alegre	12,19	0,04%
	Centro poblado	Cantagallar	25,06	0,09%
	Vereda	El Peñon	3.346,25	11,52%
	Área urbana	El Piñón	87,09	0,30%
	Centro poblado	Los Patos	3,44	0,01%
	Centro poblado	Sabanas	101,73	0,35%
	Vereda	Sabanas	264,14	0,91%
	Centro poblado	San Basilio	17,81	0,06%
	Vereda	San Basilio	3.446,37	11,86%
	Centro ploblado	Tio Gollo	28,14	0,10%
	Vereda	Tiogollo	16.155,05	55,60%
	Centro poblado	Vásquez	21,33	0,07%
	Vereda	Vazquez	5.545,16	19,09%

Figura 1.13. Porcentaje de participación del municipio de El Piñón en la cuenca.



1.3.3.3. *Municipio de Pivijay*

Pivijay está ubicado en el noroccidente del departamento del Magdalena entre los municipios de Salamina al occidente, el Piñón al sur occidente, Fundación al nororiente y Chibolo al sur; constituye uno de los 32 municipios en que se ha fraccionado el departamento del Magdalena para fines administrativos.

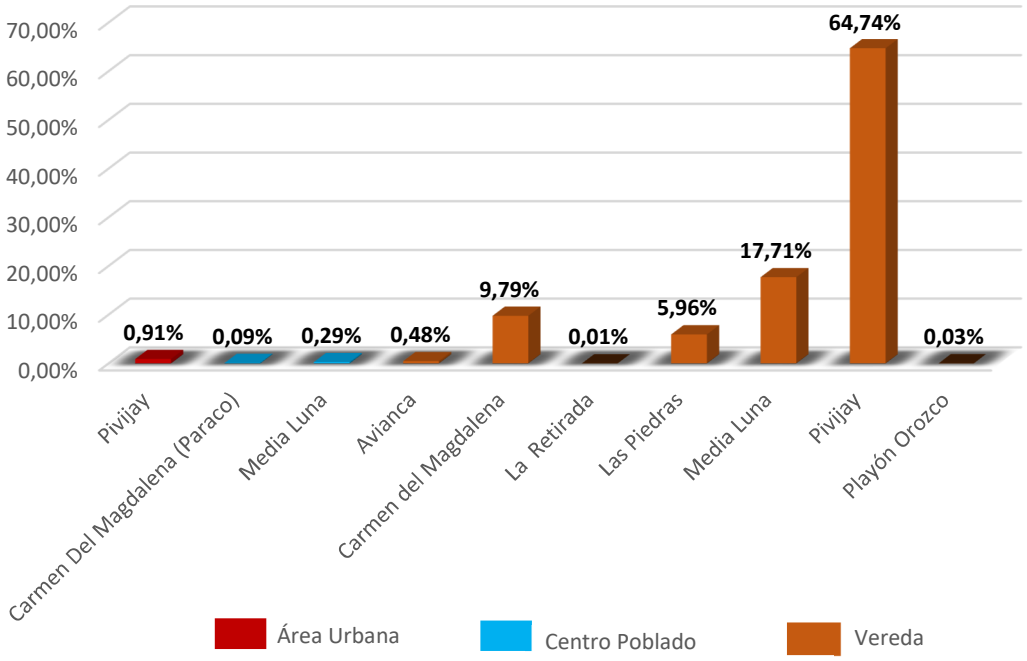
La cabecera municipal de Pivijay se encuentra ubicada a los 10° 28’ de latitud norte y 74° 45’ de longitud al occidente de Greenwich. La extensión territorial del municipio de Pivijay se calcula en 1.636 kilómetros cuadrados, sus límites son al norte con Remolino y el Reten, por el sur con San Ángel y Chibolo, por el oriente con Fundación y Algarrobo y por el occidente con Salamina y Piñón. El municipio de Pivijay está ubicado a 3 metros sobre el nivel del mar, se caracteriza por tener una topografía de tierras bajas, planas y anegadizas compuestas por numerosos caños, ciénagas y pantanos de diferentes tamaños que son alimentados por el caño Ciego durante las épocas de crecidas o desbordamiento del río Magdalena.**Fuente especificada no válida.**

La división político administrativa del municipio de Pivijay dentro de la cuenca se muestra en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Pivijay en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
PIVIJAY	Área urbana	Pivijay	331,19	0,91%
	Centro poblado	Carmen Del Magdalena (Paraco)	33,71	0,09%
	Centro poblado	Media Luna	104,36	0,29%
	Vereda	Avianca	173,75	0,48%
	Vereda	Carmen del Magdalena	3.559,02	9,79%
	Vereda	La Retirada	2,17	0,01%
	Vereda	Las Piedras	2.169,02	5,97%
	Vereda	Media Luna	6.441,59	17,72%
	Vereda	Playón Orozco	9,60	0,03%
	Vereda	Pivijay	23.545,35	64,76%

Figura 1.14. Porcentaje de participación del municipio de Pivijay en la cuenca.



1.3.3.4. *Municipio de Pueblo Viejo*

Al Norte del Colombia, específicamente al Noroccidente del Departamento del Magdalena, se encuentra el Municipio de Pueblo viejo; el Municipio se ubica a orillas de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Mar Caribe, ubicación que le permite al municipio desde el punto de vista espacial contar una ventaja estratégica desde el punto de vista de acceso, recursos naturales, turismo entre otros aspectos.

El Municipio de Pueblo viejo es el conector del municipio de Ciénaga y el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta con Barranquilla (principal centro económico, cultural y social de la costa caribe colombiana). En consecuencia las acciones, planes, programas y proyectos, deberán estar orientados contextualmente con el desarrollo de la región.

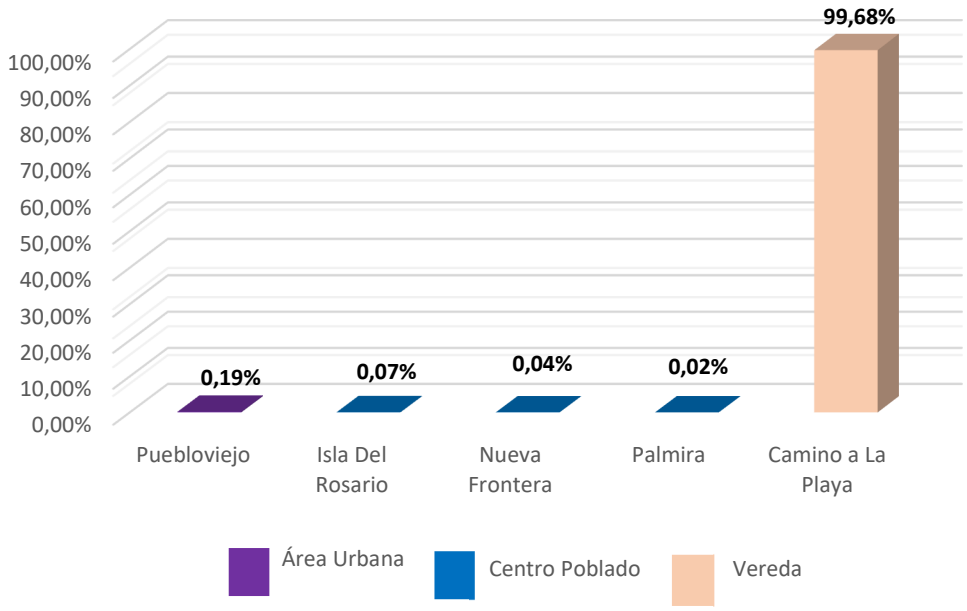
El Municipio de Pueblo viejo posee una extensión de 674.733 Km², de los cuales más del 64% corresponden a cuerpos de agua (Ciénaga Grande de Santa Marta, Ciénaga de Sevillano, Ciénaga El Chino y otros cuerpos menores); el espacio restante, tan solo el 36%, se constituyen en zona firma (incluyendo zonas pantanosas). **Fuente especificada no válida.**.

La participación de veredas, centros poblados y áreas urbanas del municipio de Pueblo viejo se presenta en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Porcentaje de participación veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Pueblo Viejo en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
PUEBLO VIEJO	Área urbana	Pueblo Viejo	81,20	0,19%
	Centro poblado	Isla Del Rosario	32,52	0,07%
	Centro poblado	Nueva Frontera	16,55	0,04%
	Centro poblado	Palmira	10,53	0,02%
	Vereda	Camino a La Playa	43.609,99	99,68%

Figura 1.15. Porcentaje de participación del municipio de Pueblo Viejo en la cuenca.



1.3.3.5. *Municipio de Remolino*

La posición geográfica de Remolino está ubicado al Nor-Occidente del Departamento del Magdalena y dada por las siguientes coordenadas geográficas: 10º 42" latitud norte y 74º 43" longitud oeste de Greenwich, su relieve está caracterizado por poseer un territorio bajo plano y cenagoso, bañado por el rio magdalena y algunos caños convirtiéndose en una inmensa llanura de inundaciones que contienen depósito de terraza aluvial generándose una terraza ligeramente inclinada, caños.

El Municipio tiene una extensión territorial de 599 km2, perteneciente a la Subregión geográfica del Departamento del Magdalena; con una altura sobre el nivel del mar de 75 metros y la distancia de la cabecera municipal a la capital del departamento del Magdalena por carretera es de 160 Kilómetros, el municipio limita por el norte con el municipio de Sitio Nuevo, por el sur con el municipio de Pivijay y Salamina, por el este con el municipio de Pivijay y Reten y por el Oeste con el río Magdalena.

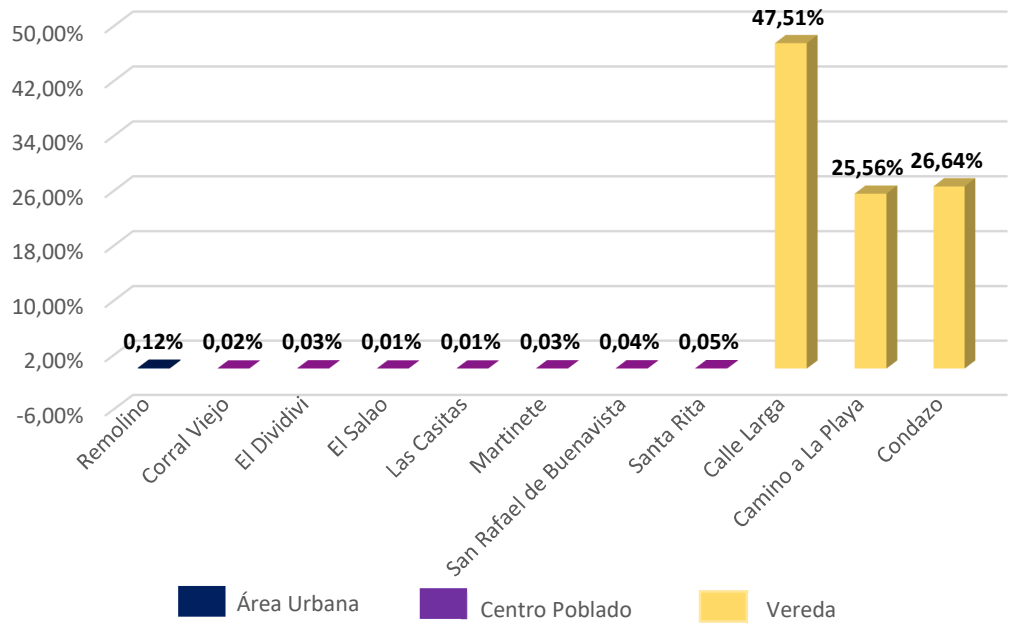
El clima del municipio de Remolino es un clima tropical cálido con temperaturas medias anuales entre 30°C y 33°C aproximadamente, en cuanto el comportamiento de las lluvias registra una precipitación anual de 800 a 100 M3, con intensidad de invierno durante los meses de Mayo a Noviembre y de tiempo seco durante los meses de Diciembre a Mayo. **Fuente especificada no válida.**

El municipio de Remolino incluye 3 veredas como se puede observar en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Porcentaje de participación veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Remolino en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
REMOLINO	Área urbana	Remolino	67,70	0,12%
	Centro poblado	Corral Viejo	9,81	0,02%
	Centro poblado	El Dividivi	14,73	0,03%
	Centro poblado	El Salao	3,42	0,01%
	Centro poblado	Las Casitas	5,61	0,01%
	Centro poblado	Martinete	14,51	0,03%
	Centro poblado	San Rafael de Buenavista	20,37	0,04%
	Centro poblado	Santa Rita	29,68	0,05%
	Vereda	Calle Larga	27.000,99	47,51%
	Vereda	Camino a La Playa	14.529,97	25,56%
	Vereda	Condazo	15.141,13	26,64%

Figura 1.16. Porcentaje de participación del municipio de Remolino en la cuenca.



1.3.3.6. *Municipio de Salamina*

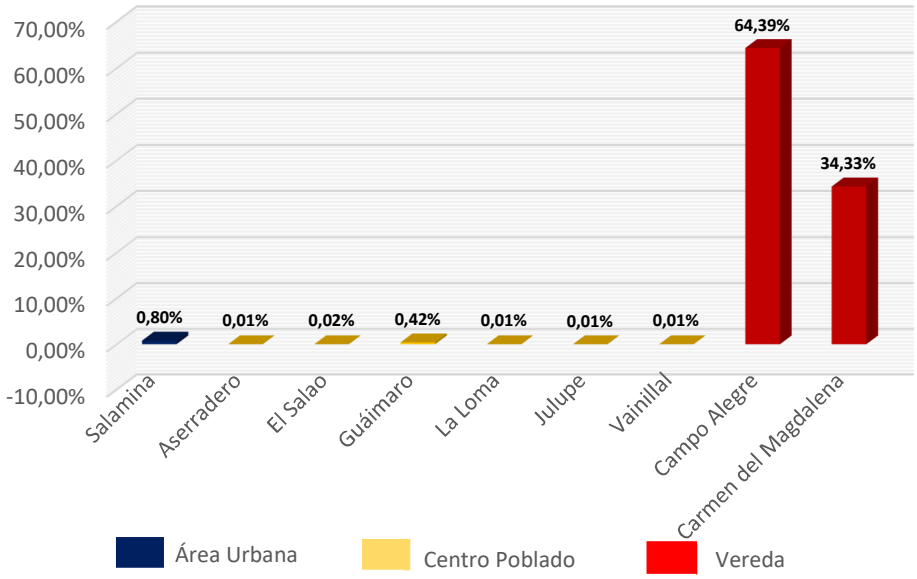
El Municipio de Salamina se encuentra ubicado en el delta del río Magdalena hace parte de la Microrregión del Sistema de Sustentación Natural de la Ciénaga Grande de Santa Marta, en la subregión Río al Norte del Departamento del Magdalena, entre Latitud Norte: 10°29'34'' y Longitud Oeste: 74°48'1'', limita al norte con el municipio de Remolino, al oriente con los municipios de Remolino y Pivijay, al sur con el Municipio del Piñón y al occidente con el río Magdalena que lo separa del Departamento del Atlántico, cuenta con una extensión territorial de 175 Km2 (Kilómetros cuadrados), dista de la capital 175 Km. El clima predominante es cálido y semi-húmedo con una temperatura promedio de 28.7° C y con precipitaciones que alcanzan entre los 800 a 1800 Mm. por año y con un periodo de menor precipitación entre los meses de mayo a noviembre. **Fuente especificada no válida.**

La distribución de participación de veredas, centros poblados y área urbana presentes en la cuenca de municipio de Salamina se presenta en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Salamina en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
SALAMINA	Área urbana	Salamina	124,32	0,80%
	Centro poblado	Aserradero	1,60	0,01%
	Centro poblado	El Salao	3,33	0,02%
	Centro poblado	Guáimaro	64,81	0,42%
	Centro poblado	La Loma	1,93	0,01%
	Centro poblado	Julupe	1,01	0,01%
	Centro poblado	Vainillal	1,17	0,01%
	Vereda	Campo Alegre	9.976,22	64,39%
	Vereda	Carmen del Magdalena	5.318,41	34,33%

Figura 1.17. Porcentaje de participación del municipio de Salamina en la cuenca.



1.3.3.7. *Municipio de Sitionuevo*

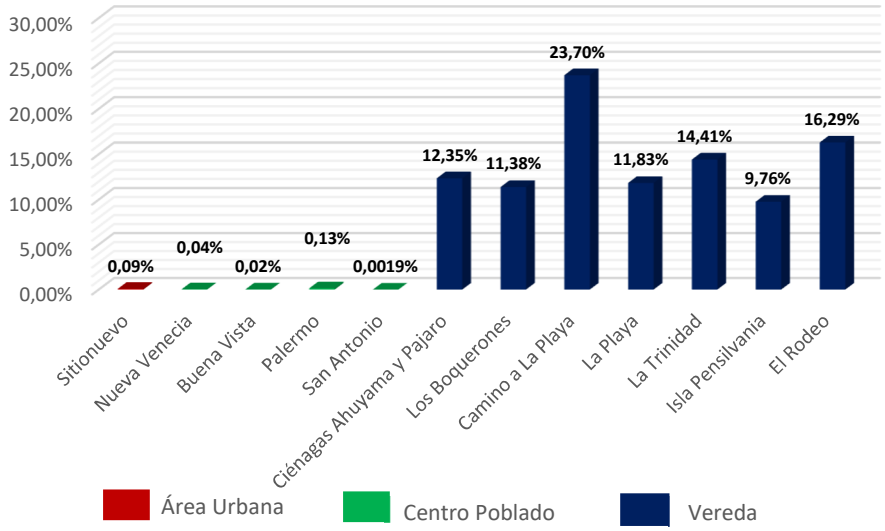
El Municipio se localiza en la parte Noroccidental del departamento del Magdalena, entre los 10° 47’ Longitud norte y los 74° 52’ de Longitud oeste de Greenwich. Comprende una extensión de 967 Km2 que equivale al 4% del área departamental y al 0.08% del total nacional, su altura sobre el nivel del mar es de 5 m, dista 126 Km. con la ciudad de Santa Marta (Capital del Departamento) y a 24.5 Km. del distrito de Barranquilla. El territorio municipal limita al norte con el Mar Caribe, por el sur con el Municipio de Remolino, al Oriente con Pueblo Viejo y Occidente con el Rió Magdalena. **Fuente especificada no válida.**

La división político administrativa del municipio de Sitionuevo dentro de Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de santa Marta se presenta en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9. Porcentaje de participación de veredas, centro poblado y área urbana del Municipio de Sitionuevo en la cuenca

MUNICIPIO	DIVISIÓN	NOMBRE	ÁREA (Has)	PORCENTAJE %
SITIONUEVO	Área urbana	Sitionuevo	84,53	0,09%
	Centro poblado	Nueva Venecia	14,27	0,02%
	Centro poblado	Buena Vista	33,52	0,04%
	Centro poblado	Palermo	126,22	0,13%
	Centro poblado	San Antonio	1,73	0,0019%
	Vereda	Ciénagas Ahuyama y Pajaro	22.169,48	23,70%
	Vereda	Los Boquerones	11.546,73	12,35%
	Vereda	Camino a La Playa	15.237,52	16,29%
	Vereda	La Playa	9.126,84	9,76%
	Vereda	La Trinidad	11.066,83	11,83%
	Vereda	Isla Pensilvania	13.480,08	14,41%
	Vereda	El Rodeo	10.644,79	11,38%

Figura 1.18. Porcentaje de participación del municipio de Sitionuevo en la cuenca.



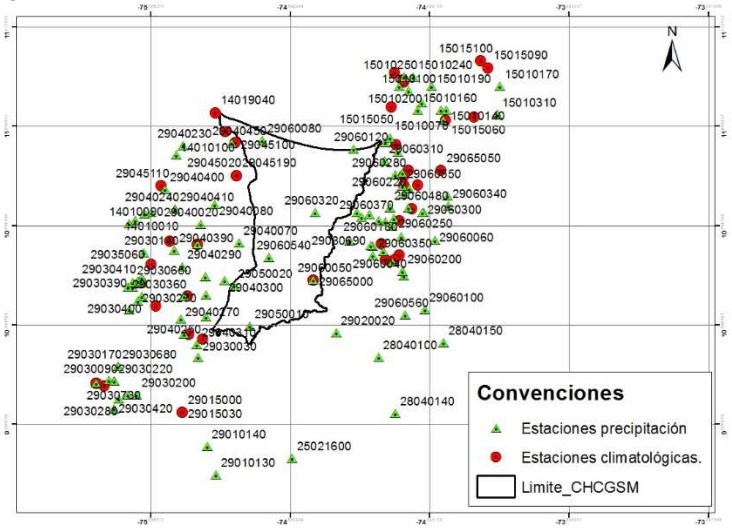
2. CLIMA

2.1. *Caracterización De La Red Meteorológica Existente*

El Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta posee una inmensa importancia dentro de la dinámica del río Magdalena antes de entregar sus aguas al mar Caribe, además de presentar condiciones únicas respecto a sus características ecosistémicas y biofísicas que la hacen objeto de conservación a nivel mundial. Por su localización en el litoral Caribe del país, su clima se ve influenciado por las dinámicas de los vientos alisios y por un régimen monomodal de la precipitación.

Para desarrollar el análisis de las condiciones climatológicas del área del complejo, se realizó el estudio de la red meteorológica disponible en el área de la cuenca y zonas aledañas, debido a que la densidad de estaciones climatológicas y de precipitación localizadas en el interior de su territorio es baja y más aún, teniendo en cuenta que el período de registro necesario para el presente estudio debía ser mayor de 15 años. En la fase de aprestamiento, se realizó la búsqueda, referenciación y organización de la información correspondiente a las estaciones Hidroclimatológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM cuya localización se encuentre dentro del área de influencia de la cuenca. Para el presente proyecto, se buscaron y recolectaron las estaciones Climatológicas, tanto principales (CP) como ordinarias (CO), que tuvieran registros de precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, brillo solar, entre otros parámetros climatológicos que permitieran realizar una estimación apropiada de la caracterización climática de la zona correspondiente a la cuenca.A continuación, se presentan las estaciones hidrometeorológicas preliminarmente analizadas para el estudio en la cuenca.

Figura 2.1. Estaciones climatológicas y pluviométricas analizadas en la fase de aprestamiento.



Dentro de la red meteorológica disponible y válida proveniente del Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, se revisaron, depuraron y utilizaron cono insumo para el desarrollo del presente componente 59 estaciones, de las cuales 57 poseían registros de precipitación (una pluviográfica PG, dos Sinópticas (SP), una climatológica ordinaria (CO), una climatológica principal (CP) y 51 Pluviométricas (PM)), y 7 registrando variables climatológicas con series mayores a 15 años (Dos Sinópticas (SP), tres climatológicas ordinarias (CO) y dos climatológicas principales (CP)), registrando temperatura, radiación solar, humedad relativa y evapotranspiración a nivel diario y mensual.

A continuación, en la Tabla 2.1, se presentan las 57 estaciones de precipitación que poseían un período homogéneo mayor a quince años, 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.

CODIGO	NOMBRE	CATEG.	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (msnm)	COORD. ESTE	COORD. NORTE
29045020	A.E CORTISSOZ [29045020]	SP	ATLANTICO	SOLEDAD	MAGDALENA	14	923218,8	1695420,5
15015050	APTO SIMON BOLIVAR [15015050]	SP	MAGDALENA	SANTA MARTA	MAR CARIBE	4	983463,1	1722433,3
25021600	APURE [25021600]	PM	MAGDALENA	PLATO	MAGDALENA	85	944842,4	1583561,4
29060030	BONGO EL [29060030]	PM	MAGDALENA	EL RETEN	FUNDACION	20	967395,1	1669399,3
28040320	BRILLANTE EL [28040320]	PM	MAGDALENA	SANTA ANA	AY EL BRILLANTE	135	1012989,5	1564746,8
28040360	CABANA LA HDA [28040360]	PM	MAGDALENA	ARIGUANI	AY ARGELIA	100	1000086,2	1582248,0
29030450	CALMA LA [29030450]	PM	BOLIVAR	MARIA LA BAJA	PRESA AY MATUYA	60	870055,1	1590440,4
29040290	CAMPANOS LOS [29040290]	PM	ATLANTICO	SABANALARGA	MAGDALENA	100	902120,9	1659458,0
29040250	CAMPO DE LA CRUZ [29040250]	PM	ATLANTICO	CAMPO DE LA CRUZ	MAGDALENA	4	911203,1	1639392,1
28030190	CARACOLI [28030190]	PM	CESAR	VALLEDUPAR	GARUPAL	220	1037901,6	1607452,7
29060140	CARMEN EL [29060140]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	25	987424,9	1670950,0
29030410	CASA DE BOMBAS [29030410]	PM	ATLANTICO	REPELON	CGA. GUAJARO	10	884666,4	1653679,7
29060060	CENIZO EL [29060060]	PM	MAGDALENA	ARACATACA	TUCURINCA	450	1000468,9	1669697,0
29060150	DESTINO EL [29060150]	PM	MAGDALENA	EL RETEN	ARACATACA	20	983955,5	1661079,3

CODIGO	NOMBRE	CATEG.	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (msnm)	COORD. ESTE	COORD. NORTE
15030010	DIBULLA [15030010]	PM	LA GUAJIRA	DIBULLA	DIBULLA	5	1084198,1	1738333,4
29060560	DOÑA MARIA [29060560]	PM	MAGDALENA	FUNDACION	FUNDACION	50	989001,4	1640147,1
29060160	ENANO EL [29060160]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	FRIO	25	987874,6	1696166,5
29060180	ESPERANZA LA [29060180]	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	25	974976,8	1679762,9
28020150	ESPERANZA LA HDA [28020150]	PM	CESAR	VALLEDUPAR	PERNAMBUCO	60	1044803,1	1600965,3
29060040	FUNDACION [29060040]	PM	MAGDALENA	FUNDACION	FUNDACION	40	988538,1	1655623,6
29030170	GAMERO [29030170]	PM	BOLIVAR	MAHATES	CANAL DEL DIQUE	10	876786,3	1619988,9
29020020	GARRAPATA [29020020]	PM	MAGDALENA	PIVIJAY	QDA EL MUNDO	60	962051,6	1633209,9
29060170	GAVILAN [29060170]	PM	MAGDALENA	EL RETEN	ARACATACA	20	976432,7	1667391,5
15010300	GUACHACA [15010300]	PG	MAGDALENA	SANTA MARTA	LA SOMBRA	45	1026025,8	1735621,5
29060380	LOMA LA [29060380]	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	23	970195,1	1680593,3
29030270	LOMA GRANDE [29030270]	PM	ATLANTICO	REPELON	CGA. DE GUAJARO	15	884582,3	1645800,6
28040270	MANATURE HDA [28040270]	PM	CESAR	BOSCONIA	AY AGUAS LINDAS	150	1031680,3	1601519,8
15010010	MINCA [15010010]	PM	MAGDALENA	SANTA MARTA	QDA BACHICHA	640	995358,4	1723812,2
29030520	MONTECRISTO [29030520]	PM	BOLIVAR	SAN JUAN NEPOMU-CENO	CNO DEL TIGRE	70	875018,4	1592230,0
28040100	MONTERRUBIO [28040100]	PM	MAGDALENA	PIVIJAY	AY CACAGUERO	100	978554,4	1623477,4
29065020	PADELMA [29065020]	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	986631,1	1677387,3
29060210	PALMA LA [29060210]	PM	MAGDALENA	CIENAGA	QDA LA AGUJA	23	986235,1	1704371,1
29060270	PALO ALTO [29060270]	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	ARACATACA	25	978733,8	1677545,0
28010370	PARIS DE FRANCIA [28010370]	PM	CESAR	VALLEDUPAR	GUATAPURI	180	1081990,2	1652179,7
28040350	PASO EL [28040350]	PM	CESAR	EL PASO	ARIGUANI	36	1036027,3	1559710,8
29060250	PROYECTOS LOS [29060250]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	SEVILLA	20	984513,6	1678260,8
29040300	PTO GIRALDO [29040300]	PM	ATLANTICO	PONEDERA	MAGDALENA	5	918471,7	1653896,3
29035070	REPELON [29035070]	CP	ATLANTICO	REPELON	CGA. GUAJARO	10	885966,3	1653146,8

CODIGO	NOMBRE	CATEG.	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (msnm)	COORD. ESTE	COORD. NORTE
28030220	SAN ANGEL [28030220]	PM	CESAR	VALLEDUPAR	LOS CLAVOS	244	1069684,1	1636503,3
28020410	SAN BENITO [28020410]	PM	CESAR	SAN DIEGO	CHIRIAIMO	150	1082985,9	1618360,1
29030200	SAN CAYETANO [29030200]	PM	BOLIVAR	SAN JUAN NEPOMUCENO	AY EL TORO	70	884056,1	1608840,1
28020420	SAN GABRIEL [28020420]	PM	CESAR	SAN DIEGO	CNO OLAYA	70	1046742,8	1589276,9
29060280	SAN ISIDRO [29060280]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	FRIO	25	985235,2	1695368,7
15015060	SAN LORENZO [15015060]	CP	MAGDALENA	SANTA MARTA	PIEDRA	2200	1004796,1	1717083,1
29060070	SAN PABLO [29060070]	PM	MAGDALENA	CIENAGA	SEVILLA	800	1005544,6	1687017,6
29040310	SAN PEDRITO ALERTA [29040310]	PM	ATLANTICO	SUAN	MAGDALENA	8	907681,8	1628480,4
29060540	SAN RAFAEL [29060540]	PM	MAGDALENA	REMOLINO	MAGDALENA	10	935852,3	1663010,0
29060090	SAN SEBASTIAN DE R [29060090]	PM	CESAR	PUEBLO BELLO	FUNDACION	2000	1052261,0	1660341,2
29060310	SEVILLANO [29060310]	PM	MAGDALENA	CIENAGA	CGA. GRANDE	5	980871,2	1700871,0
29030370	STA ANA [29030370]	PM	BOLIVAR	CARTAGENA	MAR CARIBE	1	838535,3	1623892,2
29060100	STA ROSA DE LIMA [29060100]	PM	MAGDALENA	FUNDACION	FUNDACION	75	996661,1	1642170,4
29060120	TASAJERA [29060120]	PM	MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	CGA. GRANDE	2	968933,3	1705618,0
29050010	TIOGOLLO [29050010]	PM	MAGDALENA	EL PION	MAGDALENA	41	928305,1	1635791,5
29060240	UNION LA [29060240]	PM	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	983925,7	1675090,1
28040300	VILLA CONCEPCION [28040300]	PM	MAGDALENA	ARIGUANI	ARIGUANI	120	1024962,7	1569979,0
28010070	VILLA MARLENE [28010070]	PM	CESAR	VALLEDUPAR	GUATAPURI	120	1066886,4	1618203,2
15010040	VISTA NIEVES [15010040]	PM	MAGDALENA	SANTA MARTA	GUACHACA	2000	1003855,3	1716990,8

Fuente: IDEAM (2015).

Respecto al registro de las variables climatológicas, las estaciones presentadas en la Tabla 2.2 poseen información consistente para temperatura, evaporación, humedad relativa, brillo solar y viento, y pudieron ser tenidas en cuenta en el análisis climatológico para las cuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

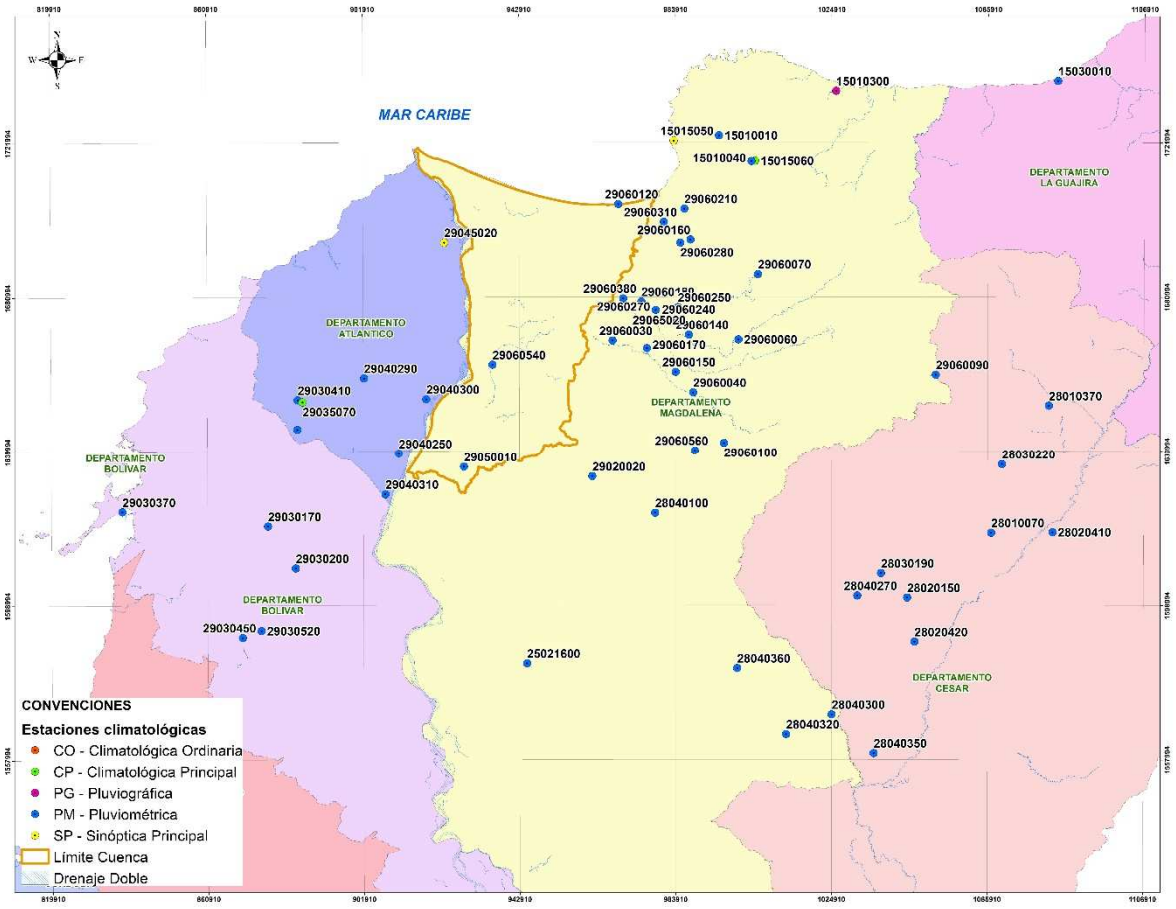
Tabla 2.2. Estaciones climatológicas utilizadas en el presente estudio.

CODIGO	NOMBRE	CATEG.	DPTO	MUNICIPIO	C/TE	ALTITUD (msnm)	COORD. ESTE	COORD. NORTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DISPONIBLES.
29045020	A.E CORTISSOZ [29045020]	SP	ATLANTICO	SOLEDAD	MAGDALENA	14	923218,8	1695420,5	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento,Evaporación, Humedad relativa,
15015050	APTO SIMON BOLIVAR [15015050]	SP	MAGDALENA	SANTA MARTA	MAR CARIBE	4	983463,1	1722433,3	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
29035070	REPELON [29035070]	CP	ATLANTICO	REPELON	CGA. GUAJARO	10	885966,3	1653146,8	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
15015060	SAN LORENZO [15015060]	CP	MAGDALENA	SANTA MARTA	PIEDRA	2200	1004796,1	1717083,1	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,
29065020	PADELMA [29065020]	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	TUCURINCA	20	986631,1	1677387,3	Temperatura,Brillo solar, , Humedad relativa,
29065080	MEDIA LUNA [29065080]	CO	MAGDALENA	PIVIJAY	CNO CIEGO	20	953022,1	1654068,4	Temperatura,Evaporación, Humedad relativa,
29065030	PRADO SEVILLA [29065030]	CO	MAGDALENA	ZONA BANANERA	SEVILLA	18	991554,8	1682148,2	Temperatura,Brillo solar, Velocidad del viento, Evaporación, Humedad relativa,

Fuente: IDEAM (2015).

A continuación, en la Figura 2.2 se presenta la localización espacial de las anteriores estaciones.

Figura 2.2. Localización espacial de las estaciones de precipitación y clima para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



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, depurando las estaciones que serían finalmente útiles para el estudio. Después de pasar por una revisión de información, armonización y organización por estación y variable, la información pasó por un proceso de tratamiento de datos acorde a los requerimientos dados por la guía de la OMM No. 168 (2008) y la guía de prácticas climatológicas de la OMM (2011). 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.

2.1.1.1. *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:

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

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.

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD	VECINOS			precipitación media anual				PROMEDIO VECINOS	DIFERENCIA	%	Método
			A	B	C	X	A	B	C				
25021600	APURE [25021600]	**85**	GARRAPATA 29020020	MONTERRUBIO 28040100	CABANA LA HDA 28040360	1329,0	1386,2	1706,0	1476,0	1522,7	193,7	12,7	formula
29060030	BONGO EL [29060030]	**20**	GAVILAN [29060170]	LOMA LA [29060380]	ESPERANZA LA [29060180]	1337,8	989,2	668,7	1375,2	1011,0	326,8	32,3	formula
28040360	CABANA LA HDA 28040360	**100**	MANATURE HDA 28040270	VILLA CONCEPCION 28040300	BRILLLANTE EL 28040320	1476,0	1316,7	1320,6	1466,3	1367,8	108,2	7,9	promedio
28040320	BRILLLANTE EL 28040320	**135**	CABANA LA HDA 28040360	VILLA CONCEPCION 28040300	PASO EL 28040350	1466,3	1476,0	1320,6	1294,3	1363,6	102,6	7,5	promedio
29030450	CALMA LA 29030450	**60**	MONTECRISTO 29030520	SAN CAYETANO 29030200	GAMERO [29030170]	1917,8	1826,6	1310,8	1391,7	1509,7	408,0	27,0	formula
29040290	CAMPANOS LOS 29040290	**100**	PT O GIRALDO 29040300	CASA DE BOMBAS 29030410	USIACURI 29040240	1335,0	1004,7	858,8	1221,9	1028,5	306,5	29,8	formula
29040250	CAMPO DE LA CRUZ 29040250	**4**	SAN PEDRITO ALERTA 29040310	TIOGOLLO [29050010]	PT O GIRALDO 29040300	955,4	1057,1	1301,9	1004,7	1121,2	165,9	14,8	formula
28030190	CARACOLI 28030190	**220**	MANATURE HDA 28040270	ESPERANZA LA HDA 28020150	SAN GABRIEL 28020420	1120,9	1316,7	1210,7	1341,3	1289,6	168,6	13,1	formula
29060140	CARMEN EL [29060140]	**25**	UNION LA [29060240]	GAVILAN [29060170]	CENIZO EL [29060060]	1521,6	1282,7	989,2	2317,7	1529,8	8,3	0,5	promedio
29030410	CASA DE BOMBAS 29030410	**10**	PT O GIRALDO 29040300	CAMPANOS LOS 29040290	USIACURI 29040240	858,8	1004,7	1335,0	1221,9	1187,2	328,4	27,7	formula

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD	VECINOS			precipitación media anual				PROMEDIO VECINOS	DIFERENCIA	%	Método
			A	B	C	X	A	B	C				
29060060	CENIZO EL [29060060]	**450**	PROYECTOS LOS [29060250]	UNION LA [29060240]	CARMEN EL [29060140]	2317,7	1040,0	1282,7	1521,6	1281,4	1036,3	80,9	formula
29060150	DESTINO EL [29060150]	**20**	GAVILAN [29060170]	FUNDACION [29060040]	CARMEN EL [29060140]	1496,2	989,2	1406,1	1521,6	1305,6	190,6	14,6	formula
15030010	DIBULLA 15030010	**5**	GUACHACA 15010300	VISTA NIEVES 15010040	SAN SEBASTIANDER 29060090	1384,6	1815,3	2480,2	1292,7	1862,7	478,1	25,7	formula
29060560	DOÑA MARIA [29060560]	**50**	STA ROSA DE LIMA [29060100]	FUNDACION [29060040]	MONTERRUBIO 28040100	1101,9	1524,0	1406,1	1706,0	1545,4	443,5	28,7	formula
29060160	ENANO EL [29060160]	**25**	SAN ISIDRO [29060280]	SEVILLANO 2900310	PALMA LA [29060210]	993,5	875,5	948,7	799,1	874,5	119,0	13,6	formula
29060180	ESPERANZA LA [29060180]	**25**	LOMA LA [29060380]	PALO ALTO [29060270]	PROYECTOS LOS [29060250]	1375,2	668,7	1051,9	1040,0	920,2	455,0	49,4	formula
28020150	ESPERANZA LA HDA 28020150	**60**	CARACOLI 28030190	MANATURE HDA 28040270	SAN GABRIEL 28020420	1210,7	1120,9	1316,7	1341,3	1259,7	49,0	3,9	promedio
29060040	FUNDACION [29060040]	**40**	DESTINO EL [29060150]	CARMEN EL [29060140]	DOÑA MARIA [29060560]	1406,1	1496,2	1521,6	1101,9	1373,2	32,9	2,4	promedio
29030170	GAMERO [29030170]	**10**	SAN CAYETANO 29030200	MONTECRISTO 29030520	CALMA LA 29030450	1391,7	1310,8	1826,6	1917,8	1685,1	293,4	17,4	formula
29020020	GARRAPATA 29020020	**60**	TIOGOLLO [29050010]	MONTERRUBIO 28040100	DOÑA MARIA [29060560]	1386,2	1301,9	1706,0	1101,9	1369,9	16,2	1,2	promedio
29060170	GAVILAN [29060170]	**20**	CARMEN EL [29060140]	BONGO EL [29060030]	DESTINO EL [29060150]	989,2	1521,6	1337,8	1496,2	1451,9	462,7	31,9	formula
15010300	GUACHACA 15010300	**45**	PALMA LA [29060210]	DIBULLA 15030010	VISTA NIEVES 15010040	1815,3	799,1	1384,6	2480,2	1554,7	260,6	16,8	formula
29060380	LOMA LA [29060380]	**23**	ESPERANZA LA [29060180]	PALO ALTO [29060270]	BONGO EL [29060030]	668,7	1375,2	1051,9	1337,8	1255,0	586,3	46,7	formula
28040270	MANATURE HDA 28040270	**150**	CARACOLI 28030190	ESPERANZA LA HDA 28020150	SAN GABRIEL 28020420	1316,7	1120,9	1210,7	1341,3	1224,3	92,4	7,5	promedio
15010010	MINCA 15010010	**640**	VISTA NIEVES 15010040	PALMA LA [29060210]	SEVILLANO 2900310	2443,9	2480,2	799,1	948,7	1409,4	1034,5	73,4	formula
29030520	MONTECRISTO 29030520	**70**	GAMERO [29030170]	SAN CAYETANO 29030200	CALMA LA 29030450	1826,6	1391,7	1310,8	1917,8	1540,1	286,5	18,6	formula
28040100	MONTERRUBIO 28040100	**100**	GARRAPATA 29020020	DOÑA MARIA [29060560]	STA ROSA DE LIMA [29060100]	1706,0	1386,2	1101,9	1524,0	1337,3	368,7	27,6	formula
29060210	PALMA LA [29060210]	**23**	SAN ISIDRO [29060280]	SEVILLANO 2900310	ENANO EL [29060160]	799,1	875,5	948,7	993,5	939,2	140,1	14,9	formula
29060270	PALO ALTO [29060270]	**25**	ESPERANZA LA [29060180]	PROYECTOS LOS [29060250]	UNION LA [29060240]	1051,9	1375,2	1040,0	1282,7	1232,6	180,7	14,7	formula
28010370	PARIS DE FRANCIA 28010370	**180**	SAN ANGEL 28030220	SAN SEBASTIANDER 29060090	SAN BENITO 28020410	1218,4	955,3	1292,7	1202,5	1150,2	68,2	5,9	promedio

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD	VECINOS			precipitación media anual				PROMEDIO VECINOS	DIFERENCIA	%	Método
			A	B	C	X	A	B	C				
28040350	PASO EL 28040350	**36**	VILLA CONCEPCION 28040300	BRILLLANTE EL 28040320	CABANA LA HDA 28040360	1294,3	1320,6	1466,3	1476,0	1420,9	126,6	8,9	promedio
29060250	PROYECTOS LOS [29060250]	**20**	PALO ALTO [29060270]	UNION LA [29060240]	ESPERANZA LA [29060180]	1040,0	1051,9	1282,7	1210,7	1181,8	141,8	12,0	formula
29040300	PTO GIRALDO 29040300	**5**	SAN RAFAEL [29060540]	CAMPANOS LOS 29040290	CAMPO DE LA CRUZ 29040250	1004,7	1120,4	1335,0	955,4	1136,9	132,2	11,6	formula
28030220	SAN ANGEL 28030220	**244**	PARIS DE FRANCIA 28010370	VILLA MARLENE 28010070	SAN BENITO 28020410	955,3	1218,4	1325,3	1202,5	1248,8	293,4	23,5	formula
28020410	SAN BENITO 28020410	**150**	VILLA MARLENE 28010070	SAN ANGEL 28030220	PARIS DE FRANCIA 28010370	1202,5	1325,3	955,3	1218,4	1166,4	36,2	3,1	promedio
29030200	SAN CAYETANO 29030200	**70**	GAMERO [29030170]	MONTECRISTO 29030520	CALMA LA 29030450	1310,8	1391,7	1826,6	1917,8	1712,0	401,2	23,4	formula
28020420	SAN GABRIEL 28020420	**70**	CARACOLI 28030190	ESPERANZA LA HDA 28020150	MANATURE HDA 28040270	1341,3	1120,9	1210,7	1316,7	1216,1	125,2	10,3	formula
29060280	SAN ISIDRO [29060280]	**25**	ENANO EL [29060160]	SEVILLANO 2900310	PALMA LA [29060210]	875,5	993,5	948,7	799,1	913,8	38,3	4,2	promedio
29060070	SAN PABLO [29060070]	**800**	ENANO EL [29060160]	CARMEN EL [29060140]	CENIZO EL [29060060]	2298,0	993,5	1521,6	2317,7	1610,9	687,1	42,7	formula
29040310	SAN PEDRITO ALERTA 29040310	**8**	CAMPO DE LA CRUZ 29040250	GAMERO [29030170]	SAN CAYETANO 29030200	1057,1	955,4	1391,7	1310,8	1219,3	162,2	13,3	formula
29060540	SAN RAFAEL [29060540]	**10**	LOMA LA [29060380]	BONGO EL [29060030]	TIOGOLLO [29050010]	1120,4	668,7	1337,8	1301,9	1102,8	17,6	1,6	promedio
29060090	SAN SEBASTIAN DER 29060090	**2000**	PARIS DE FRANCIA 28010370	SAN ANGEL 28030220	VILLA MARLENE 28010070	1292,7	1218,4	955,3	1325,3	1166,4	126,4	10,8	formula
29060310	SEVILLANO 2900310	**5**	PALMA LA [29060210]	ENANO EL [29060160]	SAN ISIDRO [29060280]	948,7	799,1	993,5	875,5	889,4	59,4	6,7	promedio
29030370	STA ANA 29030370	**1**	CALMA LA 29030450	MONTECRISTO 29030520	GAMERO [29030170]	882,9	1917,8	1826,6	1391,7	1712,0	829,1	48,4	formula
29060100	STA ROSA DE LIMA [29060100]	**75**	DOÑA MARIA [29060560]	FUNDACION [29060040]	DESTINO EL [29060150]	1524,0	1101,9	1406,1	1496,2	1334,7	189,3	14,2	formula
29060120	TASAJERA [29060120]	**2**	SEVILLANO 2900310	PALMA LA [29060210]	SAN ISIDRO [29060280]	408,1	948,7	799,1	875,5	874,5	466,3	53,3	formula
29050010	TIOGOLLO [29050010]	**41**	SAN PEDRITO ALERTA 29040310	CAMPO DE LA CRUZ 29040250	PTO GIRALDO 29040300	1301,9	1057,1	955,4	1004,7	1005,7	296,2	29,4	formula
29060240	UNION LA [29060240]	**20**	PALO ALTO [29060270]	PROYECTOS LOS [29060250]	CARMEN EL [29060140]	1282,7	1051,9	1040,0	1521,6	1204,5	78,2	6,5	promedio
29040240	USIACURI 29040240	**100**	SAN RAFAEL [29060540]	CAMPANOS LOS 29040290	PTO GIRALDO 29040300	1221,9	1120,4	1335,0	1004,7	1153,4	68,5	5,9	promedio

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD	VECINOS			precipitación media anual				PROMEDIO VECINOS	DIFERENCIA	%	Método
			A	B	C	X	A	B	C				
28040300	VILLA CONCEPCION 28040300	**120**	BRILLLANTE EL 28040320	PASO EL 28040350	CABANA LA HDA 28040360	1320,6	1466,3	1294,3	1476,0	1412,2	91,7	6,5	promedio
28010070	VILLA MARLENE 28010070	**120**	SAN BENITO 28020410	SAN ANGEL 28030220	ESPERANZA LA HDA 28020150	1325,3	1202,5	955,3	1210,7	1122,9	202,5	18,0	formula
15010040	VISTA NIEVES 15010040	**2000**	MINCA 15010010	PALMA LA [29060210]	ENANO EL [29060160]	2480,2	2443,9	799,1	993,5	1412,2	1068,1	75,6	formula

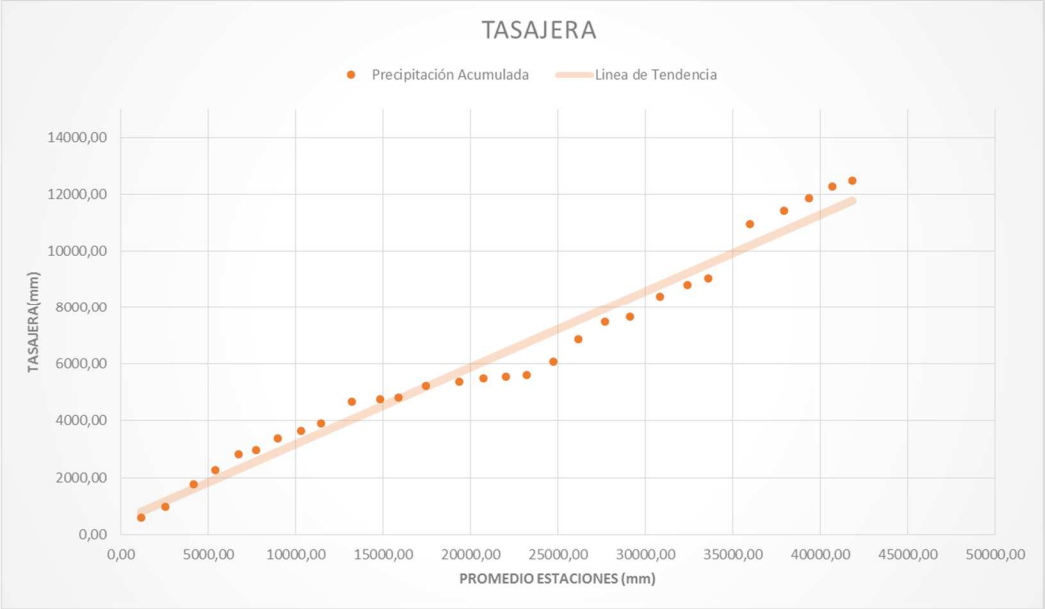
Teniendo en cuenta la información de las estaciones anteriormente presentadas, se procedió a realizar el llenado de datos para cada una de ellas, obteniendo los registros completos paras las series a nivel diario. Sin embargo, teniendo en cuenta que algunas de las estaciones poseían períodos con vacíos 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.

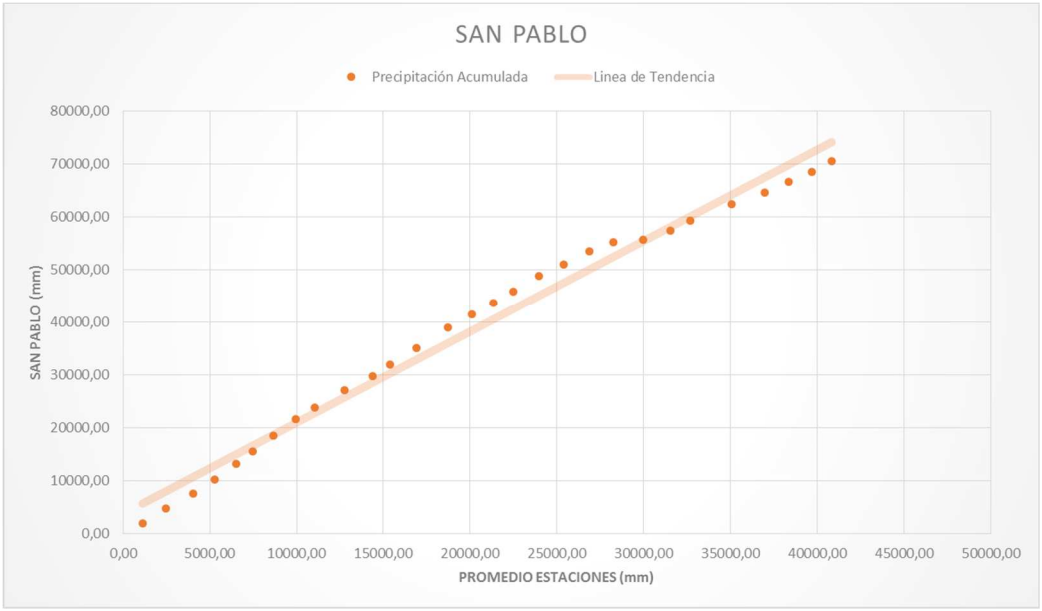
Para el total de estaciones pluviométricas y climatológicas que poseían registros de precipitación, se realizó el análisis de las curvas de dobles masas, relacionando el promedio del total de las estaciones manejadas con el de la estación en análisis, determinando como período homogéneo el rango entre 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 2.3. Curva de dobles masas Estación Tasajera



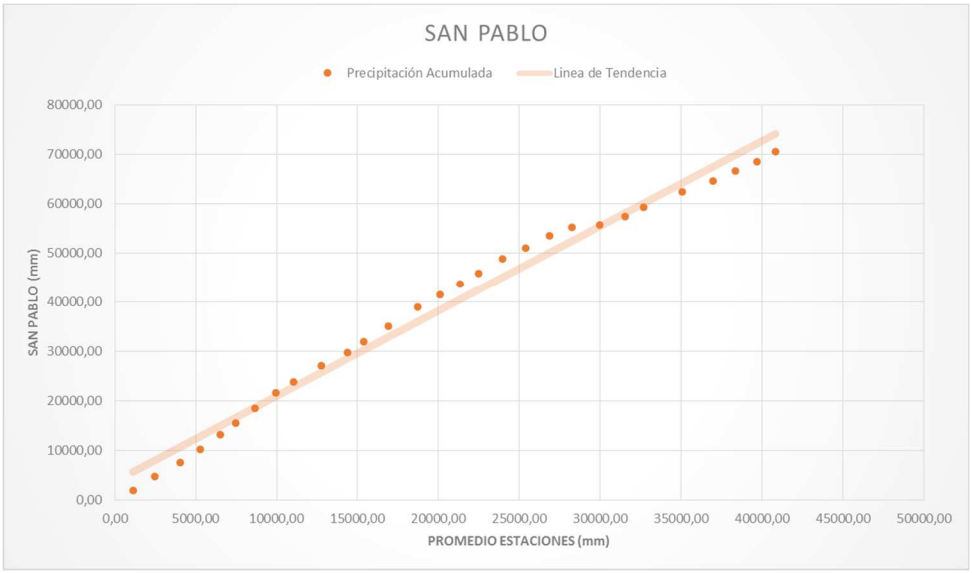
La estación Tasajera presenta inconsistencias en toda su serie de datos como puede verse en la Figura 2.3, por lo que se descartó del presente análisis de precipitación, del mismo modo que la estación San Pablo, ocmo puede verse en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Curva de dobles masas estación San Pablo.



La estación San Pablo es consistente sólo en el período 1991 a 1994, como puede verse en la Figura 2.5, por lo que se descartó del análisis de precipitación de la cuenca.

Figura 2.5. Curva de dobles masas estación San Pablo.



Por otro lado, la estación Gavilan presenta inconsistencias en la serie de datos registrada desde el año 1998 en adelante, como puede verse en la Figura 2.6, por lo que se considero como no útil para el presente análisis.

Figura 2.6. Curva de doble masa estación Gavilan.

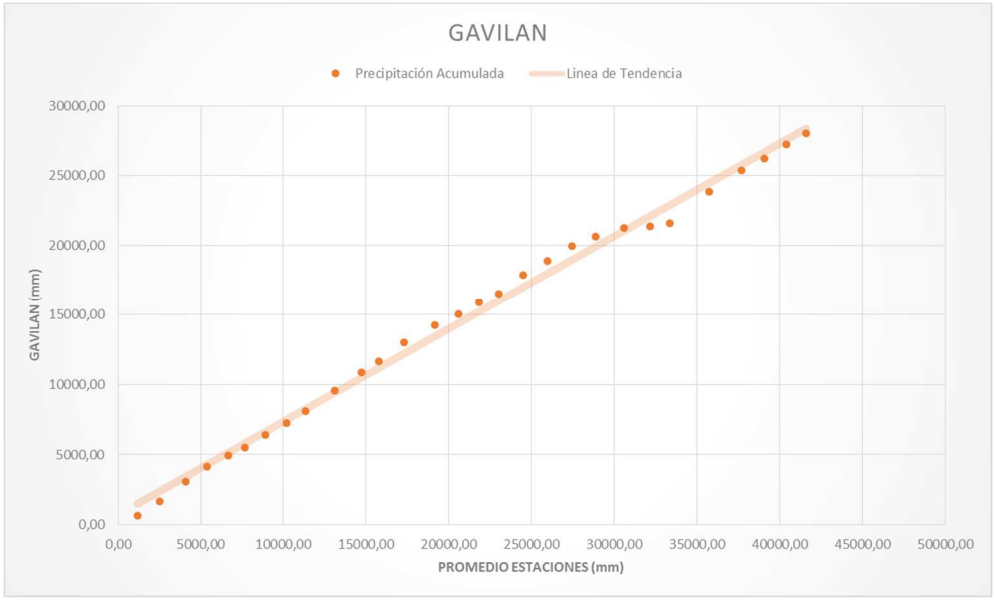
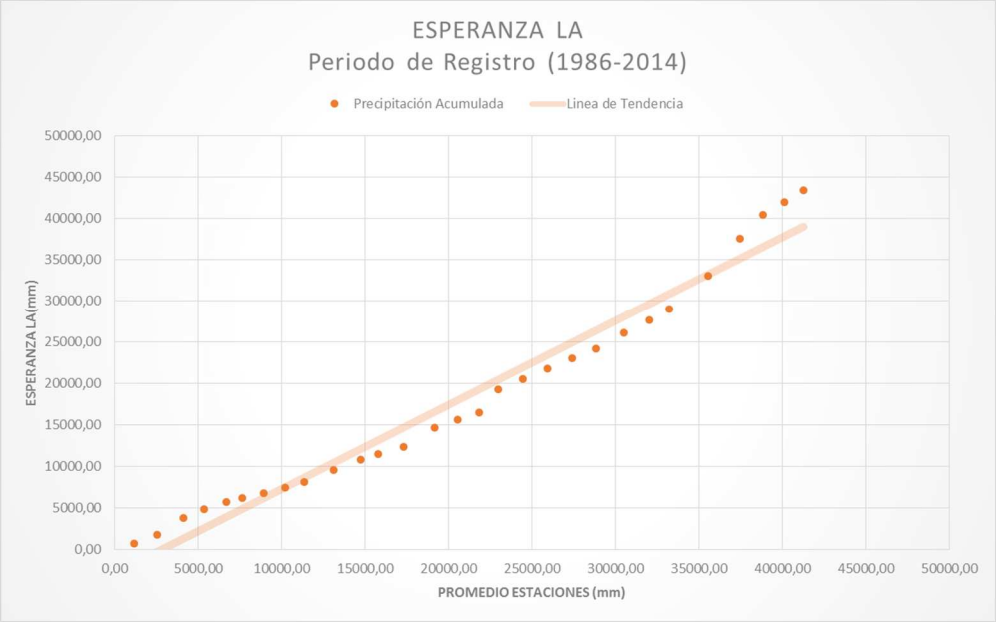


Figura 2.7. Curva de dobles masas estación Esperanza La.



Las estaciones La Esperanza y Caracolí también presentan inconsistencias en toda su serie de datos, como puede verse en las figuras Figura 2.7 y Figura 2.8, siendo descartadas del análisis de precipitación de la cuenca.

Figura 2.8. Curva de dobles masas estación Caracolí.

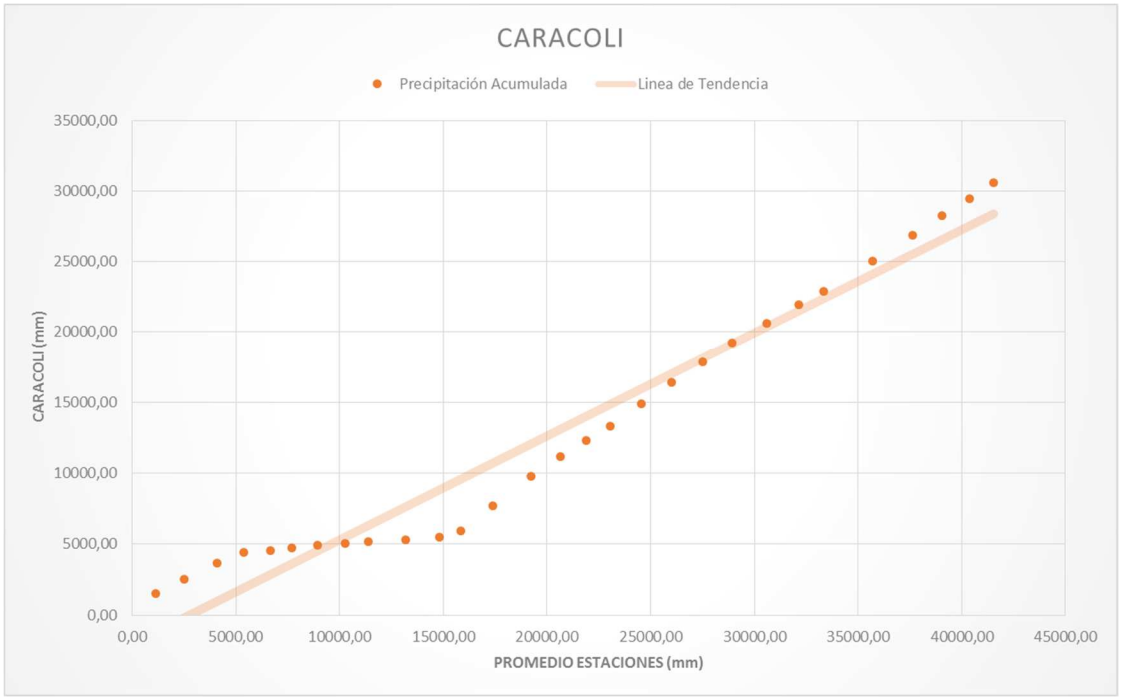
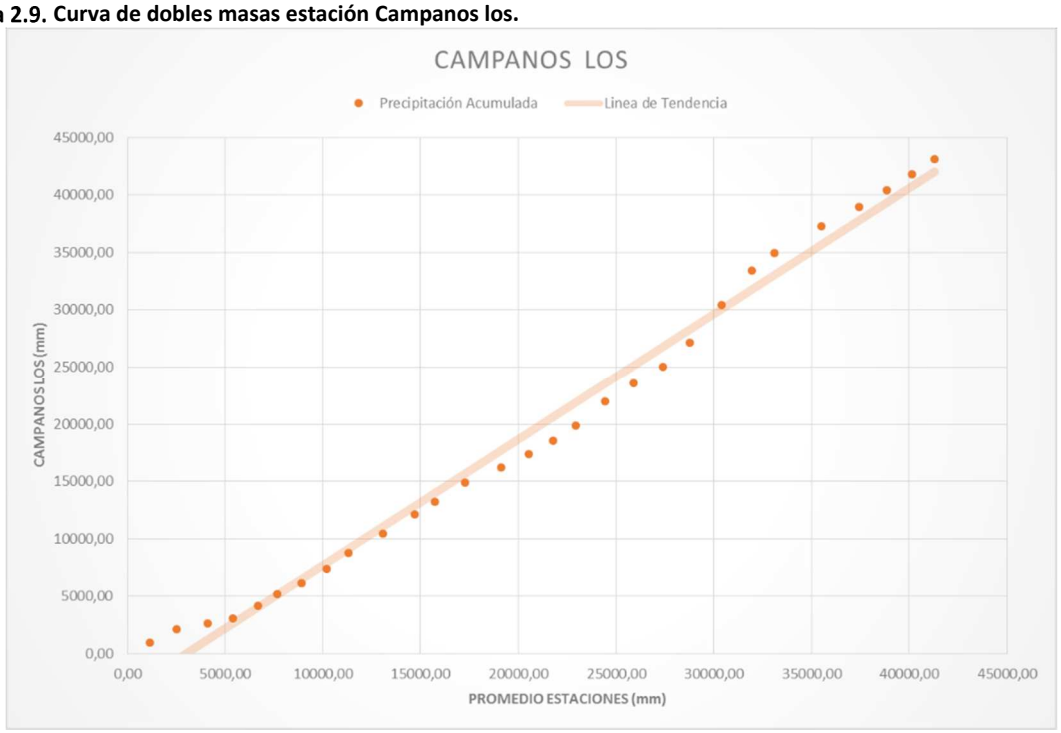


Figura 2.9. Curva de dobles masas estación Campanos los.



Por último, se descartó la estación Campanos Los por las inconsistencias presentadas en su serie de datos desde el año 1998, hasta el 2014, como puede verse en la Figura 2.9.

- *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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 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 continuas 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 la Figura 2.2, 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

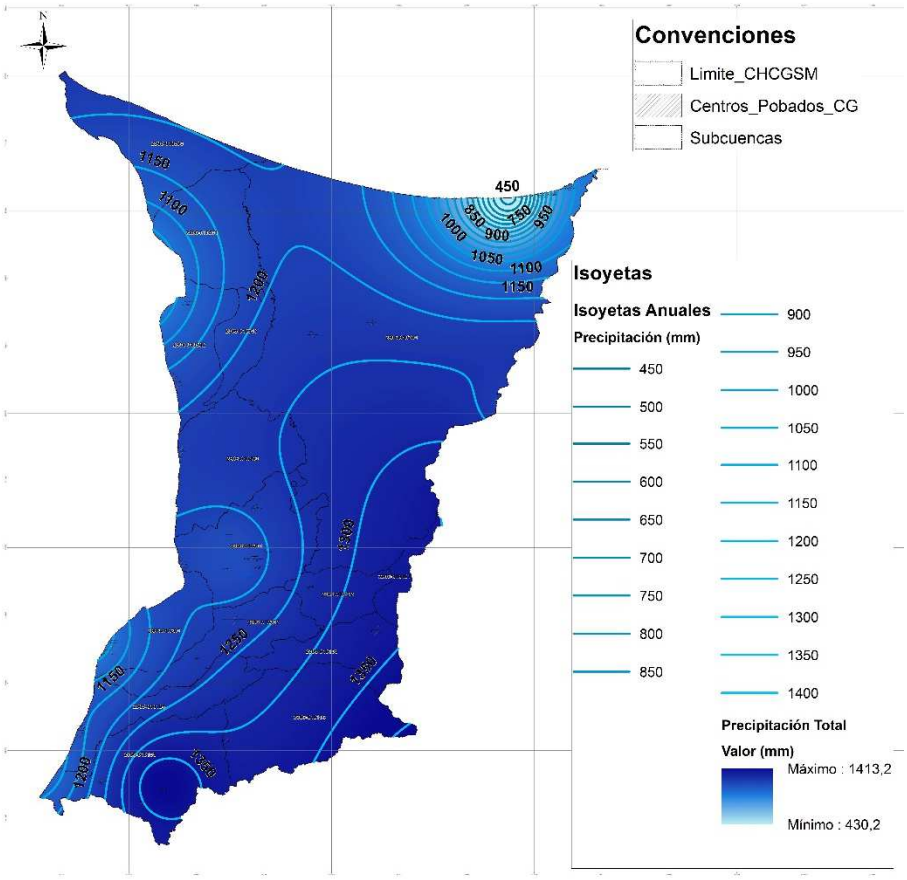
[7] R. Cañada et al. "Sistemas y análisis de la información geográfica". Alfaomega, 2008.

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 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.

La distribución espacial de la lluvia para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, permite observar que los niveles de precipitación son homogéneos para el área total de la cuenca, donde los valores totales multianuales de precipitación anual permiten evidenciar un rango aproximado de precipitaciones entre los 1000 y los 1200 mm anuales. El valor medio total para toda la cuenca es de 1212.7 mm anuales.

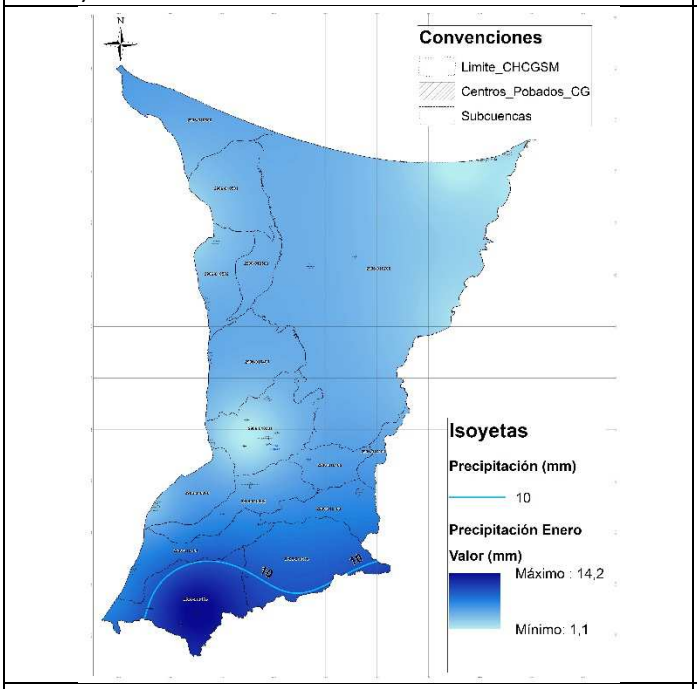
Figura 2.10. Isoyetas de la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



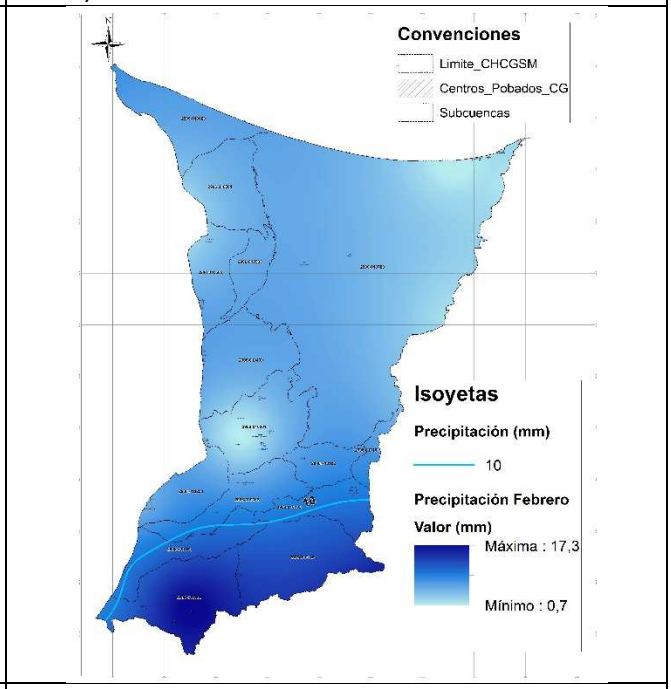
Para llegar a la espacialización de la precipitación a nivel anual, se desarrollaron las Isoyetas correspondientes a cada uno de los meses del año, presentadas a continuación en la Figura 2.11.

Figura 2.11. Espacialización de la precipitación a nivel mensual.

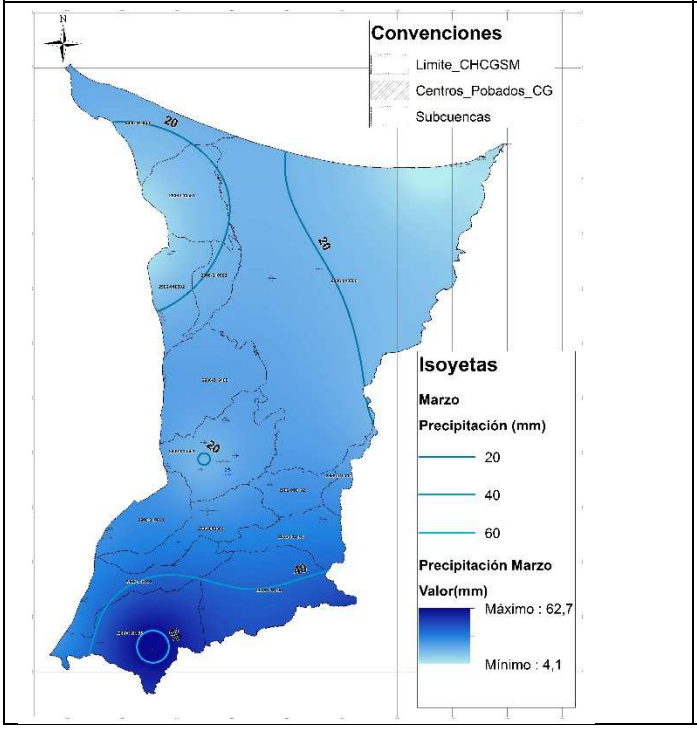
a) Enero



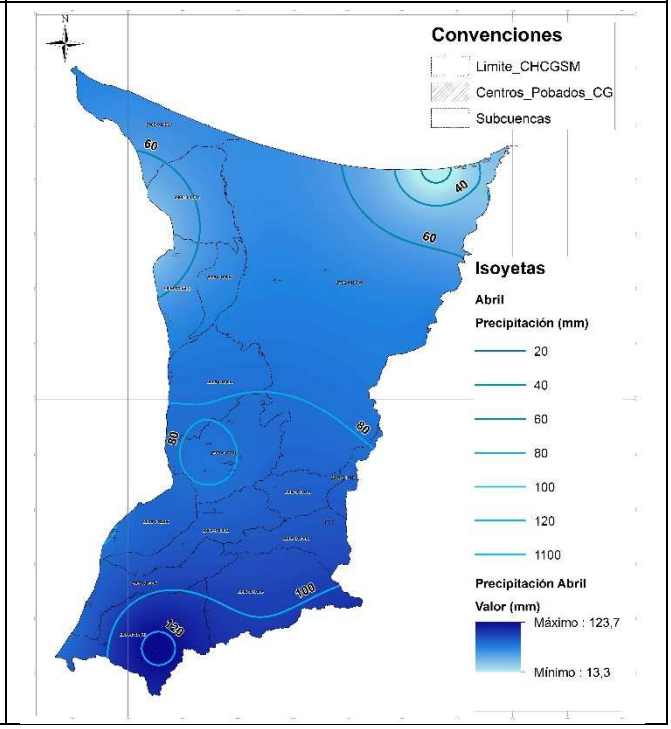
b) Febrero



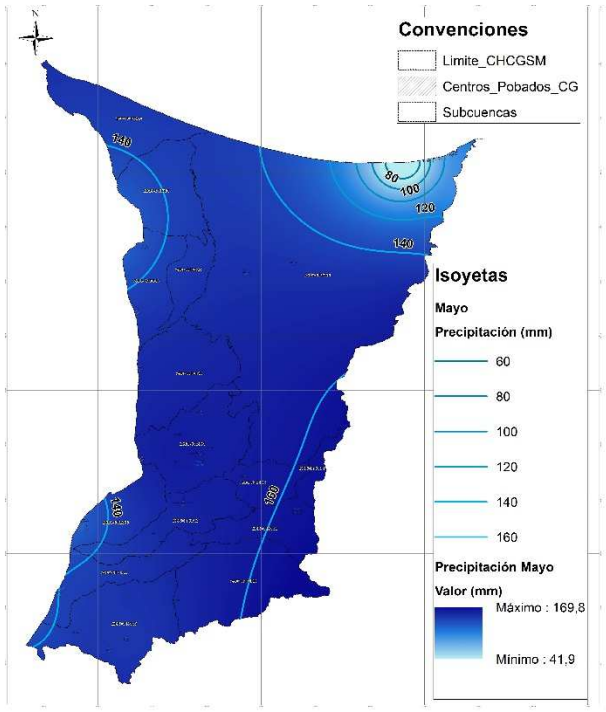
c) Marzo



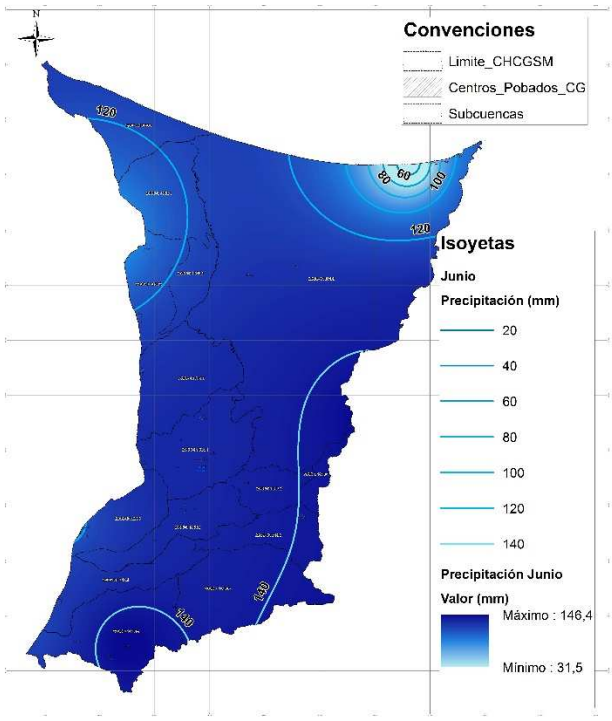
d) Abril



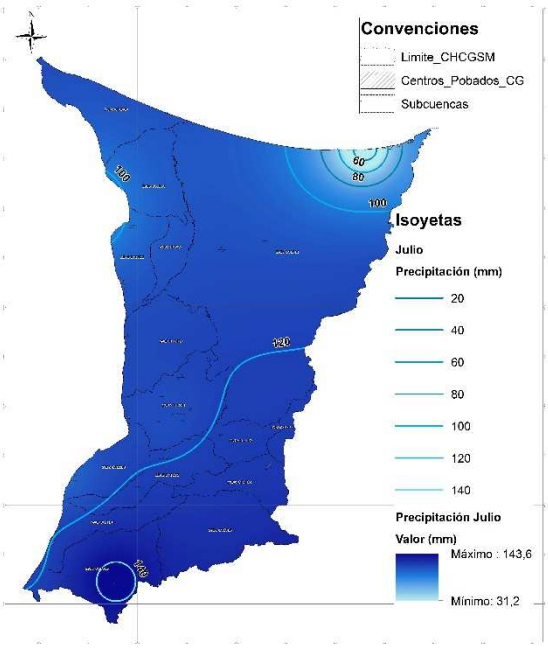
e) Mayo



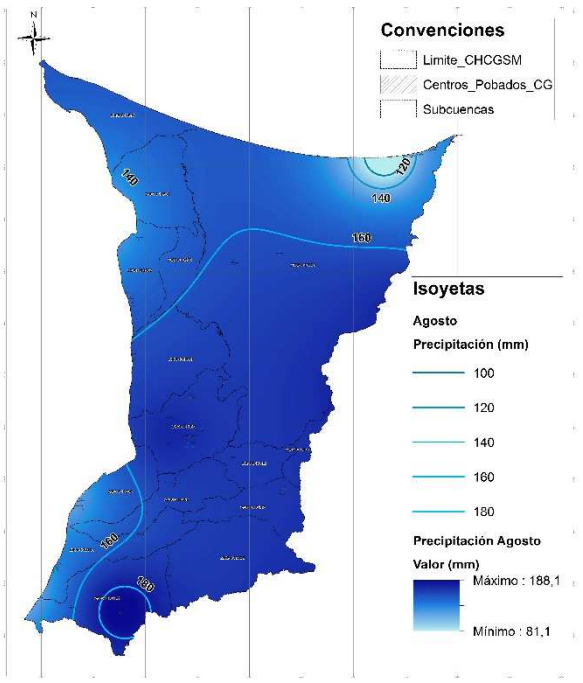
f) Junio



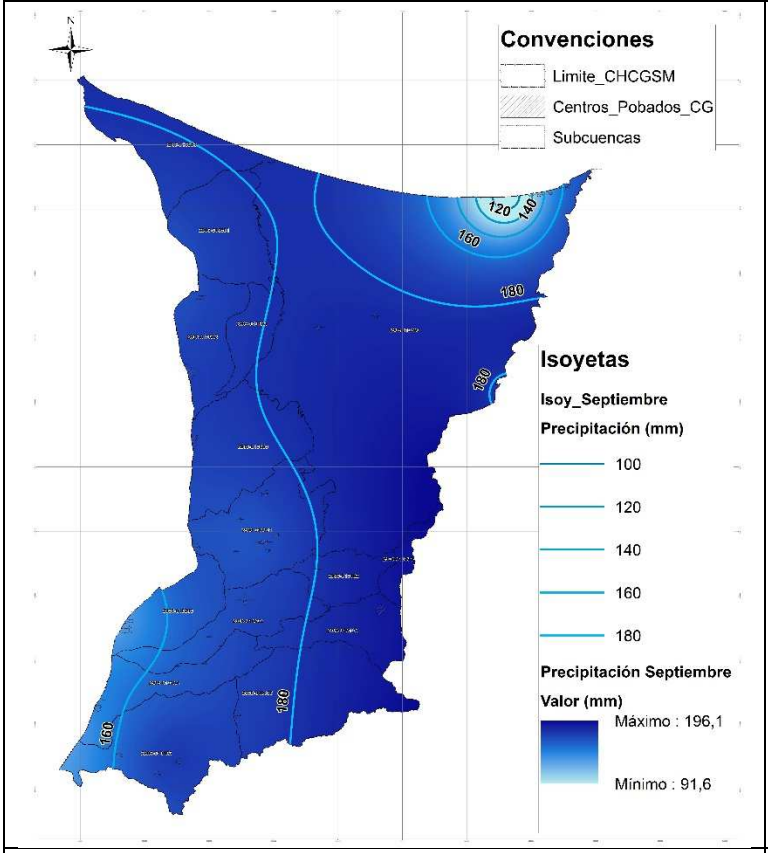
g) Julio



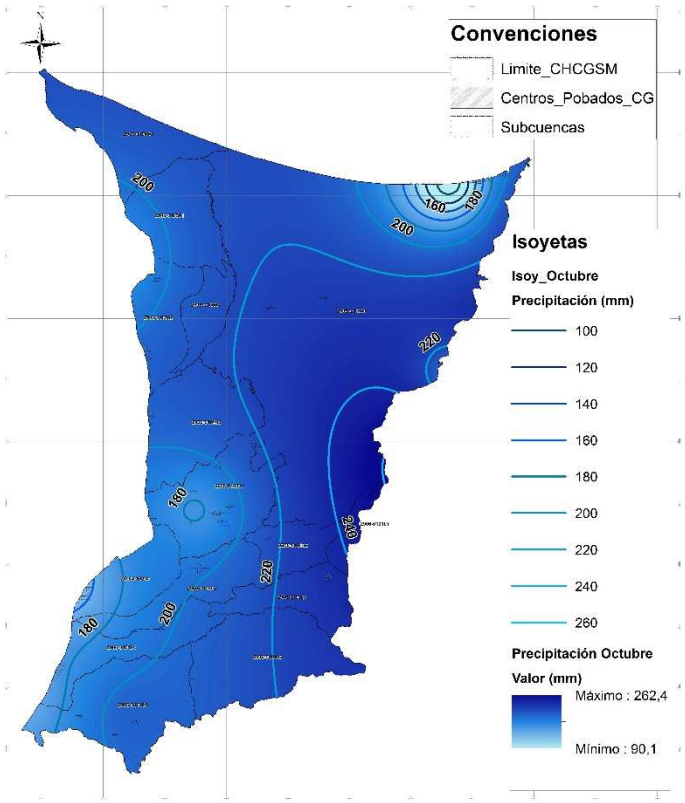
h) Agosto



i) Septiembre

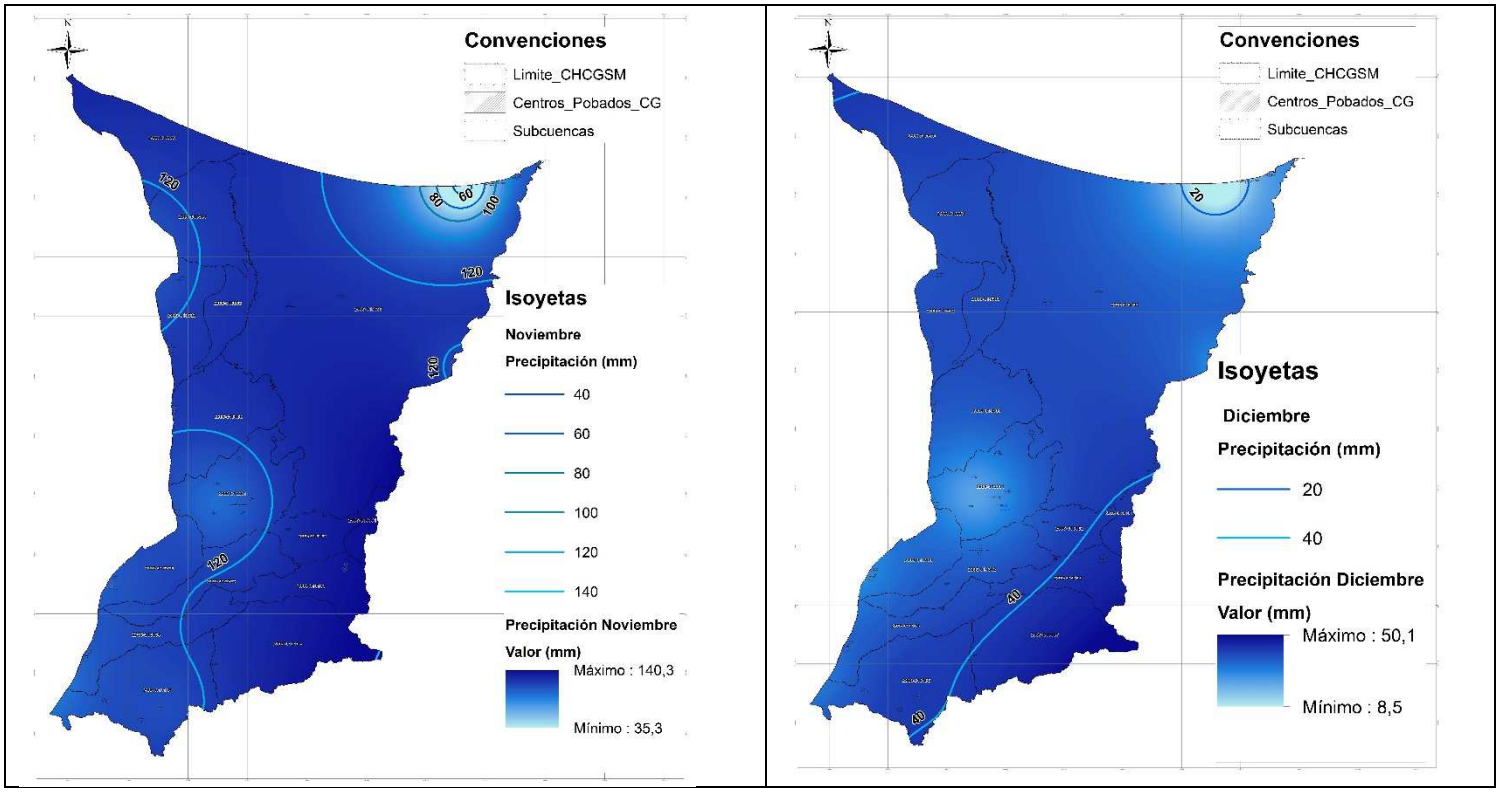


j) Octubre



k) Noviembre

l) Diciembre



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, con un período intermedio de disminución en Julio, 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 en estudio.

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

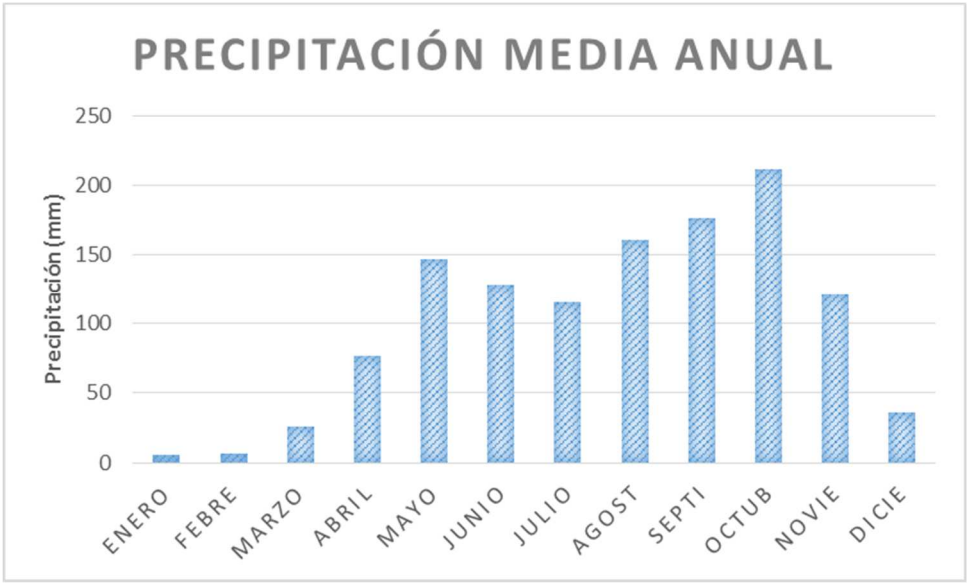
NOMBRE	PP_ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
A.E CORTISSOZ [29045020]	1,4	0,7	1,5	27,2	120,2	84,9	87,3	121,9	165,2	172,3	107,4	35,3
APTO SIMON BOLIVAR [15015050]	2,4	1,4	2,3	13,8	57,7	58,9	57,8	70,7	91,1	122,6	69,2	12,6
APURE [25021600]	31,8	45,3	81,3	131,0	136,1	143,9	144,9	173,8	167,6	162,0	131,0	66,5

NOMBRE	PP_ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
BONGO EL [29060030]	3,4	1,7	13,6	76,5	175,1	159,3	122,6	190,8	209,9	301,3	150,5	41,8
BRILLANTE EL [28040320]	20,7	33,7	81,6	159,3	172,4	122,1	120,1	177,2	183,7	231,8	173,8	32,5
CABANA LA HDA [28040360]	27,0	37,4	96,9	161,6	185,1	117,1	126,5	169,8	176,1	187,4	161,6	55,3
CALMA LA [29030450]	59,6	58,3	87,2	183,8	224,5	188,0	178,5	223,3	233,3	274,2	208,5	112,6
CAMPANOS LOS [29040290]	11,7	14,4	34,3	107,1	184,2	147,8	168,4	209,5	209,1	225,5	127,3	46,7
CAMPO DE LA CRUZ [29040250]	5,9	7,5	22,1	72,4	127,7	115,6	112,9	107,5	135,1	150,4	91,0	27,4
CARACOLI [28030190]	8,4	25,5	49,2	127,8	112,7	94,9	111,7	121,2	126,3	137,9	100,4	39,7
CARMEN EL [29060140]	3,6	3,7	21,2	88,7	240,5	209,7	146,1	212,3	250,3	369,2	166,0	39,1
CASA DE BOMBAS [29030410]	5,7	5,1	15,6	43,4	113,4	91,3	94,8	115,1	114,8	158,2	88,4	22,2
CENIZO EL [29060060]	30,0	25,8	73,9	259,2	327,7	275,2	256,8	279,2	346,2	383,5	308,2	94,8
DESTINO EL [29060150]	2,0	9,8	28,4	102,6	199,9	163,4	144,6	192,3	226,8	340,1	176,1	53,6
DIBULLA [15030010]	14,5	18,8	32,8	95,5	152,5	79,3	41,7	139,8	214,0	322,4	215,7	49,4
DOÑA MARIA [29060560]	8,0	17,3	50,8	120,0	128,5	98,3	67,1	131,4	167,4	209,5	144,1	32,7
ENANO EL [29060160]	0,8	0,6	4,9	32,8	115,8	126,7	84,3	140,3	191,5	222,5	108,4	20,6
ESPERANZA LA [29060180]	1,2	0,5	9,8	75,0	174,2	160,0	149,7	209,0	214,5	300,3	157,1	47,6
ESPERANZA LA HDA [28020150]	9,6	25,9	69,7	119,1	157,0	104,2	122,5	157,7	153,4	185,4	147,4	50,0
FUNDACION [29060040]	7,4	7,6	38,2	106,3	177,4	144,6	134,8	163,1	216,0	270,3	144,9	41,3
GAMERO [29030170]	9,1	16,7	48,1	104,8	176,6	149,3	163,8	172,5	183,6	205,3	137,0	54,9
GARRAPATA [29020020]	16,6	20,7	70,7	120,4	184,5	146,9	142,0	180,7	199,7	216,4	140,8	63,1
GAVILAN [29060170]	2,3	1,3	10,0	40,3	104,1	108,4	89,2	123,2	145,1	204,7	110,2	27,9
GUACHACA [15010300]	48,0	42,3	77,5	124,6	185,8	115,6	108,1	194,5	233,7	374,0	372,3	189,2
LOMA LA [29060380]	1,6	1,6	19,4	78,1	158,0	134,2	115,7	174,9	168,9	178,8	105,6	24,6

NOMBRE	PP_ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
LOMA GRANDE [29030270]	3,4	2,5	18,2	51,1	133,3	105,0	81,3	118,6	136,1	190,2	107,4	29,4
MANATURE HDA [28040270]	13,1	31,6	80,0	148,1	150,5	121,6	118,1	177,3	159,3	172,0	131,7	39,5
MINCA [15010010]	2,9	5,1	17,6	95,6	255,1	233,8	245,6	320,3	371,1	386,2	224,7	64,4
MONTECRISTO [29030520]	45,7	36,2	86,1	179,7	268,8	205,0	226,7	281,1	246,9	282,6	207,5	97,6
MONTERRUBIO [28040100]	17,8	49,1	119,4	196,2	178,8	162,3	177,6	210,6	231,7	254,6	182,1	68,7
PADELMA [29065020]	2,2	2,0	10,7	52,9	145,2	143,6	115,9	155,0	183,7	261,3	141,3	39,4
PALMA LA [29060210]	0,7	0,8	5,6	33,0	97,3	80,0	67,2	102,9	140,7	175,0	89,7	23,3
PALO ALTO [29060270]	1,6	2,0	7,0	59,1	135,0	128,7	98,1	144,6	165,7	232,8	96,8	27,4
PARIS DE FRANCIA [28010370]	4,7	13,0	53,8	139,5	202,6	116,4	108,7	161,2	162,1	204,0	130,7	44,6
PASO EL [28040350]	7,1	26,3	58,2	122,1	173,9	126,2	90,6	140,1	164,7	208,0	176,3	34,3
PROYECTOS LOS [29060250]	0,0	0,8	5,5	62,7	130,7	116,9	87,2	141,4	168,9	219,5	87,3	26,5
PTO GIRALDO [29040300]	2,3	4,3	28,7	76,8	122,8	115,6	100,6	120,5	136,7	141,5	107,5	27,1
REPELON [29035070]	4,4	6,2	22,3	49,3	118,7	103,7	89,6	104,7	108,1	168,7	119,8	30,2
SAN ANGEL [28030220]	3,3	5,1	35,9	86,4	154,3	99,3	70,8	116,1	140,0	169,1	100,7	21,8
SAN BENITO [28020410]	11,0	19,0	41,6	129,3	154,8	107,9	93,9	134,7	149,7	198,6	162,5	39,9
SAN CAYETANO [29030200]	22,9	35,8	59,3	118,5	164,7	165,7	132,9	166,8	150,6	203,1	150,1	75,3
SAN GABRIEL [28020420]	9,3	19,4	108,1	163,3	160,4	131,9	122,6	136,3	153,3	146,2	142,6	49,1
SAN ISIDRO [29060280]	1,8	0,2	3,3	31,5	113,9	89,5	81,5	103,2	141,5	190,8	84,1	18,2
SAN LORENZO [15015060]	14,3	22,6	45,3	162,9	285,5	316,3	325,7	385,5	392,2	372,2	263,0	118,6
SAN PABLO [29060070]	22,8	27,5	88,6	205,7	333,0	257,5	222,9	293,2	314,1	376,2	198,4	87,6
SAN PEDRITO ALERTA [29040310]	9,7	9,0	40,4	87,0	147,8	130,5	124,6	149,4	124,5	158,8	106,4	33,9
SAN RAFAEL [29060540]	1,6	1,6	19,8	78,1	157,8	134,2	115,7	175,2	168,9	178,8	105,6	25,8

NOMBRE	PP_ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
SAN SEBASTIAN DE R [29060090]	13,3	35,2	68,1	134,5	187,2	123,9	122,3	168,0	171,9	178,5	97,9	37,2
SEVILLANO [29060310]	0,4	0,2	4,7	27,0	93,2	119,2	85,0	148,2	178,5	241,9	133,3	26,7
STA ANA [29030370]	0,4	1,6	6,3	35,2	113,0	119,4	82,3	112,6	126,7	198,3	125,4	45,4
STA ROSA DE LIMA [29060100]	13,2	25,9	77,0	134,2	204,4	150,6	135,2	161,0	180,3	282,0	184,9	68,5
TASAJERA [29060120]	1,1	0,7	4,1	13,2	41,9	31,5	31,1	81,0	91,6	90,0	35,2	8,5
TIOGOLLO [29050010]	14,2	17,3	62,7	123,7	146,2	146,4	143,6	188,6	177,4	206,2	115,4	39,8
UNION LA [29060240]	2,6	0,0	6,4	47,9	148,3	120,9	110,5	171,7	226,5	292,4	158,1	51,9
VILLA CONCEPCION [28040300]	18,0	35,8	85,2	155,3	169,3	111,0	111,2	153,2	166,8	179,6	148,2	37,7
VILLA MARLENE [28010070]	12,3	16,6	59,4	119,2	182,2	118,9	102,7	168,9	191,1	222,0	148,0	27,3
VISTA NIEVES [15010040]	9,2	14,8	28,3	148,6	299,1	307,3	320,9	376,1	383,6	358,8	218,3	68,2

Tabla 2.5. Variación temporal promedio de la precipitación media mensual para el Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



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:

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

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:

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

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.

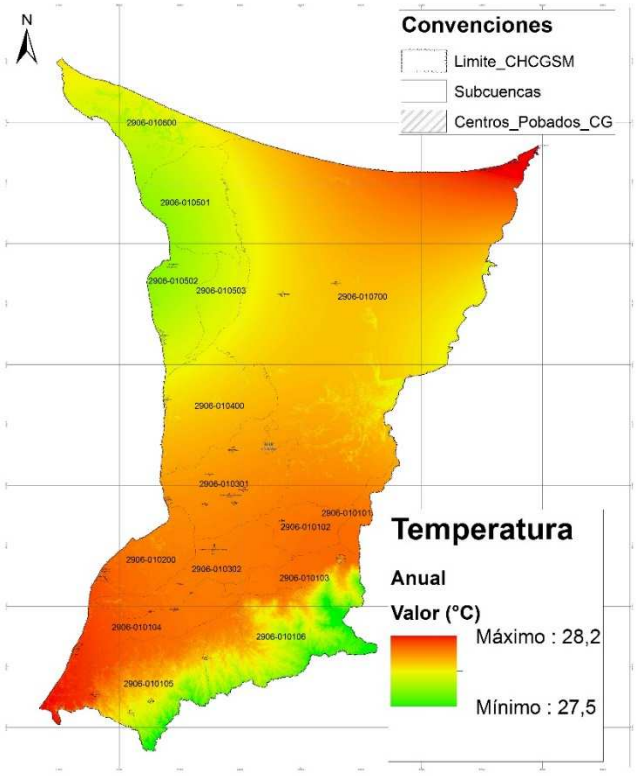
Tabla 2.6. Gradientes altitudinales de temperatura media mensual y anual para la cuenca de del CHCGSM.

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).

El área de la cuenca del complejo de humedales posee una condición de homogeneidad respecto a su condición altitudinal, por lo que la distribución espacial de la temperatura para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, presentada en la Figura 2.12, muestra que la variación de temperaturas en el área de la cuenca es mínima.

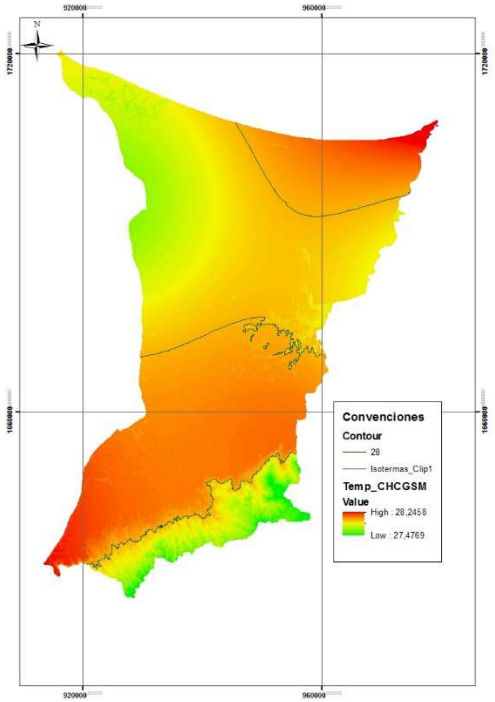
Figura 2.12. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca.



La anterior figura presenta que las variaciones de temperatura entre la zona norte y central de la cuenca y la zona sur, en donde se presentan ligeras elevaciones, es de 1°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 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 27 y 28°C.

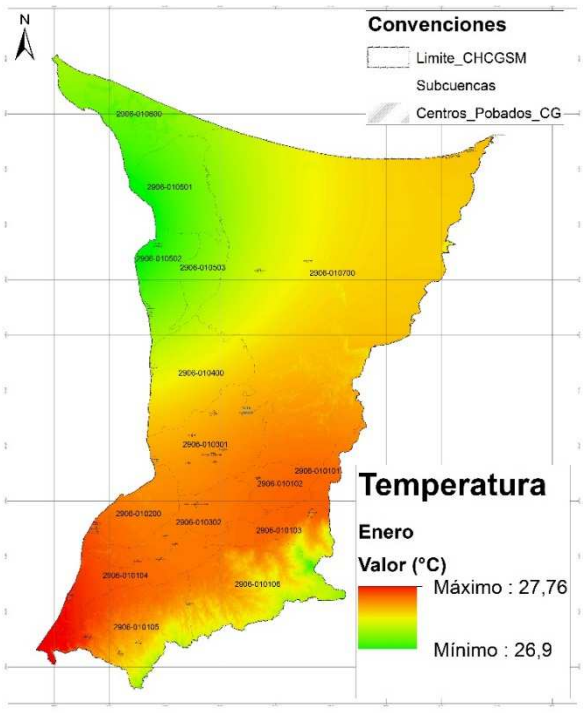
Figura 2.13. Isotermas para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



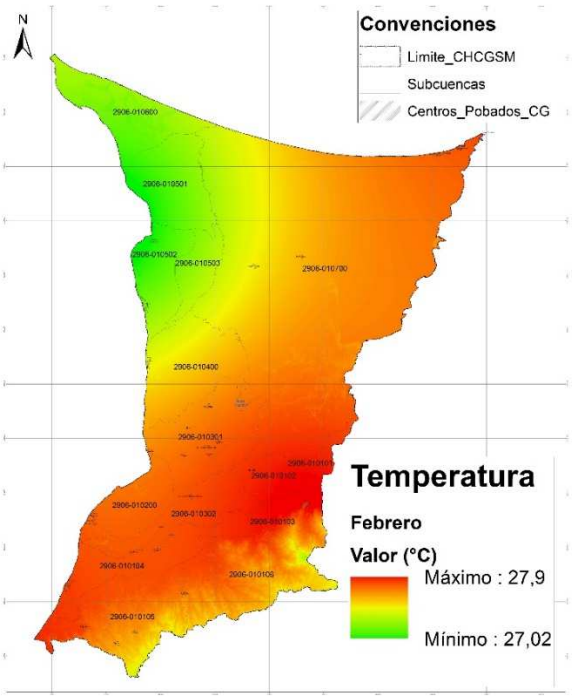
Teniendo en cuenta la información a escala mensual de la temperatura en la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, se presenta a continuación, en la Figura 2.14 la distribución espacial de la temperatura, mes a mes, en la cuenca.

Figura 2.14. Distribución espacial de la temperatura a escala mensual.

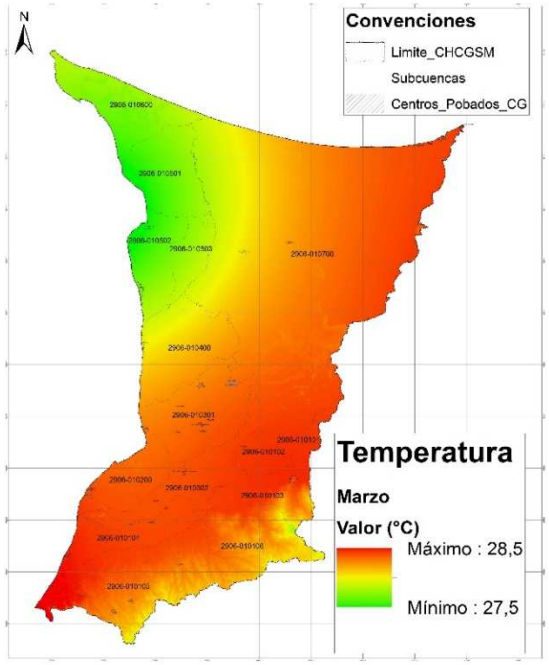
a. Enero



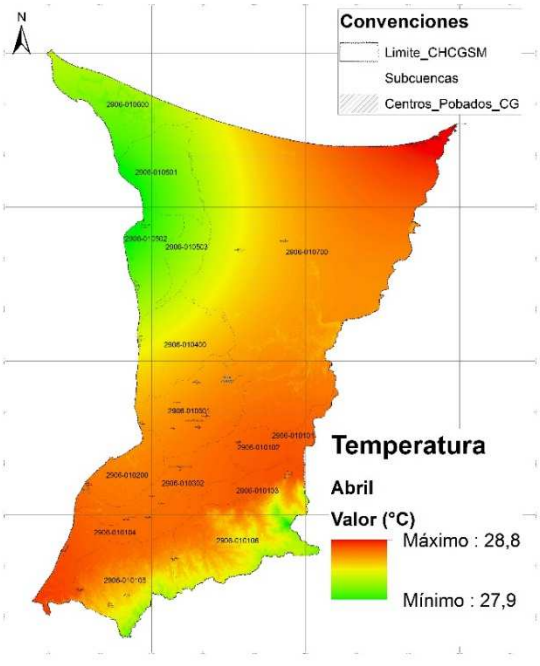
b. Febrero



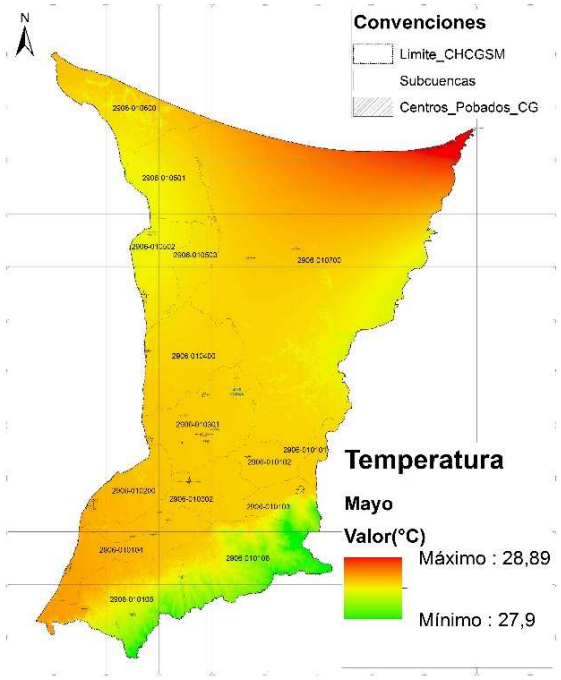
c. Marzo



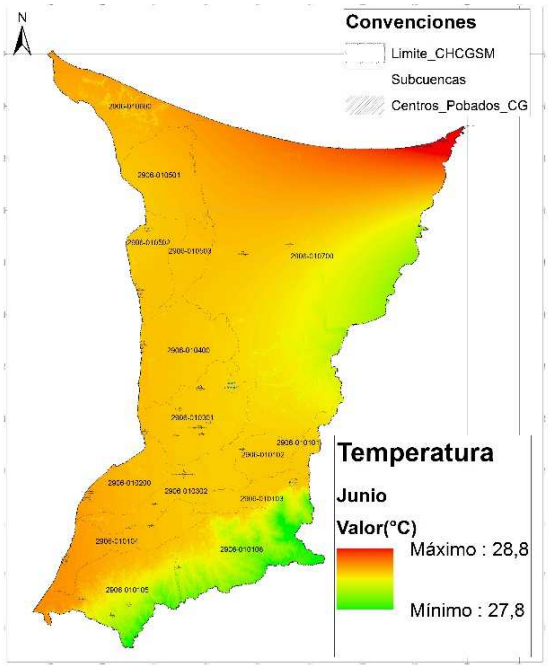
d. Abril



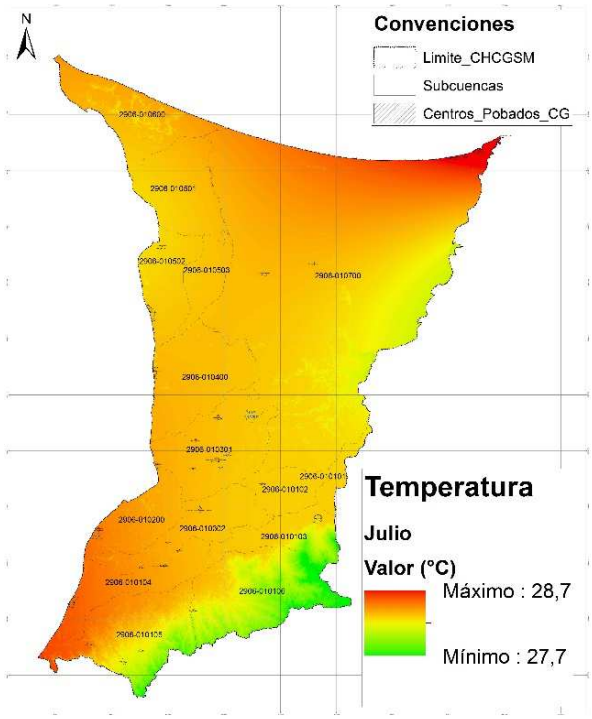
e. Mayo



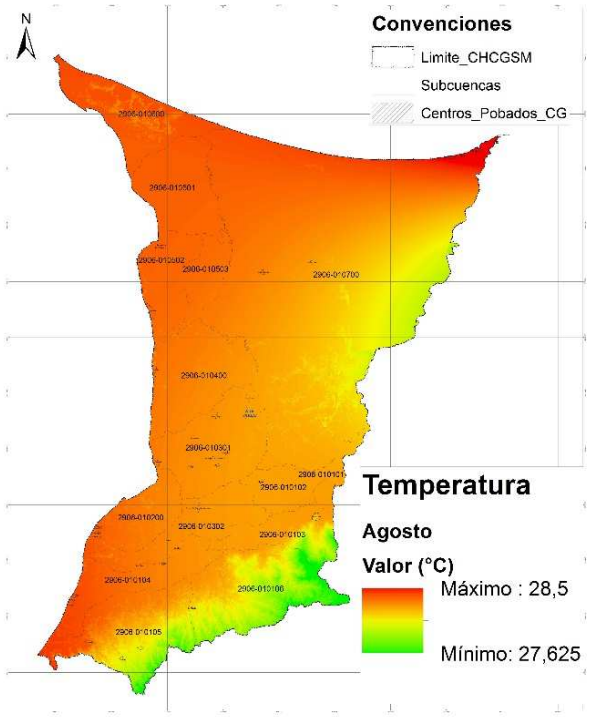
f. Junio



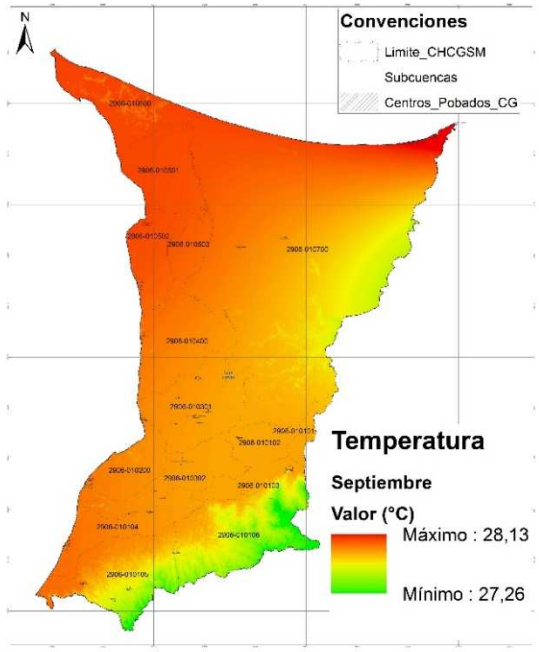
g. Julio



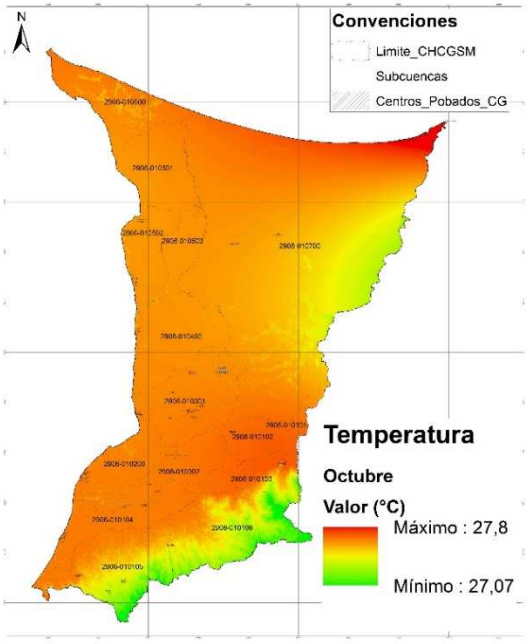
h. Agosto



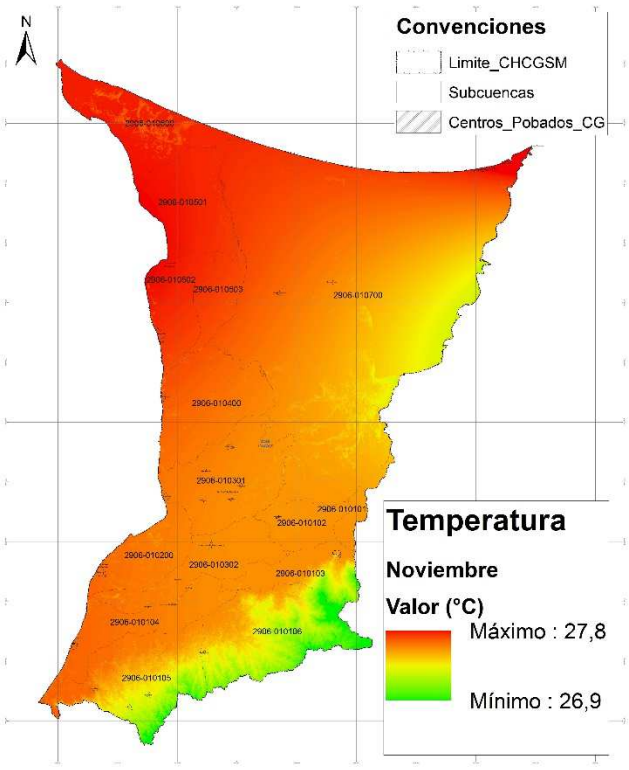
i. Septiembre



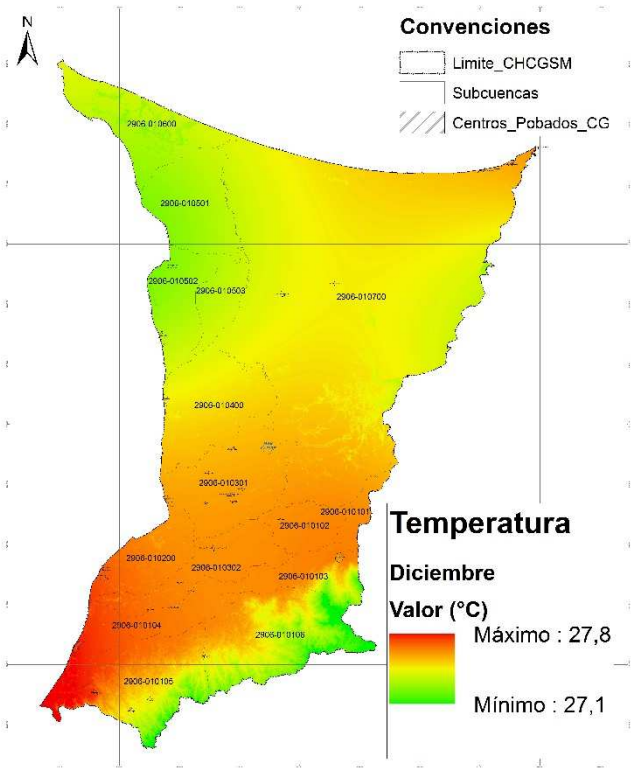
j. Octubre



k. Noviembre



l. Diciembre



En el Anexo 10 y Anexo 11 del presente documento, se adjuntan las salidas cartográficas a nivel mensual y anual de las Isoyetas e isotermas de la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

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 del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 es de 28 °C, teniendo ligeras variaciones durante el año, de no más de 1°C. 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 28°C.

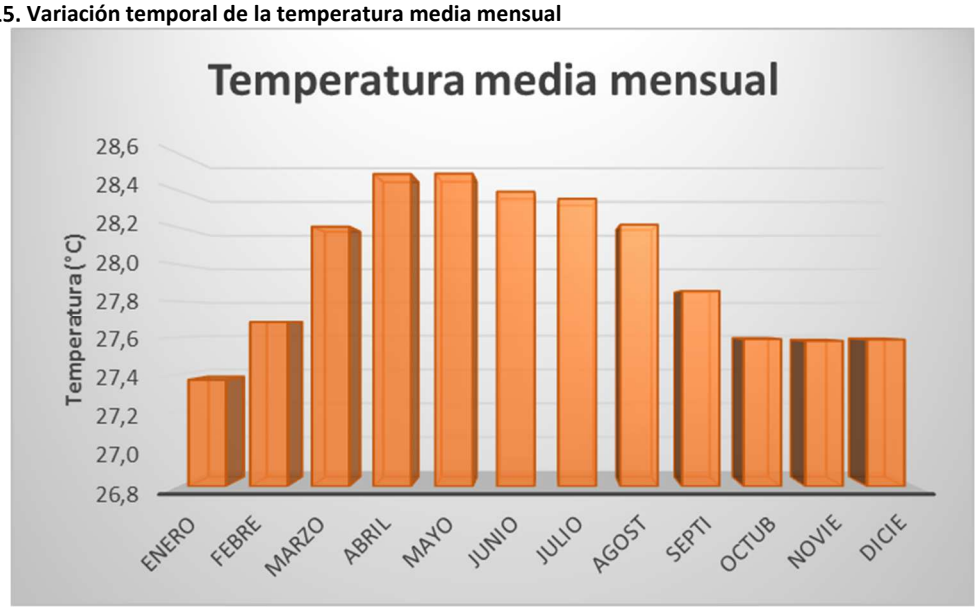
A continuación en la Tabla 2.7 se relacionan las temperaturas medias anuales multianuales de las estaciones meteorológicas con datos disponibles.

Tabla 2.7. Valores medios mensuales multianuales de temperatura (°C) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca

ESTACIÓN	TEMPERATURA (°C)											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPT.	OCTUB.	NOVIEMB.	DICIEMB.
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	27,43	27,92	28,42	28,93	29,13	29,11	28,96	28,64	28,31	27,98	27,89	27,57
15015060 SAN LORENZO	12,41	12,90	13,32	13,83	14,18	14,36	14,24	14,05	13,62	13,50	13,34	12,74
29035070 REPELON	28,23	28,22	28,88	28,89	28,65	28,60	28,74	28,46	27,98	27,64	27,66	28,11
29045020 APTO E CORTISSOZ	26,74	26,82	27,26	27,83	28,25	28,23	28,12	28,11	27,79	27,43	27,53	27,20
29065020 PADELMA	27,41	27,55	28,36	28,31	28,15	27,90	28,13	27,79	27,43	27,21	27,19	27,45
29065030 PRADO SEVILLA	27,06	27,71	28,37	28,39	27,97	27,52	27,47	27,45	27,00	26,83	26,91	26,97
29065080 MEDIA LUNA	27,55	27,94	28,40	28,60	28,44	28,35	28,29	28,16	27,80	27,62	27,53	27,65

En la Figura 2.15 se presenta la variación temporal de la temperatura media mensual para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 2.15. 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, contando con el período de registro válido según las condiciones.

2.3.4.2.2. *Distribución temporal.*

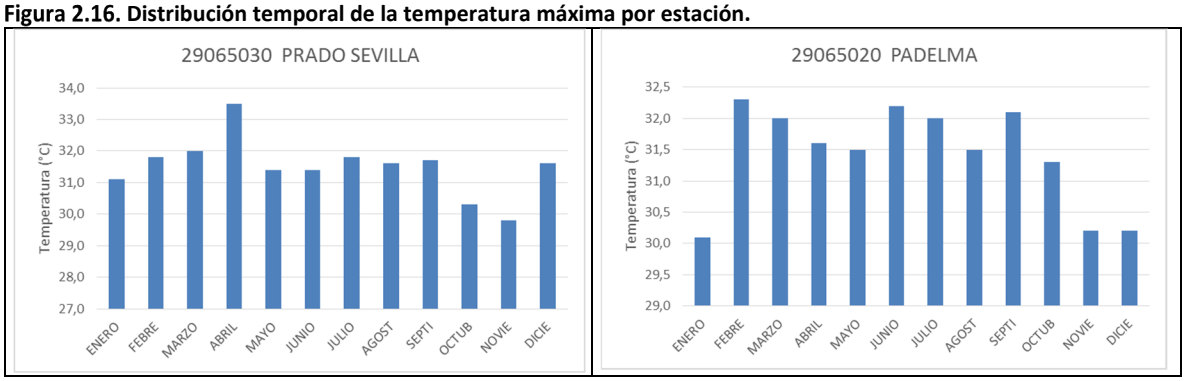
La distribución temporal presenta un régimen monomodal poco definido. En la Tabla 2.1, se presentan los valores máximos mensuales y el valor máximo anual y en la Tabla 2.3 la distribución temporal.

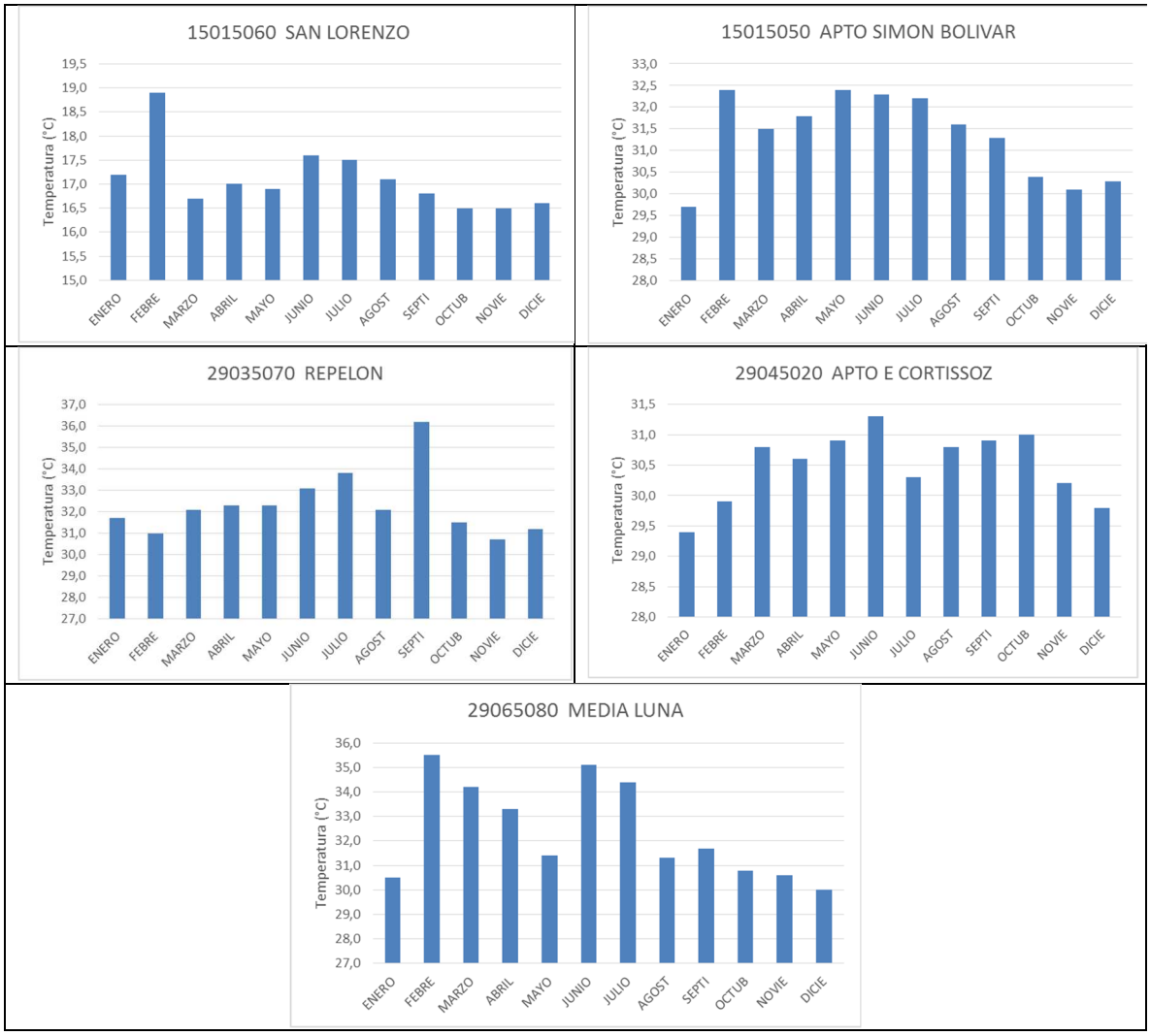
Tabla 2.1. Valores máximos de temperatura

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
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
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
29035070 REPELON	31,7	31,0	32,1	32,3	32,3	33,1	33,8	32,1	36,2	31,5	30,7	31,2	32,3
29045020 APTO E CORTISSOZ	29,4	29,9	30,8	30,6	30,9	31,3	30,3	30,8	30,9	31,0	30,2	29,4	29,9
29065080 MEDIA LUNA	30,5	35,5	34,2	33,3	31,4	35,1	34,4	31,3	31,7	30,8	30,6	30,0	30,5

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 2.16 se presenta la distribución temporal de la temperatura máxima por cada una de las estaciones de registro.

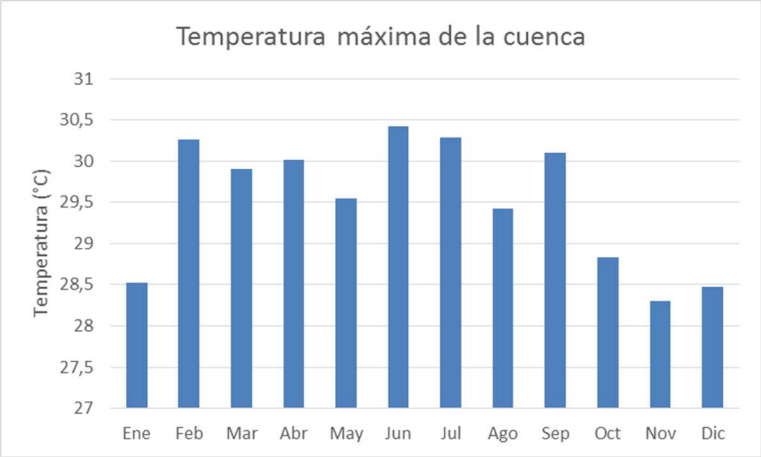
Figura 2.16. Distribución temporal de la temperatura máxima por estación.





Teniendo en cuenta la anterior información y analizando las tendencias para toda el área de la cuenca, se presenta en la Figura 2.17 la distribución temporal de la temperatura máxima en la cuenca de, registrando las mayores temperaturas (30.5°C) en los meses de febrero, junio y julio.

Figura 2.17. 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 minima 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 2.18 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.

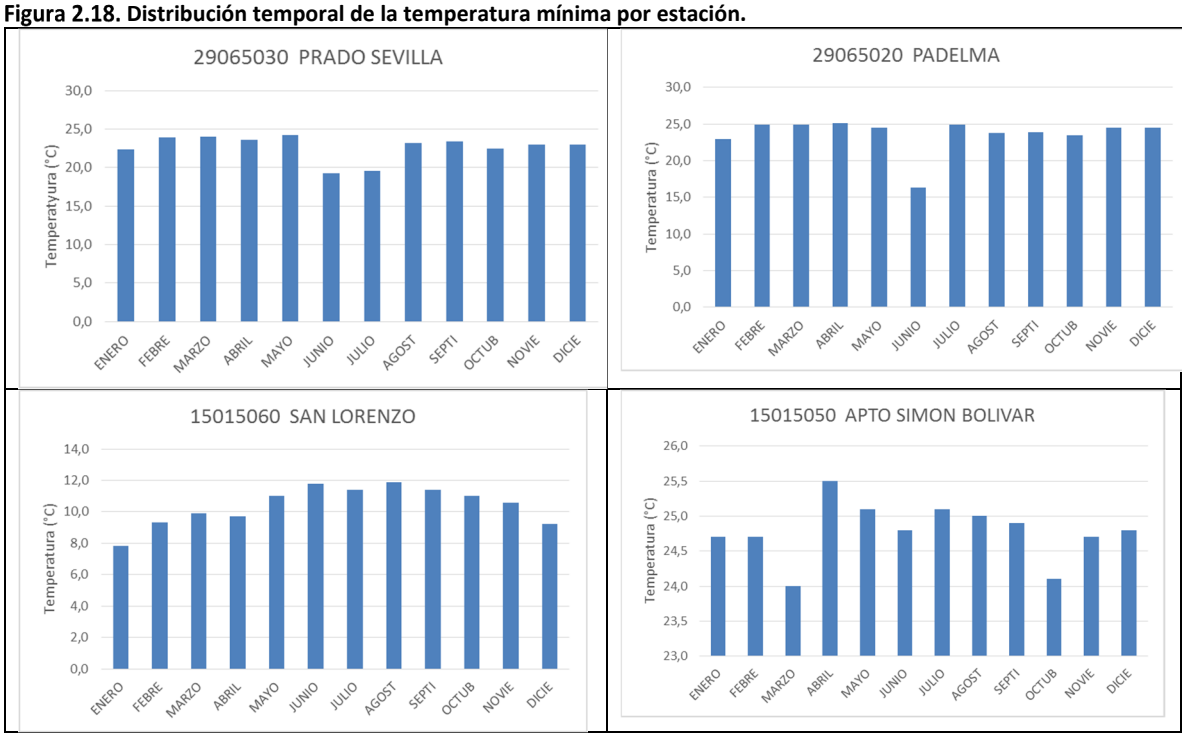
Tabla 2.2. Valores mínimos de temperatura.

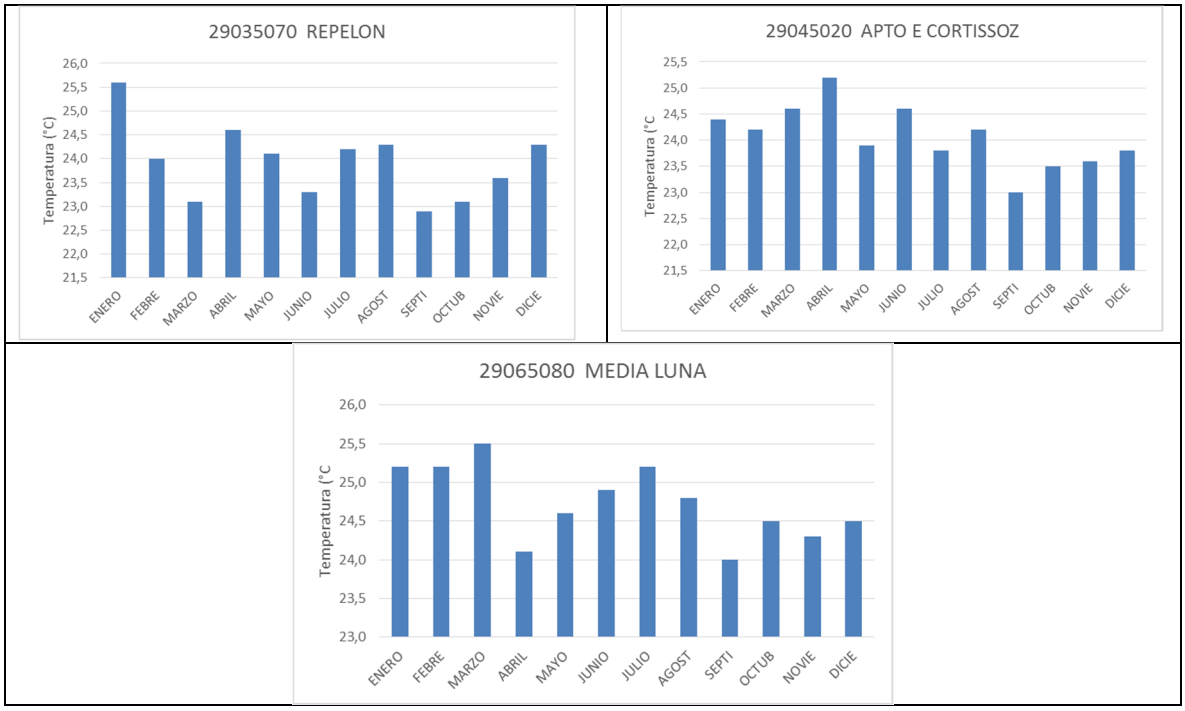
Nombre estación	Temperatura mínima (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PRADO SEVILLA 29065030	22,4	23,9	24	23,6	24,2	19,3	19,6	23,2	23,4	22,5	23	23	22,68
PADELMA 29065020	23	24,9	24,9	25,1	24,5	16,3	24,9	23,8	23,9	23,5	24,5	24,5	23,65

Nombre estación	Temperatura mínima (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
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
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
29035070 REPELON	25,6	24	23,1	24,6	24,1	23,3	24,2	24,3	22,9	23,1	23,6	24,3	
29045020 APTO E CORTISSOZ	24,4	24,2	24,6	25,2	23,9	24,6	23,8	24,2	23	23,5	23,6	23,8	
29065080 MEDIA LUNA	25,2	25,2	25,5	24,1	24,6	24,9	25,2	24,8	24	24,5	24,3	24,5	

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 2.18 se presenta la distribución temporal de la temperatura mínima por cada una de las estaciones de registro.

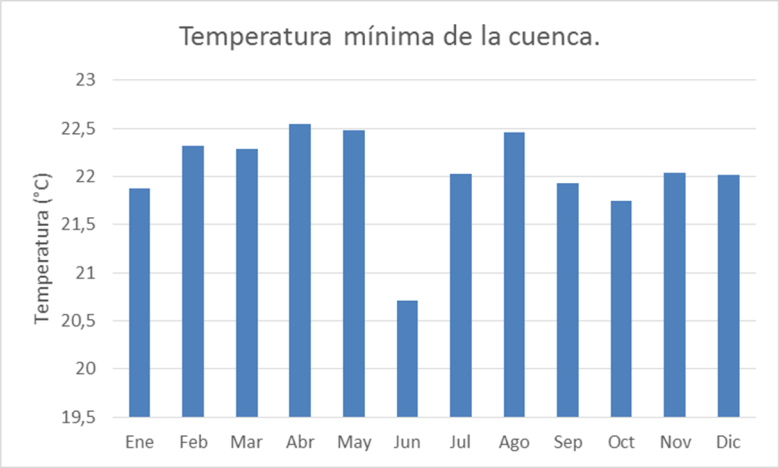
Figura 2.18. Distribución temporal de la temperatura mínima por estación.





Teniendo en cuenta la anterior información y analizando las tendencias para toda el área de la cuenca, se presenta en la Figura 2.19 la distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca, registrando las menores temperaturas (18°C) en el mes de junio.

Figura 2.19. Distribución temporal de la temperatura mínima en la cuenca.



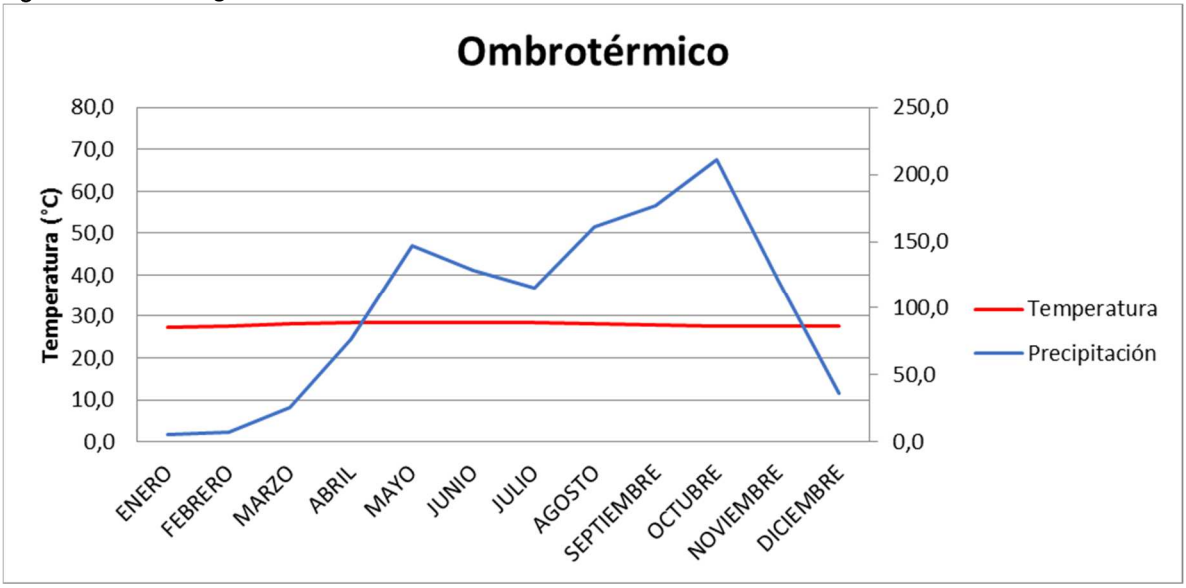
2.3.5. Relación Precipitación-Temperatura: Diagrama Ombrotérmico.

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 2.20, se dan en la cuenca desde el mes de diciembre hasta el mes de Marzo.

Figura 2.20. Climodiagrama Ombrotérmico de Gaussen.



Esta información es 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 del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, el brillo solar presenta un valor promedio mensual multianual en el orden de las 2241.9 horas al año, mientras que la insolación media mensual en promedio es de 186.8 horas en promedio, con comportamientos muy homogéneos durante el mes, debidos a sus condiciones estables de temperatura. Sin embargo, los períodos donde se presentan mayores niveles de brillo solar se relacionan directamente con los períodos de menores precipitaciones en la cuenca.

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

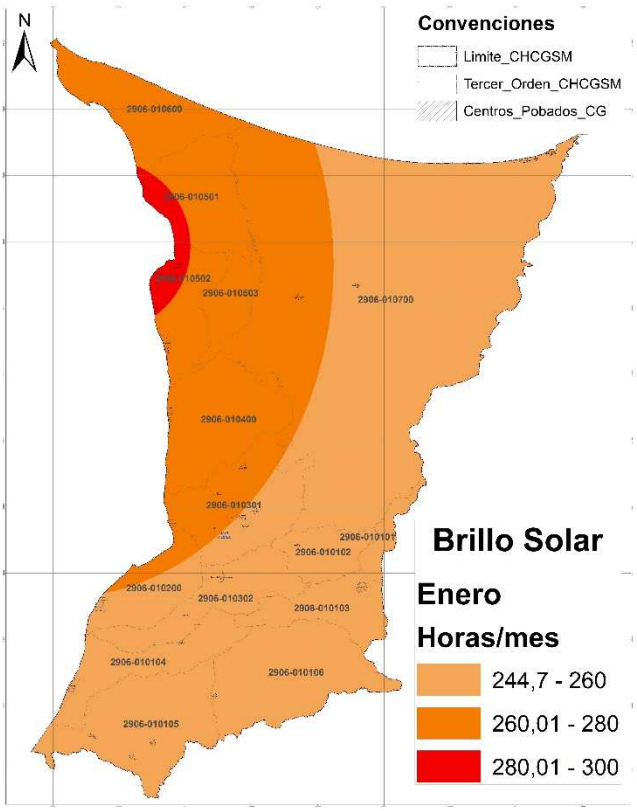
ESTACIÓN	BRILLO SOLAR (HORAS).											
	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	286,7	249,4	249,3	227,5	218,8	227,7	232,6	219,4	200,8	205,7	220,7	269,5
15015060 SAN LORENZO	96,5	83,6	88,3	77,8	78,9	85,5	103,7	96,3	72,8	55,5	52,6	76,6
29035070 REPELON	258,0	226,9	218,5	181,3	161,5	171,5	201,9	191,1	151,4	147,4	169,9	218,1

ESTACIÓN	BRILLO SOLAR (HORAS).											
	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
29045020 APTO E CORTISSOZ	284,3	248,6	242,7	209,2	190,7	201,0	220,2	207,2	169,6	168,3	187,1	246,8
29065020 PADELMA	263,7	226,1	210,0	189,7	181,4	183,2	195,4	184,1	164,6	182,5	191,4	234,6
29065030 PRADO SEVILLA	253,1	233,1	213,5	194,1	183,5	181,3	197,3	192,0	166,8	179,0	191,4	210,0

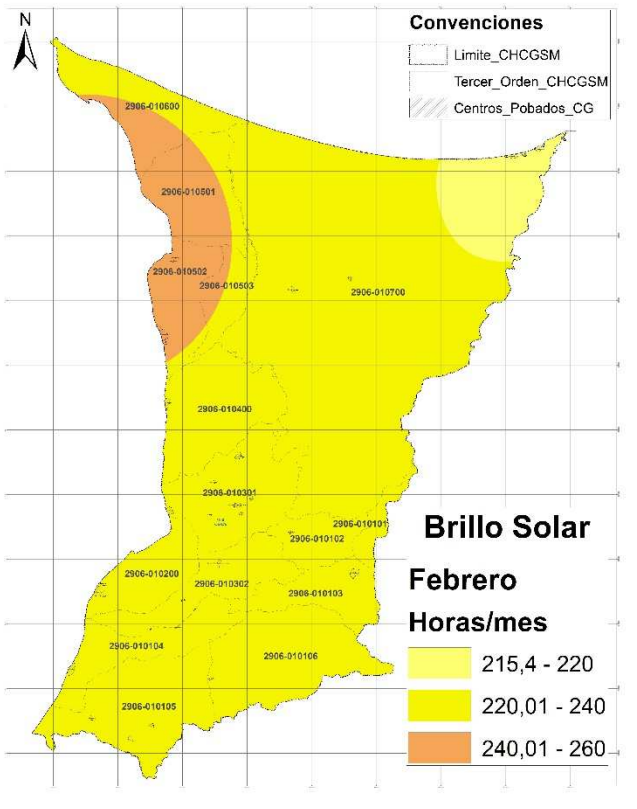
A continuación, en la Figura 2.21 se presenta la distribución espacial del brillo solar, mes a mes, según la información disponible.

Figura 2.21. Distribución espacial del brillo solar a nivel mensual.

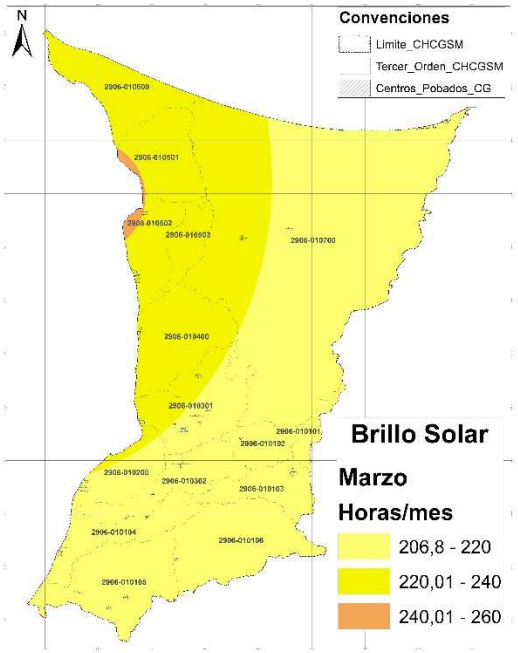
a) Enero



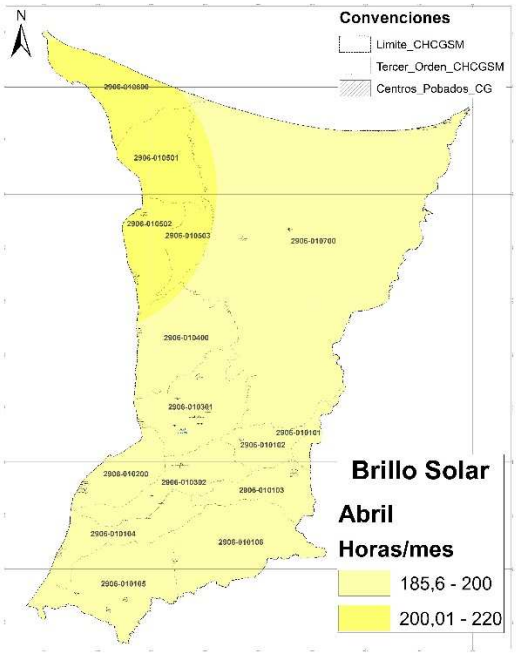
b) Febrero



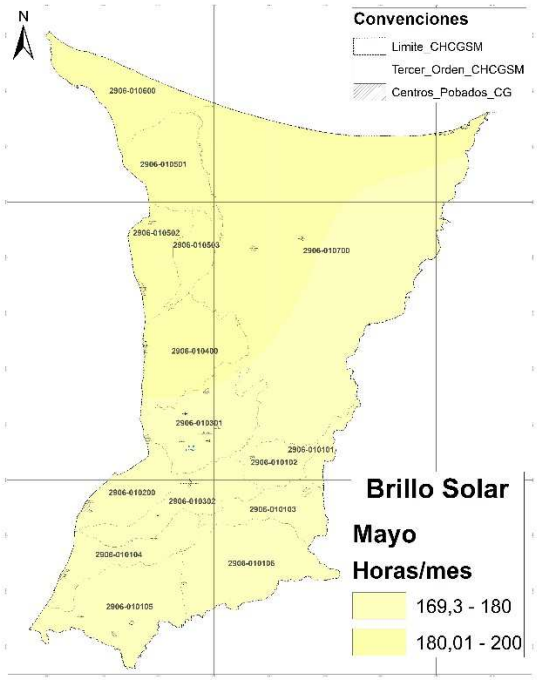
c) Marzo



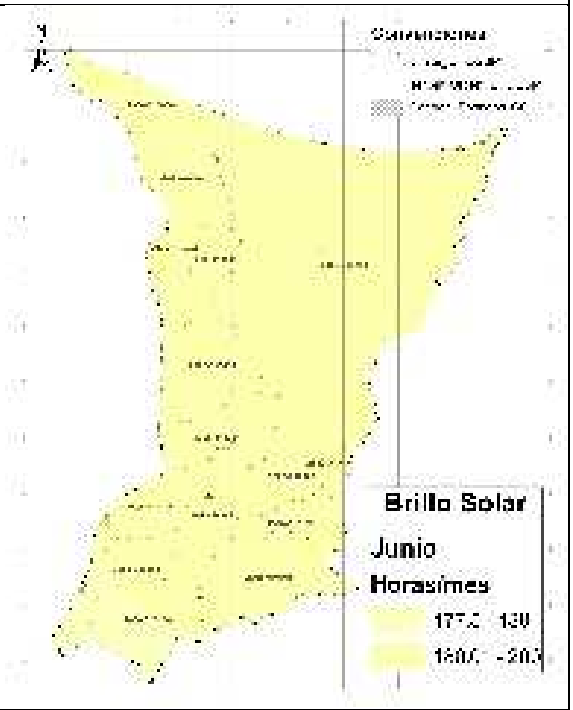
d) Abril



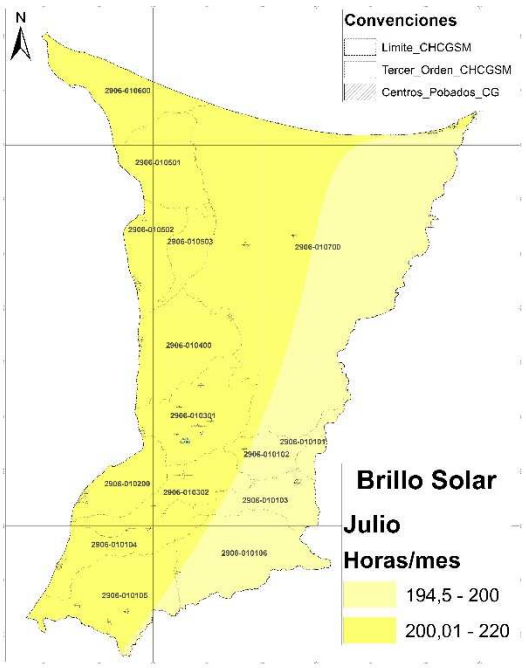
e) Mayo



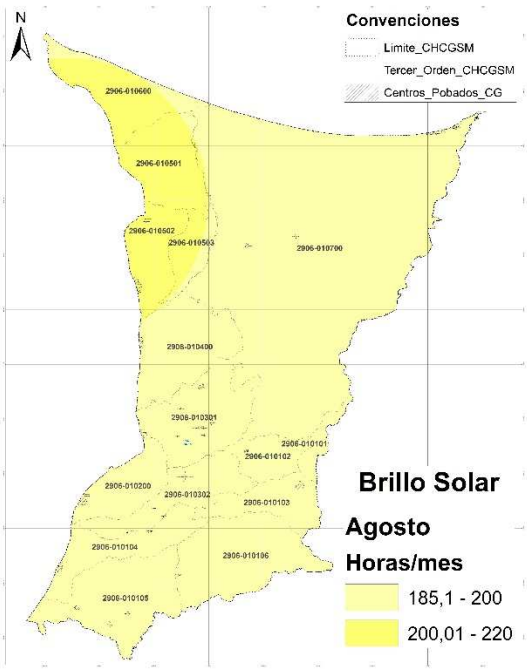
f) Junio



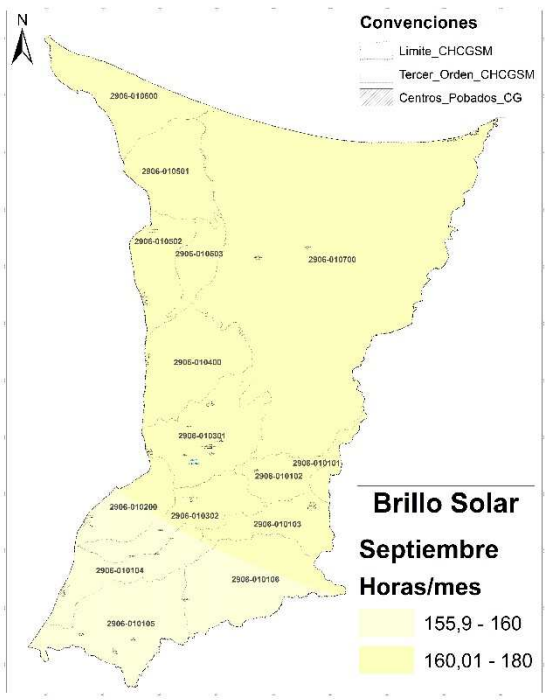
g) Julio



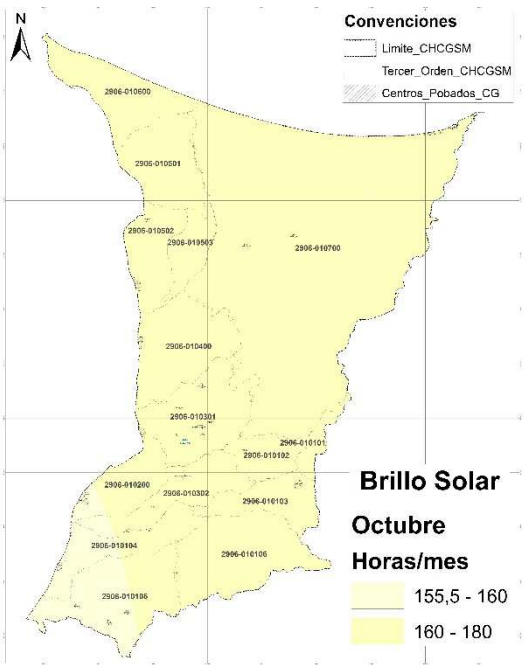
h) Agosto



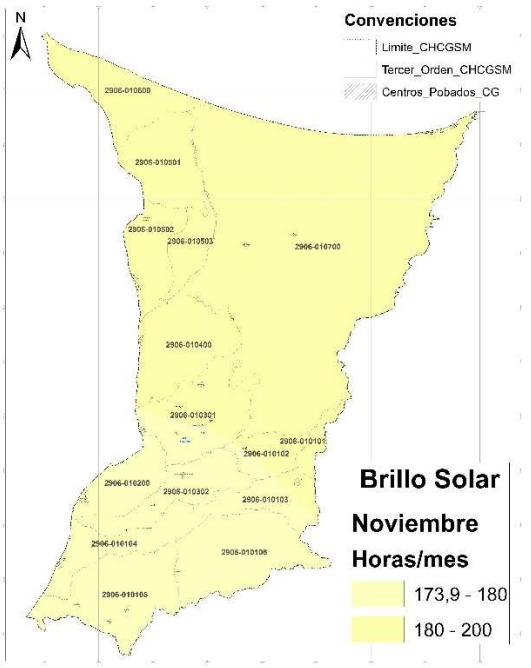
i) Septiembre



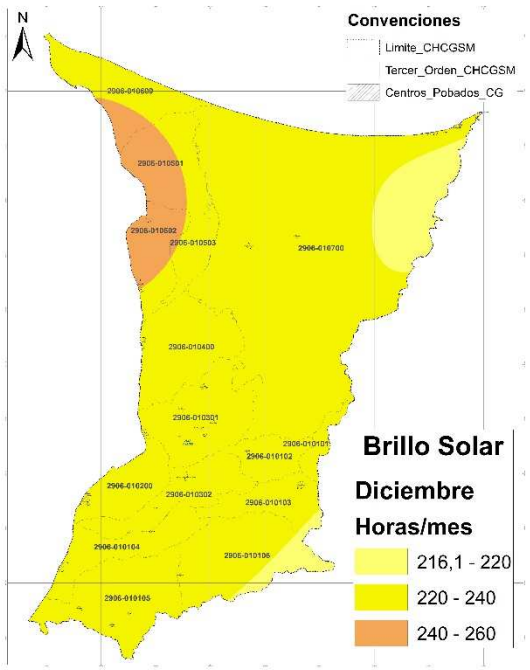
j) Octubre



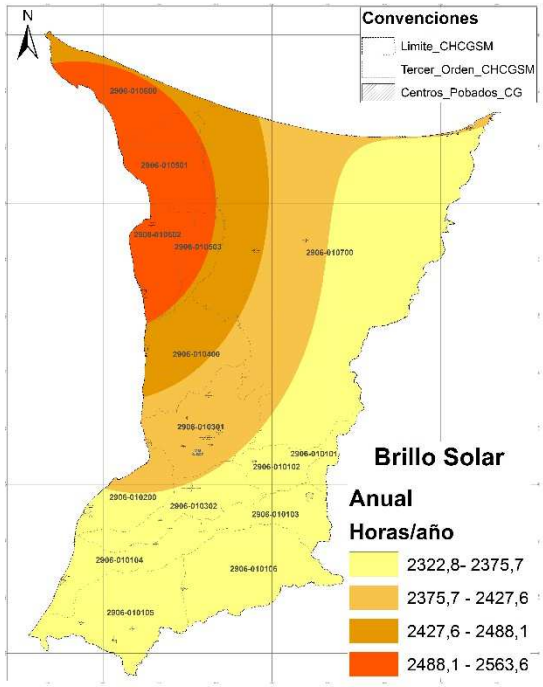
k) Noviembre



l) Diciembre

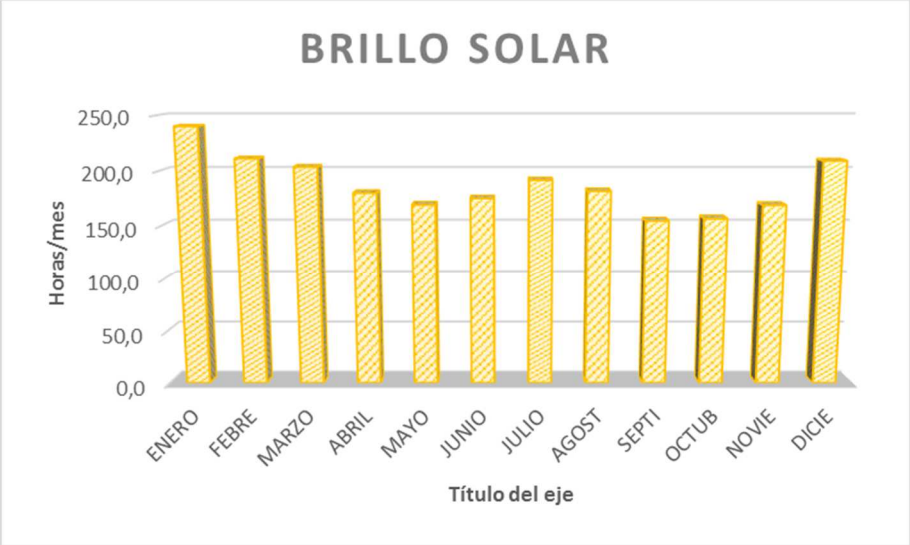


Anual



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 216.2 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 172 horas.

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



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.

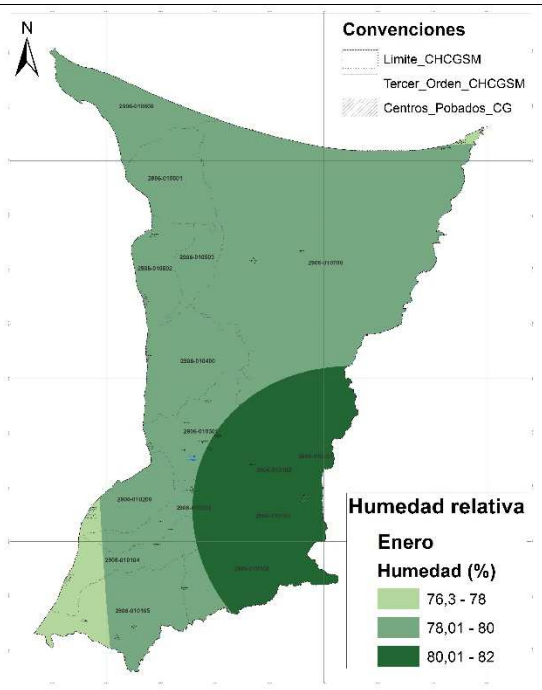
Tabla 2.4. Valores medios mensuales multianuales de humedad relativa en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca

ESTACIÓN	HUMEDAD RELATIVA (%)											
	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
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
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
29035070 REPELON	71,3	70,3	69,7	72,6	78,2	78,3	76,9	78,8	80,5	82,4	80,8	75,4
29045020 APTO E CORTISSOZ	78,4	77,5	77,3	78,6	80,8	81,6	80,8	81,6	83,6	85,4	83,8	80,6
29065020 PADELMA	80,1	79,1	78,5	79,4	81,8	81,9	81,6	82,1	82,8	84,0	83,8	82,1
29065030 PRADO SEVILLA	80,0	78,0	77,6	79,0	82,1	83,3	82,8	82,7	83,7	84,5	84,0	82,2
29065080 MEDIA LUNA	81,1	79,0	79,1	79,8	81,8	82,3	82,2	82,3	83,3	84,0	84,3	83,0

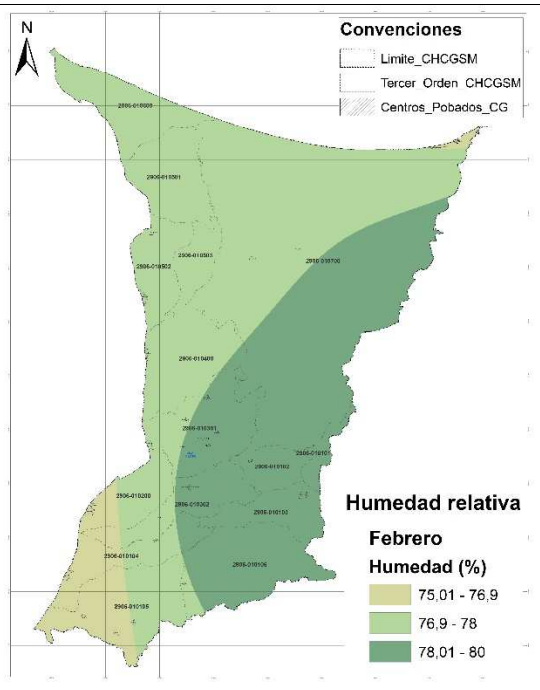
Con la anterior información, se espacialó la distribución espacial de la humedad relativa en el área de la cuenca a nivel medio mensual multianual, como se presenta en la Figura 2.23

Figura 2.23. Distribución espacial de la humedad relativa media mensual.

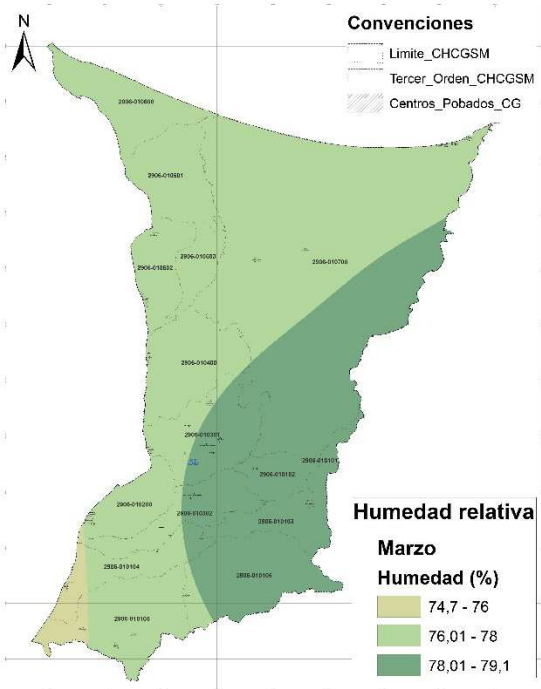
a) Enero



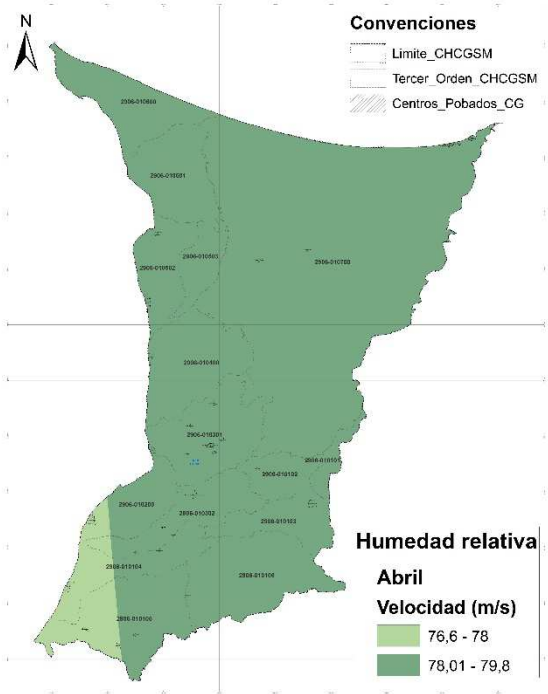
b) Febrero



c) Marzo



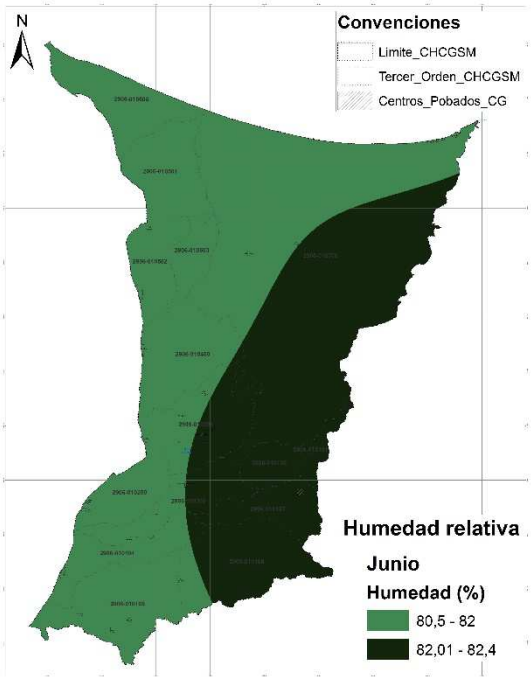
d) Abril



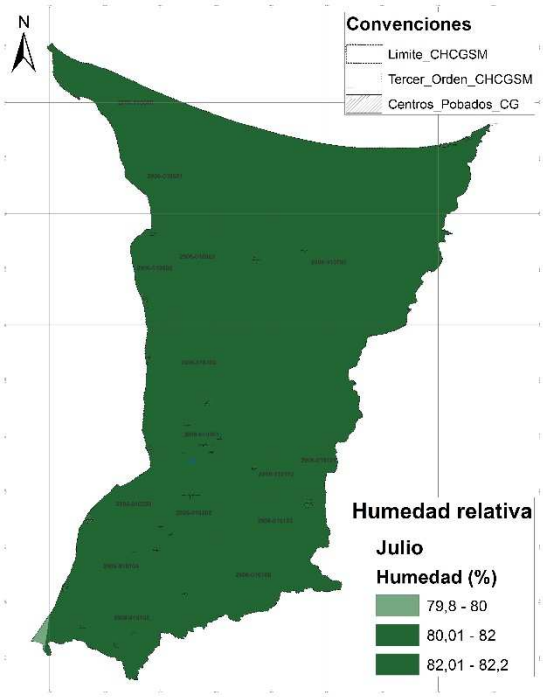
e) Mayo



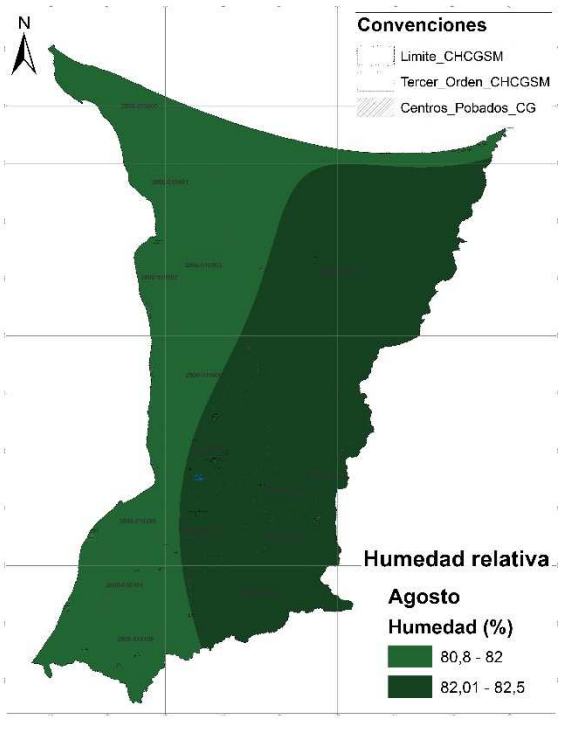
f) Junio



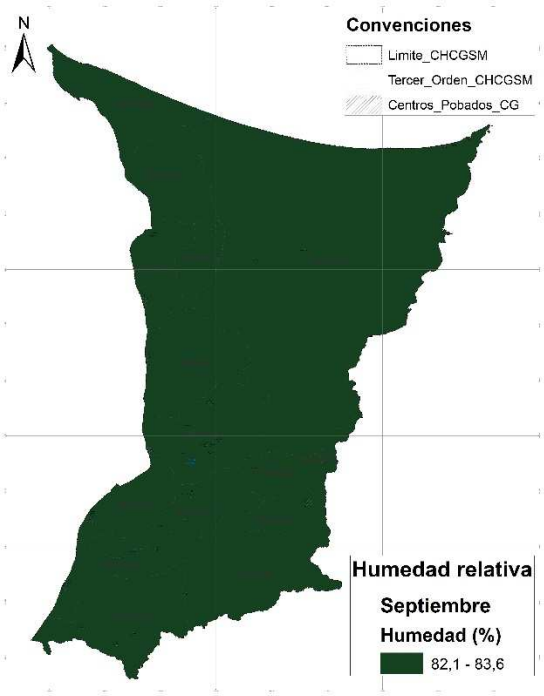
g) Julio



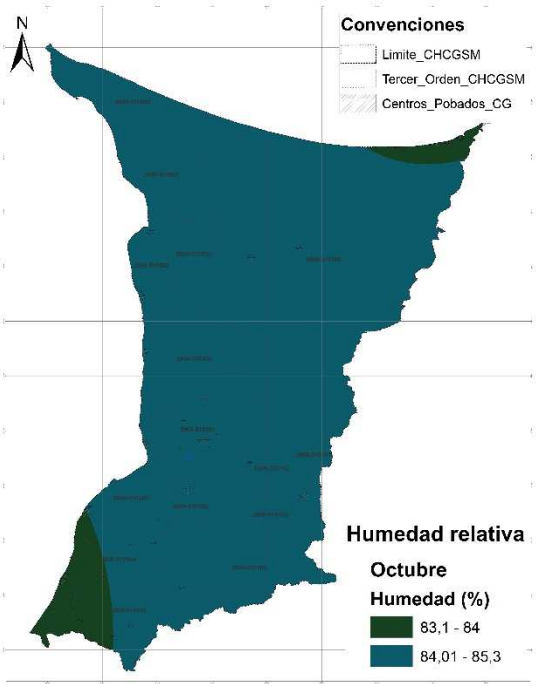
h) Agosto



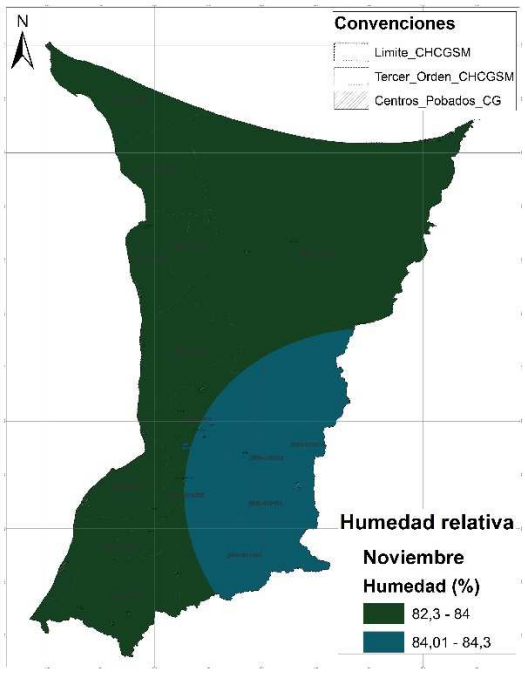
i) Septiembre



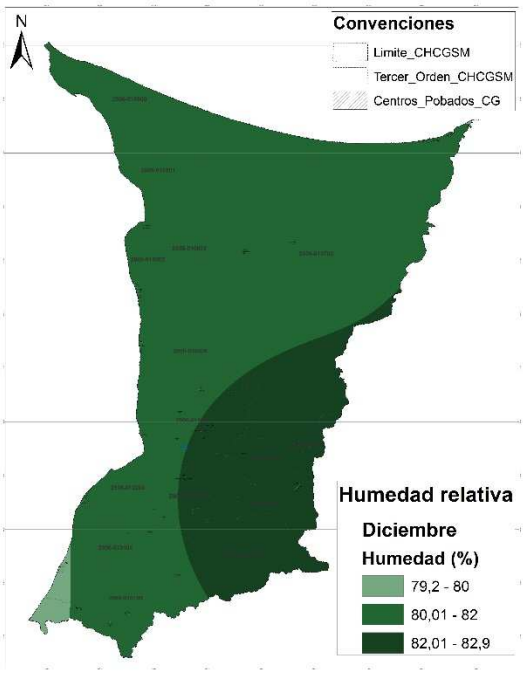
j) Octubre



k) Noviembre

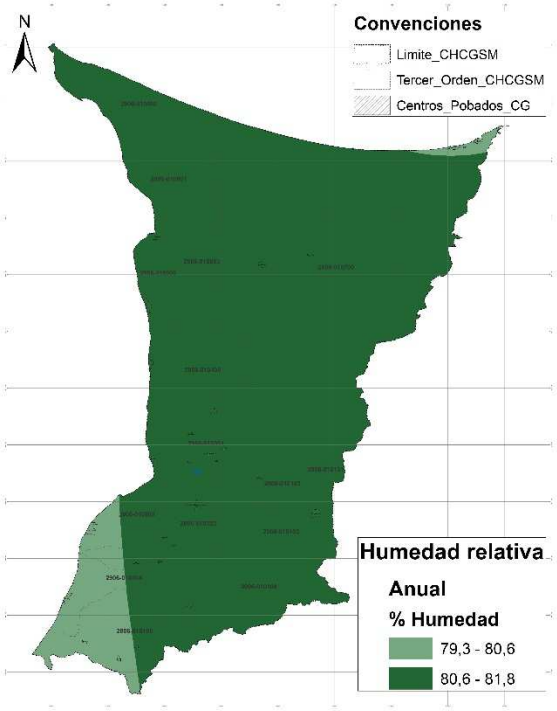


l) Diciembre



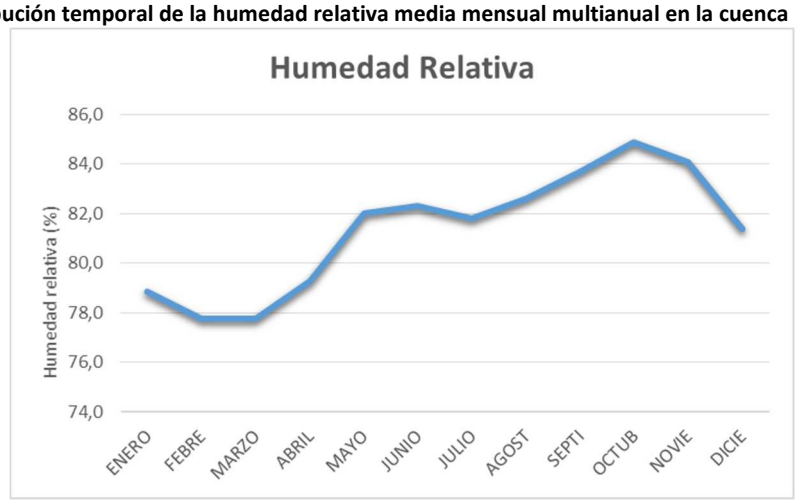
Con la anterior información, se generó la espacialización de la humedad relativa media anual para la cuenca, presentada en la Figura 2.24.

Figura 2.24. Distribución espacial de la humedad relativa media anual.



En la Figura 2.25 se presenta la distribución temporal de la humedad relativa en el área de la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

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 Mayo a Noviembre, con un valor promedio de 83 %, siendo Octubre el mes donde se presenta el valor máximo, con un promedio de 84.9%, 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 78.1%, 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 109 mm a 164 mm; siendo marzo el mes con mayor nivel de evaporación, con un valor promedio del orden de 164.5 mm mensuales. Los períodos con menor evaporación son de Septiembre a Diciembre, con un valor promedio de 119.9 mm. La evaporación anual en el área de influencia tiene un promedio de 1651.3 mm y en promedio la evaporación en el área es del orden de 137 mm mensuales multianuales, como se observa en la Tabla 2.5 y en la Figura 2.28.

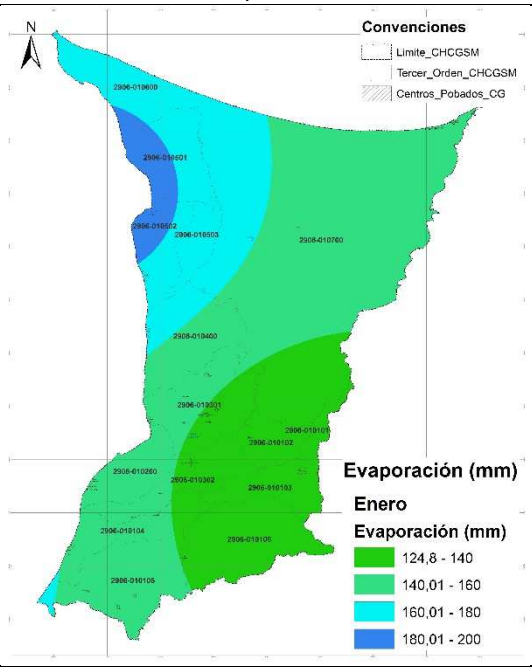
Tabla 2.5. Valores totales mensuales multianuales de evaporación (mm) en las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca.

ESTACIÓN	Evaporación (mm).											
	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	174,8	181,3	208,8	187,4	174,0	163,1	165,6	166,2	156,4	144,9	132,3	152,9
15015060 SAN LORENZO	49,8	45,7	52,7	53,7	59,1	62,3	70,2	65,6	62,3	55,4	46,5	49,8
29035070 REPELON	185,9	209,1	210,0	189,5	174,7	158,1	182,6	173,9	145,8	133,0	128,9	158,6
29045020 APTO E CORTISSOZ	187,9	188,5	217,2	202,1	177,5	164,1	176,3	175,6	149,0	128,5	132,1	159,9
29065030 PRADO SEVILLA	147,7	149,7	169,7	161,7	151,2	137,6	142,6	141,8	135,8	131,9	122,2	128,8
29065080 MEDIA LUNA	124,8	115,4	128,8	110,6	121,3	113,0	138,4	122,5	103,7	131,4	97,1	90,9

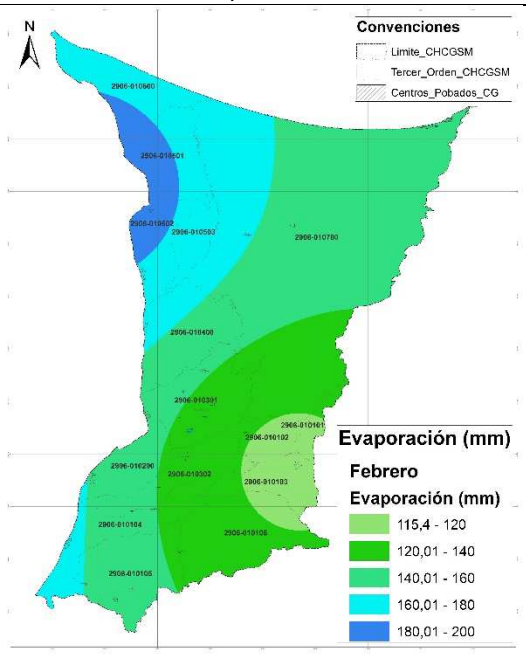
Con la información disponible, se espacializó la evaporación media mensual en el área de la cuenca, como se presenta en la Figura 2.26.

Figura 2.26. Distribución espacial de la evaporación media mensual en la cuenca.

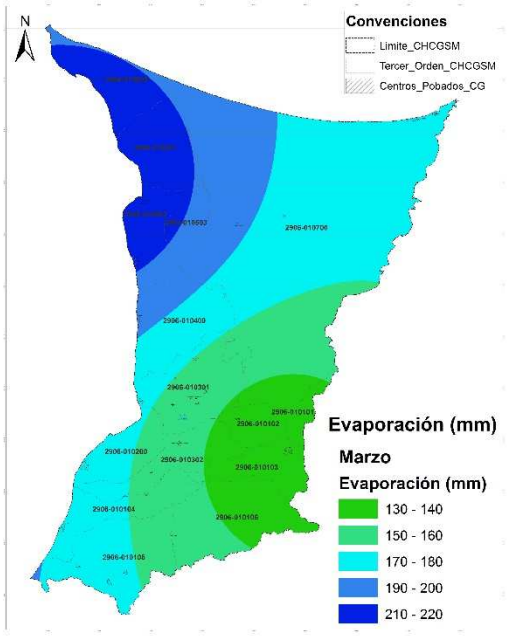
a) Enero



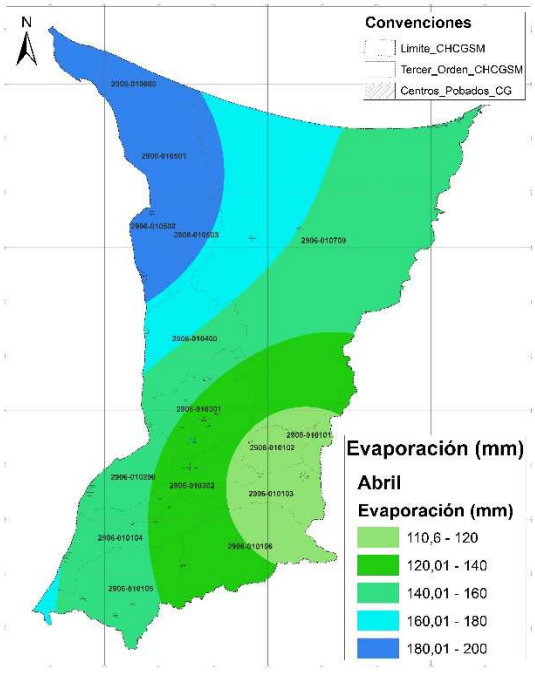
b) Febrero



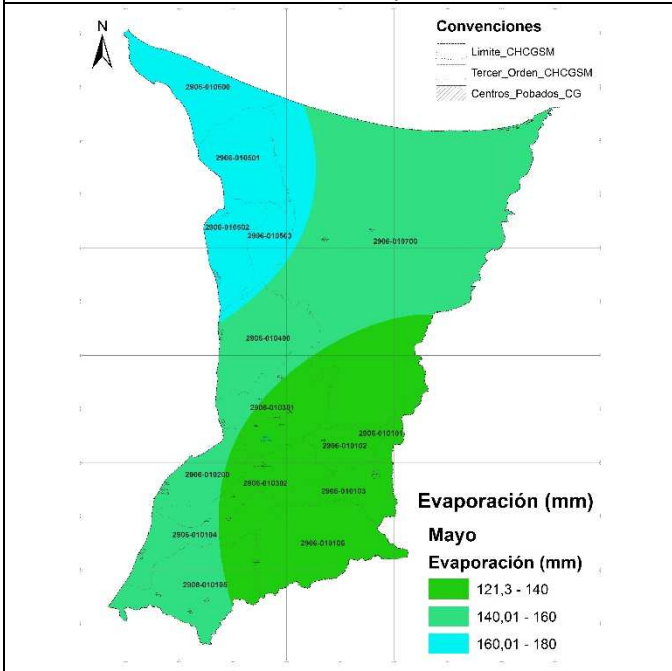
c) Marzo



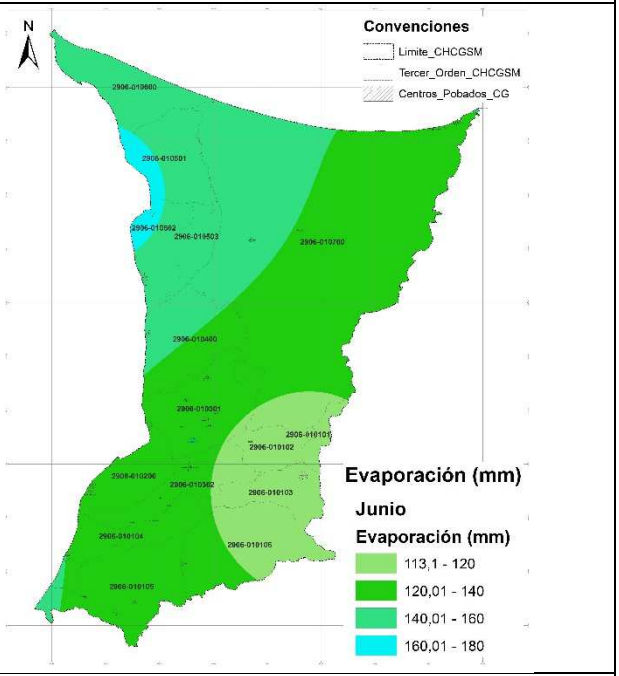
d) Abril



e) Mayo



f) Junio



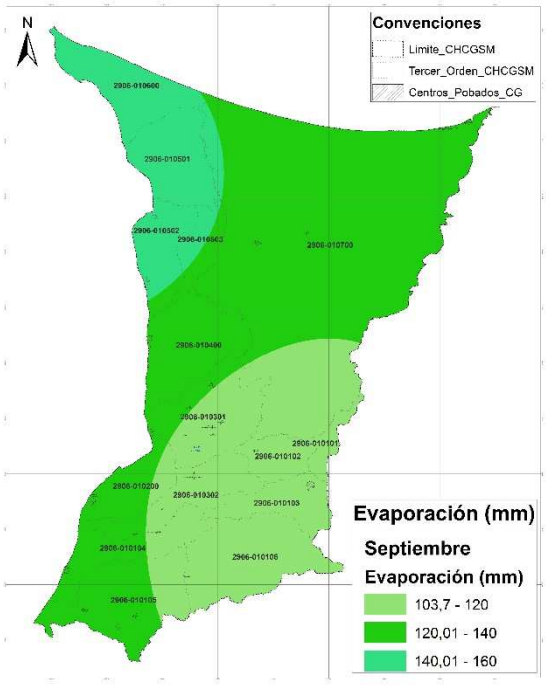
g) Julio



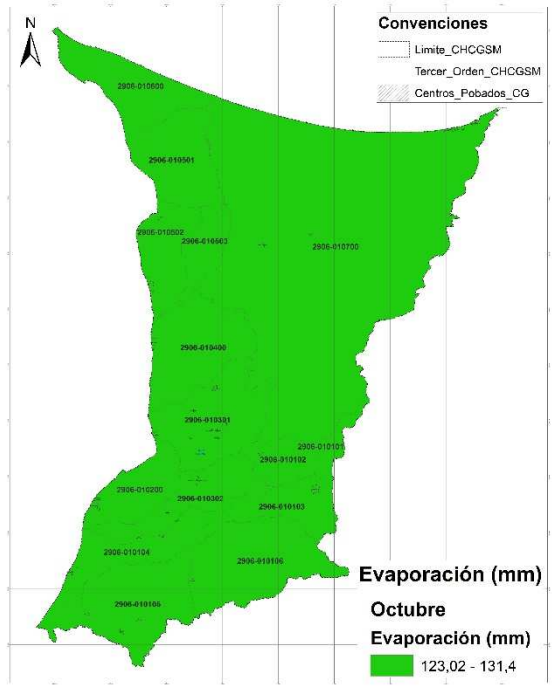
h) Agosto



i) Septiembre



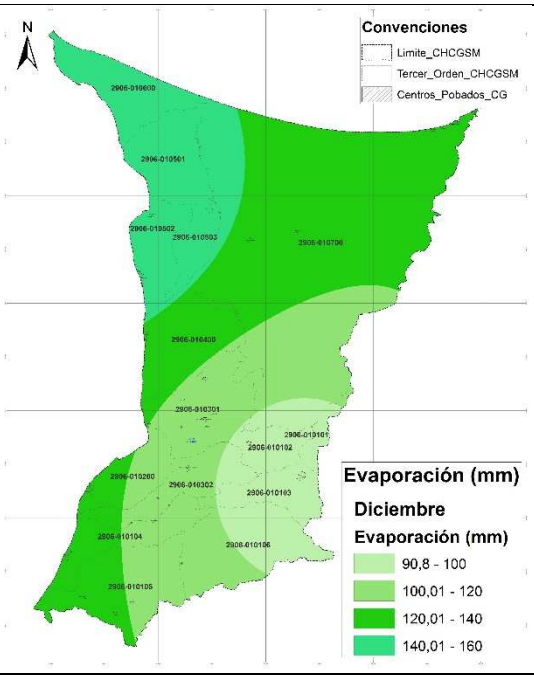
j) Octubre



k) Noviembre



l) Diciembre.



Teniendo en cuenta la anterior información, la distribución espacial de la evaporación media anual es la presentada a continuación, en la Figura 2.27.

Figura 2.27. Distribución espacial de la evaporación media anual.

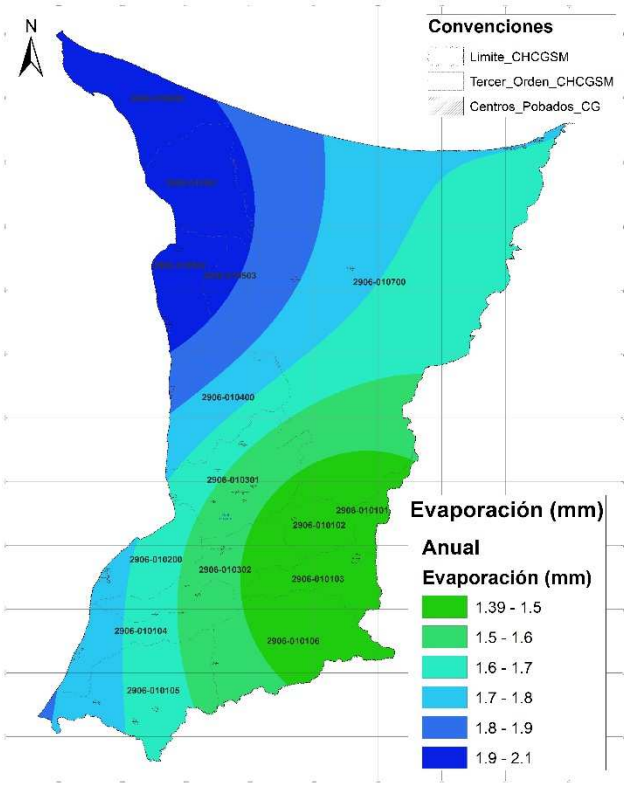
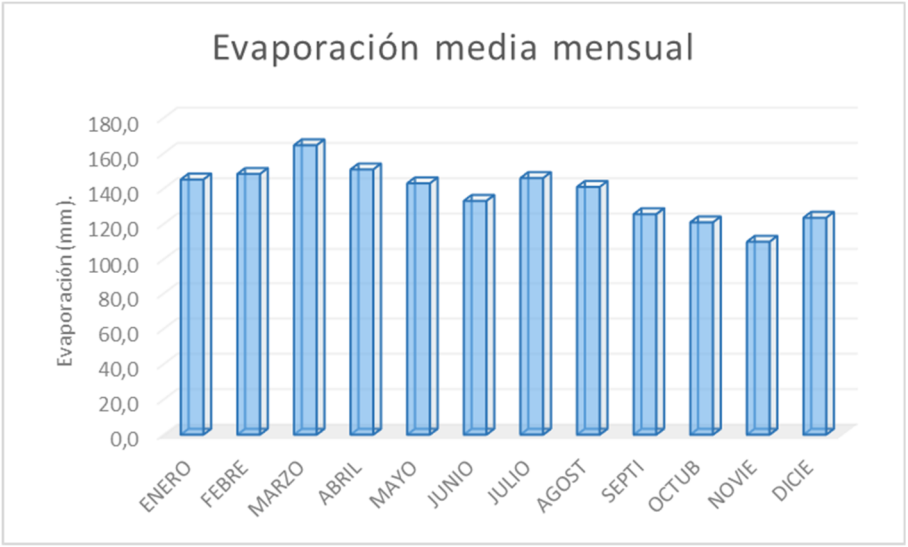


Figura 2.28. Distribución temporal de la evaporación media mensual multianual en el área de estudio.



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 del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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.

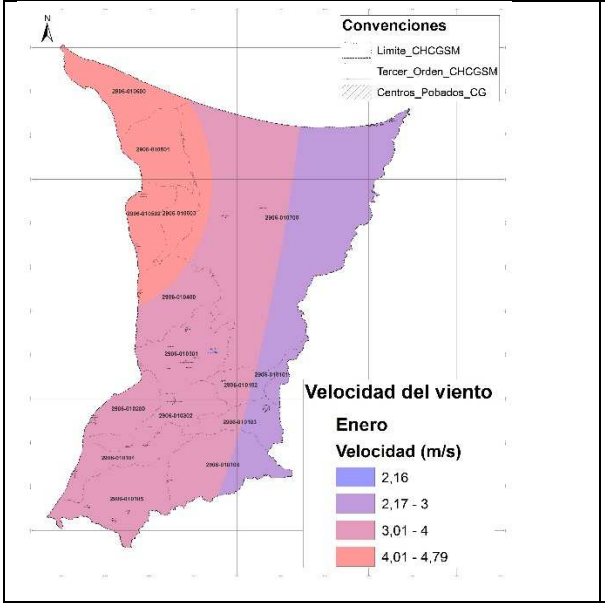
Tabla 2.6. Distribución mensual de la velocidad del viento (m/s).

ESTACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S)											
	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
15015050 APTO SIMON BOLIVAR	3,16	3,57	3,61	3,37	2,73	2,47	2,41	2,51	2,44	2,35	2,23	2,64
15015060 SAN LORENZO	1,94	1,85	1,71	1,42	1,45	1,51	1,59	1,75	1,58	1,41	1,55	1,70
29035070 REPELON	2,92	3,10	3,09	2,76	2,16	2,08	2,27	2,27	2,07	1,97	2,12	2,62
29045020 APTO E CORTISSOZ	4,86	5,25	5,38	4,61	3,12	2,65	2,99	2,97	2,43	2,18	2,71	3,92
29065030 PRADO SEVILLA	1,39	1,53	1,64	1,53	1,32	1,31	1,31	1,33	1,29	1,28	1,21	1,17

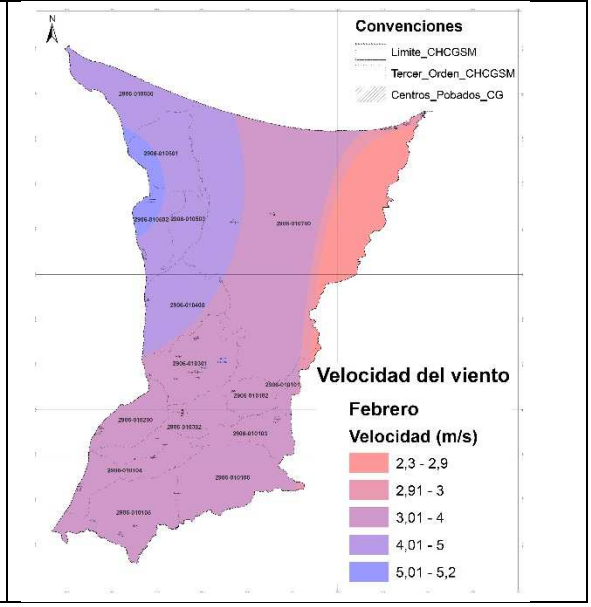
Teniendo en cuenta la información disponible de la velocidad del viento en cada una de las estaciones presentadas, se llevó a cabo la espacialización de la variable climática a nivel medio mensual, como puede verse en la Figura 2.29.

Figura 2.29. Distribución espacial de la velocidad del viento a nivel medio mensual.

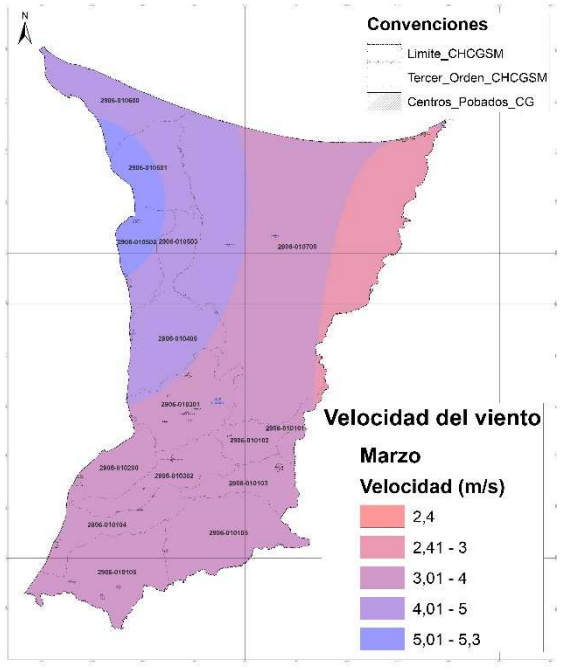
a) Enero



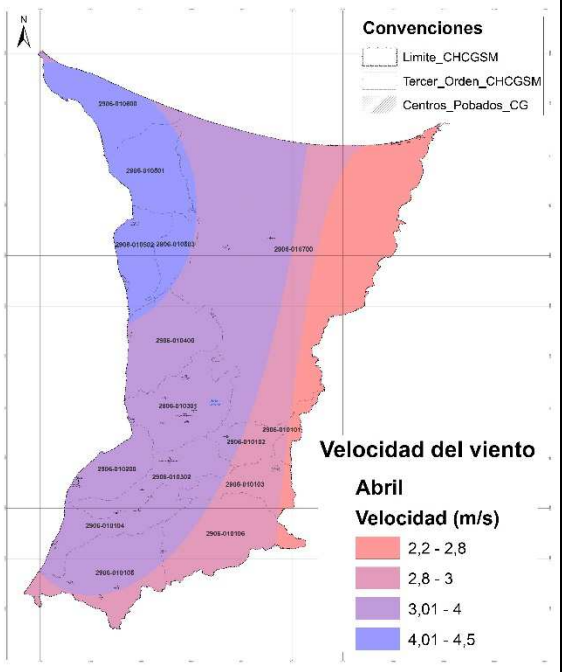
b) Febrero



c) Marzo



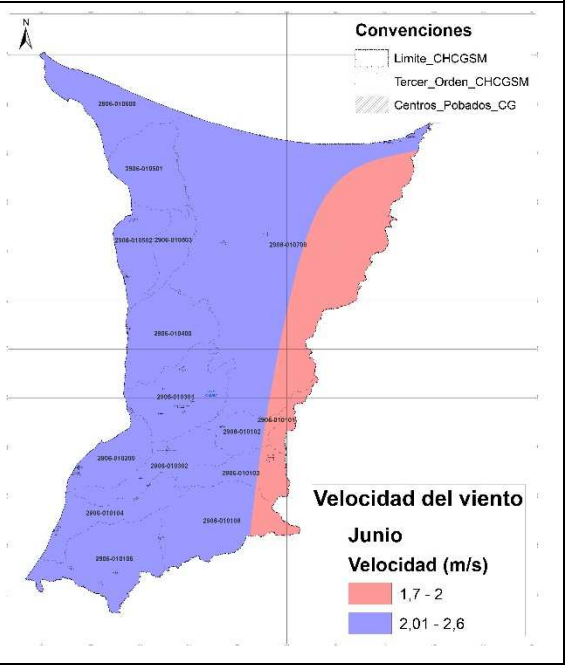
d) Abril



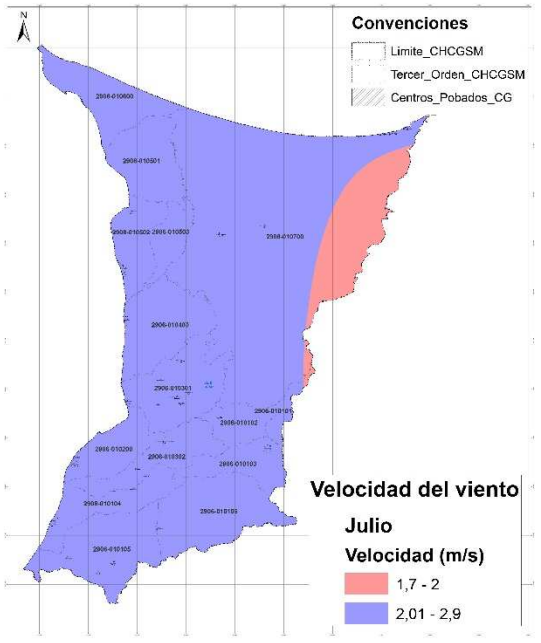
e) Mayo



f) Junio



g) Julio



h) Agosto



i) Septiembre



j) Octubre



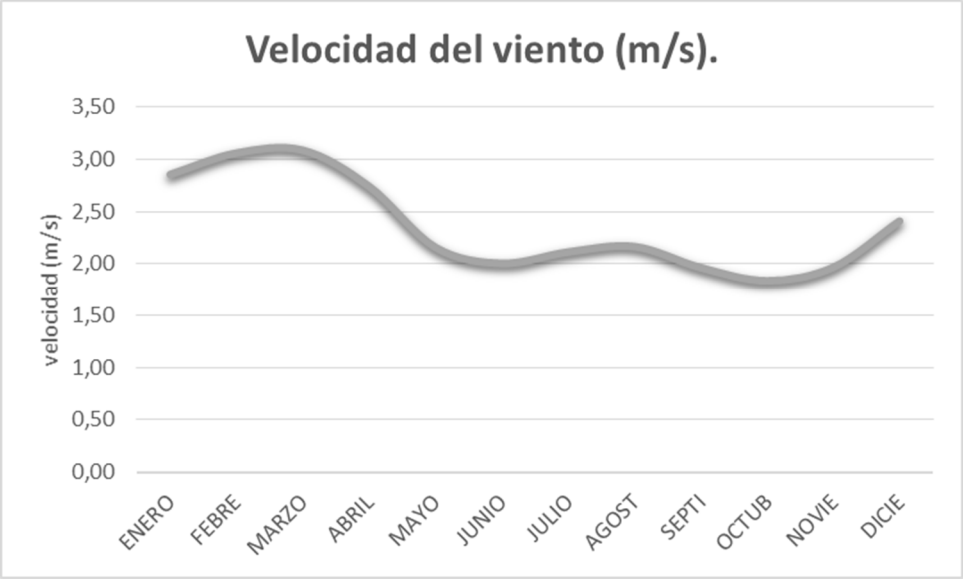
k) Noviembre	l) Diciembre.
	

Con la anterior información, se obtuvo la siguiente distribución espacial para la velocidad del viento dentro de la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, presentado en la Figura 2.30.

Figura 2.30. Distribución espacial anual de la velocidad del viento.



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



Según la anterior información, la velocidad del viento se presenta en mayores niveles durante los períodos secos (Enero a Marzo), con una velocidad promedio de 3m/s., y las menores velocidades se registran entre Septiembre y Noviembre, con una velocidad media de 1.92 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. 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

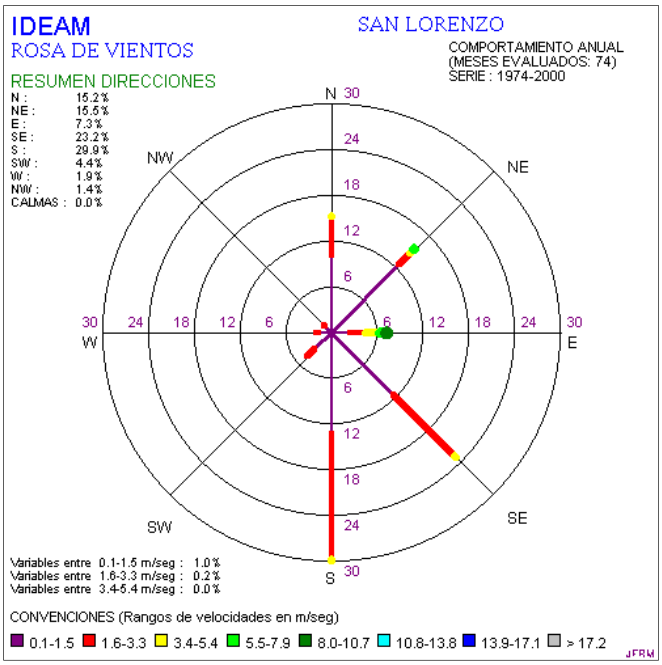
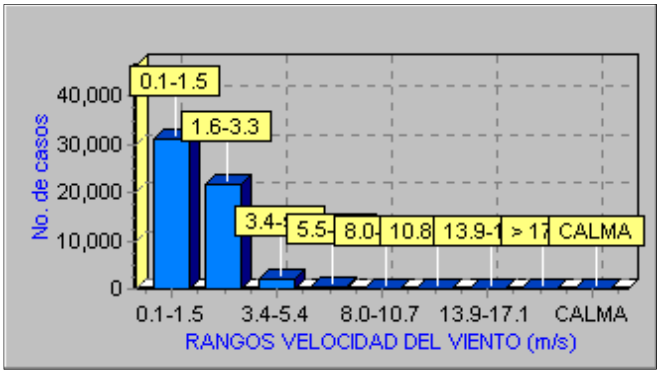


Figura 2.33. Rangos de velocidad del viento para la estación San Lorenzo.



Fuente: IDEAM. (2015).

2.3.10. Estimación De Curvas Idf Por Medio De Regionalización De Información Secundaria.

Como se presentó en el informe de aprestamiento, se contó con la información del estudio generado por ECOPETROL titulado "*INFORME FINAL 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)", para el cual se generó un sistema que permite 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.

Las dos estaciones cuyas curvas fueron generadas en el proyecto mencionado, son las presentadas en la Tabla 2.7.

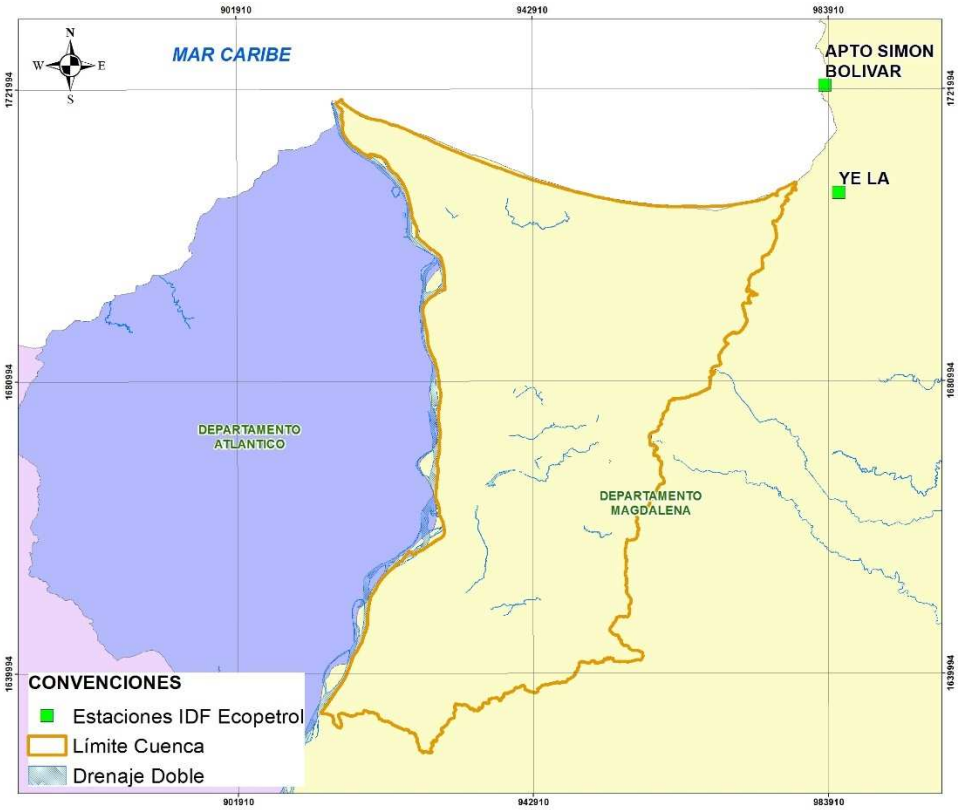
Tabla 2.7. Estaciones curvas IDF-ECOPETROL.

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

Fuente: ECOPETROL S.A.

En la Figura 2.34 se presenta la localización geográfica de las estaciones anteriormente mencionadas.

Figura 2.34. Estaciones pluviográficas del Sistema Zona 3 involucradas- Proyecto "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."



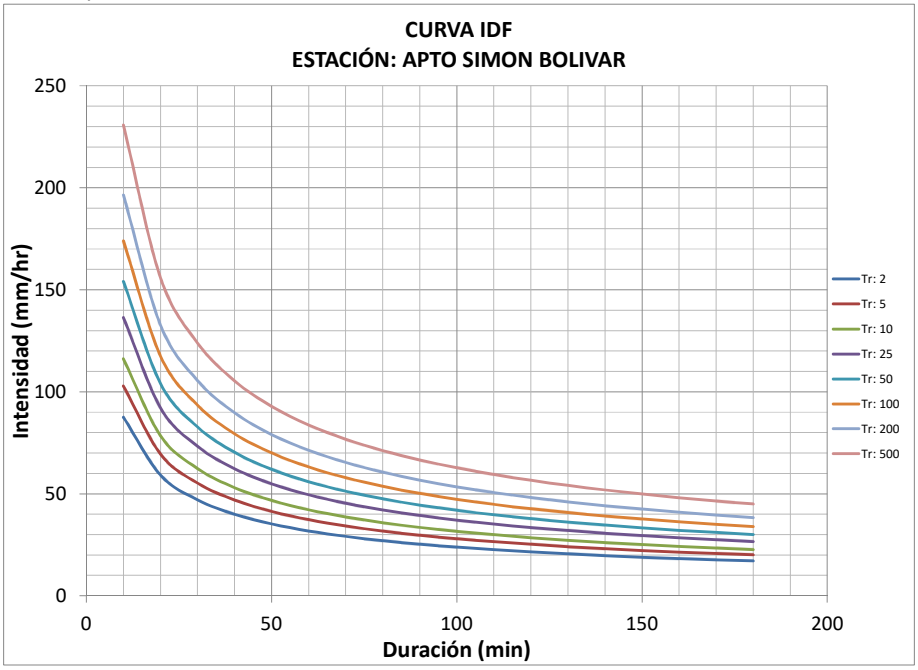
Fuente (Ecopetrol S.A)

Para esto, se realizaron interpolaciones de 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 realizar el respectivo análisis de frecuencia para determinar las relaciones IDF.

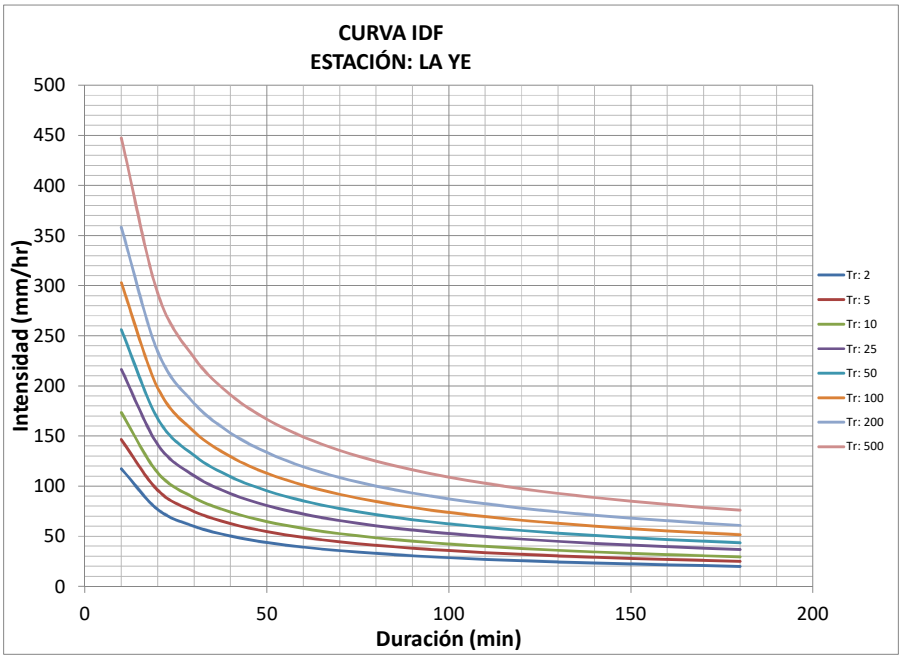
A continuación, en la Figura 2.35 se presenta la curva IDF de la estación APTO SIMÓN BOLIVAR, mientras que en la Figura 2.36 se presenta la curva IDF para la estación YE LA.

Figura 2.35. Curva IDF, estación 15015050 APTO SIMON BOLIVAR.



Fuente: (Ecopetrol S.A)

Figura 2.36. Curva IDF, estación 15015020 YE LA. Fuente: (Ecopetrol S.A)



Fuente: (Ecopetrol S.A)

2.3.10.1.2. *Ajuste estadístico de Curvas IDF desde estación de ECOPETROL.*

Tradicionalmente la información reportada para curvas IDF corresponde a la información 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 busque 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:

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

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 del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se estimó la siguiente ecuación general:

$$I = \frac{385.51 \cdot T_r^{0.202}}{d^{0.588}} \qquad \textbf{(8)}$$

En donde las constantes de regresión lineal múltiple son *k*=385,5077, *m*= 0,202883 y *n* =0.588599. Esta ecuación está dada en función de la duración que se quiera estimar.

Para cada una de las subcuencas determinadas para el Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

CODIGO	Nombre	K	m	n
2906-0101	Caño Schiller	404,49	0,2	0,59
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	402,98	0,2	0,59
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	393,84	0,2	0,59
2906-0104	Complejo Caño El Salado	387,5	0,2	0,59
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	376,32	0,2	0,59
2906-0106	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	371,94	0,2	0,59
2906-0107	Complejo Lagunar Cienaga Grande	375,79	0,21	0,59
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	389,21	0,2	0,59
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	394,24	0,2	0,59
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	397,63	0,2	0,59
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	412,29	0,19	0,59
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	403,77	0,19	0,58
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	406,63	0,2	0,59
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	402,98	0,2	0,59
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	391,63	0,2	0,59
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	399,02	0,2	0,59
2906-010400	Complejo Caño El Salado	387,5	0,2	0,59
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	372,98	0,2	0,59
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	380,8	0,2	0,59
2906-010503	Caño Los Micos	377,38	0,2	0,59
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	371,94	0,2	0,59
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	375,79	0,21	0,59

En el Anexo 3 del presente documento, se adjuntan los parámetros obtenidos por cada subcuenca por medio de las interpolaciones para el anterior análisis.

2.3.11. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para diferentes períodos de retorno y duraciones.
Como es bien sabido, la precipitación en su desarrollo propio presenta una gran variación tanto en el espacio como en el tiempo, teniendo características no lineales del fenómeno y su estructura de variabilidad espacial. De esta manera el análisis de frecuencia de manera no estacionaria para tener en cuenta los efectos de variabilidad climática se realizó analizando la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca objeto de ordenación, por medio de las Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia ya que estas relaciones tienen implícito el Análisis de frecuencia de intensidades máximas por medio de funciones de distribución de probabilidad. Diferentes autores y textos de hidrología recomiendan usar la función Gumbel para la elaboración de curvas IDF. La función de distribución de probabilidad Gumbel Tipo I está dada por la siguiente ecuación:

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \textbf{(9)}$$

Dónde:
$\alpha(x-\beta)$ =Variable reducida Gumbel Tipo I
α , β = Parámetros de ajuste de la distribución

Para la estimación de los parámetros de ajuste α y β se emplea el método de los momentos. Este método supone que los momentos de la muestra son iguales a los momentos de la función de distribución de probabilidad a la cual se va a ajustar la muestra. Con esta suposición se pueden determinar los parámetros de la función de distribución de probabilidad directamente de los momentos de la muestra.

Así, para el primer momento se tiene que $\bar{x} = \mu_x$ es decir:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad \textbf{(10)}$$

Que equivale a:

$$\mu_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad \textbf{(11)}$$

Dónde:
$\bar{x}$ = Media de la muestra.
μ_x = Media de la función de distribución de probabilidad
Para el segundo momento: $S^2 = \sigma_x^2$:

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2 \quad \textbf{(12)}$$

Equivale a:

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 \, f(x) dx \quad \textbf{(13)}$$

Dónde:
S^2 = Varianza de la muestra.
σ_x^2 = Varianza de la función de distribución de probabilidad.
Con las suposiciones anteriores se calculan los parámetros de la variable reducida $\alpha(x - \beta)$ de la Gumbel Tipo I de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{S_n}{\sigma_x} \quad \textbf{(14)}$$

$$\beta = \mu_x - \frac{Y_n}{\alpha} \quad \textbf{(15)}$$

Dónde:
α = Parámetro de escala.
β =Moda de la distribución (punto de máxima densidad de probabilidad).
σ_x = Desviación estándar de la función de distribución de probabilidad.
Y_n =Media de la variable reducida Gumbel Tipo I.
S_n = Desviación estándar de la variable reducida Gumbel Tipo I.
Estos dos últimos parámetros (Y_n , S_n) solo dependen del número de datos (n).
Para calcular las intensidades máximas de cada duración para todos los períodos de retorno de interés (3, 5, 10, 25, 50 y 100 años) se despeja *x* de la función de distribución de Probabilidad Gumbel Tipo I, obteniendo:

$$x = -\frac{ln\left[-\ln\left(f(x)\right)\right]}{\alpha} + \beta \quad \textbf{(16)}$$

Lo que equivale a tener:

$$x_{Tr} = -\frac{ln\left[-\ln\left(1 - {}^{1}/_{T_r}\right)\right]}{\alpha} + \beta \quad \textbf{(17)}$$

Siendo T_r = período de retorno en años.

Esta última ecuación es la que se emplea para determinar los valores de intensidades máximas para cada duración según el período de retorno.

Por lo anterior, las intensidades máximas de la lluvia en distintos intervalos de tiempo en un mismo sitio y con distintas probabilidades de excedencia o períodos de retorno, se resumen en las curvas IDF. Usualmente las curvas IDF se determinan mediante análisis del mayor número posible de

registros pluviográficos, pertenecientes a la estación de estudio. En las cartas pluviográficas están consignados los perfiles de cada tormenta, es decir, la profundidad de precipitación acumulada en función del tiempo. Existe una variedad de funciones, que se vienen empleando para la representación de las curvas IDF en forma regionalizada (Vélez, y otros, 2002).

Metodología empleada para la estimación de IDF asociadas a diferentes períodos de retorno y duración:

Para esta actividad, la selección de estaciones pluviográficas con información disponible de curvas IDF se basó en:

- Identificación de las cuencas de primer y segundo nivel subsiguiente
- Ubicación de estaciones con información pluviográfica disponible, incluidas en el catálogo nacional de estaciones Hidrometeorológicas suministrado por el IDEAM.
- Selección de las estaciones con información disponible de curvas IDF disponible para los últimos 20 años que se encontraran dentro de un búfer de 5 km de proximidad a las cuencas.
- Integración de otras fuentes de información
- Validación y consistencia de la información disponible de las estaciones seleccionadas.

Respecto a la disponibilidad de curvas intensidad duración frecuencia para el área en estudio, desde el IDEAM se tienen tres estaciones con curvas IDF en el departamento del Magdalena, dos de las cuales se encuentran cerca de la cuenca del complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, como puede verse en la Figura 2.37 .

Figura 2.37. Ubicación de las estaciones con curvas IDF del IDEAM.

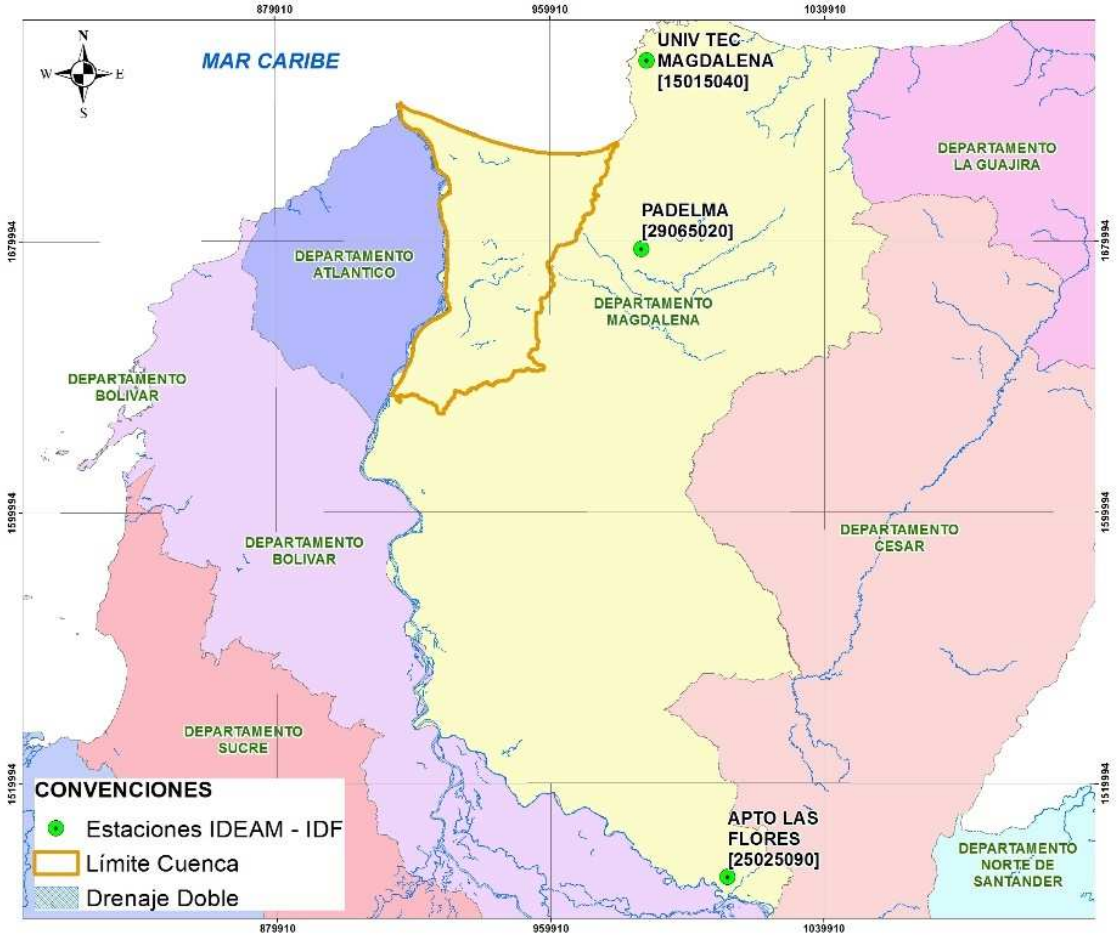
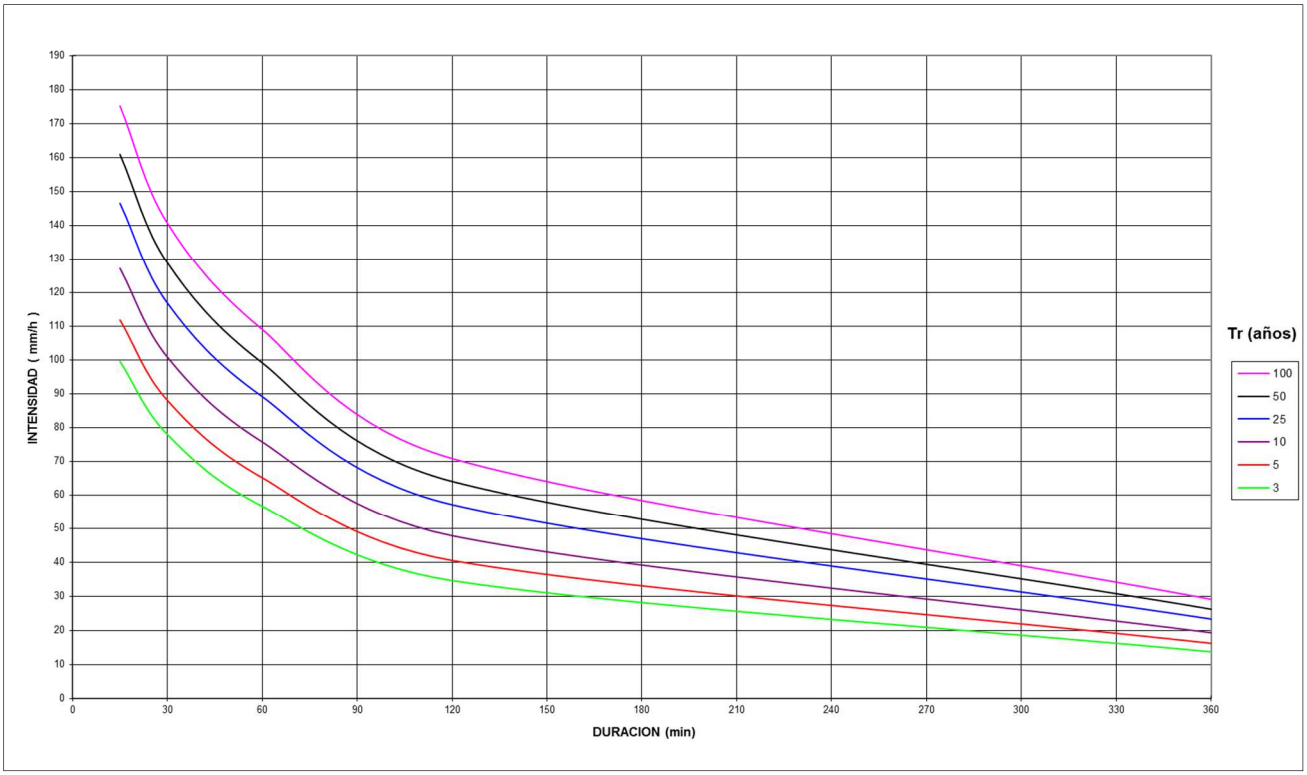


Figura 2.38. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación UNIV. TEC. MAGDALENA (MAGDALENA)-1501504.



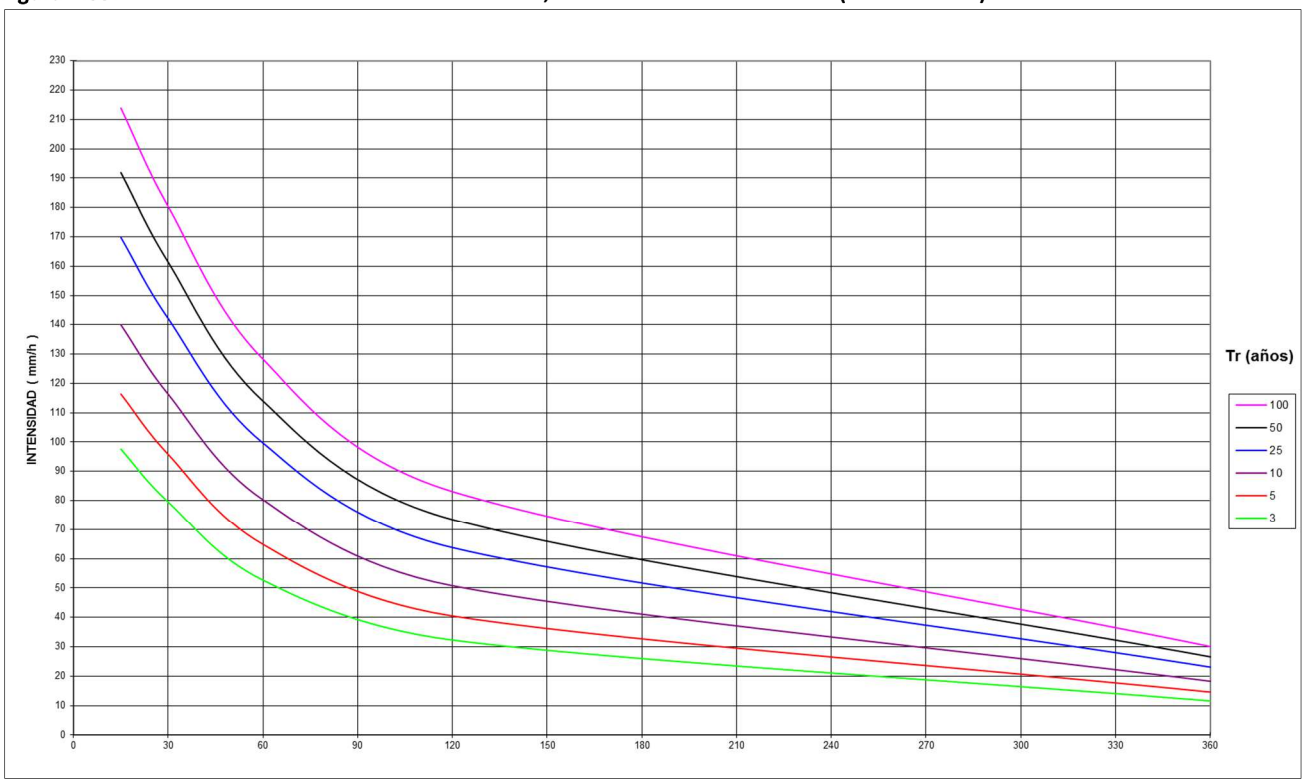
Fuente: IDEAM (2015).

Tabla 2.9. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia, Estación UNIV. TEC. MAGDALENA (MAGDALENA)-1501504.

Número de años analizados : 29						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO (años)**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	99,5	111,8	127,1	146,5	160,9	175,2
30	77,9	88,0	100,8	116,8	128,8	140,6
60	56,6	65,1	75,7	89,1	99,1	109,0
120	34,6	40,5	47,8	57,1	64,0	70,8
360	13,7	16,2	19,3	23,3	26,2	29,1

Fuente: IDEAM (2015).

Figura 2.39. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación PADELMA-PATUCA (MAGDALENA)-2906502.



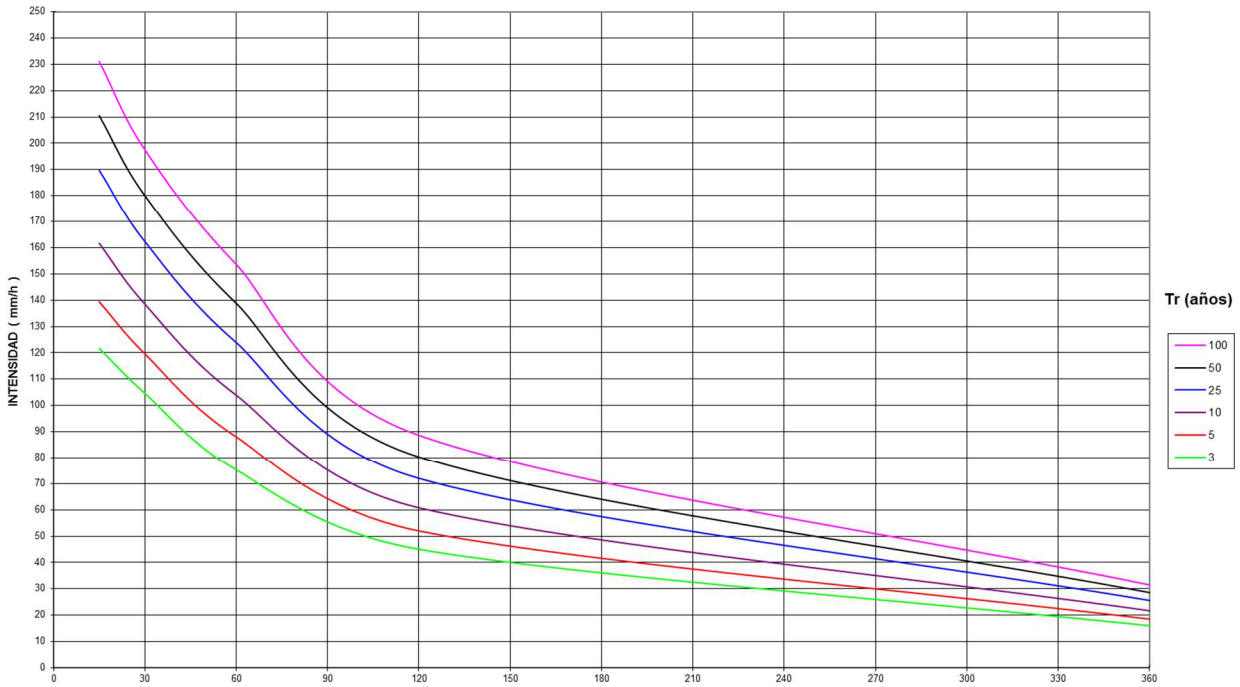
Fuente: IDEAM (2015).

Tabla 2.10. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia Estación PADELMA-PATUCA (MAGDALENA)-2906502.

Número de años analizado : 29						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	97,6	116,4	140,0	169,8	191,9	213,9
30	79,5	95,8	116,3	142,1	161,3	180,3
60	52,7	64,9	80,3	99,7	114,0	128,3
120	32,3	40,5	50,8	63,8	73,5	83,1
360	11,6	14,6	18,3	23,1	26,6	30,1

Fuente: IDEAM (2015).

Figura 2.40. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia- Estación APTO LAS FLORES (MAGDALENA) - 2502509.



Fuente: IDEAM (2015).

Tabla 2.11. Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia.

Número de años analizado : 29						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	121,7	139,4	161,6	189,7	210,5	231,1
30	104,6	119,6	138,5	162,3	180,0	197,5
60	75,3	88,0	103,9	123,9	138,8	153,6
120	45,0	52,0	60,8	72,0	80,3	88,6
360	16,0	18,5	21,7	25,6	28,6	31,5

Fuente: IDEAM (2015).

Además de lo anterior, se correlacionaron las curvas IDF presentadas en el anterior numeral (Tabla 2.7), obtenidas del proyecto “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.” para obtener un mejor ajuste en el presente análisis. Para esto, se realizaron interpolaciones de las series de intensidades máximas de las estaciones analizadas, antes de llevar a cabo el análisis de frecuencia de las mismas, con el fin de obtener los valores de intensidades máximas para cada período de retorno mencionado y de esta manera

realizar el respectivo análisis de frecuencia para determinar las relaciones IDF a nivel de subcuenca de primer y segundo nivel subsiguiente.
A partir de la información disponible, se logran calcular las intensidades sobre los nodos a partir de la interpolación utilizando 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. Como se presentó anteriormente, la metodología de IDW es ampliamente usada 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, y 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. Dicha 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 método, 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.

2.3.12. Ajuste estadístico de Curvas IDF para el análisis de eventos extremos.

Tradicionalmente la información reportada para curvas IDF corresponde a la información generada a partir del cálculo de la ecuación de la curva. 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:

$$I = C1 * (Duración + X_0)^{C_2} \quad \textbf{(18)}$$

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 2.12. Intensidad de la lluvia en [mm/h] (1 mm/h=1 (L/s)/m2=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)

2.3.13. Resultados por subcuenca.

Para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se estimaron las Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia obtenidas para cada subcuenca de primer y segundo nivel subsiguiente, presentando a continuación los resultados del ajuste de las IDF para cada subcuenca, en la Tabla 2.13 y la Tabla 2.14.

Tabla 2.13. . Resultados ajuste IDF, subcuencas de primer nivel subsiguiente.

CUENCA: Caño Schiller - 290601-01						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	145,8	233,5	348,5	791	1405,2	2805,1
30	116,4	190,4	289,6	668,3	1198,8	2408,2
60	81,5	136,6	212,5	500,7	909,9	1843
120	49,3	84,2	133,4	319,7	587,8	1199,2
360	17,2	29,4	46,5	110,9	203,9	414,1
CUENCA: Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena - 290601-02						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	143,5	232,7	313,7	644,8	1079,7	2036,3
30	114,8	190,3	261,6	547,3	925,8	1757,8
60	80,5	137	192,8	412,4	707,2	1354,6
120	48,7	84,5	121,2	264,3	458,8	885,7
360	17	29,4	41,9	90,9	157,5	302,3
CUENCA: Complejo Humedal Buenavista - 290601-03						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	140,4	234,5	312,5	664,8	1169,8	2294,9
30	112	191,5	260,2	563,4	1001,8	1979,5
60	78,4	137,6	191,5	423,8	763,9	1523,8
120	47,4	84,8	120,3	271,2	495	995,6

360	16,5	29,5	41,7	93,4	170,2	340,3
CUENCA: Complejo Caño El Salado - 290601-04						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	133,8	201,3	265,3	496,2	813,3	1427,2
30	106,7	164,6	221,5	422,4	700	1237,9
60	74,6	118,3	163,4	319,2	536,8	959,5
120	45	72,8	102,6	204,6	348,9	629,5
360	15,6	25,1	35,1	69,4	117,9	211,2
CUENCA: Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo - 290601-05						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	128,7	169,8	217,3	359,3	529,2	793,5
30	102,5	138,8	182,4	307	457,3	691,4
60	71,5	99,7	135,4	233	352,5	539,1
120	43	61,2	85,4	149,5	229,6	354,9
360	14,8	20,9	29	49,9	76,3	116,9
CUENCA: Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca - 290601-06						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	133,1	195,7	301,2	677	1373,2	3078,8
30	104,6	157,9	248,6	571	1172	2649,6
60	72,2	112,4	181,3	427,9	891,6	2037,7
120	43,6	69,3	113,8	274,7	580,2	1338,2
360	15,7	25,1	40,8	98,3	207,3	475,2
CUENCA: Complejo Lagunar Ciénaga Grande - 290601-07						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	134,5	242,8	330,8	806,6	1636,4	3652,1
30	106,9	197,4	274,5	680,3	1394,8	3137,3
60	74,6	141,2	201,4	509,1	1058	2404
120	45,1	87,1	126,6	325,2	684,1	1568,2
360	15,9	30,8	44,7	114	239,3	545,9

Tabla 2.14. Resultados ajuste IDF, subcuencas de segundo nivel subsiguiente.

CUENCA: Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM - 290601-0101						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	135,3	263,5	338,9	865,5	1782,2	4120,1
30	107,6	214,1	280,4	727	1511,8	3519,3
60	75,1	153,1	204,9	541,3	1139,8	2677,1
120	45,4	94,3	128,5	344,4	733,5	1735,9
360	16	33,3	45,4	121	257,7	607,8

CUENCA: Complejo Ciénaga Playazo - 290601-0102						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	139	257,9	333,5	790,4	1517,5	3262
30	110,7	210	276,8	666,8	1293,1	2799,3
60	77,4	150,6	203	498,8	980,2	2141,4
120	46,8	92,8	127,4	318,2	632,8	1393,5
360	16,4	32,6	44,7	110,8	220,2	482,7
CUENCA: Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey - 290601-0103						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	141	268,3	344,5	820,2	1567,2	3363
30	112,3	218,5	285,6	691,3	1334	2882,1
60	78,6	156,7	209	516,6	1009,9	2201
120	47,5	96,6	131	329,4	651,4	1430,5
360	16,7	33,9	45,9	114,9	227,1	496,6
CUENCA: Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma - 290601-0104						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	149,7	205,4	352,8	767,9	1281,5	2389,4
30	119,7	167,6	293,6	649,8	1095	2053,6
60	84	120,3	215,8	487,9	832,6	1573,6
120	50,8	74,1	135,5	311,9	538,5	1024,4
360	17,7	25,8	47	107,7	186	352,3
CUENCA: Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller - 290601-0105						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	144,9	246,9	350,2	813	1488,7	3060,9
30	115,6	201,1	290,5	685,9	1268,2	2624,4
60	80,9	144,2	212,9	513,1	960,9	2005,2
120	48,9	88,9	133,5	327,2	620	1303,1
360	17,1	31,1	46,6	113,8	215,5	451

CUENCA: Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos - 290601-0106						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	147,5	215	337,6	718	1198,9	2256,2
30	118	175,7	281,2	608,5	1026,1	1942,9
60	82,8	126,3	207	457,8	781,9	1492,7
120	50,2	77,9	130,1	293,1	506,6	974
360	17,5	27,1	45,1	101,1	174,8	334,3
CUENCA: Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena - 290601-0200						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	143,5	232,7	313,7	644,8	1079,7	2036,3
30	114,8	190,3	261,6	547,3	925,8	1757,8
60	80,5	137	192,8	412,4	707,2	1354,6
120	48,7	84,5	121,2	264,3	458,8	885,7
360	17	29,4	41,9	90,9	157,5	302,3
CUENCA: Complejo Ciénaga de Buenavista - 290601-0301						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	138,5	230,8	302,6	637,1	1122,3	2186,3
30	110,4	188,5	252,1	540,3	961,9	1887,5
60	77,3	135,4	185,7	406,7	734,1	1454,8
120	46,7	83,4	116,7	260,3	475,9	951,2
360	16,3	29	40,4	89,5	163,3	324,3
CUENCA: Complejo Ciénaga El Diluvio - 290601-0302						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	143,3	240,2	327,4	708,3	1240,2	2442,3
30	114,4	196,1	272,5	599,8	1061	2103,4
60	80,2	140,9	200,3	450,8	808	1616,2
120	48,5	86,9	125,8	288,4	523,2	1054,7
360	16,9	30,3	43,7	99,6	180,5	362

CUENCA: Complejo Caño El Salado - 290601-0400						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	133,8	201,3	265,3	496,2	813,2	1427,2
30	106,7	164,6	221,5	422,4	699,8	1237,9
60	74,6	118,3	163,4	319,2	536,8	959,5
120	45	72,8	102,6	204,6	348,8	629,5
360	15,6	25,1	35,1	69,4	117,9	211,2
CUENCA: Complejo Cenagoso-Sector Palermo - 290601-0501						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	131,6	177,3	229,3	408,5	629,1	994
30	104,6	144,7	192,7	348,6	543,1	865,2
60	72,9	103,9	143,4	264,2	418,1	673,7
120	43,8	63,8	90,8	169,6	272,4	443,5
360	15,1	21,9	31,3	57,1	91,3	147,4
CUENCA: Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo - 290601-0502						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	123,8	155,6	195,5	287,9	393,5	539,7
30	98,8	127,5	163,9	246,5	340,7	471,2
60	69	91,7	121,3	187,4	263,1	368,1
120	41,5	56,3	76,1	120,3	171,5	242,5
360	14,1	19	25,3	39,7	56,3	78,9
CUENCA: Caño Los Micos - 290601-0503						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	128,9	175,3	226,3	378,9	569	878,1
30	102,7	143,3	189,6	323,5	491,4	764,6
60	71,7	103	140,3	245,3	378,4	595,5
120	43,1	63,3	88,2	157,4	246,4	391,8
360	14,8	21,6	29,9	52,7	82,1	129,4

CUENCA: Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca - 290601-0600						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	133,1	195,7	301,2	677	1373	3078,8
30	104,6	157,9	248,6	571	1171,8	2649,6
60	72,2	112,4	181,3	427,9	891,5	2037,7
120	43,6	69,3	113,8	274,7	580,1	1338,2
360	15,7	25,1	40,8	98,3	207,3	475,2
CUENCA: Complejo Lagunar Ciénaga Grande - 290601-0700						
DURACION	**PERIODO DE RETORNO, años**					
Minutos	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	134,5	242,8	330,8	806,6	1635,9	3652,1
30	106,9	197,4	274,5	680,3	1394,4	3137,3
60	74,6	141,2	201,4	509,1	1057,7	2404
120	45,1	87,1	126,6	325,2	684	1568,2
360	15,9	30,8	44,7	114	239,3	545,9

En el Anexo 8 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 la anterior información, se generaron las siguientes ilustraciones de los valores de intensidad para duraciones de 60 Y 120 minutos, para un periodo de retorno de 100 años, presentadas en la Figura 2.41 y la Figura 2.42.

Figura 2.41. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración 60 minutos, en segundo nivel subsiguiente.

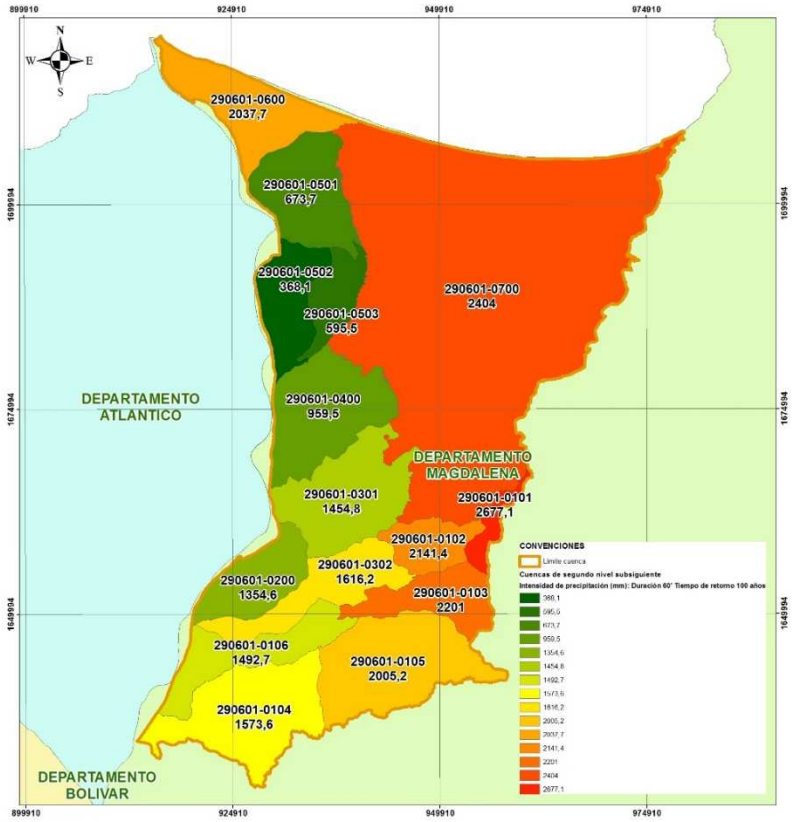
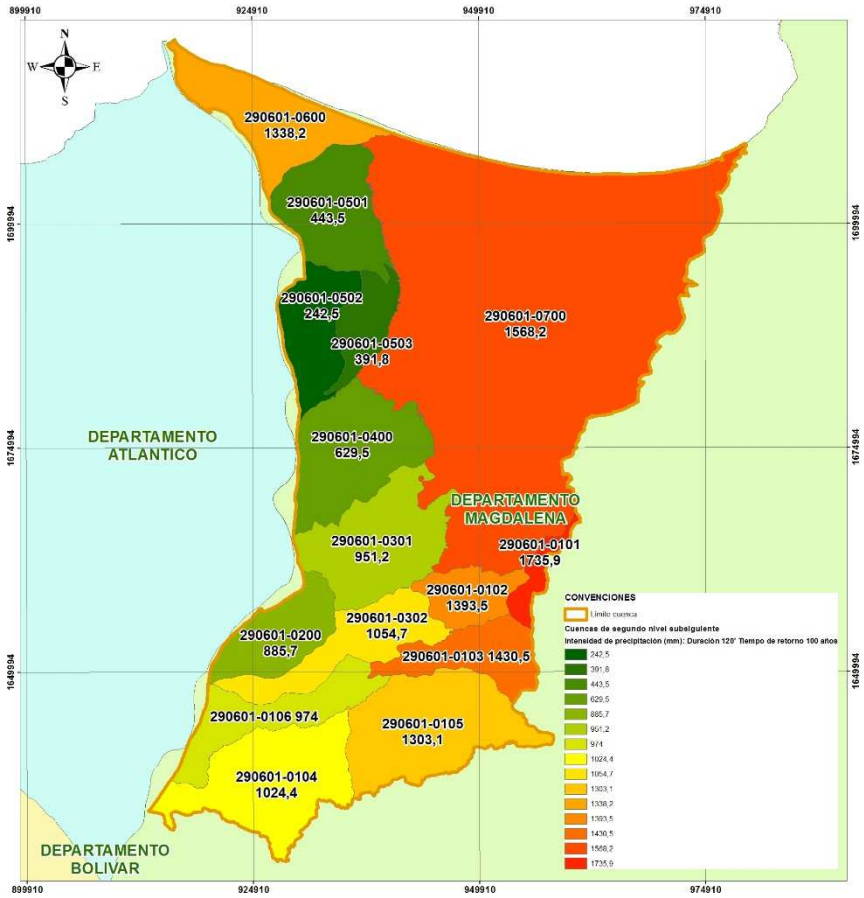


Figura 2.42. Espacialización de valores de intensidad para un período de retorno de 100 años, duración 120 minutos, en segundo nivel subsiguiente.



2.3.14. Escenarios de precipitación para eventos extremos considerando períodos de retorno de 2,5,10,15,20,25,30,50,100 y 500 años.

Dentro de la caracterización climatológica de una zona de estudio, es la precipitación y su régimen uno de los elementos de mayor importancia y puede considerarse como un determinante de las condiciones generales del clima, así como de las dinámicas ambientales y poblacionales. Como señala Acevedo (2009), la caracterización de la precipitación y el comportamiento de la misma en un territorio son un tema clave a la hora de desarrollar un estudio climatológico. Una cantidad constante de precipitación con variación en su frecuencia e intensidad puede dar lugar a diferencias muy considerables respecto a la escorrentía superficial, la evaporación y la condición de los suelos, afectando de manera directa el balance hídrico a largo plazo de la cuenca.

Para poder realizar una estimación de la periodicidad con la que un volumen de lluvia determinado puede registrarse en una región, se recurre al análisis estadístico de las series de datos disponibles, para de manera posterior realizar ajustes por medio de funciones de distribución. Según Acevedo (2009), los eventos extremos, con intensidades de precipitaciones muy altas y baja frecuencia, son los que mayor análisis deben tener por el efecto que los mismos pueden tener en la generación de

eventos de inundaciones por colapso de sistemas de drenaje urbano, desbordamientos, deslizamientos, entre muchos otros que pueden poner en riesgo no sólo vidas humanas, sino la integridad de ecosistemas sensibles y vulnerables a las alteraciones, como lo es el complejo de humedales, ya que su sistema de regulación en épocas de inundación se ha visto sumamente alterado por las severas intervenciones antrópicas.

El análisis de los eventos de lluvias extremas ha sido ampliamente desarrollado a nivel global; como mencionan Sun et al (2006), las lluvias intensas han sido analizadas desde tiempo atrás, siendo su objetivo principal la determinación de los caudales máximos para el diseño de diferentes estructuras hidráulicas, y más aún en la actualidad, en donde la vulnerabilidad y amenaza a inundaciones se ha convertido en un tema transversal a tener en cuenta en todos los componentes de planificación del territorio. La distribución de la precipitación ha sido objeto de numerosos estudios, de los cuales se resalta la necesidad de que otras características de gran importancia a la hora de determinar el comportamiento de la precipitación deban ser tenidas en cuenta, como la frecuencia, la intensidad y la contribución de las lluvias torrenciales, y más aún, teniendo en cuenta el marco de referencia del Cambio climático que estamos enfrentando.

En Climatología e hidrología, los riesgos suelen establecerse a partir de los diferentes períodos de retorno o intervalos de recurrencia, que, como señala Ávila (2013),corresponden a la inversa de la probabilidad de ocurrencia de los mismos, siendo un evento con una probabilidad de ocurrencia de un año en 100, o 1/100 (0,01) de probabilidad, le corresponde un período de retorno de 100 años, realizando una aproximación estadístico-frecuencial, porque a partir de los registros de precipitación existentes se hacen las estimaciones de los períodos de retorno.

Para los análisis de cantidad de precipitación, el parámetro a tener en cuenta en los eventos extremos es la máxima precipitación en 24 horas de cada año.
Para el análisis de precipitaciones extremas para la cuenca, se consideró la información disponible en las 57 estaciones con registro de precipitaciones pertenecientes al IDEAM utilizadas en el presente POMCA, realizando un análisis probabilístico de las lluvias diarias extremas a partir de las series de máximos anuales de precipitación mensual registradas en las estaciones pluviométricas, incluyendo la Identificación de la variabilidad climática en la cuenca. Se realizaron ajustes mediante las funciones de distribución estadística de Gumbel, NORMAL, PEARSON, LOG- PEAR, LOG-NOR y EV3, realizando la prueba de bondad de ajuste Chi ^{2}. En el Anexo 7 se muestran los resultados para cada una de las estaciones analizadas.

Adicionalmente, se realizó un aporte para el análisis de eventos extremos mediante las relaciones Intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones a nivel de subcuenca basada en la información disponible del IDEAM tal como se presenta en el numeral 1.6, en donde se analiza la ocurrencia y la variabilidad espacial y temporal de los eventos extremos de precipitación mediante una metodología que permite la comparación entre curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración, por medio de las cuales es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno.

2.4. *Eventos Extremos Y Variabilidad Climática.*

2.4.1. Variabilidad climática.

Colombia posee una condición especial respecto a sus condiciones climáticas, ya que por su localización en la zona de confluencia intertropical, los fenómenos ENSO (El Niño Southern Oscilation), y la diversidad de pisos térmicos dentro del territorio nacional, la diversidad de climas en el territorio nacional es extensa. La cuenca del complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, al encontrarse localizada en la región Caribe del país, posee un comportamiento característico de las tierras bajas del litoral caribe colombiano, teniendo en sus períodos secos efectos directos generados por los vientos alisios.

Las fluctuaciones del clima pueden darse a nivel espacial y temporal. Como lo indica Montealegre (2014), las interacciones entre los diversos factores que influencian el sistema climático, determinan dichas fluctuaciones. Estas pueden darse en distintas escala, siendo las siguientes las de mayor relevancia:

2.4.1.1. *Estacional:*
Obedece a los cambios mensuales que se presentan en las condiciones climatológicas. 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 difieren entre regiones naturales del país.

2.4.1.2. *Intraestacional:*
Tiene lugar en las dinámicas estacionales, y corresponden a cambios determinantes durante un mayor rango de tiempo días, por lo que su percepción es leve. La detección de la variabilidad intraestacional comúnmente se da por una señal denominada 30-60 días (Montealegre J. , Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico, 2014).

2.4.1.3. *Interanual:*
En esta escala temporal se evidencian los cambios que oscilan de un año a otro. Como lo estiman Arango et al (s.f), un año puede registrar valores por encima o por debajo de lo normal para cualquier variable climatológica. Esta comparación se da a partir de unos valores Normales de dichas variables, obtenidos a partir de un promedio histórico mínimo de 30 años, como lo estableció la ONU en 1997.

2.4.1.4. *Interdecadal:*
En esta escala la variabilidad histórica se determina en décadas. Al ser un rango de tiempo extenso, las oscilaciones se presentan de manera leve, a comparación de las anteriores temporalidades. Sin embargo, presentan evidencias importantes respecto al cambio climático del planeta y su tendencia a mediano y largo plazo.

Según Arango et al (s.f.), 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.

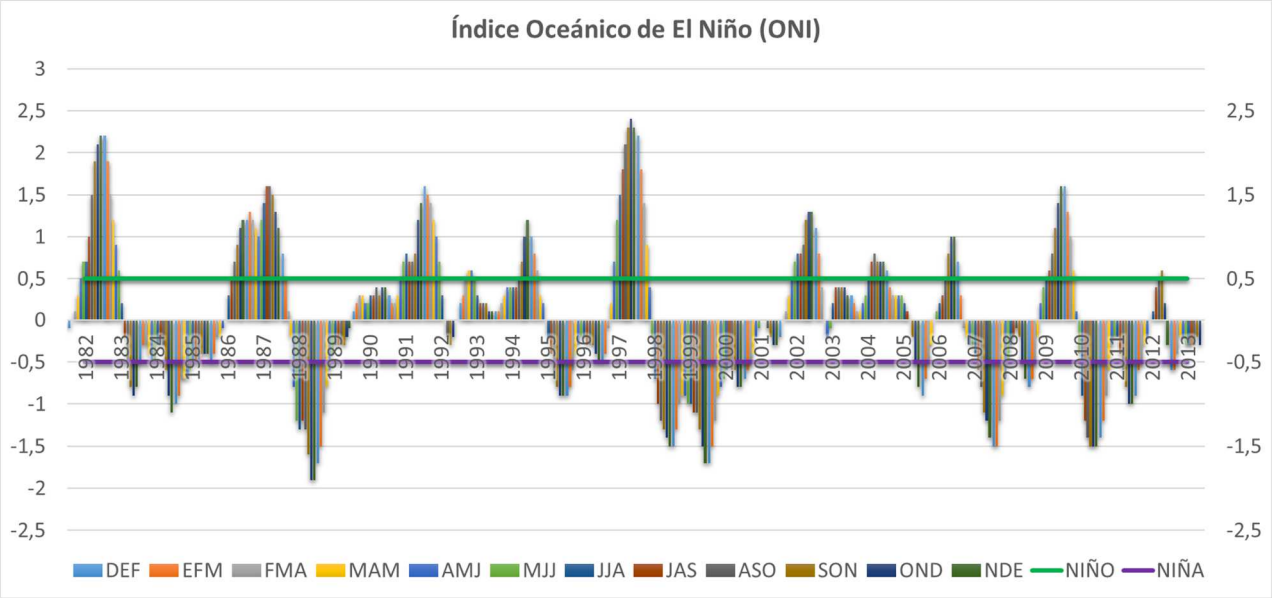
Como lo han identificado Montealegre y Pabón (2000), dichas complejas interacciones están directamente relacionadas con las dinámicas atmosféricas, oceánicas, propias de los glaciares y por supuesto las de las superficies terrestres, incluyendo las actividades antrópicas. Estos procesos se combinan para dar lugar a un intercambio energético entre subsistemas, originando los ciclos biogeoquímicos. Los sistemas pluviogenéticos se relacionan con otros componentes del sistema climático, mas sin embargo, son el océano como controlador del clima, y la atmósfera los espacios en donde los procesos físicos de la condensación se desarrollan, siendo los responsables de mayor importancia dentro de la variabilidad interanual de la precipitación (Montealegre & Pabón, 2000).

Para la cuenca en estudio, el enfoque estará dado en la variabilidad climática interanual, específicamente en los fenómenos que mayor influencian los regímenes de precipitación en Colombia, como son 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, (Montealegre J. , 2009). El Niño corresponde a su fase cálida y La Niña a la fase fría, cambios evidenciados a escala interanual y que tienen lugar en periodos relativamente cortos. Para su determinación a nivel mundial se han establecido una serie de indicadores e índices que describen el ciclo global, siendo el Índice oceánico de El Niño (ONI) uno de los más reconocidos.

Para analizar las condiciones de eventos Niño-Niña en la región de estudio, se realizó un análisis por medio del cálculo del Índice Oceánico de El Niño (ONI) en la zona de la cuenca del complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, tomando las estaciones que tuvieran como período homogéneo de registro de precipitación y temperatura un rango igual o mayor a 30 años, obteniendo como serie de tiempo útil desde el año 1982 al 2013. El ONI ha establecido que se presenta un evento del 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. De manera inversa define una ocurrencia del fenómeno "La Niña" cuando el promedio de tres meses de ATSM es menor o igual a -0,5 °C. (NOAA, 2015). En la Figura 2.43 se presenta la tendencia del indicador en la serie de tiempo referenciada.

Figura 2.43. Variabilidad climática interanual - ONI



Las series recopiladas en la Tabla 2.15 , 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 de la siguiente manera:

- Por debajo de lo normal o promedio: valores menores que el percentil 33%.
- Normal o promedio: valores entre el 33% y el 66%.
- Por encima de lo normal o promedio: valores mayores al 66%**.**

A continuación, en la Tabla 2.15, se presenta la clasificación obtenida según el ONI para cada uno de los años dentro de la serie de tiempo analizada:

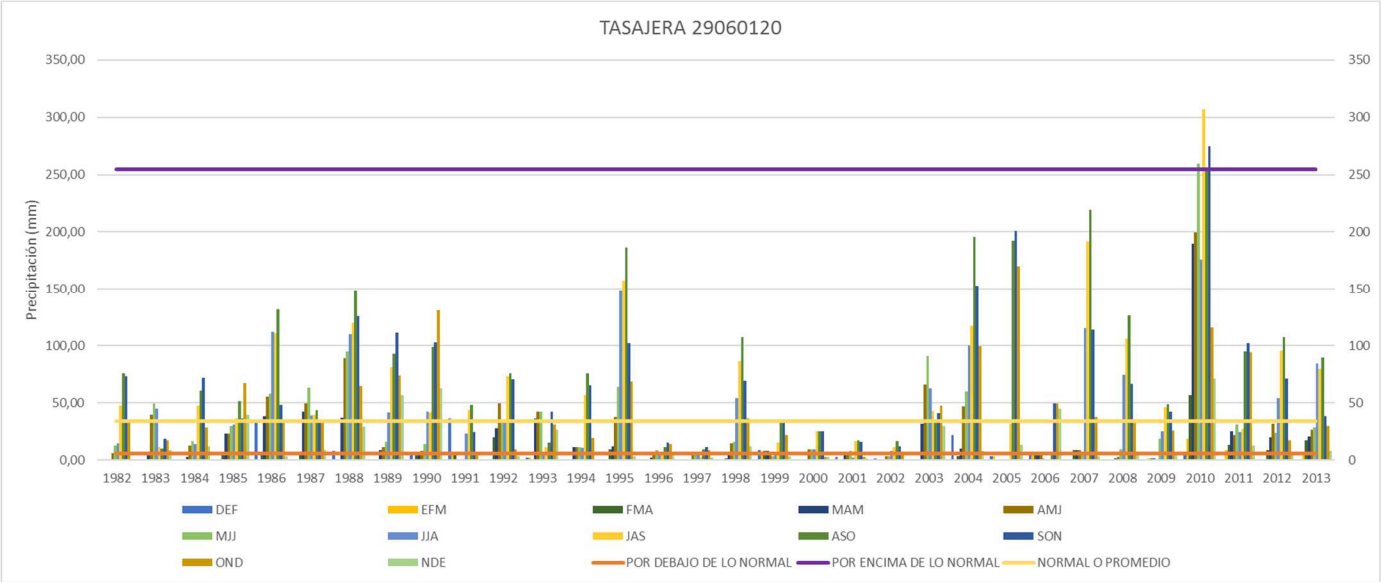
Tabla 2.15. Recopilación series históricas ONI. Fuente: (NOAA, 2015)

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

Para cada una de las 57 estaciones de precipitación que poseían el período de registro en sus series de tiempo mayor a 30 años, se calculó el Índice oceánico El Niño, presentado en el Anexo 4 del presente documento. A su vez, para el análisis de temperatura, en el anexo 5 se presenta el cálculo del ONI para las 4 estaciones cuyo período de registro cumplía con el requerido. Sin embargo, teniendo en cuenta que muchas de las estaciones se encuentran localizadas en zonas aledañas a la cuenca, para comparar los eventos registrados en la cuenca y los presentados por el ONI, se analizaron las estaciones con mayor influencia sobre la cuenca, presentando la gráfica de cada una de ellas en el Anexo 6 del presente documento.

Un ejemplo se presenta en la Figura 2.44, la cual muestra el comportamiento de la precipitación respecto a los eventos registrados por el ONI en la estación TASAJERA, representativa para el análisis pluviométrico de la cuenca, la cual registra el periodo entre 2010 – 2011 para el fenómeno La Niña, en donde se presentaron precipitaciones por encima del rango medio. Adicionalmente, la Tabla 2.15 indica el inicio del ciclo registrado en el trimestre de Junio-Julio-Agosto (JJA) de 2010 hasta Marzo-Abril-Mayo de 2011.

Figura 2.44. Trimestres móviles, serie de datos de precipitación, estación Tasajera

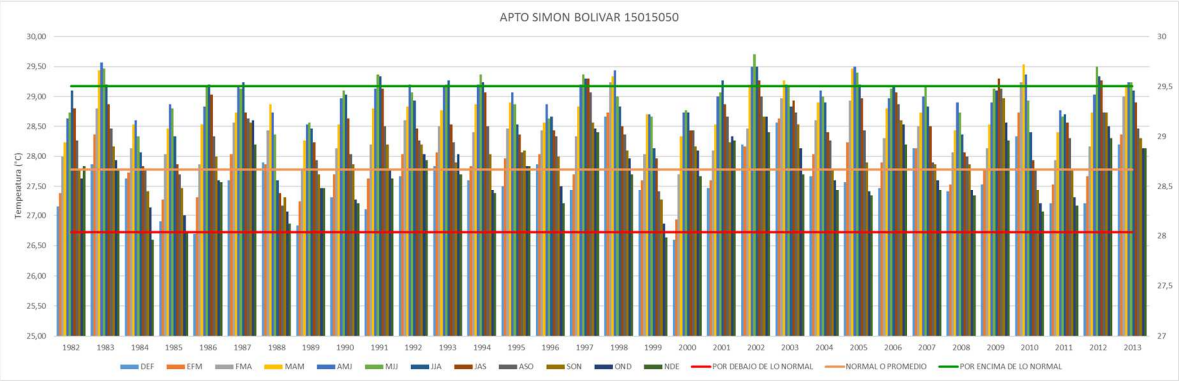


Es importante señalar, que la estandarización del ONI se presenta a nivel mundial y por factores orográficos y otros anteriormente mencionados que influencian las variables climáticas, el ciclo ENSO para Colombia puede presentarse de manera diferente variando entre regiones naturales, como se ha evidenciado en los últimos dos eventos en donde la región de la Orinoquía presenta una disminución en término de precipitaciones para los eventos Niña, y viceversa.

Teniendo en cuenta la información obtenida, puede afirmarse que para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se presentan las mayores precipitaciones en los trimestres ASO y SON y la mayor variabilidad registrada recientemente tuvo lugar en los años 2011 - 2012. Cabe resaltar, que a escala interdecadal puede apreciarse una tendencia de aumento en las fluctuaciones desde el año 2003.

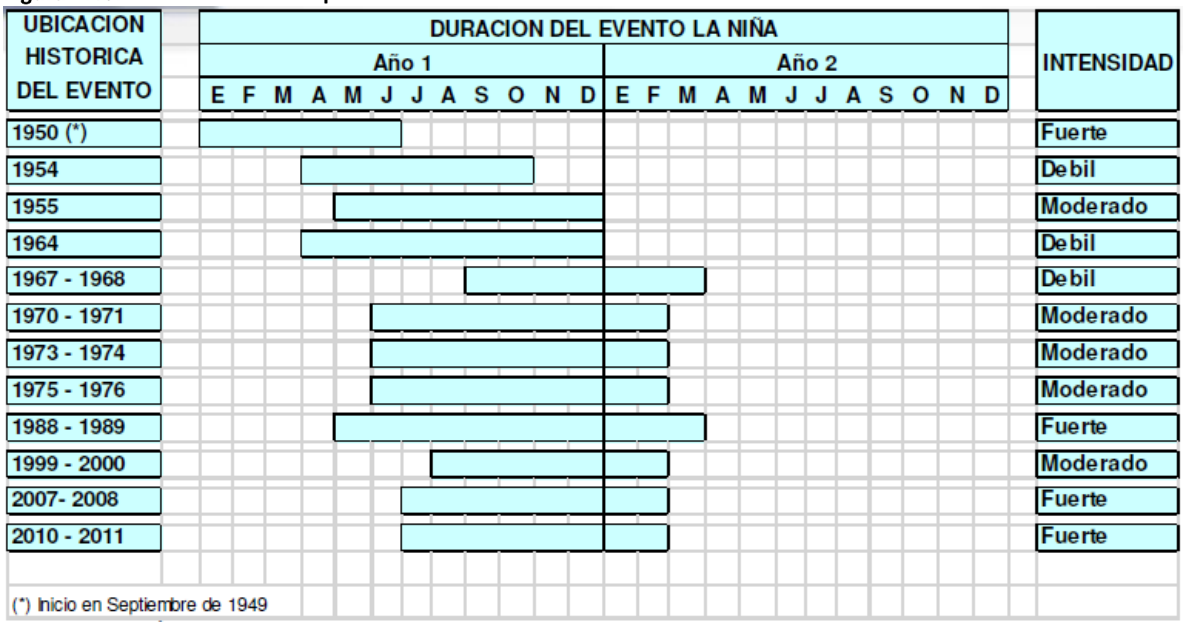
Con respecto a la temperatura, como se puede ver en la Figura 2.45, las variaciones son leves a lo largo de la serie histórica, presentando una tendencia y un comportamiento estable a escala interanual.

Figura 2.45. Trimestres móviles, serie de datos de temperatura, estación Apto Simón Bolívar



Finalmente el análisis de las series de históricas puede verse alterado por estos fenómenos que interfieren en el régimen de precipitaciones, de ahí radica la importancia de la interpretación y análisis de la variabilidad climática en aras de no subestimar o sobre valorar la oferta hídrica de la cuenca. El IDEAM (2013) determinó los períodos en los que los eventos Niño-Niña se registraron en el país. En la Figura 2.46 se presentan los años de ocurrencia para el territorio Colombiano de los eventos niña, los cuales concuerdan con los registrados con el ONI.

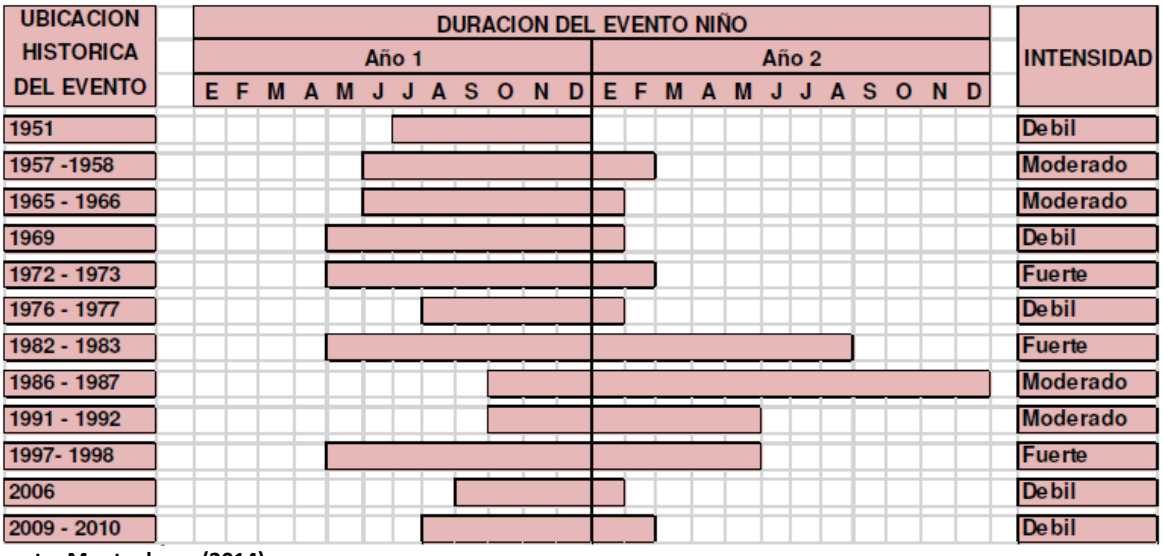
Figura 2.46. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niña



Fuente: Montealegre (2014)

Por otro lado, en la Figura 2.47 se presentan los eventos secos en los cuales se presentó el evento de El Niño en el territorio Colombiano.

Figura 2.47. Años de ocurrencia para Colombia evento La Niño



Fuente: Montealegre (2014)

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.

2.5. *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 (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 (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:

$$ESC = P - ETR \qquad \textbf{(19)}$$

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

Para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se analizaron las variables climatológicas involucradas en el balance hídrico a largo plazo. 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, como la del presente estudio.

2.5.1. 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.

2.5.1.1. *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.

2.5.1.2. *Evapotranspiración Potencial*

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:
:

$$ETP = 1017.17 * e^{-0.0002\,h} \quad \textbf{(20)}$$

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).

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1{,}514} \quad \textbf{(21)}$$

$$I = \sum i \quad \textbf{(22)}$$

Posteriormente se obtendrá la ETP bajo la siguiente ecuación:

$$ETP_{\text{sin } corregir} = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^{a} \quad \textbf{(23)}$$

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

$$a = (675 * 10^{-9} * I^3) - (771 * 10^{-7} * I^2) + (1792 * 10^{-5} * I) + (0{,}49239) \quad \textbf{(24)}$$

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:

$$ETP = constante\ (a) + (pendiente\ (b) * elevación) \quad \textbf{(25)}$$

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

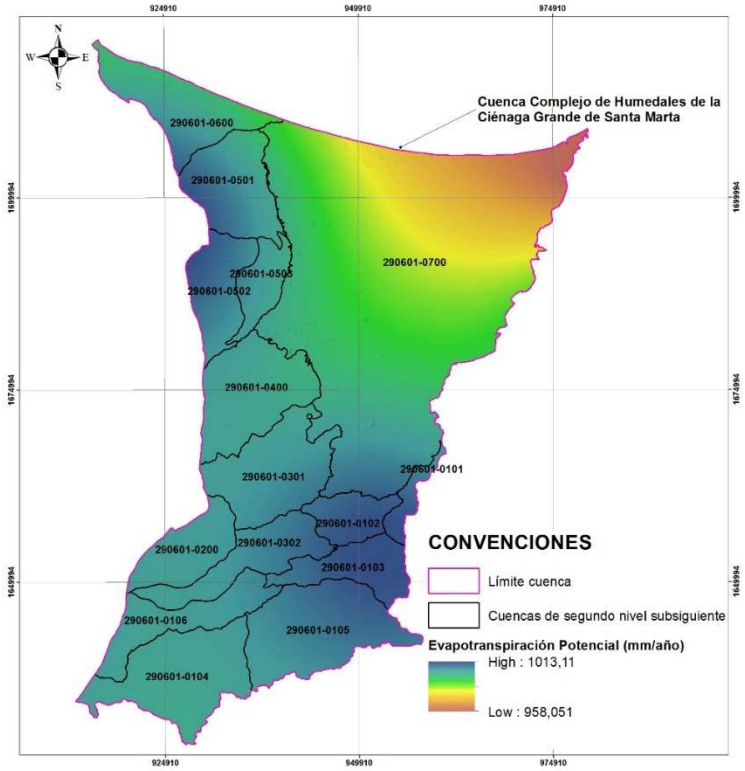
$$ETP = 131.39 + (-0.02 * h) \quad \textbf{(26)}$$

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

Para el desarrollo del presente análisis, se estimaron todas las anteriores metodologías, determinando como la de mayor ajuste para las condiciones de la cuenca la metodología de CENICAFÉ

A continuación, en la Figura 2.48 se presentan los rangos de evapotranspiración potencial en la cuenca y subcuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 2.48. Distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial de la cuenca según metodología de Penman-Monteith.


924910
949910
974910
1699994
1674994
1649994
N
W
E
S
Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta
290601-0600
290601-0501
290601-0700
290601-0502
290601-0400
290601-0301
290601-0101
290601-0102
290601-0302
290601-0200
290601-0103
290601-0106
290601-0105
290601-0104
CONVENCIONES
Límite cuenca
Cuencas de segundo nivel subsiguiente
Evapotranspiración Potencial (mm/año)
High : 1013,11
Low : 958,051

En la anterior figura, se muestra que la evapotranspiración potencial de la cuenca se encuentra en un rango entre los 958 mm y los 1013 mm, presentando en la Tabla 2.16 los valores medios por subcuenca.

Tabla 2.16. Evapotranspiraciones potenciales medias anuales por subcuenca.

CODIGO	Nombre	ETR Budyko	ETP Media (mm) (Penman)
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	778,864835	1009,675098
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	780,814017	1010,863205
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	782,615108	1011,426265
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	733,116915	1003,534794
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	730,364162	1002,161826
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	767,789139	1007,355992
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	732,08154	1003,348575
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	746,60847	1004,272958
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	754,299113	1006,002067
2906-010400	Complejo Caño El Salado	715,161188	1001,82778
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	676,169217	1005,251716
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitio nuevo	681,77285	1007,782306
2906-010503	Caño Los Micos	687,452131	1003,059945
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	673,807885	1001,159257
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	706,84169	990,027817

2.5.1.3. *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):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \textbf{(27)}$$

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

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad \textbf{(28)}$$

Cabe resaltar que el método de Turc es aplicable para cuencas que cumplan con el siguiente criterio: *P/L<0.316*.

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:

$$ETR = \frac{P}{(1 + \left(\frac{P}{Rn}\right)^{\alpha})^{1/\alpha}} \quad \textbf{(29)}$$

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

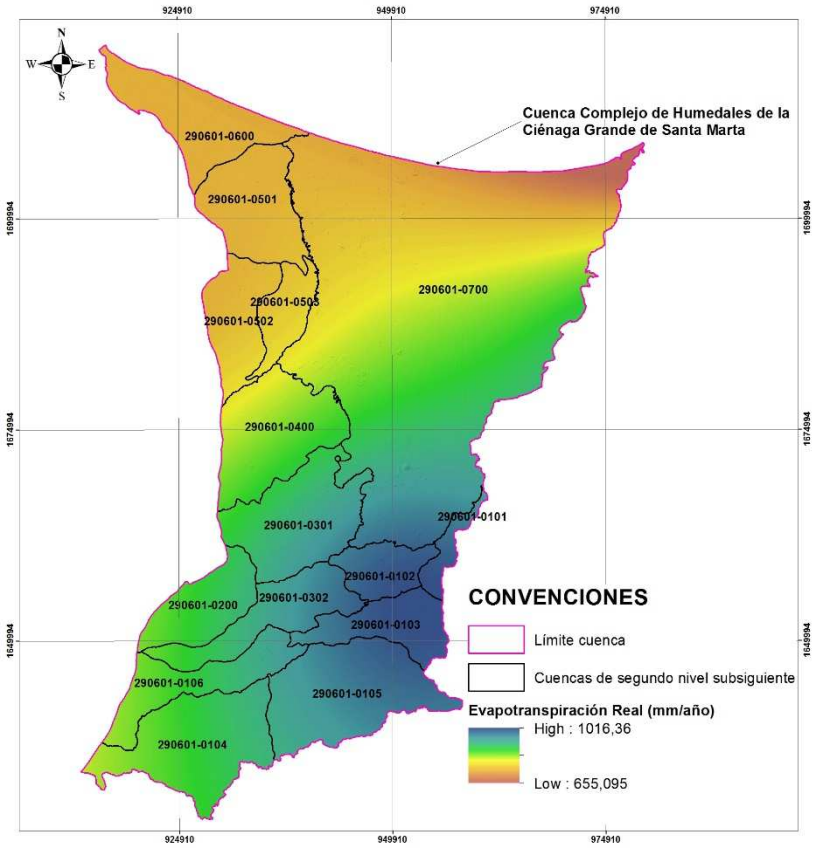
En este método se relaciona la ETP y la ETR bajo una compleja relación, involucrando también la precipitación, dada en la siguiente ecuación:

$$ETR = \left\{ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + senh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]\right\}^{1/2} \quad \textbf{(30)}$$

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

Al aplicar todas las ecuaciones anteriormente mencionadas para la cuenca, fue la metodología de Budyko la que mejor ajuste presentó frente a las condiciones de la cuenca, presentando en la Figura 2.49 la distribución espacial de la misma.

Figura 2.49. Distribución espacial de la evapotranspiración real de la cuenca según método de Budyko.



A continuación, en la Tabla 2.17 se presentan los valores medios de evapotranspiración para la cuenca y las subcuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Tabla 2.17. Valores medios anuales de Evapotranspiración real para las subcuencas del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

CODIGO	Nombre	ETR
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	778,864835
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	780,814017
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	782,615108
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	733,116915
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	730,364162
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	767,789139
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	732,08154

CODIGO	Nombre	ETR
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	746,60847
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	754,299113
2906-010400	Complejo Caño El Salado	715,161188
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	676,169217
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitio nuevo	681,77285
2906-010503	Caño Los Micos	687,452131
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	673,807885
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	706,84169

2.5.1.4. *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 2.18 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 2.18. Balance hídrico a largo plazo para las subcuencas del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

CODIGO_	Nombre	ETP Media (mm) (Penman)	ETR Budyko	Escorrentía	Caudal (m3/s)
290601-0101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	1009,6751	778,865	534,967	0,442
290601-0102	Complejo Ciénaga Playazo	1010,86321	780,814	875,469	1,618
290601-0103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	1011,42627	782,615	1212,578	3,273
290601-0104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	1003,53479	733,117	707,44	2,333
290601-0105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	1002,16183	730,364	1634,103	9,606
290601-0106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	1007,35599	767,789	1071,584	6,652
290601-0200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	1003,34858	732,082	1545,223	4,462
290601-0301	Complejo Ciénaga de Buenavista	1004,27296	746,608	868,772	4,491
290601-0302	Complejo Ciénaga El Diluvio	1006,00207	754,299	502,919	1,730
290601-0400	Complejo Caño El Salado	1001,82778	715,161	565,212	2,907

CODIGO_	Nombre	ETP Media (mm) (Penman)	ETR Budyko	Escorrentía	Caudal (m3/s)
290601-0501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	1005,25172	676,169	615,514	2,544
290601-0502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	1007,78231	681,773	160,864	0,482
290601-0503	Caño Los Micos	1003,05995	687,452	941,699	1,659
290601-0600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	1001,15926	673,808	1598,905	6,811
290601-0700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	990,027817	706,842	819,147	30,915

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 el Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

2.6. *Balances Hidroclimaticos A Nivel De Subcuenca*

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.

2.6.1. 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.

2.6.2. Determinación de la precipitación infiltrada, Pin

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).

2.6.3. 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 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.

2.6.4. Cálculo de la recarga potencial (Rp)

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.

2.6.5. 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 presentan en el Anexo 2.9 del presente documento.

2.7. *Clasificación Climática De La Cuenca.*

2.7.1. 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 Tabla 2.19

Tabla 2.19. 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 Figura 2.50 y en la Tabla 2.20, se presenta el valor en porcentaje del área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas.

Figura 2.50. Zonificación climática de Caldas – Lang para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

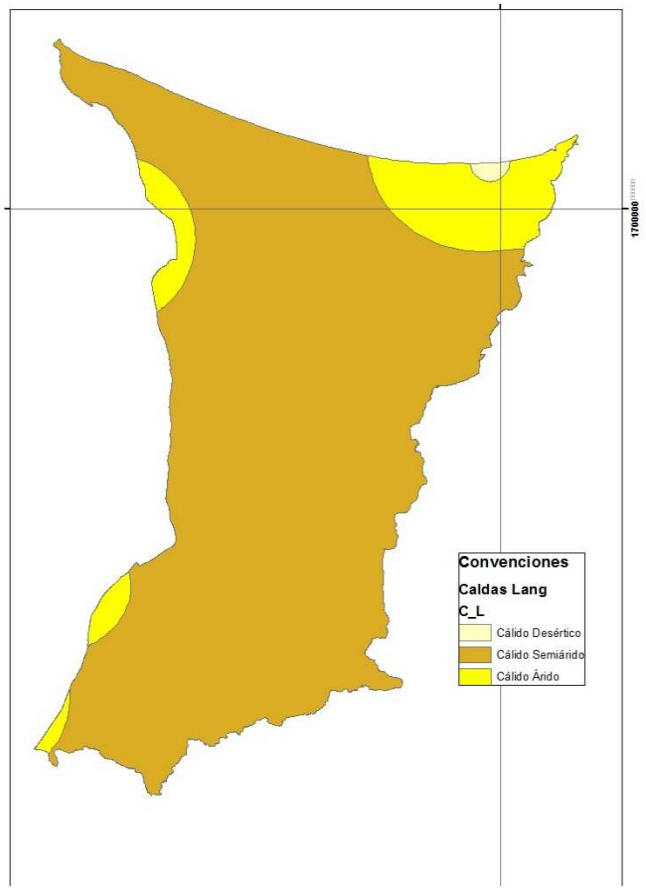


Tabla 2.20. Área ocupada por la cuenca en cada una de las zonas climáticas de Caldas Lang.

ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	NOMENCLATURA	CONVENCIÓN	% AREA	AREA (ha)
Cálido Desértico		CD	0,3	849,9
Cálido Árido		CA	10,3	28743,0
Cálido Semiárido		Csa	89,4	248830,5

El mayor porcentaje de la cuenca se encuentra dentro de la clasificación de cálido semiárido, teniendo en total tres clasificaciones según la metodología Caldas Lang, lo cual refleja la homogeneidad del territorio respecto a las condiciones altitudinales del mismo.

2.8. *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:

$$Ia = \frac{ETP - ETR}{ETP} \quad \textbf{(31)}$$

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

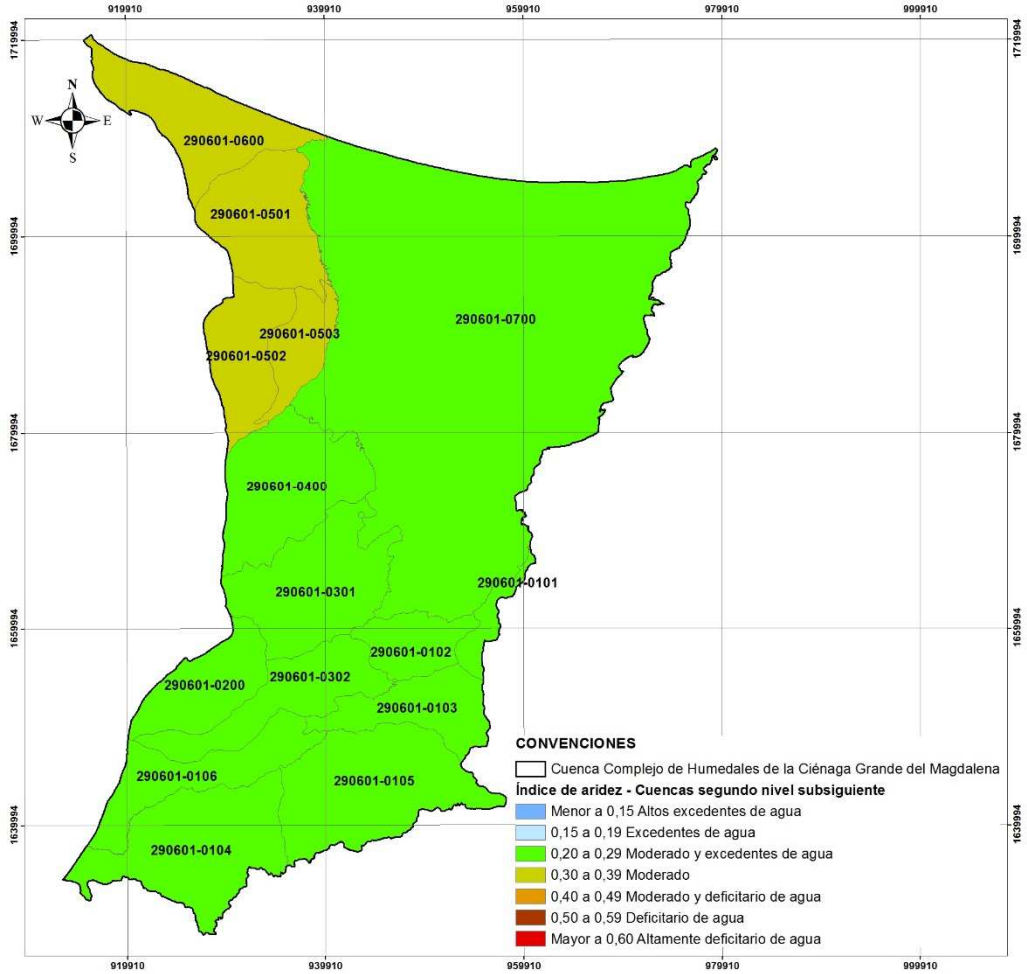
Tabla 2.21. Categorías de Índice de aridez.

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

Fuente: (MinAmbiente, 2014)

Para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, la clasificación del índice de aridez obtenida es la presentada en la Figura 2.51.

Figura 2.51. Índice de aridez para la cuenca del Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



Como se presenta en la anterior figura, cerca del 80% del territorio de la cuenca posee un nivel moderado de excedentes de agua, mientras que la zona localizada en la subcuencas del Complejo de ciénagas vía parque Isla Salamanca posee una clasificación de condición moderada, haciendo evidente su condición de vulnerabilidad, así como las subcuencas Complejo Cenagoso Sector Palermo, Sector Sitio Nuevo y Caño Los micos.

2.1. Necesidades De Información Y Conocimiento Para El Componente Climática De La Cuenca Hidrográfica Complejo De Humedales Ciénaga Grande De Santa Marta.

En primer lugar, como se mencionó en repetidas ocasiones durante el desarrollo del presente capítulo, al realizar el inventario y recopilación de la información disponible de las diferentes estaciones meteorológicas disponibles para el estudio de la cuenca, se evidenció el primer limitante para un desarrollo detallado del análisis climatológico de la cuenca, ya que el nivel de instrumentación de la cuenca es mínimo, teniendo muy pocas estaciones dentro de su territorio. Sin embargo, se logró elaborar el análisis climático por medio de la interpretación de las series

históricas a nivel regional disponibles en el IDEAM, teniendo estaciones localizadas muy cerca de la cuenca en estudio.

Teniendo en cuenta que en la presenta etapa de diagnóstico del POMCA del Complejo de humedales ciénaga grande de Santa Marta se pretende constituir la línea base ambiental y social de la cuenca para analizar sus interrelaciones, el clima se considera una variable estratégica a la hora de analizar las condiciones socioeconómicas de un territorio y las posibles repercusiones a futuro que los eventos extremos podrán tener sobre el mismo, teniendo en cuenta la estrecha interrelación que hay entre las condiciones y los componentes ambientales y el aprovechamiento humano a los recursos naturales.

Respecto a la identificación de las necesidades de información y conocimiento del componente climático de la cuenca, se identifican los siguientes aspectos a tener en cuenta en el proceso de mejora continua de los procesos de planificación ambiental:

- La información climatológica obtenida y disponible para el desarrollo del componente climático pose bastantes falencias en términos de cantidad, particularmente la selección de valores/estaciones representativas para sustentas los modelos climáticos desde información diaria, con series de suficiente período de registro. Para la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se dificultó el análisis específico de las condiciones climáticas ya que, en el interior del área de la cuenca, sólo se contaba con 3 estaciones (dos pluviométricas y una climatológica) que cumplieran con los requisitos de la Guía Técnica para la formulación de Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrograficas (MADS, 2012).

- Relacionado a lo anterior, debe señalarse que la calidad de los análisis del componente climático 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 en las áreas estratégicas de la cuenca se va haciendo más y más urgente, para lograr los objetivos de la planificación ambiental del territorio.

- Según la Guía de prácticas climatológicas (OMM, 2011), las variables más comúnmente utilizadas en la climatología son la temperatura de aire, la precipitación , la humedad, la velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica, la evaporación, la insolación y el tiempo reinante. Las propiedades de la superficie y subsuperficie, de los océanos y de la criosfera también se utilizan para describir el clima y su variabilidad, información que a nivel nacional tienen niveles muy deficientes de determinación. Lo anterior implica que es urgente implementar esfuerzos enfocados al mejoramiento de las condiciones de registro de variables climatológicas, especialmente para zonas de suma importancia ambiental, como es el complejo de humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, ya que sin determinar a nivel detallado sus condiciones y requerimientos, se hace mucho más difícil

determinar acciones enfocadas a su manejo. Es necesario un mejoramiento de la red meteorológica, que aporte información oportuna y de alta calidad, tan necesaria para los POMCA.

Para estos aspectos anteriormente mencionados, se plantea que un programa que optimización de la red climatológica pueda priorizarse para la zona en estudio, teniendo en cuenta las siguientes acciones, siguiendo los requerimientos de la OMM:

a) Planificación de redes de estaciones.
b) Ubicación o reubicación de las estaciones climatológicas.
c) Cuidado y la seguridad de los emplazamientos de observación.
d) Inspección periódica de las estaciones
e) Selección y formación profesional de observadores.
f) Instrumentos o sistemas de observación que habrán de instalarse para garantizar la obtención de registros representativos y homogéneos (OMM, 2011).

Sin embargo, es necesario dar inicio a la implementación de otras fuentes de información enfocadas a los sensores remotos, satélites y sistemas de teledetección, tales como los radares meteorológicos, los cuales proporcionan información abundante y detallada que puede ser utilizada de manera complementaria a la determinada por las redes climatológicas convencionales, especialmente en áreas cuya instrumentación sea baja. Los radares meteorológicos se han convertido en una herramienta útil para enfrentar de una manera efectiva el problema de la estimación de los campos de precipitación, lo cual es una tarea difícil de afrontar debido a la alta variabilidad espacio temporal de la precipitación. Dentro de éste proceso de estimación de la precipitación la verificación y ajuste de la información del radar juega el papel importante en la búsqueda de una solución que se apoya en las medidas de radar. La calibración es una técnica comúnmente adoptada, que permite reducir el sesgo y la dispersión entre las estimaciones de precipitación de radar afectadas por la variabilidad espacio temporal de los parámetros de la relación de la medida de reflectividad que se transforma en medida de intensidad de lluvia y las estimaciones en tierra dadas por las medidas directas de los pluviómetros y pluviógrafos. El ajuste de radar - pluviógrafos es una técnica comúnmente adoptada, que permite reducir el sesgo y la dispersión entre las estimaciones de precipitación mediante radar y las correspondientes mediciones terrestres tales como las de los pluviógrafos. (COPETE, OBREGÓN, & HERRERA, 2013).

- Algunas predicciones hidrológicas requieren información sobre la precipitación anterior. Esto puede lograrse si se dispone de un sistema de archivo de datos históricos. Cuando se

combina esta información con las características del drenaje de la región, puede ayudar a localizar la existencia de zonas favorables a la producción de crecientes o inundaciones. (COPETE RÍOS & OBREGÓN NEIRA, 2009)

- 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.
- Con el fin de lograr la caracterización espacial de la precipitación sobre el área de influencia del POMCA, se recomienda levantar mapas de error en la estimación de las intensidades, como criterio para definir la localización de nuevas estaciones pluviográficas en zonas donde se presenten errores altos.

- Promover la construcción de curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF) ya que son una de las herramientas mayormente empleadas en la estimación de caudales de diseño de obras de drenaje en vías y alcantarillados pluviales en zonas urbanas y rurales, así como en la estimación de las tormentas de diseño en sitios donde, debido a la falta de información de caudales, es necesario recurrir a los modelos lluvia-escorrentía para el cálculo de los caudales máximos. De esta forma se recomienda realizar nuevas investigaciones enfocadas a analizar específicamente las posibilidades de interpolación más parámetros de las Curvas IDF a partir de la generación de las ecuaciones e inclusión de nuevas curvas y otras fuentes de información particularmente si se tienen planes de regionalización de intensidades de precipitación y eventos extremos para cada cuenca.

3. GEOLOGÍA

Atendiendo a uno de los principales objetivos de la del Formulación Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, como es el de realizar su caracterización dentro del marco de la Gestión del Riesgo y el Análisis Situacional de sus Potencialidades y Limitantes, la Geología se constituye en una de las temáticas a tener en cuenta, puesto que esta hace parte del medio natural y define varias de las características y la dinámica del medio físico en relación con diferentes actividades humanas que se desarrollan dentro de su territorio. La descripción de los componentes geológicos como la estratigrafía y la tectónica, permiten poner en contexto otras temáticas del medio físico como Geomorfología, Hidrogeología, Suelos y Amenazas Geológicas, con los cuales se aporta en la construcción del análisis holístico que determina la ordenación de la cuenca.

El análisis del componente de geología para el Diagnostico, conforme al Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, implica, en condiciones que se podrán denominas estándar, el desarrollo de dos ejes principales, el primero correspondiente a la temática de Geología propiamente dicha, y el segundo al estudio de la Geología para Ingeniería, también llamado de Unidades Geológicas Superficiales-UGS. Para el caso de la cuenca en estudio, este segundo eje temático, no desarrolla, ya que su incorporación dentro del documento del diagnóstico depende del análisis previo de capas de Geomorfología y de la zonificación de susceptibilidad por fenómenos de fenómenos de remoción en masa y avenidas torrenciales; atendiendo al protocolo ya mencionado, se determinó para la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta que por sus características fisiográficas que básicamente determinan que es una cuenca plana y la zonificación de susceptibilidad, que indica que no se presentan fenómenos de remoción en masa ni de avenidas torrenciales, que no es necesario adelantar el análisis de UGS y por consiguiente no se requiere generar Mapa de Geología para Ingeniería o Mapa de Unidades Geológicas Superficiales-UGS el cual, para territorios con características de relieve que indiquen pendientes medias o altas y áreas asociadas a estos fenómenos amenazantes con susceptibilidad media y/o alta, es insumo básico para realizar la evaluación de Amenazas dentro de la Temática de Gestión del Riesgo.

Aclarado lo anterior, el presente texto, desarrolla la temática concerniente únicamente a la Geología de la Cuenca en estudio, 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 tópico lleva 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 informe geológico expuesto en este texto, y el mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de la cuenca corresponde a los productos mínimos del desarrollo la Temática de Geología y se constituye en insumo de uso multipropósito para el análisis de los demás factores temáticos requeridos para el ordenamiento de la Cuenca.

3.1. *Metodología*

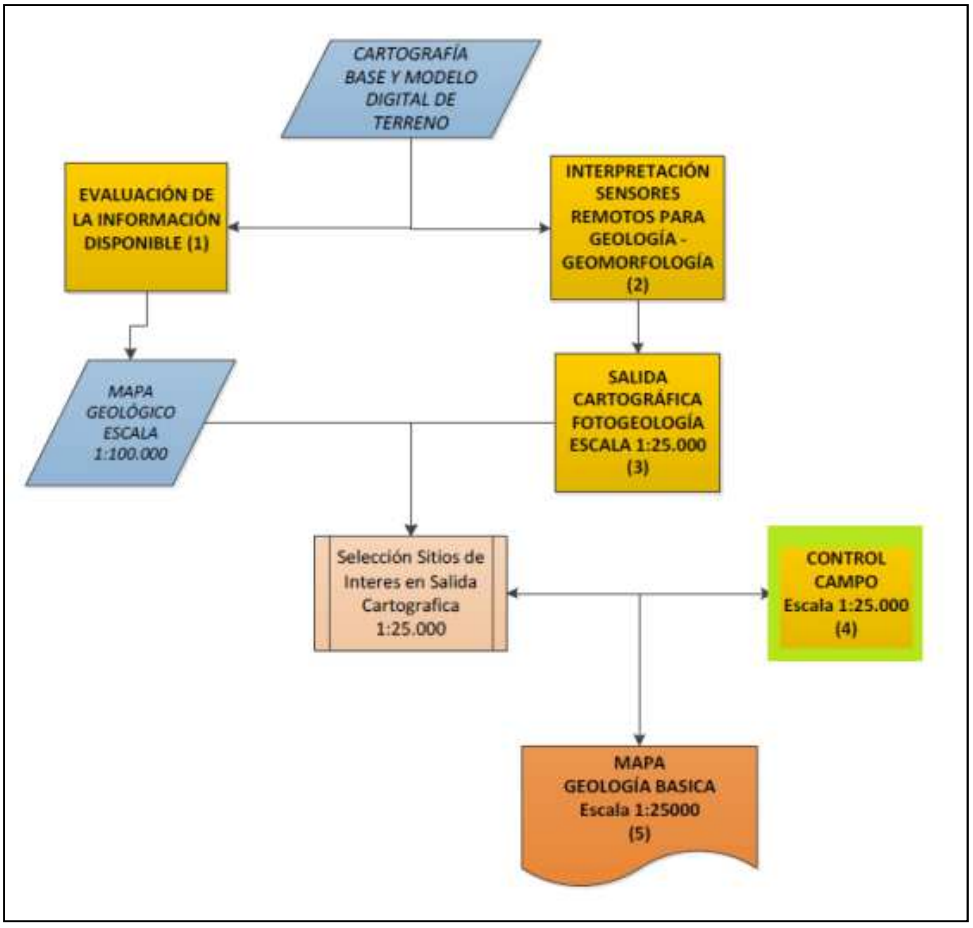
Este capítulo, se realizó siguiendo la estructura definida por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en la Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas[8], la cual implica una Fase de Aprestamiento y una Fase de Diagnóstico; durante la 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[9], 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.

[8] 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.
[9] 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.



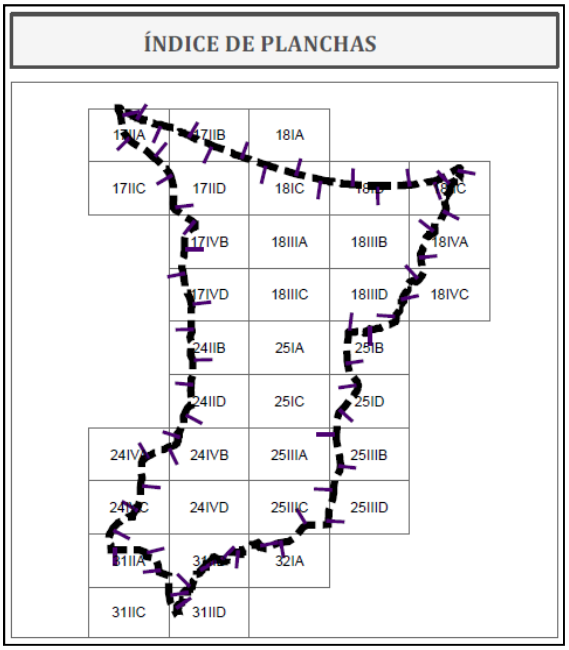
Tomada de Protocolo Para la Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014.

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 17, 18, 24, 25, 31 y 32; 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 Índice de Planchas topográficas.

Figura 3.2. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000 para el área de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



Fuente: IGAC

Para el territorio de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se encontraron y revisaron algunos documentos de estudios anteriores, referidos los Esquemas de Ordenamiento territorial de los Municipios que hacen parte de la cuenca, documentos técnicos de entidades como CORPAMAG, Parques Nacionales Naturales, Asocienaga y el Centro de Investigaciones en desarrollo Humano Universidad del Norte, sin embargo, los documentos empleados como insumo básico para la información geológica corresponden a los realizados por el Servicio Geológico Colombiano, SGC, como los levantamientos de la cartografía geológica a escala 1:100.000, de las planchas 17-Barranquilla[10], 18-Cienaga[11], 24-Sabana Larga[12], 25- Fundación[13] , 31-Campo de la Cruz[14] y 32 Monterrubio[15].

El apoyo en imágenes de satélite como las obtenidas de la Plataforma Alos Palsar[16], con resolución espacial a 12,5 m, permitió construir un mosaico de imágenes de radar llamado Modelo de Elevación

[10] Barrera R. Geología de las Planchas 16-17 Galerazamba y Barranquilla. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[11] Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga. Ingeominas, Bogotá, 2003.
[12] Reyes G., Zapata G. Geología de la Plancha 24-Sabanalarga. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[13] Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[14] Barrera R., Reyes G., Guzmán G., Et al. Geología de la Plancha 31 Campo de La Cruz. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[15] Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[16] Alos Palsar, misión de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón 2006-2011. https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/

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. Adicionalmente, se contó con el apoyo en imágenes satelitales Rapideye (2013-2014), junto 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 del Servicio Geológico Colombiano SGC y la interpretación de los sensores remotos, se generó la salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 que muestra la disposición de las rocas expuestas en el área de estudio 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 algunas de las unidades identificadas preliminarmente y en especial para resolver las diferencias en los sectores de incongruencia de empalmes entre las planchas geológicas a escala 1:100.000 del SGC, estas 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´680.000 entre las planchas 17 y 18; y 24 y 25 para definir la continuidad de los depósitos cuaternarios; el eje Norte con valor 1´640.000 entre las planchas 24 y 25; y 31 y 32, para definir la continuidad de las rocas de edad Neógeno; en el eje Este con valor 940.000 entre las Planchas 11, 24 y 31 y 12, 25 y 32 para definir continuidad de rocas de los depósitos cuaternarios y las rocas del neógeno. Prioridad de los transeptos definidos para el control de campo.

Tabla 3.1. Priorización de transeptos en empalmes entre planchas geológicas a escala 1:25.000 del SGC.

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´680.000	17 18 24 25	1998	Definir la continuidad de los depósitos cuaternarios
Incongruencia en el empalme entre planchas	A lo largo del eje Norte 1´640.000	24 25 31 32	1998	Definir continuidad de las rocas de edad Neógeno (Formaciones Rancho- Jesús del Monte)
Incongruencia en el empalme entre planchas	A lo largo del eje Este 940.000	17 24 31 18 25 32	1998	Definir continuidad de las rocas de edad Neógeno (Formaciones Rancho- Jesús del Monte) y depósitos cuaternarios

Figura 3.3. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC. Empalmes entre las planchas 24, 25, 31 y 32.

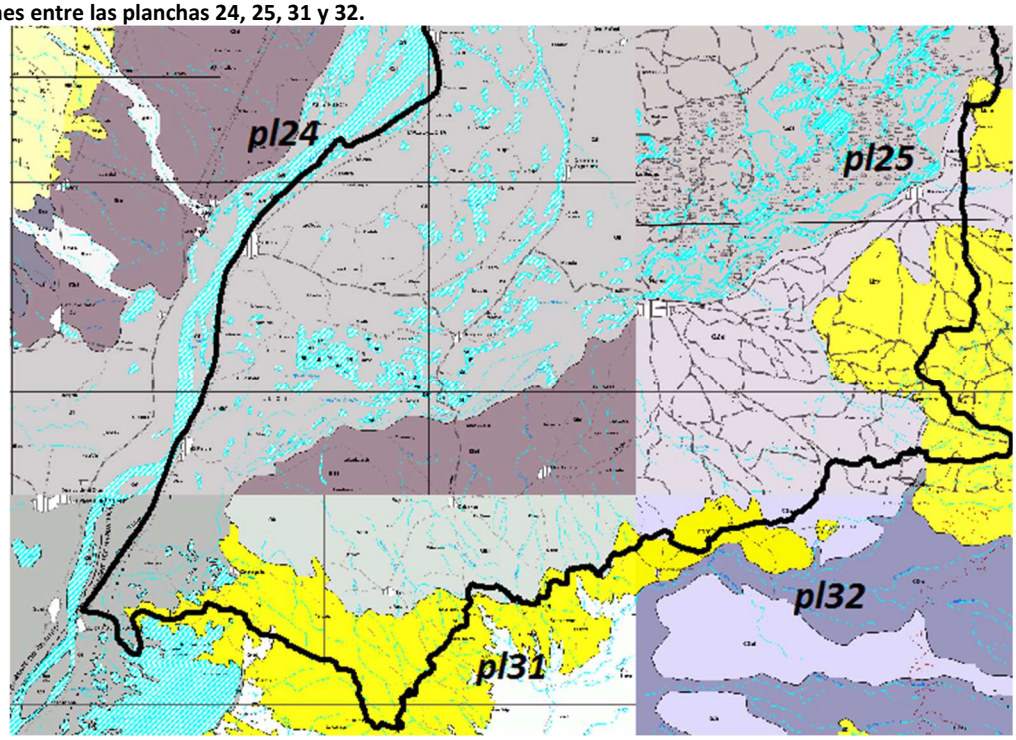
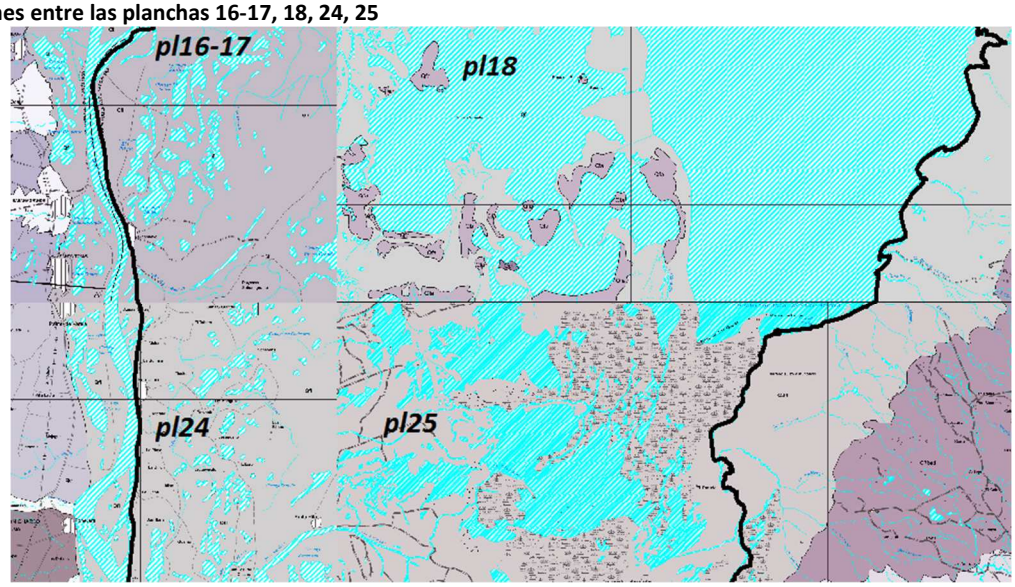


Figura 3.4. Muestra empalmes entre Planchas Geológicas escala 1:100.00 de Servicio Geológico Colombiano SGC. Empalmes entre las planchas 16-17, 18, 24, 25



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 los transeptos proyectados 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 la verificación 43 puntos de control y recorriendo aproximadamente el 80% del territorio seco 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, los transeptos programados, se concertaron 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. Recorridos principales desarrollados en campo.

Tramo recorrido	Justificación del recorrido	Resultados	Evidencia
Nueva Venecia, Ciénaga Grande de Santa Marta.	Identificación de depósitos cuaternarios de tipo fluvio-lacustre.	Se evidencio procesos de sedimentación dentro de la ciénaga; se revisó junto con la comunidad algunos de los factores que exponen la ciénaga a diversos problemas ambientales.	
Santa Rita.	Identificación de depósitos cuaternarios.	Se verificó la existencia de procesos de sedimentación antrópica de varios sectores de la Ciénaga, debido a prácticas de Rellenos antrópicos para potrerización.	

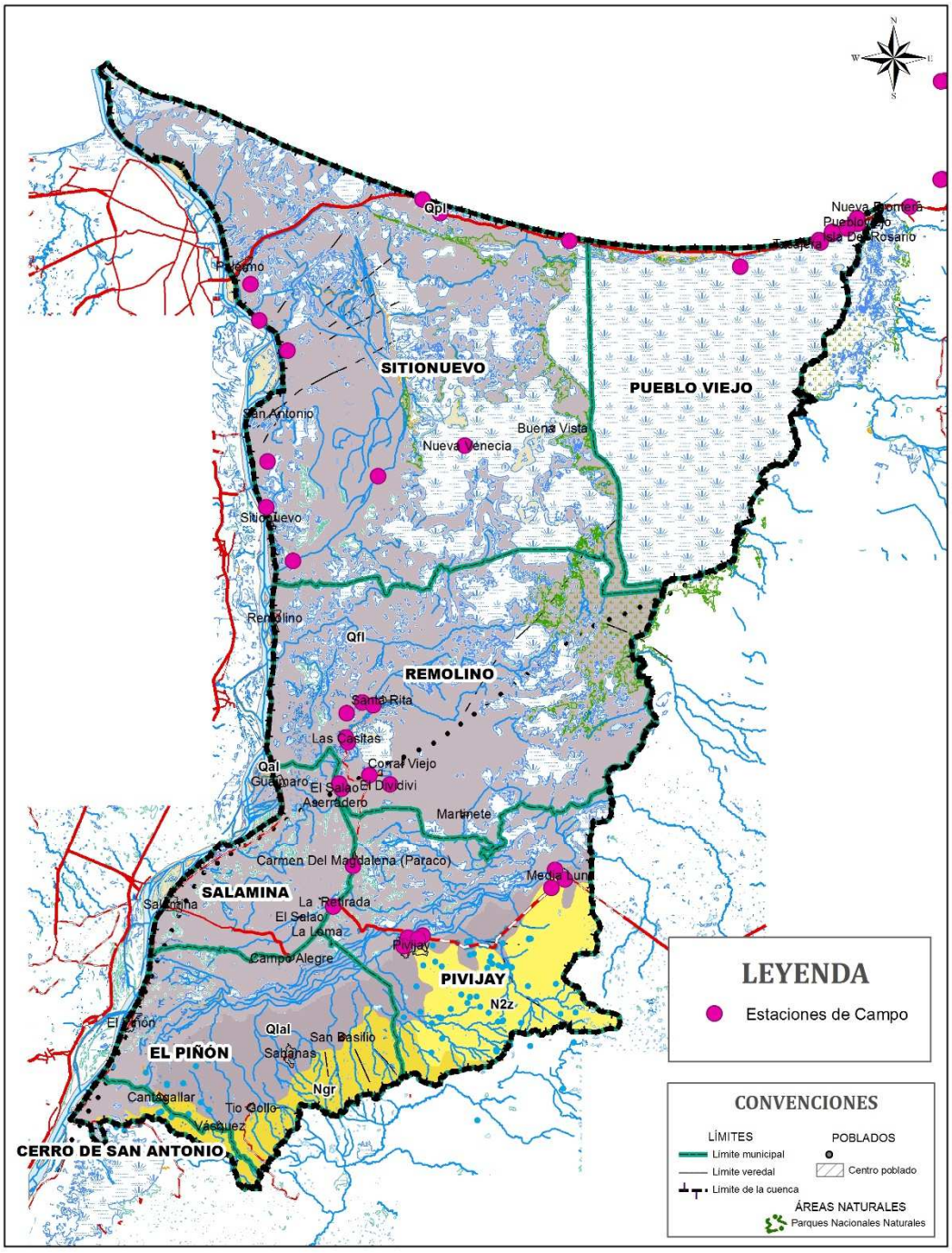
Tramo recorrido	Justificación del recorrido	Resultados	Evidencia
Puente la Barra, Municipio de Pueblo Viejo.	Identificación de depósitos cuaternarios.	Verificación de depósitos cuaternarios y procesos de erosión costera.	

Con las actividades de campo, se logró obtener información técnica concerniente a las rocas aflorantes; verificación de contactos, estructuras locales (lineamientos, pliegues y fallas), 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	1703951	967933	1449	Sitio Palmira. Zona plana, depósitos de tipo marino. Ciénaga cortada por la vía Ciénaga - Barranquilla.
2	1706058	954023	22	Ciénaga Grande de Santa Marta
3	1708327	943516	1	Ciénaga
4	1709419	942080	1	Obra para mitigar la erosión y proteger la vía.

Figura 3.5. Ubicación de las Estaciones registradas durante el Control Campo en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.



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 Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01) 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 Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta es de tipo 1 de <100.000ha - 300.000ha ya que su área total es de 278.423 ha y corresponde con aproximadamente 14 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 70 puntos de control; sin embargo, aproximadamente el 50% de su extensión de terreno se encuentra anegado, lo que limitó el número de estaciones de campo a levantar, a 43, número de estaciones que estaría acorde con lo proyectado para lograr la escala de análisis y producción cartográfica requerida dentro de esta cuenca.

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*"[17].

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 de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta corresponden a la Memoria Técnica y a los mapas que representan esta información espacializada y geo referenciada dentro de un SIG. Estos mapas finales son tres y competen a: 1. Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Mapa 04. Y 2. Mapa de Geología Básica con fines de Ordenación de cuencas hidrográficas-Mapa 05.

[17] 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.

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

Paralelamente, al análisis de esta información y su espacialización, de acuerdo 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[18], se procedió a consolidar 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 rigurosidad en el volumen 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 estas estaciones, lo que determinó que en estos sectores se optara básicamente por tomar los datos y la información presentada en las Planchas Geológicas a escala 1:100.000 del SGC.

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.

Se elaboró la memoria explicativa para el Mapa Final de Geología que corresponde al desarrollo de este ítem dentro del documento de Diagnóstico, el cual 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

[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.

de la geología regional y sus atributos de litología, lineamientos, pliegues, fallas, espesores y edades que se fundamentó en la información secundaria.

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, fallas; también se 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 debido a los criterios de los diferentes autores de cada plancha, 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 Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, de acuerdo con la nomenclatura empleada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, 2015.

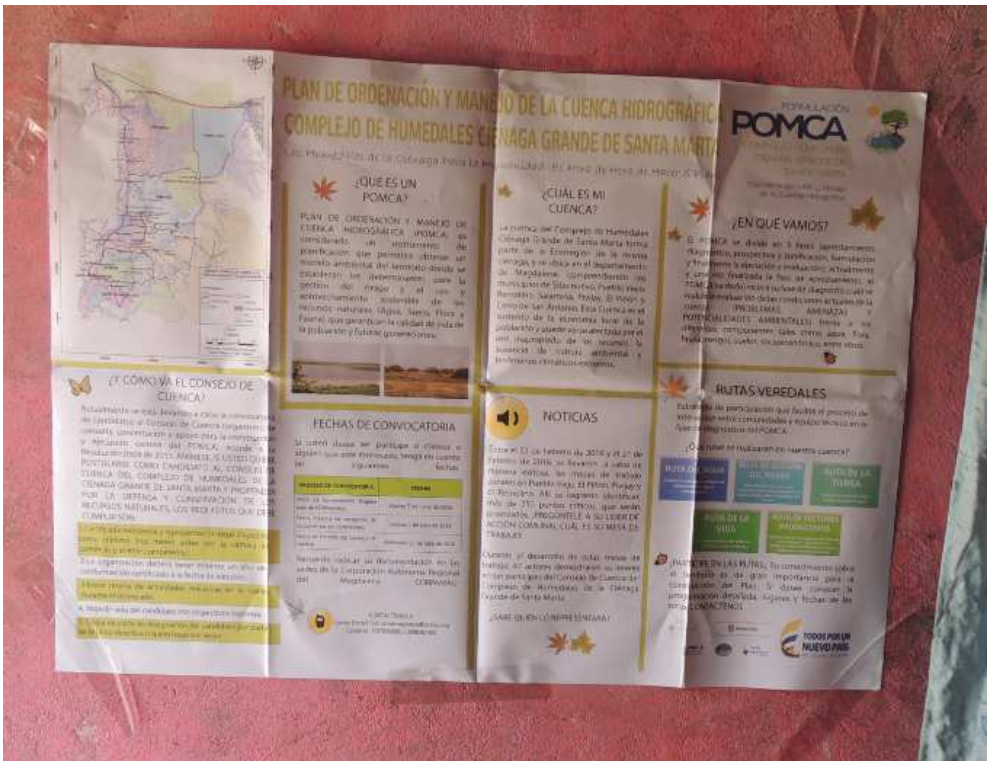
NOMBRE UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO EMPLEADO EN PLANCHA ESCALA 1:100.000 DEL SGC / AÑO DE PUBLICACIÓN (1998) / AUTOR						SÍMBOLO UNIFICADO
	17	18	24	25	31	32	
	Barrera	1999/ Hernández	Reyes - Zapata	Maldonado-Hernández Et al.	Reyes – Barrera Et al.	Reyes - Clavijo	
Depósito de Playa	Qmp	Qpl	-	-	-	-	Q2pl
Depósito de Llanura Aluvial	-	Qfaf Qfcal	Qlal	Q2lal	Qlal	Q2lal	Q2lal
Depósito Fluviolacustre	Qfl	Qfl	Qfl	Q2fl	Qfl	-	Q2fl
Deposito Aluvial	Qcal	Qal	Qcal	Q2al	Qcal	-	Q2al
Formación Zambrano	-	-	-	N2z	Ngz	N2z	N2z
Formación Rancho	-	-	-	N1r	Ngr	N1r	N1r

Para lograr obtener los productos finales, durante todo el desarrollo del proceso metodológico, fue necesario elaborar una serie de Productos Intermedios, que permitieron el avance de la tarea de análisis de información. Estos Productos Intermedios, se denominaron Salidas Cartográficas, las cuales están definidas en el Anexo de Alcances Técnicos de la Consultoría para la Elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01), como elementos que componen el listado de productos de cartografía, que son adimensionales, es decir, que no necesariamente están referidos a una escala cerrada, hacen parte integral de los documentos y se utilizaron en algunas de las presentaciones de los espacios de participación con las comunidades y no requirieron de las rigurosidades técnicas que son obligatorias en un mapa.

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.

Figura 3.6. Ejemplo de salida cartográfica empleado en el desarrollo de la Ruta de la Tierra en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

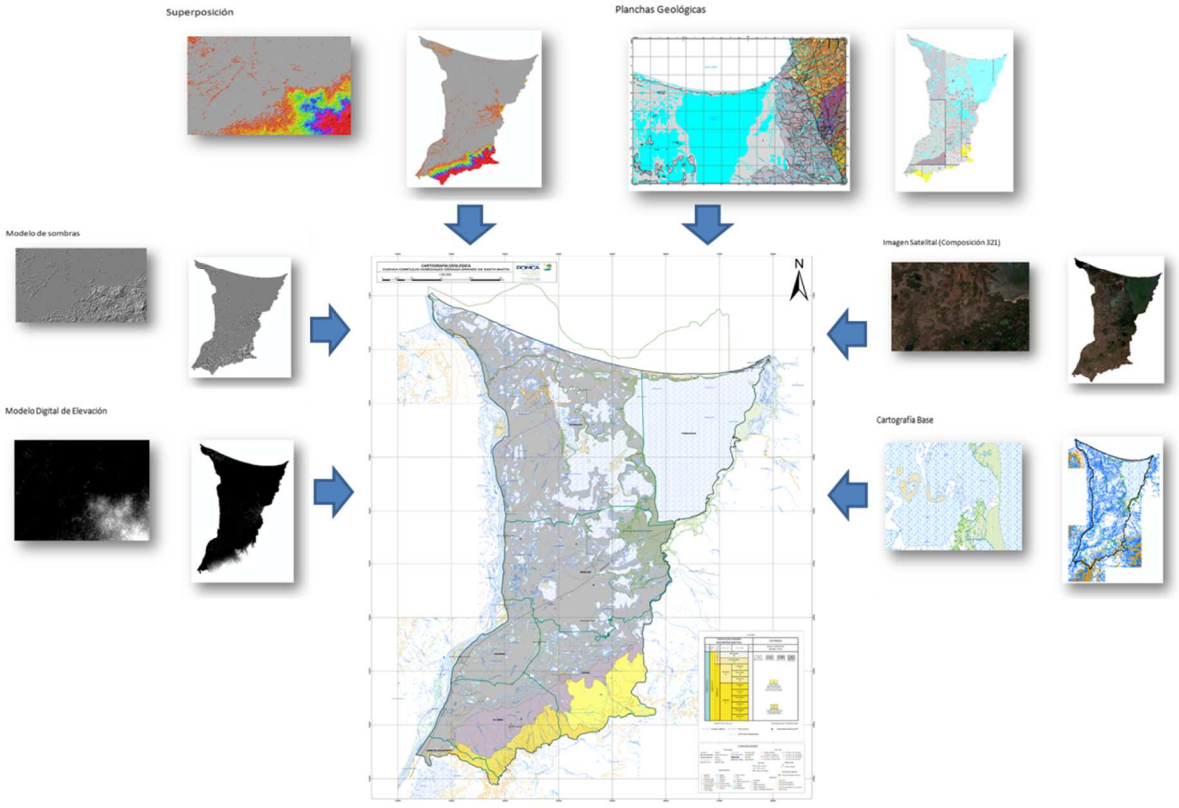


Las salidas cartográficas propias de la temática de geología que se generaron durante el proceso son dos: Fotogeología para la Geología Básica, que en este caso correspondió a la Salida Cartográfica de Interpretación de Imágenes Satelitales para Geología Básica y la Salida Cartográfica Geológica-Geomorfológica, 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.

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



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 Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01) en el numeral 2. Especificaciones Técnicas para los Mapas y Salidas Cartográficas, se determina para los mapas 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 del producto Mapa 05 en escala 1:25.000.

Figura 3.8. Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, Mapa 04.

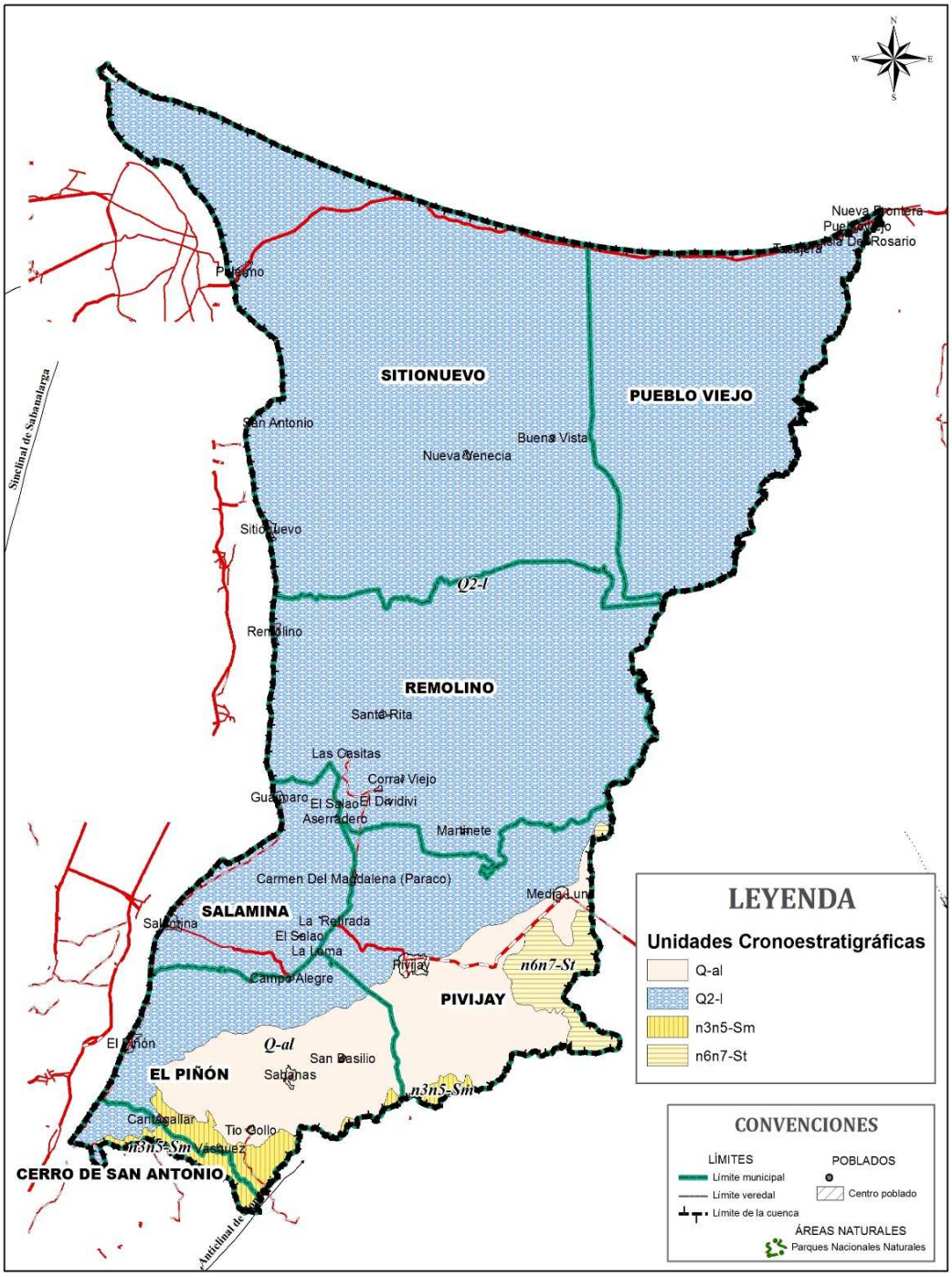
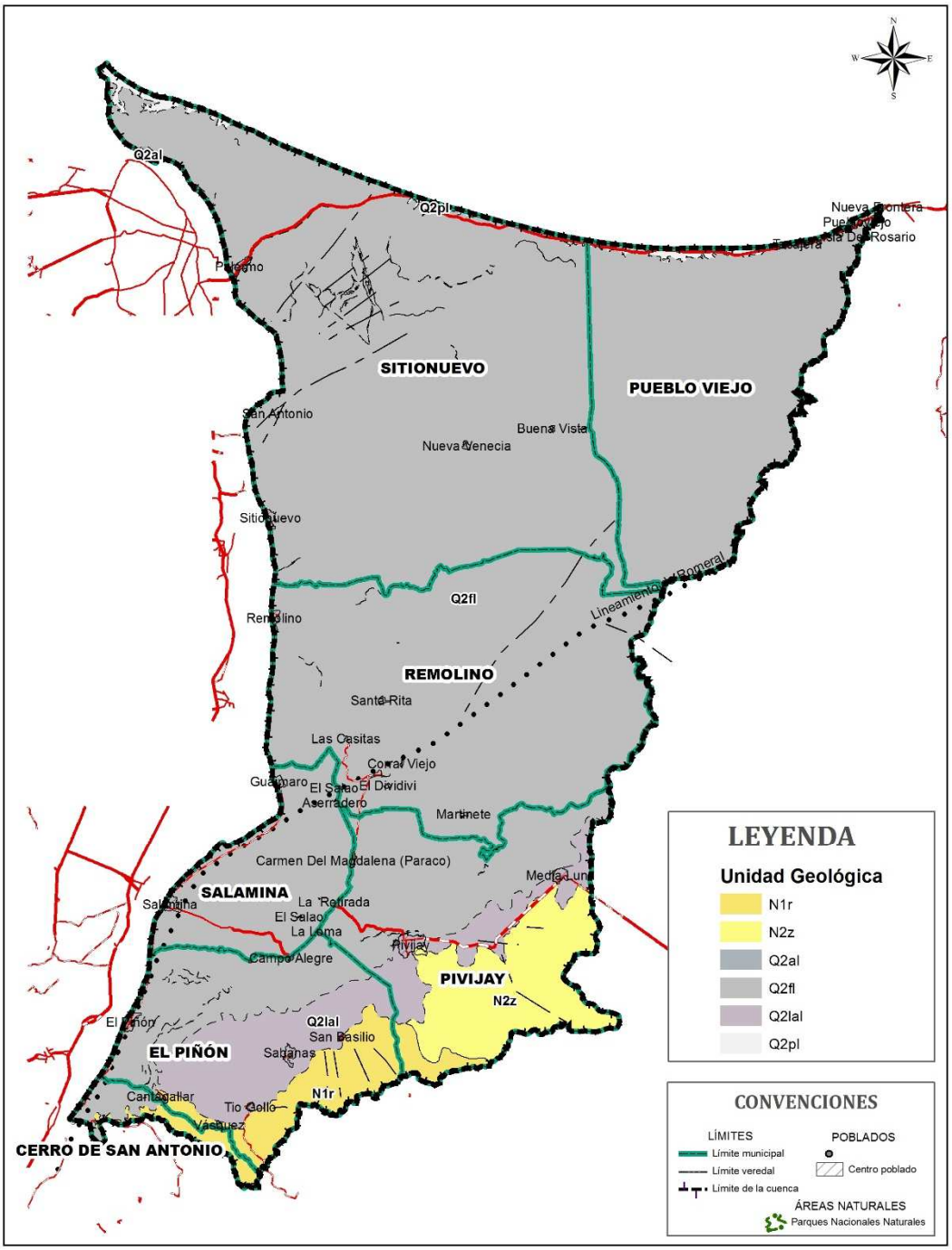


Figura 3.9. Mapa de Geología Básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas- Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, Mapa 05.

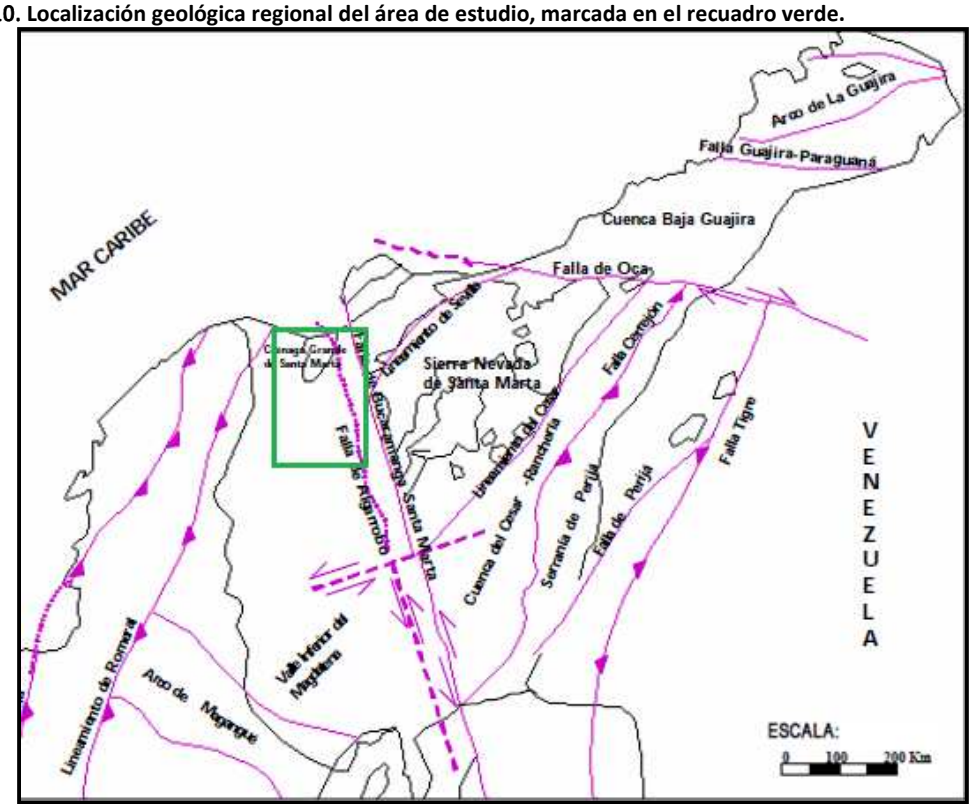


3.2. *Marco Geológico Regional*

La Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se ubica en el sector norte del Departamento del Magdalena, en el denominado Valle Inferior del río Magdalena. Regionalmente, este Valle, se localiza en la esquina noroccidental de Sur América. Geológicamente está limitado al Este por la Falla de Santa Marta- Bucaramanga que la separa de las rocas cristalinas de los macizos de Santa Marta y Santander; al Sur, por las estribaciones de la Cordillera Central y la falla de Palestina (cubierta por sedimentos cuaternarios); hacia el Norte y Oeste, por la cuenca del Caribe Colombiano.

El margen continental del Caribe Colombiano hace parte del frente de deformación originado por la subducción de la Placa Caribe bajo la Placa Suramericana. Las características tectónicas, dominadas por la interacción de estas placas, determinan los patrones estructurales que se presentan en las provincias geológicas del Norte Colombiano. Esta evolución, resulta en bloques que se presentan como regiones tectónica y estratigráficamente diferenciadas entre sí.[19]

Figura 3.10. Localización geológica regional del área de estudio, marcada en el recuadro verde.



Modificado de Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000, 1989.

[19] Reyes, H. Montenegro, B. Et al. Tectonoestratigrafía y Evolución geológica del Valle Inferior del Magdalena. Boletín de geología, Vol. 26, No. 42, Ene-jun de 2004. Revistas-UIS

Una breve reseña de la evolución geológica es descrita en resumen en la Tabla 3.5

Tabla 3.5. Evolución cronológica del área de la cuenca.

Periodo Geológico	***Procesos Principales***
Cuaternario	Ocurren varias oscilaciones importantes en el nivel del mar ya sea por procesos neo-tectónicos o por control glacioeustático. El primer solevamiento se marca a finales del plioceno) deja emergido todo el plano continental de la región de estudio; el segundo solevamiento se da en el pleistoceno tardío, relacionado con las glaciaciones causa el atrincheramiento de escorrentías, en los depósitos (agua subterránea) de la llanura previamente ahogada, en ese momento (?) el río Magdalena adopta su curso actual y abandona parcialmente su paso por el Canal del Dique y el Caño Ciego. Por lo menos una de las transgresiones marinas penetra tierra adentro hasta la cota de 20-25m, una transgresión reciente llegó hasta la cota de 10-15m. La tendencia actual (desde la segunda mitad del siglo XIX) parece ser hacia una nueva transgresión.
Pleistoceno-Holoceno	Predomina una intensa sedimentación fluvial y deltaica en toda la eco región y una importante sedimentación lacustre en áreas adyacentes a los drenajes mayores.
Plio-Pleistoceno	La orogenia final Andina, produjo el levantamiento y plegamiento del cinturón de San Jacinto que marca nítidamente el futuro borde occidental de la eco región en estudio; la emergencia de la cubierta de la plataforma continental, que marca el límite meridional y el corrimiento lateral del macizo de santa marta hasta su posición actual, marcando el limite oriental.
Mioceno Tardío-Pleistoceno	Ocurre una separación relativa del macizo de Santa Marta y la cordillera central, a lo largo de la falla de San Jorge. Se forma la geo fractura de Plato. El río Magdalena cambia su curso (antes, fluía hacia el actual Golfo de Maracaibo) y vierte sus aguas en la depresión tectónica de Sucre y la geo fractura de Plato. Simultáneamente ocurren intensos procesos erosivos cuyo aporte sedimentario es transportado por las aguas de los ríos Magdalena y Cauca. La eco región del complejo estuárico de Santa Marta, cambia de un ambiente de aguas marinas profundas, a uno de aguas marinas someras.
Mioceno	Inicio del plegamiento Proto-Andino y se completa el esbozo tridente de los actuales Andes Colombianos. En la eco región de estudio continúa la deposición de sedimentos (condiciones neríticas) y emergen los núcleos de San Jacinto y Luruaco, al occidente.
Eoceno Tardío-Oligoceno	El mar realiza una invasión progresiva del continente, desde el norte y el occidente, con depósitos de facies de carbonatos y algunas inclusiones de calizas arrecifales.
Eoceno Medio	Los esfuerzos compresionales laterales alcanzan un clímax, ocurriendo una orogenia en el borde externo de la plataforma.
Mesozóico-Cenozóico	Orogenia con plegamiento y metamorfismo local de las rocas sedimentarias y la intrusión de pequeñas rocas ultramáficas y serpentinitas de tipo alpino. El límite del ambiente terrestre es básicamente el mismo que en el anterior, pero ocurren los primeros levantamientos del cinturón fragmentado de San Jacinto en la zona de interacción de la corteza oceánica del Caribe Sur occidental y la corteza continental del norte de sur América, formándose allí una cadena volcánica submarina
Cretáceo Tardío – Paleoceno	La eco región presenta un panorama paleo geográfico de ambiente marino, extendido hasta el actual límite sur oriental de la misma, en donde tuvo lugar una sedimentación pelágica. El actual Macizo de Santa Marta está acoplado a la cordillera central, siguiendo la dirección del actual brazo de Mompox (actual río Magdalena)
Cretáceo Tardío	El mar miogeosinclinal alcanza su máxima extensión, dejando “in situ” una plataforma que supra yace a una corteza continental, cuyo borde occidental pasa por los bordes sur y sureste de la eco región del complejo estuárico.
Triásico-Jurásico	Perturbación tectónica de gran magnitud que genera magmatismo, afectando la zona oriental del complejo estuárico y la zona meridional del actual macizo de Santa Marta

Periodo Geológico	***Procesos Principales***
Paleozoico	Deposición de materiales miogeosinclinales sobre la plataforma continental y la acumulación de sedimentos eugeosinclinales en una amplia fosa que bordea la plataforma (área débil de la plataforma). Intensa orogenia que actúa sobre el Área de debilidad, dando lugar al levantamiento de la Cordillera Central Ancestral.

Fuente: Tomado y modificado de Simón, 1981.

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 rocas sedimentarias del Mioceno hasta el Cuaternario reciente. 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, principalmente de los Depósitos Cuaternarios resientes y aunque se han mantenido los nombres de las unidades litológicas, los códigos de estas se han unificado de acuerdo con la nomenclatura utilizada por el SGC en la última versión del Mapa Geológico de Colombia, publicado por esta entidad en 2015.

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[20].

En el área de estudio, las rocas sedimentarias, corresponden principalmente a los Depósitos Cuaternarios, los cuales se consideran depósitos recientes, su cartografía se realizó principalmente por medio de la interpretación de sensores remotos ya que sus rasgos son más geomorfológicos que litológicos; también se observaron rocas del Neógeno, aunque en una mínima exposición.

En la siguiente tabla se presentan las unidades de roca identificadas dentro del área de estudio, con su símbolo unificado de acuerdo con el Mapa Geológico de Colombia, y se relaciona el periodo y época de su génesis.

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

Tabla 3.6. Tipos de Rocas y Edad de las unidades geológicas presentes en la - Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

NOMBRE UNIDAD	SÍMBOLO	PERIODO	ÉPOCA	EDAD	TIPO DE ROCA
Depósito de Playa	Q2pl	Cuaternario	Holoceno	-	Sedimentaria
Depósito de Llanura Aluvial	Q2lal			-	
Depósito Fluviolacustre	Q2fl			-	
Deposito Aluvial	Q2al			-	
Formación Zambrano	N2z	Neógeno	Plioceno	Inferior	
Formación Rancho	N1r		Mioceno	Tardío	

A continuación, se describen las unidades litológicas presentes dentro del área de la cuenca teniendo en cuenta su edad desde las más antiguas a las más recientes .

3.3.1.1. *Rocas del Neógeno*

3.3.1.1.1. *Formación Rancho (N1r)*

Se considera su autor a Notestein 1929, (en De porta, 1974), quien la referenció en un informe de la Texas Petroleum Company. Su sección tipo se localiza en entre las localidades de Carmen y Zambrano, donde Duque y Caro (1996) la describieron como series del Rancho compuesta por una sucesión espesa de areniscas resistentes y arcillolitas arenosas[21].

Su expresión morfológica es muy baja, debido a que su litología es predominantemente arcillosa, lo que la hace poco resistente al interperismo; presenta estratificación plano paralela, ocasionalmente ondulada y lenticular. Está conformada por una alternancia de grano decreciente de arcillolitas pardas y verdosas, calcáreas con areniscas de grano muy fino, de color pardo oscuro dispuesta en capas delgadas (2-5 cm) que se van haciendo más gruesas (25-30 cm) a medida que asciende estratigráficamente, las capas más gruesas presentan grano fino y color amarillo, con cemento calcáreo y presentan restos de plantas y cristales de yeso. La sección superior es predominantemente arcillosa con intercalaciones de areniscas en capas medianas y gruesas.

El ambiente de depósito fue definido por Howell & Normark, 1988 como turbidítico medio a distal, aunque aún no existen estudios detallados para su definición, también se ha postulado que el ambiente de depósito pudo haber sido de abanico submarino[22]. Se presume un espesor de unos 300 m. sin embargo, no existen estudios estratigráficos de detalle que confirmen este espesor.

[21] Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.

[22] Barrera R., Reyes G., Guzmán G., Et al. Geología de la Plancha 31 Campo de La Cruz. Ingeominas, Bogotá, 2001.

Se ha definido un contacto transicional con la infrayacente Formación Carmen y un contacto conforme con la Formación Zambrano en su tope. Autores como De Porta (1974), Duque – Caro (1968, 1970, 1975, 1979) le asignan una edad Miocena Tardía – Pliocena Temprana, de acuerdo con la abundante micro fauna bentónica y plantónica que contiene[23].

Dentro del área de estudio, esta unidad aflora al sur los centros poblados de Tiogollo y San Bacilio, en una angosta franja contra el límite sur de la cuenca. Se observa como una secuencia de niveles alternantes areniscas de grano fino y arcillas de colores pardos y verdosos con presencia de estructuras sedimentarias como bioturbación y laminación cruzada en los niveles arenosos, que van aumentando su tamaño de grano hacia el tope; debido a la morfología del terreno no se aprecian afloramientos donde se pueda medir un el espesor de esta formación. Su cartografía se definió por análisis de sensores remotos.

3.3.1.1.2. *Formación Zambrano (N2z)*
Término introducido por Weiske (1938, en De Porta, 1974) para nombrar areniscas calcáreas con bancos fosilíferos, aflorantes en los alrededores del municipio de Zambrano a orillas del río Magdalena[24].

Está compuesta por areniscas de grano fino a muy grueso, calcáreas, eventualmente deleznables, con algunas intercalaciones de lodolitas y areniscas con abundantes conchas y moluscos (bivalvos y gasterópodos). La abundancia de fósiles indica un ambiente de depositación marino somero. Duque- caro (1968, 1975, 1990) indican una edad del Plioceno Inferior para esta formación[25].

La Formación Zambrano, aflora dentro del área de estudio en el sector denominado Contadero al sureste de Pivijay. Pocos afloramientos de esta unidad se encontraron en campo, el relieve bajo no permitió medir su espesor; se observaron estratos conformados por niveles de arenas de color amarillo oscuro, inconsistentes, muy frágiles de grano medio a grueso, con abundantes fragmentos de conchas, intercaladas con cintas de lodolitas de color gris verdoso. Para este documento, su cartografía se definió por análisis de sensores remotos.

3.3.1.2. *Depósitos del Cuaternario*

3.3.1.2.1. *Depósito aluvial (Q2al)*
Estos depósitos se encuentran asociados a los cauces de los drenajes principales, como el Magdalena, están constituidos por materiales finos a gruesos que forman alternancia de capas poco consolidadas entre arenas y arcillas; en menor proporción también pueden presentar niveles de gravas. Han desarrollado formas planas como terrazas, ligeramente inclinadas hacia la dirección de escorrentía. Se estima un espesor de relativo de 15 m.

[23] Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[24] Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.
[25] Barrera R., Reyes G., Guzmán G., Et al. Geología de la Plancha 31 Campo de La Cruz. Ingeominas, Bogotá, 2001

Figura 3.11. Depósito aluvial, Sector la Puente. Coordenadas N: 1.661.564 – E: 939.158



3.3.1.2.2. *Depósitos Fluviolacustres (Q2fl)*

Corresponden a los materiales asociados a las zonas circundantes de la Ciénaga Grande de Santa Marta, a las ciénagas menores, y a las áreas intermedias cenagosas con abundante vegetación de especies de pantano. Básicamente son sedimentos finos a muy finos, arcillas de color gris oscuro a negro, pardo y verde oliva. Se estima un espesor de relativo de 50 m.

Figura 3.12. Depósito Fluvio lacustre, Ciénaga Buenavista. Coordenadas N: 1.661.564– E: 939.158



3.3.1.2.3. *Depósitos de llanura de aluvial (Q2lal)*

Ocupan todo el sector Norte y buena parte del sector Oeste de la cuenca. Esta denominación agrupo los materiales depositados por los ríos principales y caños que se mezclan con los materiales de la llanura de inundación en inmediaciones de la Ciénaga Grande de Santa Marta, pues no es posible establecer una diferenciación exacta. Los materiales que los componen corresponden a limos, arcillas, arenas finas; eventualmente con materia orgánica. También presentan costas de sales y yeso en capas superficiales cuando su deshidratación es rápida por efecto de las altas temperaturas. Se estima un espesor de relativo de 20 m.

Figura 3.13. Depósito de Llanura aluvial, Sector Paraco. Coordenadas N: 1.699.595 – E: 928.786



3.3.1.2.4. *Depósitos 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 delta del río Magdalena, 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. Se estima un espesor de relativo de 10 m.

Figura 3.14. Depósito de Llanura aluvial, Sector Popeye, Vía Barranquilla - Ciénaga. Coordenadas N: 1.706.615 – E: 975.387



3.3.2. Geología estructural

La Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta no presenta rasgos estructurales evidentes, que se encuentren localizados dentro de ella, sin embargo, con el análisis de las imágenes de satélite, se identificaron algunos lineamientos locales, ubicados en el sector suroeste, los cuales afectan rocas de la Formación Rancho, y muestran una dirección de rumbo aproximado N35°W.

También, en la Plancha Geológica 31-Campo de La Cruz, a escala 1:100.000, (Barrera R., Reyes G., Guzmán G., Et al. 2001.), se observa el trazo del Lineamiento de Romeral, muy cerca del casco urbano de El Piñón, en la esquina sureste de la cuenca, siguiendo un trazo casi paralelo al del río Magdalena en este tramo; al hacer la interpretación de los sensores remotos, se verificó este trazo, dándole continuidad hacia el sector de Salamina, donde cambia de rumbo de N20°E a N50°E proyectando su trazo hacia el noreste en el sector de El Presidio, hacia fuera de la cuenca.

3.3.3. 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 volcánica26. 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[27].

Figura 3.15. Subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.



Tomado de: http://thepanamaobserver.com/ciudad/terremoto-fallas-sismicas/

[26] http://atlasgeografico.net/sismicidad-en-colombia.html
[27] http://atlasgeografico.net/sismicidad-en-colombia.html

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

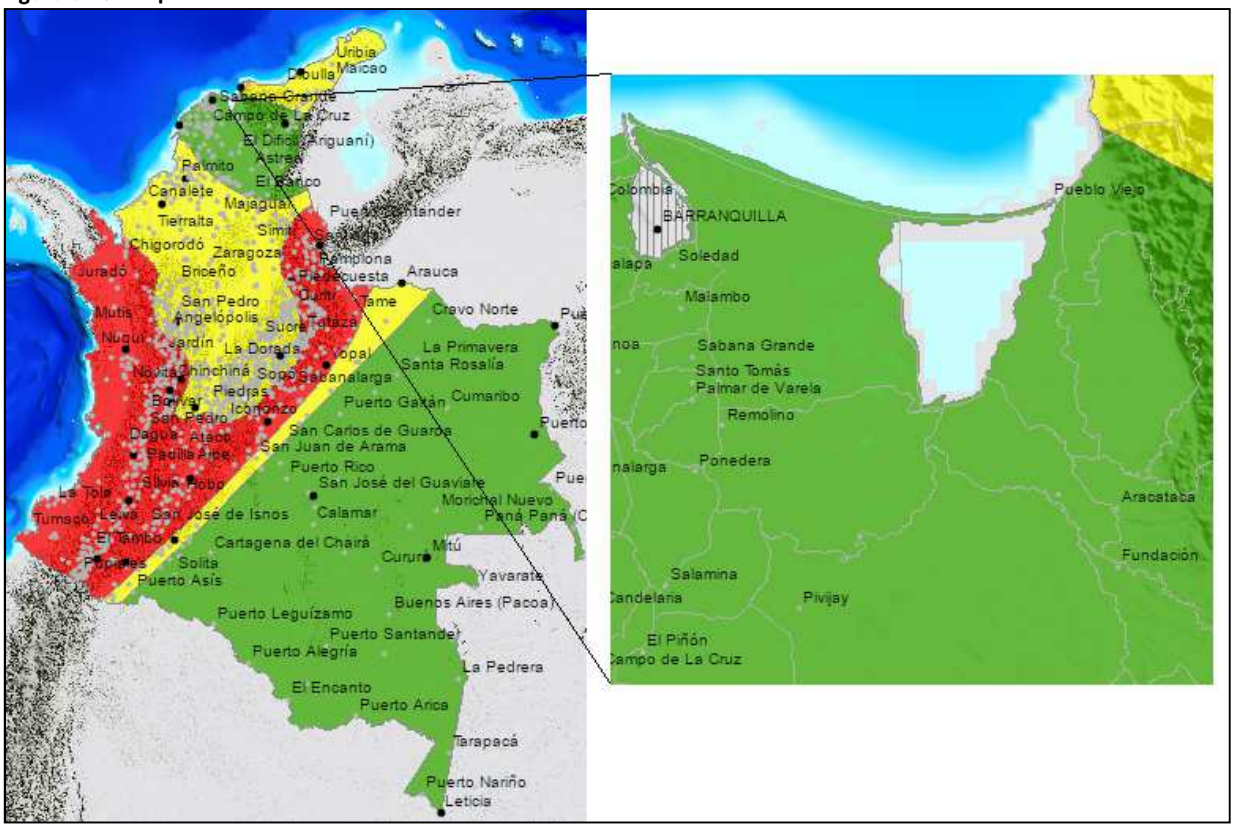
La zona de estudio, se encuentra dentro de una región históricamente catalogada como de sismicidad, ya que en general en Colombia la sismicidad se restringe en su mayoría a la Región Andina y a la Costa Pacífica y en menor proporción hacia la parte Norte y la Región Caribe.

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[28], 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).[29]

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[30].

[28] 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
[29] Ibíd.
[30] SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Mapa de Intensidad instrumental. [Citado, Junio, 2016] Disponible en: http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/PDF/Mapasdeintensidadinstrumental.pdf

Figura 3.16. 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[31], 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 Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, los cuales se ubican dentro de la Zona de Amenaza sísmica baja (verde).

[31] Ibíd.

Tabla 3.7. Valores Aceleración sismica cm/s2.

NOMBRE MUNICIPIO	ACELERACION cm/s²	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA
El Piñón	100 - 150	Baja
Pivijay	100 - 150	Baja
Sitio Nuevo	50 - 100	Baja
Remolino	100 - 150	Baja
Salamina	100 - 150	Baja
Cerro de San Antonio	100 - 150	Baja
Pueblo Viejo	50 - 100	Baja

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

La mayor actividad sísmica en la zona de estudio, está relacionada con la actividad reciente de la Falla Santa Marta – Bucaramanga.

3.4. *Unidades Geológicas Superficiales*

Se consolida a escala 1:25.000, las unidades geológicas superficiales de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 del plan de ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta y 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:

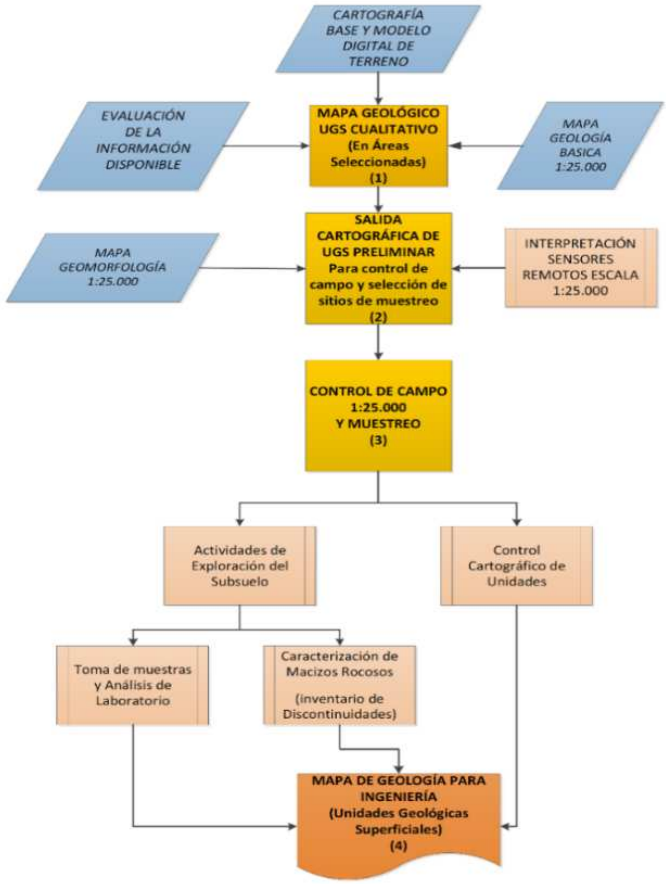
- Elaboración de salida cartográfica para unidades geológicas superficiales preliminar a escala 1:25.000 obtenido a partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales o fotografías aéreas, para establecer disposición de rocas, suelos (depósitos).
- Realizar un mapa de unidades geológicas superficiales (UGS) en el área de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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 3.17 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 de límites de las unidades geológicas superficiales mediante control de campo, 5. Control cartográfico de unidades y 6. Mapa de geología para ingeniería (UGS).

Figura 3.17. 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

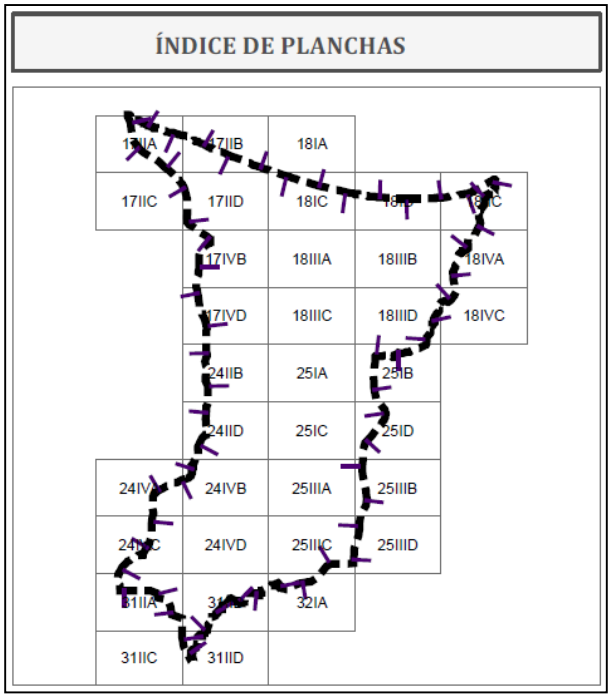
3.4.2.2. *Análisis de Información*

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 3.18), para la interpretación de sensores remotos, se tiene en cuenta un modelo digital de elevación elaborado a partir de imágenes de radar adquiridas 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 3.19) para unidades geológicas superficiales.

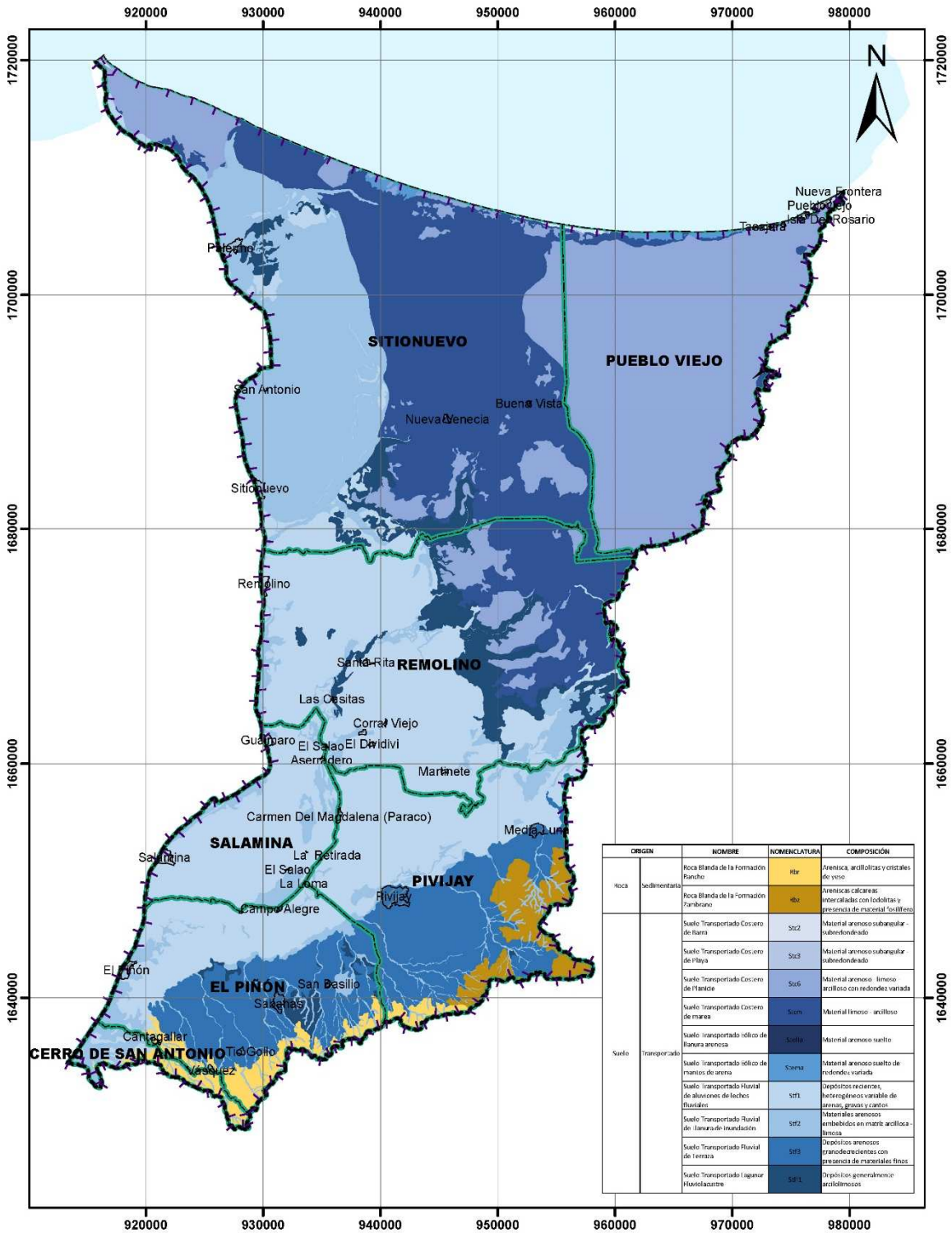
Figura 3.18. Índice de Planchas Topográficas ESC 1:25.000.



Planchas que componen el área de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. Fuente: Modificado de IGAC.

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

Figura 3.19. Salida cartográfica preliminar a escala 1:25.000 para Unidades Geológicas Superficiales


920000
930000
940000
950000
960000
970000
980000
1720000
1700000
1680000
1660000
1640000
N
Nueva Frontera
Pueblo Viejo
Isla Del Rosario
Tasajera
Pueblo Viejo
SITIONUEVO
PUEBLO VIEJO
San Antonio
Buena Vista
Nueva Venecia
Sitionuevo
Remolino
REMOLINO
Santa Rita
Las Casitas
Corral Viejo
El Davidivi
El Salao
Aserradero
Martinete
Carmen Del Magdalena (Paraco)
Media Luna
SALAMINA
Salamina
La Retirada
El Salao
La Loma
PIVIJAY
Pivijay
Campo Alegre
El Piñón
EL PIÑON
San Basilio
Salenas
Cantagallar
CERRO DE SAN ANTONIO
Tío Gollo
Vásquez
ORIGEN
NOMBRE
NOMENCLATURA
COMPOSICIÓN
Roca
Sedimentaria
Roca Blanda de la Formación Rancho
Rbr
Arenisca, arcillolitas y cristales de yeso
Roca Blanda de la Formación Zambrano
Rbz
Areniscas calcareas intercaladas con lodolitas y presencia de material "sedifero
Suelo
Transportado
Suelo Transportado Costero de Barra
Stc2
Material arenoso subangular - subredondeado
Suelo Transportado Costero de Playa
Stc3
Material arenoso subangular subredondeado
Suelo Transportado Costero de Mantide
Stc6
Material arenoso - limoso arcilloso con redondez variada
Suelo Transportado Costero de marea
Scm
Material limoso - arcilloso
Suelo Transportado Eólico de llanura arenosa
Scella
Material arenoso suelto
Suelo Transportado Eólico de mantos de arena
Scema
Material arenoso suelto de redondez variada
Suelo Transportado Fluvial de aluviones de lechos fluviales
Stf1
Depósitos recientes, heterogéneos variable de arenas, gravas y cantos
Suelo Transportado Fluvial de llanura de inundación
Stf2
Materiales arenosos embebidos en matriz arcillosa - limosa
Suelo Transportado Fluvial de Terraza
Stf3
Depósitos arenosos grandocrecientes con presencia de materiales finos
Suelo Transportado Lagunar Huviolacustre
Stf11
Depósitos generalmente arcillolimosos

3.4.2.3. *Comprobación y Control de Campo.*

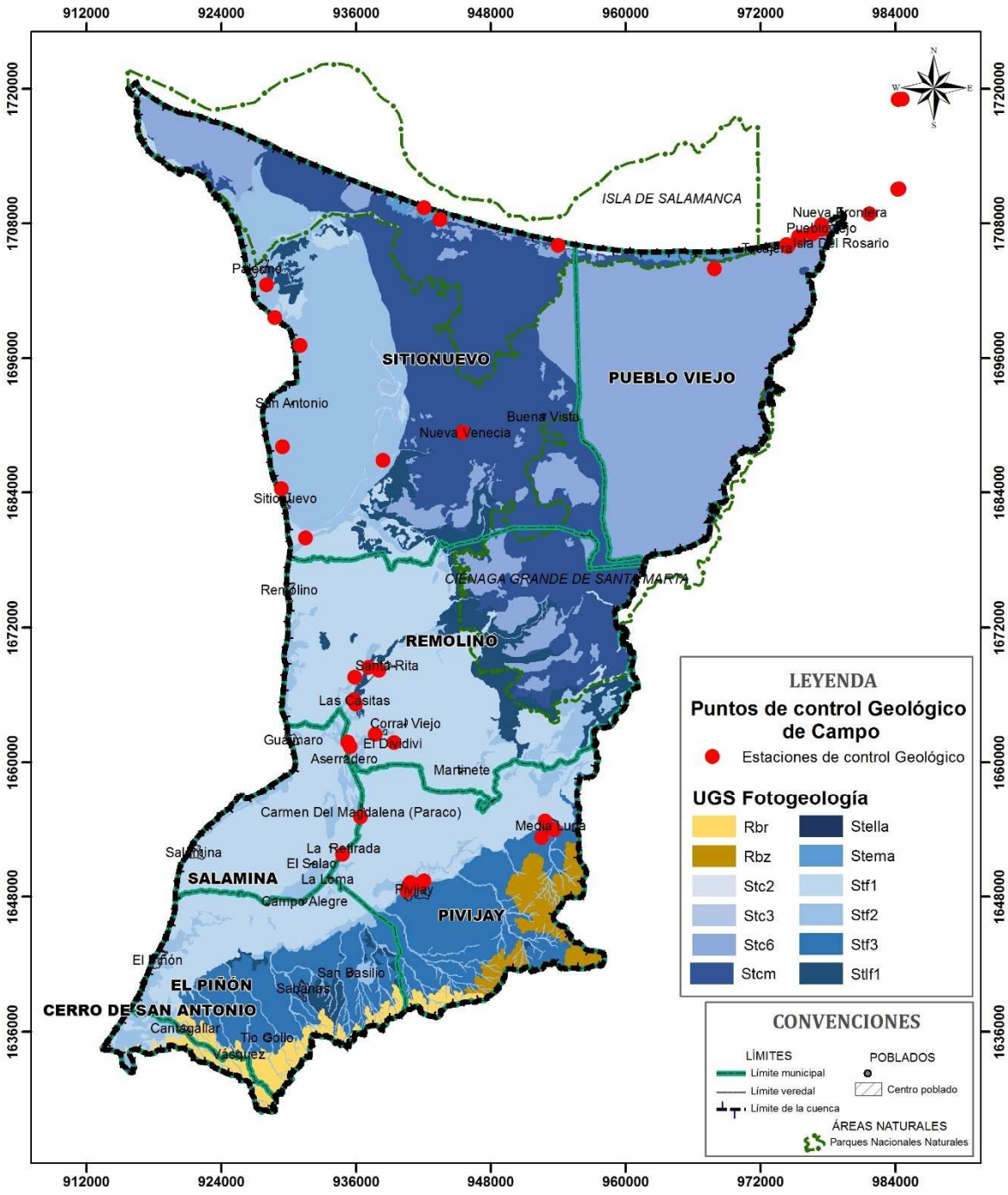
Corresponde a la toma de datos directamente en campo con el fin de efectuar un control cartográfico sobre los datos previamente interpretados, a partir de la recolección de información geológica donde se describe el tipo de material (roca o suelo) identificado, se diferencian los materiales de acuerdo 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 ejecutada en el control de campo realizado para la geología básica con fines de ordenación.

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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01) 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 3.20).

Figura 3.20. Salida Cartográfica con estaciones de control de campo para Unidades Geológicas Superficiales

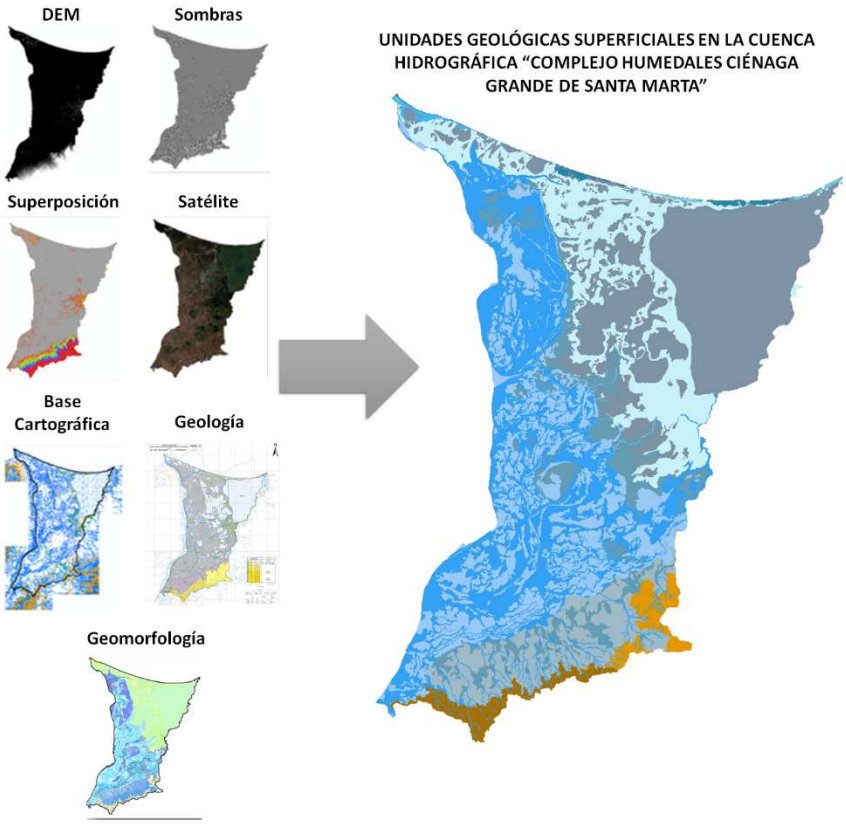


3.4.2.4. *Resultados.*

Se ejecutó 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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01), el cual contempla realización de los mapas que representan la información espacializada (Figura 3.21) 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.

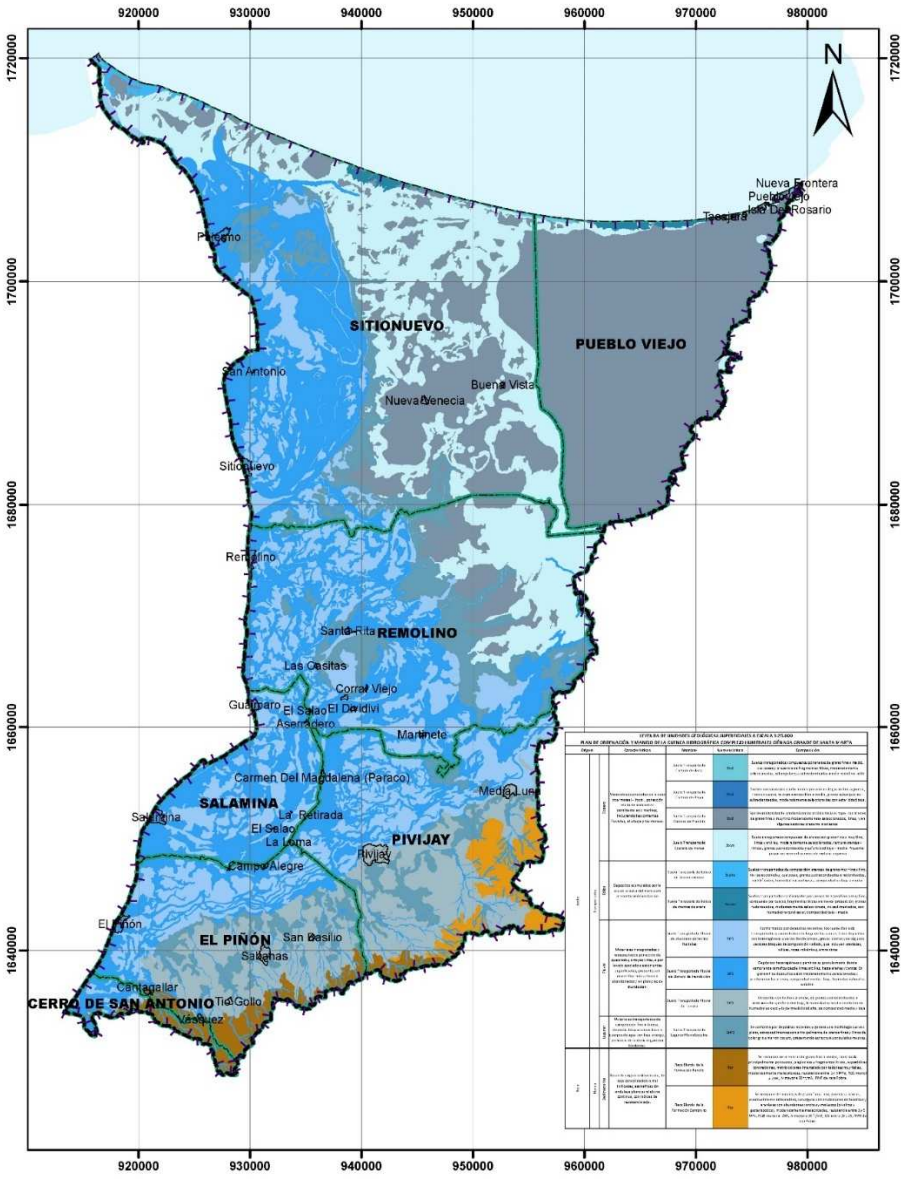
Para elaborar la memora técnica, se inicia de la recopilación y análisis de la información previa, integrada con el levantamiento de los datos en campo y se genera un modelo conceptual de la caracterización de unidades geológicas superficiales a escala 1:25.000 a partir del comportamiento geomecánico de los materiales para fines de ordenación de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 3.21. Insumos de apoyo utilizados para la interpretación de sensores remotos.



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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01) 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 3.22) para el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 3.22. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

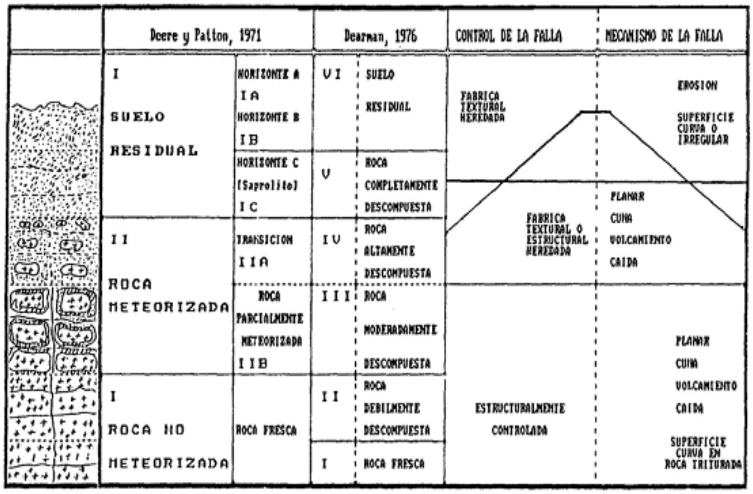
3.4.3.1. *Composición litológica*

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 3.23

Figura 3.23. 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 3.8 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 3.8. Condición de fracturamiento de las rocas.

CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO DE ROCAS					
INTERVALO 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
CARACTERÍSTICAS	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 3.9)

Tabla 3.9. **Descripción del tamaño del bloque en función del número de discontinuidades.**

Clase	Descripción	J_v (discontinuidades / m^3)
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 como se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. 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 3.11). 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 3.11. **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) Tabla 3.12.

Tabla 3.12. **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 3.24).

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 3.24. 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 3.13.

Tabla 3.13. **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 3.14, la porosidad se obtuvo a partir de la relación en la Tabla 3.15, características determinadas a partir de información secundaria.

Tabla 3.14. **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 3.15. **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 3.16), consistencia (Tabla 3.17), densidad relativa (Tabla 3.18), humedad natural (Tabla 3.19) y resistencia a la compresión simple para suelos (Tabla 3.20).

Tabla 3.16. **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 3.17. **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 3.18. **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 3.19. **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 3.20. **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 Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta

3.4.5.1. *Unidades de Roca*

De acuerdo con la exploración geológica se identificaron unidades de macizos rocosos, los cuales se clasificaron en rocas blandas según sus propiedades físico-mecánicas.

De acuerdo con los factores considerados en la metodología para el área de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, estas unidades de roca las cuales son de origen sedimentario se describen según el tipo de material, edad, grado de meteorización y origen.

3.4.5.1.1. *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 de la Formación Rancho (Rbr)*

Esta unidad se presenta en el sur del área de la cuenca, en los municipios de Pivijay, el Piñon y Cerro de San Antonio. Se compone en general de areniscas cuarzo feldespáticas, con textura de grano fino a medio, color ocre a pardo, con intercalaciones de limolitas y arcillolitas en lentes gruesos.
Corresponde a macizos rocosos moderadamente descompuestos (grado III de la clasificación de Dearman, 1976) con una resistencia a la compresión simple entre 5 – 25 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 muy 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.

- *Roca Blanda de la Formación Zambrano (Rbz)*

Esta unidad se presenta en el sureste del área de la cuenca, en el municipio de PIvijay, se compone de macizos rocosos moderadamente descompuestos en base a la clasificación de Dearman (1976), con resistencia a la compresión simple R2 con valores entres 5 – 25 MPa, 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).

Se compone generalmente por areniscas de grano fino a grueso, de matríz calcárea, con intercalaciones de limolitas y arcillolitas con abundante presencia de conchas, moluscos, gasterópodos y restos fosilíferos.

3.4.5.2. *Unidades de suelo.*

De acuerdo con los factores considerados en el numeral 3.4.4 de la metodología, considerada para el área de la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se presentan las diferentes unidades de suelos que son de tipo transportado (fluvial, lagunar, terrazas, eólico, costero).

3.4.5.2.1. *Suelo Transportado Costero de Barra (Stc2)*

Esta unidad se identifica en el área norte de los municipios de Sitio Nuevo y Puebloviejo. Constituida por arenas de grano fino a medio, matríz limoarenosa, deleznable, friable, con granos moderadamente seleccionados, presenta un espesor entre 2 y 3 metros-

Se constituye por una textura limoarenosa de granos subredondeados – subangulares, esfericidad baja, humedad natural o condición de humedad va de seco a húmedo, con permeabilidad moderada. En algunas zonas, estos suelos presentan aportes de origen aluvial donde se disponen algunas gravas y materiales finos como arcillas.

3.4.5.2.2. *Suelo Transportado Costero de Playa (Stc3)*

Se identifica en el norte del área de la cuenca, en los municipios de Puebloviejo y Sitio Nuevo. Se caracteriza por ser depósitos muy recientes formados a partir de la acción del mar en el margen de la línea de costa formando geoformas de playa. Composicionalmente se constituye de arenas de grano fino a medio, moderadamente seleccionadas, mal calibradas, de color blancuzco a pardo amarillento, retrabajadas en algunos sectores debido a la variación en las corrientes marinas, se presentan conchas que componen el depósito, con espesores de 2 a 3 metros.

Se compone de una textura arenosa, con matríz limosa, granos subredondeados a redondeados, esfericidad media, condición de humedad o humedad natural es mojado, consistencia variable de baja a media y permeabilidad variable en la longitud del depósito.

3.4.5.2.3. *Suelo Transportado Costero de Planicie (Stc6)*

Se identifica en los municipios de Sitio nuevo, Pueblo Viejo y Remolino en el área norte y central de la cuenca. Se compone de depósitos de arenas de grano fino a grueso, localmente limosos, con textura arenosa, tamaño de partículas finas a gruesas, clastos redondeados a subredondeados y baja esfericidad, la humedad natural o condición de humedad es seco a mojado y la permeabilidad varía de media – alta, compacidad floja. Presenta un espesor de 2 a 3 metros.

3.4.5.2.4. *Suelo Transportado Costero de Marea (Stcm)*

Depósito caracterizado por presentar arcillas y limos en el tope, con arenas en algunos sectores con 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.

3.4.5.2.5. *Suelo Transportado Eólico de Llanura Arenosa (Stella)*
Esta unidad se identifica al noroeste de la cuenca, en el municipio de Sitio Nuevo. Constituida por material arenoso de grano fino y limoso, deleznable, moderadamente seleccionada y con matriz limoarenosa, su espesor varía entre 1 y 3 m. Texturalmente es areno-limosa de granos subredondeados a subangulares, y esfericidad baja, su humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seca y de permeabilidad moderada a baja. De acuerdo al ISRM (1982) presenta una resistencia a la compresión simple rígida entre 0,10 – 0,25 MPa.

3.4.5.2.6. *Suelo Transportado Eólico de Mantos de Arena (Stema)*
Esta unidad se presenta en el norte del área de la cuenca, en los municipios de Sitio Nuevo y Pueblo Viejo. 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.

Caracterizada por tener una 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.

3.4.5.2.7. *Suelo Transportado Fluvial de Aluviones de Lechos Fluviales (Stf1)*
Se identifican ampliamente distribuidos en el área de la cuenca en los municipios de Sitio Nuevo, Remolino, Salamina, Pivijay, El Piñon y Cerro de San Antonio. 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, material calcáreo, entre otros.

En general, los depósitos están pobremente seleccionados, 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.

3.4.5.2.8. *Suelo Transportado Fluvial de Llanura de Inundación (Stf2)*
Se presenta distribuida en toda el área de la cuenca, en los municipios de Sitio Nuevo, Remolino, Pivijay, Pueblo Viejo, El Piñon, Salamina y Cerro de San Antonio. Son depósitos de material arenoso de grano fino a medio, con niveles de gravas embebidos en matríz de arenas gruesas y materiales finos como limos y arcillas. El depósito presenta en general 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 y resistencia a la compresión simple de S3 con valores entre 0,05 y 0,10 MPa según el ISRM (1981).

3.4.5.2.9. *Suelo Transportado Fluvial de Terraza (Stf3)*
Unidad de suelo localizada en los municipios de Pivijay y El Piñon. Se compone de materiales limoarcillosos, hacia el tope alcanzan 1 m de espesor y hacia la base se presentan arenas de grano fino a medio, con pequeños lentes de gravas orientadas embebidas en materiales arenoso gruesos.

Presenta una textura arenosa, con granos redondeados a subredondeados con esfericidad media, la humedad natural o condición de humedad según Varnes (1978) es seco, compacidad media a baja y permeabilidad alta.

3.4.5.2.10. *Suelo Transportado Lagunar Depósito Fluviolacustre (Stlf1).*
Se presenta de forma distribuida en toda el área de la cuenca, conformada por depósitos recientes y constituye geoformas con pendientes suaves a planas. Se compone generalmente de sedimentos principalmente de arenas finas y limos de color gris a marrón oscuro, presentando estructuras onduladas masivas. Estos suelos transportados en general se muestran bien seleccionados. Presenta textura limosa-arenosa, de granos redondeados a subredondeados, con esfericidad baja, permeabilidad moderada y su condición de humedad o humedad natural es seca.

3.4.6. Observaciones Generales
Como se mencionó en la introducción a este componente, a pesar que la geología, en términos generales debería presentar dos ejes temáticos; para la Cuenca Hidrográfica Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se desarrolló la geología básica con fines de ordenación de acuerdo con los parámetros y definiciones caracterizados en la guía, mientras que las Unidades Geológicas Superficiales se realizaron mediante el control cartográfico en campo detallando el desarrollo de forma cualitativa con fotogeología para el eje temático correspondiente a la caracterización de las UGS. Sin embrago, respecto del segundo eje temático, es pertinente indicar que, conforme al Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, por tratarse de un territorio con morfología plana, y haber determinado previamente la inexistencia de factores que generen amenazas por fenómenos de remoción en masa, no es necesario adelantar un análisis detallado del levantamiento de macizos rocosos y discontinuidades para la determinación de las UGS.

En la definición de este criterio, se tuvo en cuenta la caracterización geomorfológica de la cuenca, a partir de las geoformas y procesos presentes en la misma, así como la ocurrencia de eventos de movimientos en masa reportados en la información secundaria y los evaluados en campo junto a la comunidad en las rutas realizadas para cada componente, esto se sumó a la información adquirida mediante los paneles de expertos para la gestión del riesgo que se realizaron en el municipio de Pivijay.

Es relevante indicar también que todos los actores no perciben algún nivel de amenaza por Movimientos en Masa, lo cual permite concluir como resultado del diagnóstico que la susceptibilidad por este tipo de eventos es baja dentro del área de la Cuenca hidrográfica del Complejo Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Adicionalmente a la documentación analizada y a las visitas de campo se contó con la información entregada por las comunidades, donde no reportaron fenómenos amenazantes de estos tipos dentro del área de la cuenca y teniendo en cuenta las bases de datos de las entidades oficiales como SIMMA, desinventar, entre otros.

Adicionalmente, es prudente anotar que debido a la forma como se definió el límite de la cuenca hidrográfica del Complejo Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, los ríos que drenan en ella (Aracataca, Fundación, Sevilla, y Río Frio) descendiendo de terrenos con topografías altas e inclinadas del flanco suroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran por fuera del área de este estudio, por lo tanto, no se desarrolla el análisis de este tipo de fenómeno dentro del área de esta cuenca.

3.5. *Conclusiones.*

- El 92% del territorio de esta cuenca correspondiente a 255.154 Ha conforma las unidades sedimentarias de edad Cuaternario reciente, las cuales presentan características de baja dureza y escasa compactación, están sometidas permanentemente a proceso erosivos principalmente por factores como el agua y el viento.
- Las características de permeabilidad de los materiales que conforman los depósitos cuaternarios y el grado de saturación al que permanentemente están expuestos facilitan el avance de la "cuña salina" hacia el interior de la cuenca, lo que ocasiona que los suelos que eventualmente puedan derivarse del material parental sean de baja calidad para usos agrícolas.
- No existe potencial minero con relevancia económica identificado hasta ahora en el subsuelo de esta cuenca. La explotación minera se limita actualmente a la extracción a nivel de pan coger de algunos depósitos fluviolacustres en jurisdicción del municipio de Pivijay, la cual se emplea para la fabricación de ladrillo de forma artesanal.
- La configuración estructural de esta cuenca no presenta ninguna complejidad, ya que los esfuerzos compresionales de la zona de subducción de Placa Suramericana se concentran en el borde de la Sierra Nevada de Santa Marta, marcado por la Falla regional Santa Marta – Bucaramanga cuyo trazo se identifica por fuera del área de estudio; sin embargo, en sector sur de la cuenca se identificaron por sensores remotos, algunos lineamientos locales, y la proyección del trazo cubierto del lineamiento de Romeral.
- A partir de la topografía, morfología y los tipos de materiales identificados en la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se concluye que no se requiere llevar a cabo análisis para la definición de unidades geológicas superficiales, el cual es específico para determinar la zonificación de amenaza por movimientos en masa ya que las condiciones mencionadas no desarrollan procesos de este tipo en el área de la cuenca.
- Aunque la mayor parte del área de la cuenca corresponde con depósitos cuaternarios de tipo aluvial y fluviolacustre, por sus características geomorfológicas y de pendientes, el alcance técnico del estudio no determina que se requiera definir Unidades Geológicas Superficiales, pues la definición de estas unidades solo es válida dentro del POMCA para

como insumo para realizar el análisis de susceptibilidad y amenaza por Movimientos en Masa, lo cual no es un fenómeno que se halla evidenciado que ocurra dentro de la cuenca.

- Con los análisis geomorfológico y preliminar de amenazas por movimientos de remoción en masa y avenidas torrenciales, se confirmaron los criterios para determinar que en el territorio objeto de estudio no es necesario realizar el estudio de Unidades Geológicas Superficiales, de acuerdo con el Protocolo establecido para la incorporación a la gestión de Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas que indica que los parámetros requeridos para la evaluación de la amenaza en la gestión del riesgo de la cuenca serán obtenidos de las áreas objeto de evaluación para tal fin, las cuales se definen como las que corresponden a las zonas de susceptibilidad media y alta como lo define en los numerales 1.3.3.2 y 1.3.7.2 de los alcances técnicos definidos para la elaboración y/o ajuste de los POMCA.

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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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[32], 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.

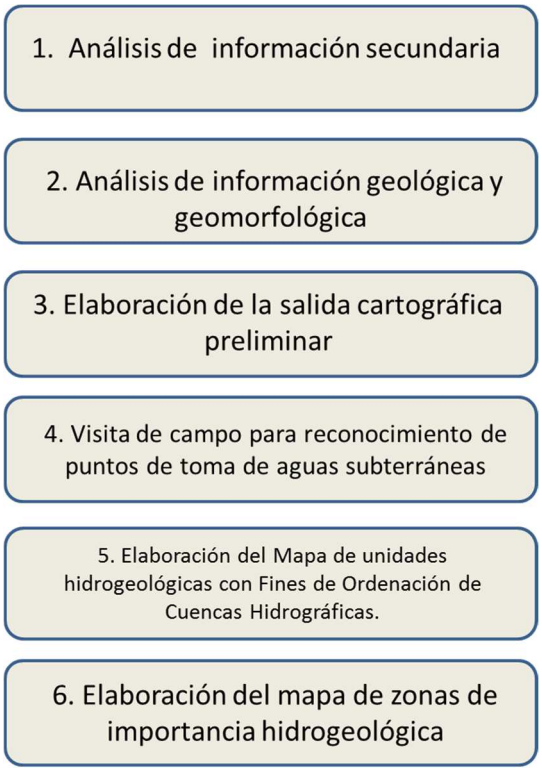
El alcance de estos productos es la identificación y localización de las diferentes unidades hidrogeológicas, su distribución, sus características generales asociadas al tipo o tipos de materiales en los que se encuentren, gracias a este análisis de las unidades hidrogeológicas, a la identificación de 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 y geomorfológica, 3. Elaboración de la salida cartográfica preliminar, 4. Visita de campo para

[32] 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.

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: 17, 18, 24, 25, 31 y 32, 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 78 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.

En total se inventariaron 34 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 HP como Humedal (Cuenca Humedales Ciénaga Grande) Profundo (Pozo Profundo).

Tabla 4.2. Localización y titular del pozo

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz28HP	Remolino	10°33'42.73"	74°38'38.58"	5	Roberto Orozco
Pz30HP	Pivijay	10°27'38.25"	74°36'42.61"	14	Claudia Pertuz
Pz31HP	Pivijay	10°27'32.97"	74°36'32.91"	16	Rubén Gonzales
Pz34HP	Pivijay	10°27'34.51"	74°36'41.09"	15	Roberto Pertuz
Pz43HP	Salamina	10°30'51.13"	74°41'12.85"	5	Adela Orozco
Pz44HP	Salamina	10°30'50.12"	74°41'15.88"	5	Adela Orozco
Pz45HP	Salamina	10°32'40.34"	74°40'00.56"	4	Evelio Crespo
Pz47HP	Salamina	10°28'55.05"	74°48'03.54"	10	José Orozco
Pz48HP	Salamina	10°28'53.15"	74°48'02.58"	9	José Orozco
Pz49HP	Salamina	10°28'57.20"	74°48'03.71"	11	José Orozco
Pz50HP	Salamina	10°29'00.72"	74°48'03.25"	10	José Orozco
Pz51HP	Salamina	10°28'52.38"	74°48'10.29"	9	José Orozco
Pz52HP	Salamina	10°28'52.81"	74°48'11.56"	9	Carmen García
Pz53HP	Salamina	10°29'07.78"	74°48'01.05"	7	Cristina Acosta
Pz54HP	Salamina	10°29'04.16"	74°48'03.29"	8	Cristina Acosta
Pz55HP	Salamina	10°28'46.59"	74°48'15.25"	5	Leonor Orozco
Pz56HP	Salamina	10°27'52.02"	74°48'26.18"	6	Soc. Acosta Pabón
Pz57HP	Salamina	10°27'33.63"	74°48'24.23"	7	Jaime Castro
Pz58HP	Salamina	10°27'07.31"	74°48'26.94"	9	Martin Galindo
Pz60HP	El Piñón	10°26'48.73"	74°42'31.58"	4	Milagro Pabón
Pz61HP	El Piñón	10°26'55.86"	74°42'29.69"	5	Milagro Pabón
Pz63HP	El Piñón	10°24'08.73"	74°49'8.09"	7	Yoladis Cormene
Pz64HP	El Piñón	10°24'13.29"	74°49'12.42"	7	William Angulo
Pz66HP	El Piñón	10°23'52.78"	74°49'0.82"	7	Lenis de la Cruz
Pz67HP	El Piñón	10°23'42.95"	74°49'42.12"	8	Jorge Caballero
Pz68HP	El Piñón	10°23'45.13"	74°49'35.97"	8	Colegio Ineda
Pz70HP	El Piñón	10°27'21.20"	74°48'12.96"	9	Jorge Charrys
Pz71HP	El Piñón	10°27'20.01"	74°48'08.53"	9	Trinidad Galindo
Pz72HP	El Piñón	10°27'26.81"	74°47'42.76"	7	Laureano Galindo
Pz73HP	El Piñón	10°27'09.12"	74°47'47.44"	7	Laureano Galindo
Pz74HP	El Piñón	10°26'57.29"	74°47'51.43"	5	Rafael Ortiz B.
Pz75HP	El Piñón	10°26'14.46"	74°47'47.85""	6	Regulo Payares
Pz76HP	El Piñón	10°26'15.32"	74°47'51.43"	6	Regulo Payares
Pz78HP	Remolino	10°41'52.10"	74°42'15.27"	5	Benito Benítez F.

Tabla 4.3. Material, geometría y usos

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz28HP	Correg. San Rafael	Profundo	PVC	3”	5,08 m	Doméstico
Pz30HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	6,31 m	Doméstico
Pz31HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	11,63	Doméstico
Pz34HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	9,69 m	Doméstico
Pz43HP	Vereda Julepe	Profundo	PVC	4”	4,09 m	Doméstico
Pz44HP	Vereda Julepe	Profundo	PVC	4”	7,53 m	Doméstico
Pz45HP	Vereda Vainillal	Profundo	PVC	4”	8,22 m	Doméstico
Pz47HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	8”	41,17 m	Doméstico
Pz48HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	5,49 m	Doméstico
Pz49HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	7,17 m	Doméstico
Pz50HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	5,72 m	Doméstico
Pz51HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	5,30 m	Doméstico
Pz52HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	6,02 m	Doméstico
Pz53HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	6”	5,00 m	Doméstico
Pz54HP	Cabecera Municipal	Profundo	Natural	4”	4,36 m	Doméstico
Pz55HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	6,24 m	Doméstico
Pz56HP	Vereda Los Coquitos	Profundo	PVC	2”	5,70 m	Doméstico
Pz57HP	Predio Laberinto	Profundo	PVC	6”	7,35 m	Doméstico
Pz58HP	Predio El Cocal	Profundo	PVC	4”	7,00 m	Doméstico
Pz60HP	Correg. Campoalegre	Profundo	PVC	3”	5,55 m	Doméstico
Pz61HP	Correg. Campoalegre	Profundo	PVC	3”	6,13 m	Doméstico
Pz63HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	3”	6,04 m	Doméstico
Pz64HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	6”	6,64 m	Doméstico
Pz66HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	3”	5,30 m	Doméstico
Pz67HP	Predio El Olivo	Profundo	PVC	8”	27,69 m	Doméstico
Pz68HP	Cabecera Municipal	Profundo	PVC	4”	9,14 m	Doméstico
Pz70HP	Predio La Bendición	Profundo	PVC	3”	5,54 m	Doméstico
Pz71HP	Predio Los Manguitos	Profundo	PVC	1,25”	5,54 m	Doméstico
Pz72HP	Predio Palmarito	Profundo	PVC	1”	5,00 m	Doméstico
Pz73HP	Predio El Cedro	Profundo	PVC	3”	6,15 m	Doméstico
Pz74HP	Predio Quitapesares	Profundo	PVC	8”	38,62 m	Doméstico
Pz75HP	Predio Nueva Esperanza	Profundo	PVC	2”	7,03 m	Doméstico
Pz76HP	Predio Nueva Esperanza	Profundo	PVC	6”	21,46 m	Doméstico
Pz78HP	Predio Doña María	Profundo	PVC	4”	6,27 m	Doméstico

Tabla 4.4. Nivel piezométrico, parámetros físico-químicos y Equipo de bombeo

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (°C)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz28HP	Boca de Pozo	1,76	7,16	29,2	514	0,1	-
Pz30HP	Boca de Pozo	4,47	5,50	33,4	1.220	0,3	Turbina ½ HP
Pz31HP	Boca de Pozo	4,67	5,19	32,2	793	0,2	Turbina ½ HP
Pz34HP	Boca de Pozo	6,69	5,71	32,3	734	0,2	Turbina ½ HP
Pz43HP	Boca de Pozo	2,75	6,76	33,0	4.070	1,3	-
Pz44HP	Boca de Pozo	4,80	7,19	32,3	1.530	0,5	-
Pz45HP	Boca de Pozo	2,17	7,37	33,2	10.280	3,4	-
Pz47HP	Boca de Pozo	3,48	7,14	32,3	567	0,1	-
Pz48HP	Boca de Pozo	3,43	7,45	30,9	287	0,0	-
Pz49HP	Boca de Pozo	3,45	7,65	30,0	310	0,0	-
Pz50HP	Boca de Pozo	3,45	7,08	30,9	376	0,1	-
Pz51HP	Boca de Pozo	3,55	7,06	29,4	263	0,0	Turbina ½ HP
Pz52HP	Boca de Pozo	3,59	7,44	30,1	251	0,0	Turbina ½ HP
Pz53HP	Boca de Pozo	3,43	6,94	31,5	327	0,0	-
Pz54HP	Boca de Pozo	3,85	6,94	31,5	763	0,2	-
Pz55HP	Boca de Pozo	3,27	7,51	29,9	230	0,0	Manual
Pz56HP	Boca de Pozo	3,06	7,55	28,8	597	0,2	-
Pz57HP	Boca de Pozo	3,01	7,49	28,7	314	0,1	-
Pz58HP	Boca de Pozo	3,43	7,44	28,3	202	0,0	-
Pz60HP	Boca de Pozo	3,57	7,69	32,3	593	0,2	Manual
Pz61HP	Boca de Pozo	4,17	7,24	30,6	5.480	1,7	Manual
Pz63HP	Boca de Pozo	1,90	7,36	29,9	7.250	2,3	-
Pz64HP	Boca de Pozo	1,73	7,12	30,3	2.668	0,8	-
Pz66HP	Boca de Pozo	1,90	6,95	30,2	6.350	1,9	-
Pz67HP	Boca de Pozo	2,92	-	-	-	-	-
Pz68HP	Boca de Pozo	2,57	7,45	30,7	337	0,1	-
Pz70HP	Boca de Pozo	3,64	7,05	32,6	952	0,3	Turbina ½ HP
Pz71HP	Boca de Pozo	3,63	7,31	31,8	647	0,2	Turbina ½ HP
Pz72HP	Boca de Pozo	3,76	7,36	33,9	312	0,1	Turbina 1¼ HP
Pz73HP	Boca de Pozo	2,95	7,23	30,8	391	0,1	Manual
Pz74HP	Boca de Pozo	2,19	7,53	31,7	463	0,1	-
Pz75HP	Boca de Pozo	2,23	7,25	32,8	412	0,1	Turbina 1 HP
Pz76HP	Boca de Pozo	2,77	8,17	29,4	824	0,2	Turbina 5 HP
Pz78HP	Boca de Pozo	3,59	6,82	32,8	-	-	-

❖ *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 44 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 HA como Humedal (Cuenca Humedales Ciénaga Grande) 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
PZ01HA	Pivijay	10°30'40.06"	74°30'8.24"	12	Álvaro Polo
Pz02HA	Pivijay	10°30'40.66"	74°29'58.52"	8	Juan Arévalo
Pz03HA	Pivijay	10°30'40.24"	74°29'59.33"	8	Zunilda Cantillo
Pz04HA	Pivijay	10°30'39.42"	74°29'59.54"	8	Martha Arévalo
Pz05HA	Pivijay	10°30'35.20"	74°30'01.65"	7	Diana Asencio
Pz06HA	Pivijay	10°30'36.06"	74°29'58.96"	7	Manual de la Rosa
Pz07HA	Pivijay	10°30'40.99"	74°30'17.90"	16	Dina Fontalvo
Pz08HA	Pivijay	10°30'39.10"	74°30'19.59"	16	Bery Vizcaíno
Pz09HA	Pivijay	10°30'38.62"	74°30'18.62"	16	Alexis Martínez
Pz10HA	Pivijay	10°30'38.52"	74°30'17.63"	16	María Gutiérrez
Pz11HA	Pivijay	10°30'38.23"	74°30'17.29"	16	Cenaida Veza
Pz12HA	Pivijay	10°30'42.24"	74°30'00.49"	9	Ais Montenegro
Pz13HA	Pivijay	10°30'42.30"	74°30'0.60"	9	Cristóbal Sánchez
Pz14HA	Pivijay	10°30'50.31"	74°30'10.27"	12	Inspec. de Policía
Pz15HA	Pivijay	10°30'49.26"	74°30'11.38"	12	Defensa Civil
Pz16HA	Pivijay	10°30'51.41"	74°30'8.59"	11	Mónica Pérez
Pz17HA	Pivijay	10°30'52.90"	74°30'7.01"	10	Alba Lobato
Pz18HA	Pivijay	10°30'52.28"	74°30'7.10"	10	Casa Parroquial
Pz19HA	Pivijay	10°30'42.13"	74°30'20.68"	15	José de Horta
Pz20HA	Pivijay	10°30'43.23"	74°30'20.46"	15	Cecilia Arévalo
Pz21HA	Pivijay	10°30'43.35"	74°30'20.80"	15	José Vizcaíno
Pz22HA	Pivijay	10°30'27.49"	74°30'19.36"	12	Lorena Cantillo
Pz23HA	Pivijay	10°30'28.48"	74°30'20.26"	13	José Bolaño
Pz24HA	Pivijay	10°30'59.80"	74°30'14.34"	4	Etilvia Cano
Pz25HA	Pivijay	10°31'00.45"	74°30'09.95"	5	Doris de la Cruz
Pz26HA	Remolino	10°33'40.60"	74°38'51.19"	5	Jaime Orozco
Pz27HA	Remolino	10°33'39.99"	74°38'52.99"	5	Jaime Orozco

No.	Municipio	Coord. N	Coord. W	Altura GPS	Propietario
Pz29HA	Pivijay	10°27'37.05"	74°36'37.42"	15	Antonia Hernández
Pz32HA	Pivijay	10°27'35.46"	74°36'43.07"	14	Mercedes Castro
Pz33HA	Pivijay	10°27'37.83"	74°36'33.74"	16	José Chiquillo
Pz35HA	Pivijay	10°27'30.11"	74°36'33.75"	17	Comunitario
Pz36HA	Pivijay	10°27'30.70"	74°36'41.39"	15	Comunitario
Pz37HA	Pivijay	10°27'30.28"	74°36'36.57"	16	Efraín Viloria
Pz38HA	Salamina	10°28'17.35"	74°41'9.52"	5	Comunitario
Pz39HA	Salamina	10°27'47.05"	74°41'31.67"	10	Manuel Rochera
Pz40HA	Salamina	10°28'00.56"	74°41'18.27"	7	Carmen Ma. Pérez
Pz41HA	Salamina	10°30'50.10"	74°41'11.57"	4	Adela Orozco
Pz42HA	Salamina	10°30'49.85"	74°41'12.77"	5	Adela Orozco
Pz46HA	Salamina	10°33'04.84"	74°40'06.57"	4	David Rodríguez
Pz59HA	El Piñón	10°23'57.96"	74°42'27.31"	8	Roberto de la Hoz
Pz62HA	El Piñón	10°27'10.26"	74°42'14.30"	5	Comunitaria
Pz65HA	El Piñón	10°24'14.90"	74°49'12.40"	7	Telesforo Moreno
Pz69HA	El Piñón	10°23'59.87"	74°49'33.77"	7	Rosibel Esquea
Pz77HA	Remolino	10°41'55.07"	74°42'10.67"	6	Benito Benítez F.

Tabla 4.6. Material, Geometría y usos

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
PZ01HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,86 m	7,52 m	Doméstico
Pz02HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	5,60 m	Doméstico
Pz03HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,10 m	5,29 m	Doméstico
Pz04HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,09 m	4,27 m	Doméstico
Pz05HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	3,83 m	Doméstico
Pz06HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,10 m	4,97 m	Doméstico
Pz07HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	10,20 m	Doméstico
Pz08HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,72 m	10,50 m	Doméstico
Pz09HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,80 m	10,55 m	Doméstico
Pz10HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,86 m	11,50 m	Doméstico
Pz11HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,70 m	10,74 m	Doméstico
Pz12HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	5,80 m	Doméstico
Pz13HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,25 m	5,90 m	Doméstico
Pz14HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,05 m	7,58 m	Doméstico
Pz15HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,52 m	7,47 m	Doméstico
Pz16HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,93 m	7,76 m	Doméstico
Pz17HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,95 m	6,04 m	Doméstico
Pz18HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,00 m	7,04 m	Doméstico
Pz19HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,37 m	8,44 m	Doméstico
Pz20HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,10 m	8,00 m	Doméstico
Pz21HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	7,46 m	Doméstico
Pz22HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,00 m	8,93 m	Doméstico
Pz23HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,95 m	8,54 m	Doméstico

No.	Localización	Tipo	Material	Diámetro	Profundidad	Uso
Pz24HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	1,18 m	4,20 m	Doméstico
Pz25HA	Correg. Media Luna	Aljibe	Concreto	0,90 m	4,90 m	Doméstico
Pz26HA	Correg. San Rafael	Aljibe	Concreto	0,95 m	4,15 m	Doméstico
Pz27HA	Correg. San Rafael	Aljibe	Concreto	0,62 m	4,64 m	Doméstico
Pz29HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	0,96 m	7,33 m	Doméstico
Pz32HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	1,00 m	5,49 m	Doméstico
Pz33HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	1,10 m	6,94 m	Doméstico
Pz35HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	0,97 m	8,93 m	Doméstico
Pz36HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	1,05 m	11,67 m	Doméstico
Pz37HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	1,50 m	8,80 m	Doméstico
Pz38HA	Verd. Loma Soledad	Aljibe	Concreto	0,64 m	5,27 m	Doméstico
Pz39HA	Verd. Loma Soledad	Aljibe	Concreto	0,88 m	4,47 m	Doméstico
Pz40HA	Verd. Loma Soledad	Aljibe	Concreto	1,18 m	4,30 m	Doméstico
Pz41HA	Vereda Julepe	Aljibe	Concreto	1,47 m	5,86 m	Doméstico
Pz42HA	Vereda Julepe	Aljibe	Concreto	0,81 m	6,16 m	Doméstico
Pz46HA	Vereda Vainillal	Profundo	PVC	8”	3,43 m	Doméstico
Pz59HA	Correg. Sabanas	Aljibe	Concreto	0,88 m	9,97 m	Doméstico
Pz62HA	Correg. Campoalegre	Aljibe	Concreto	0,95 m	5,12 m	Doméstico
Pz65HA	Cabecera Municipal	Aljibe	Concreto	0,98 m	4,79 m	Doméstico
Pz69HA	Hotel Nelsy	Aljibe	Concreto	0,97 m	6,75 m	Doméstico
Pz77HA	Predio Doña María	Aljibe	Concreto	1,70 m	5,94 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
PZ01HA	Boca de Pozo	6,50	5,88	30,1	815	0,2	-
Pz02HA	Boca de Pozo	3,20	5,19	30,2	2.807	0,8	-
Pz03HA	Boca de Pozo	3,16	5,19	30,3	1.983	0,6	-
Pz04HA	Boca de Pozo	2,73	5,14	29,7	2.469	0,7	-
Pz05HA	Boca de Pozo	2,37	5,42	30,0	1.510	0,4	-
Pz06HA	Boca de Pozo	3,18	5,98	30,4	1.163	0,3	-
Pz07HA	Boca de Pozo	9,05	5,48	30,3	1.065	0,3	-
Pz08HA	Boca de Pozo	9,51	4,87	30,0	2.062	0,7	-
Pz09HA	Boca de Pozo	9,95	5,09	30,4	811	0,2	-
Pz10HA	Boca de Pozo	9,62	6,20	29,0	797	0,2	-
Pz11HA	Boca de Pozo	10,19	6,80	30,4	2.376	0,7	-
Pz12HA	Boca de Pozo	4,32	5,18	31,2	1.158	0,3	-
Pz13HA	Boca de Pozo	5,58	5,36	30,9	1.330	0,4	-
Pz14HA	Boca de Pozo	5,20	6,72	30,0	1.225	0,4	-
Pz15HA	Boca de Pozo	6,08	7,07	32,2	1.637	0,5	-
Pz16HA	Boca de Pozo	6,15	6,23	32,2	1.480	0,5	Turbina ½ HP
Pz17HA	Boca de Pozo	4,67	6,55	31,4	1.625	0,5	-
Pz18HA	Boca de Pozo	4,72	6,16	33,3	1.523	0,5	Turbina ½ HP

No.	Punto Muestreo	Nivel (m)	pH	Temp. (°C)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (%)	Bomba
Pz19HA	Boca de Pozo	7,32	6,40	30,3	2.259	0,7	-
Pz20HA	Boca de Pozo	6,27	6,45	30,2	2.960	0,8	-
Pz21HA	Boca de Pozo	6,73	6,37	30,4	1.064	0,3	-
Pz22HA	Boca de Pozo	7,22	4,87	29,8	1.076	0,3	-
Pz23HA	Boca de Pozo	7,54	5,38	30,5	384	0,0	-
Pz24HA	Boca de Pozo	1,79	5,91	29,9	6.280	1,8	Turbina ½ HP
Pz25HA	Boca de Pozo	1,60	6,60	29,7	4.600	1,4	-
Pz26HA	Boca de Pozo	2,31	6,90	29,2	6.050	1,8	-
Pz27HA	Boca de Pozo	2,12	7,46	31,2	876	0,2	-
Pz29HA	Boca de Pozo	5,35	5,22	30,8	1.426	0,4	Turbina ½ HP
Pz32HA	Boca de Pozo	4,89	5,68	32,0	839	0,2	Turbina ½ HP
Pz33HA	Boca de Pozo	6,06	5,12	32,4	873	0,2	Turbina ½ HP
Pz35HA	Boca de Pozo	5,62	5,91	30,9	695	0,1	-
Pz36HA	Boca de Pozo	4,40	6,30	31,7	930	0,3	-
Pz37HA	Boca de Pozo	7,15	4,91	30,2	737	0,2	-
Pz38HA	Boca de Pozo	2,77	6,69	30,0	412	0,1	-
Pz39HA	Boca de Pozo	3,70	7,33	29,8	5.870	1,7	-
Pz40HA	Boca de Pozo	3,82	7,82	28,7	2.025	0,6	-
Pz41HA	Boca de Pozo	4,60	6,73	29,8	10.090	3,2	-
Pz42HA	Boca de Pozo	4,62	6,74	30,5	9.978	3,1	-
Pz46HA	Boca de Pozo	1,44	7,44	31,0	1.555	0,5	-
Pz59HA	Boca de Pozo	8,08	7,83	30,7	674	0,2	-
Pz62HA	Boca de Pozo	4,20	7,98	28,9	2.399	0,8	-
Pz65HA	Boca de Pozo	0,72	7,34	30,0	1.820	0,6	-
Pz69HA	Boca de Pozo	2,97	7,59	30,8	2.868	0,9	-
Pz77HA	Boca de Pozo	2,33	7,86	31,4	-	-	Molino Viento

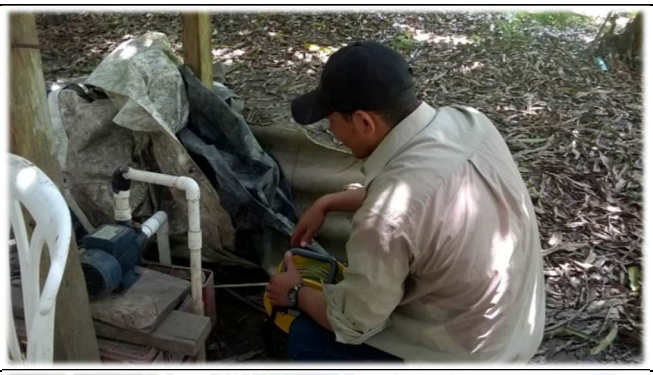
El valor en color rojo indica nivel dinámico

En la Tabla 4.8 se presenta el registro fotográfico de algunos pozos muestreados en la salida de campo.

Tabla 4.8. Registro fotográfico del inventario de pozos realizado en campo.

Ubicación y Descripción	Imagen
Inventario de pozos en el corregimiento de Medialuna	
Inventario de pozos en el corregimiento de Medialuna	
Inventario de pozos en el corregimiento de Medialuna	
Inventario de pozos en el municipio de Pivijay	

Inventario de pozos en el municipio de Pivijay	
Inventario de pozos en el corregimiento de Soledad.	
Inventario de pozos de pozos en el corregimiento de Campo Alegre	

Inventario de pozos de pozos en el municipio de Salamina	
Inventario de pozos de pozos en el municipio de Salamina	
Inventario de pozos de pozos en el municipio de El Piñon	

Inventario de pozos de pozos en el municipio de El Piñon	
Inventario de pozos de pozos en el municipio de Salamina	
Inventario de pozos de pozos en el municipio de El Piñón.	

Inventario de pozos en el corregimiento San Rafael	
Inventario de pozos en la vereda Vainilla	

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 teórico 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:

$$R = K * \frac{V}{I}$$

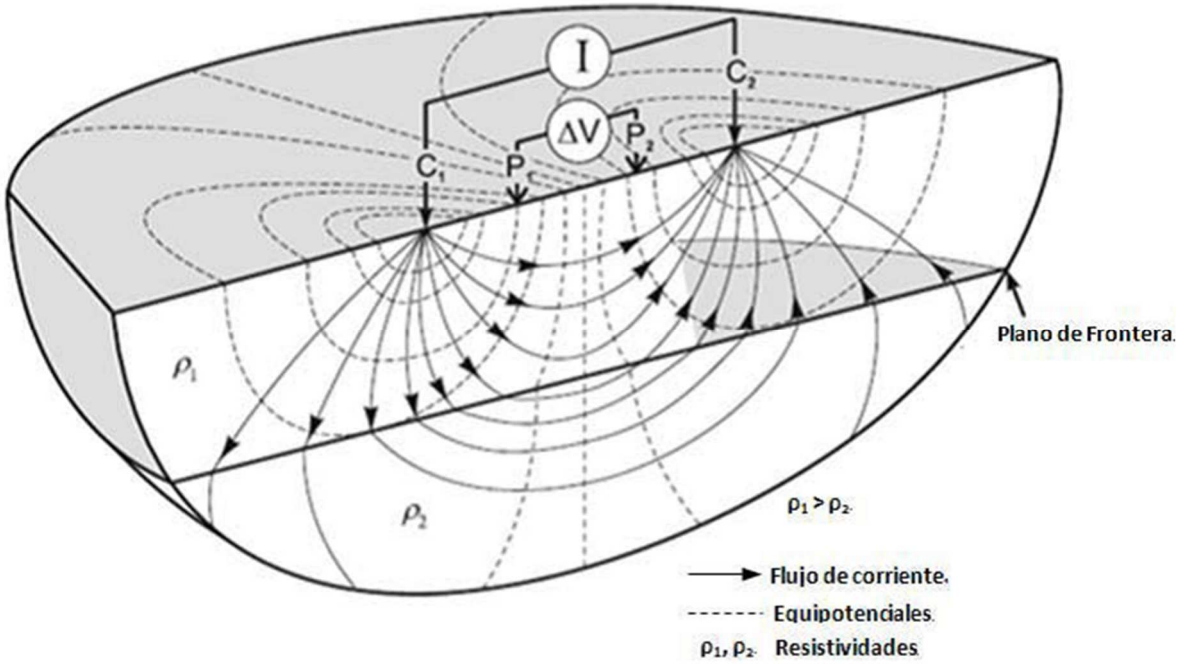
Dónde:
V: Voltaje Medido
I: Corriente Medida
K: Constante que depende de la configuración de los electrodos (A, B, M, N)
R: Resistividad del terreno a la profundidad (AB/2)

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.

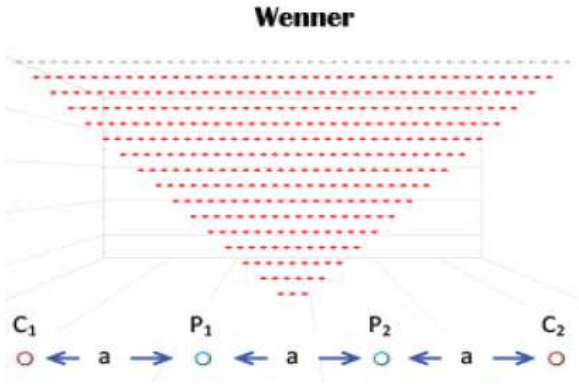
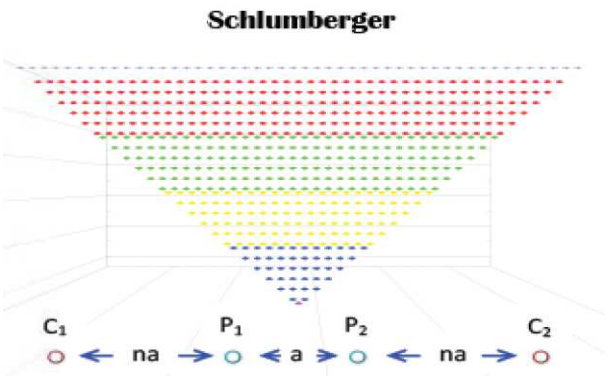
4.1.2.4. *Metodología*

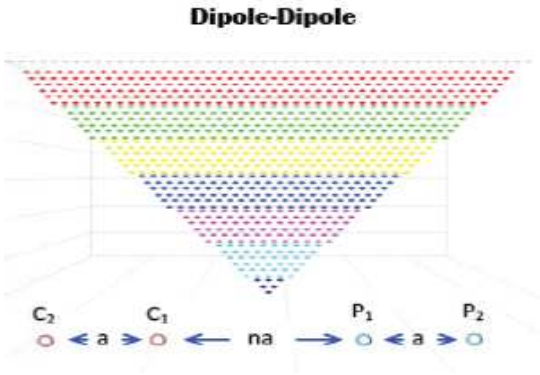
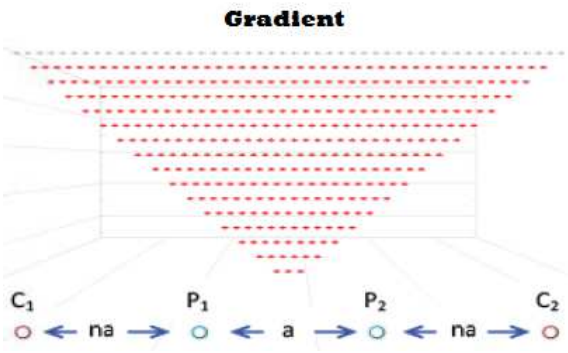
El principio de los cuatro electrodos se denomina cuadripolo o tetrapolo. En principio los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie del terreno.

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.	

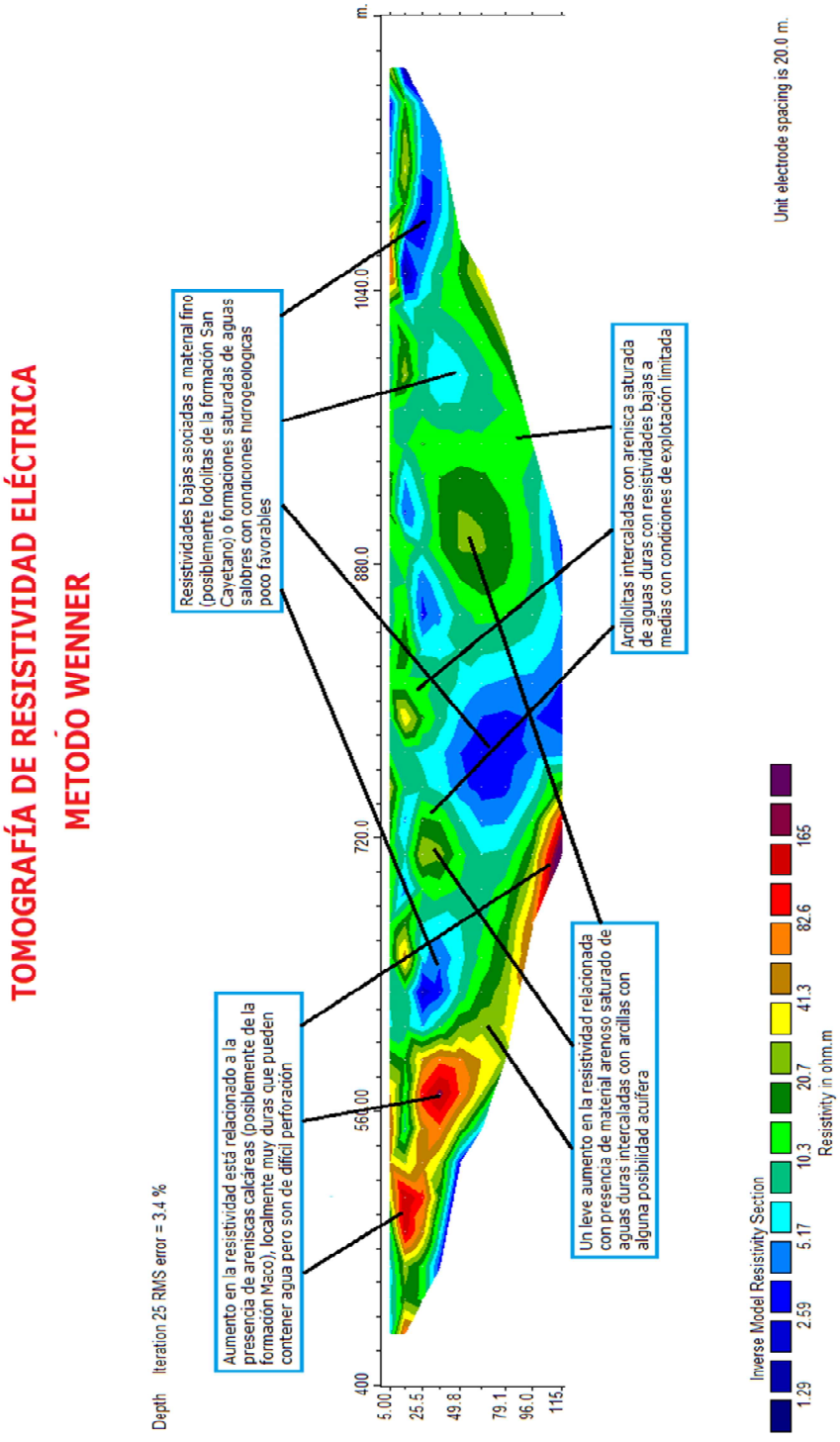
Tipo y descripción del arreglo	*Esquema*
Dipolo- dipolo Este arreglo es usado en estudios de resistividad y de Polarización Inducida (IP), gracias al bajo acoplamiento entre los circuitos de corriente y potencial. La geometría es C2-C1-P1 -P2, en principio la distancia es equidistante entre los electrodos "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.	
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:

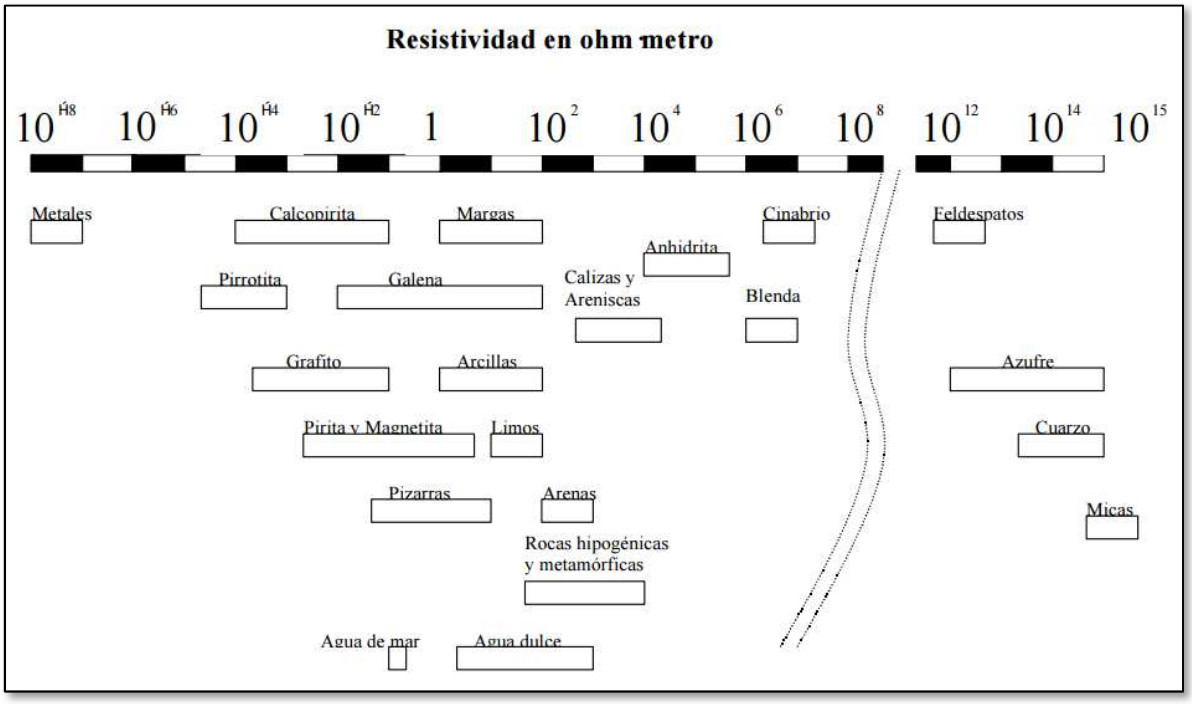
Con la primera se obtiene una estratificación geológica y las resistividades verdaderas de cada capa, partiendo de las leyes físico-matemáticas. Con la segunda se busca el significado hidrogeológico de esas capas y resistividades, correlacionando los resultados con los datos disponibles del subsuelo.

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.

4.1.2.7. *Resultados*

Para la evaluación hidrogeológica del área de estudio se realizaron cuatro (4) registros de Geo tomografía de Resistividad Eléctrica los cuales se denominaron así:

1. Registro No. 1: Realizado al norte del corregimiento de Medialuna municipio de Pivijay, en dirección oriente occidente paralelo a la calle 10.
2. Registro No. 2: Realizado al occidente de la cabecera municipal de Pivijay, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio de Fundación (continuación de la calle 7).
3. Registro No. 3: Realizado al suroccidente de la cabecera municipal de Salamina, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio de El Piñón (continuación de la carrera 2).
4. Registro No. 4: Realizado al suroccidente de la cabecera municipal de El Piñón, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio Cerro de San Antonio (continuación de la carrera 3).

En la Tabla 4.10 se presenta la tabla resumen con las coordenadas por tomografía, y en la 0 la ubicación espacial de las mismas.

Tabla 4.10. Coordenadas de las tomografías

CODIGO	COORD. N	COORD. W	ALTURA GPS
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 1 - Medialuna			
Electrodo No. 1	10° 30' 57.19"	74° 30' 27.29"	4
Electrodo No. 40	10° 30' 56.81"	74° 30' 01.83"	6
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 2 - Pivijay			
Electrodo No. 1	10° 27' 51.39"	74° 35' 39.38"	8
Electrodo No. 51	10° 27' 55.08"	74° 36' 18.26"	8
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 3 - Salamina			
Electrodo No. 1	10° 28' 37.86"	74° 48' 16.06"	6
Electrodo No. 46	10° 29' 06.48"	74° 48' 01.11"	9
Tomografía de Resistividad Eléctrica No. 4 – El Piñón			
Electrodo No. 1	10° 23' 50.34"	74° 49' 37.95"	8
Electrodo No. 40	10° 23' 27.01"	74° 49' 49.50"	10

Figura 4.5. Ubicación espacial de las tomografías realizadas



Figura 4.6. Ubicación en Google Earth de la línea Geoomográfica 1 realizada en Medialuna



Figura 4.7. Localización de la Línea de Geotomografía 2 realizada en Pivijay



Figura 4.8. Localización de la Línea de Geotomografía 3 realizada en Salamina

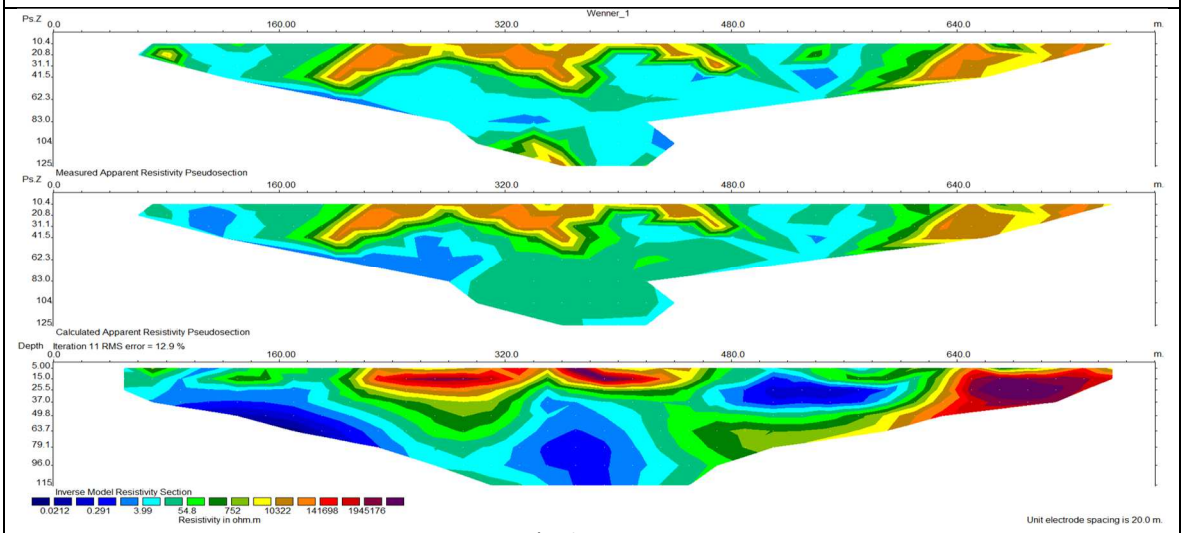


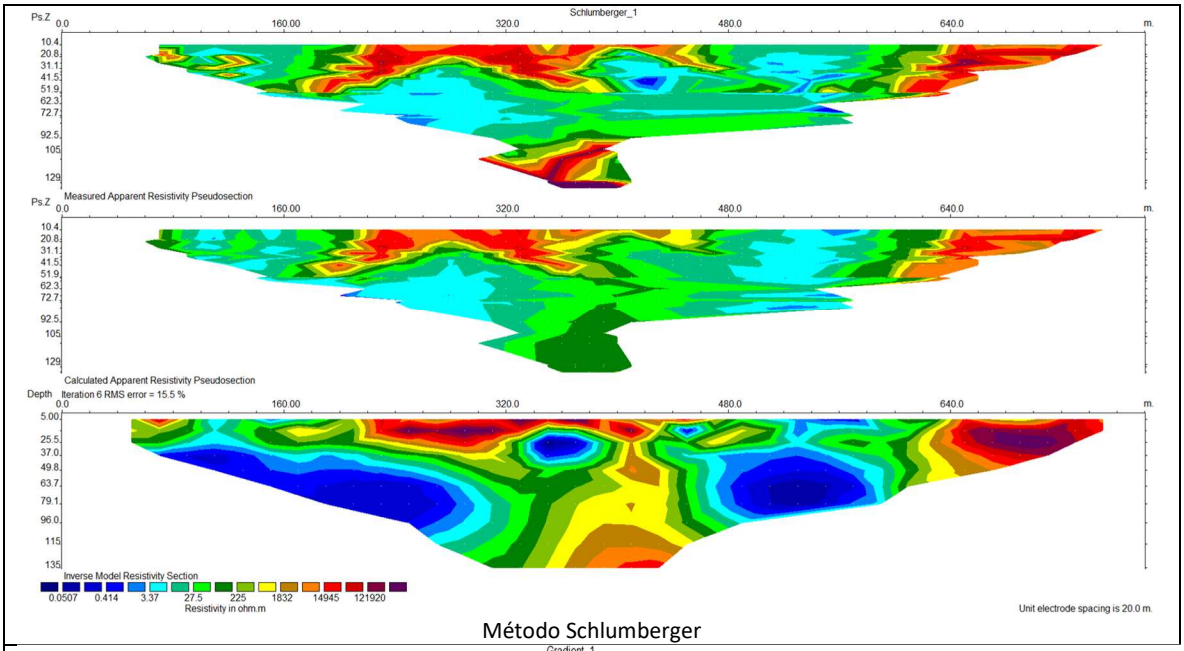
Figura 4.9. Localización de la Línea de Geotomografía 4 realizada en el Piñón



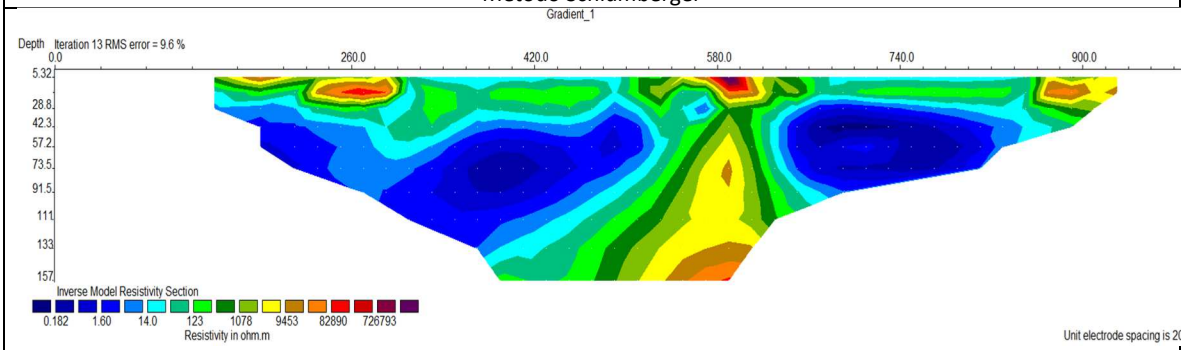
En la Tabla 4.11 Son expuestos los perfiles, los cuales fueron tomados por los métodos Wenner, Schlumberger, Polo-Polo o Gradient, así mismo el sustento fotográfico de la realización de la campaña de. Geofísica.

Tabla 4.11. Resumen de los modelos de Geotomografía tomados en campo.

Geotomografía 1 realizada en el corregimiento de Medialuna
 

Método Wenner



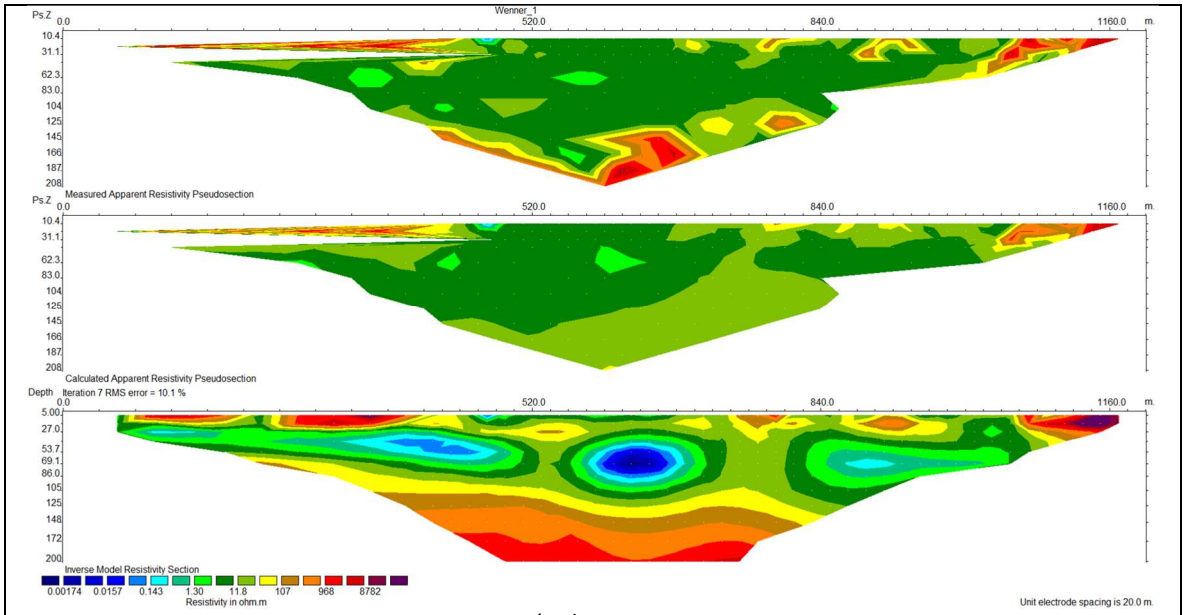
Método Schlumberger



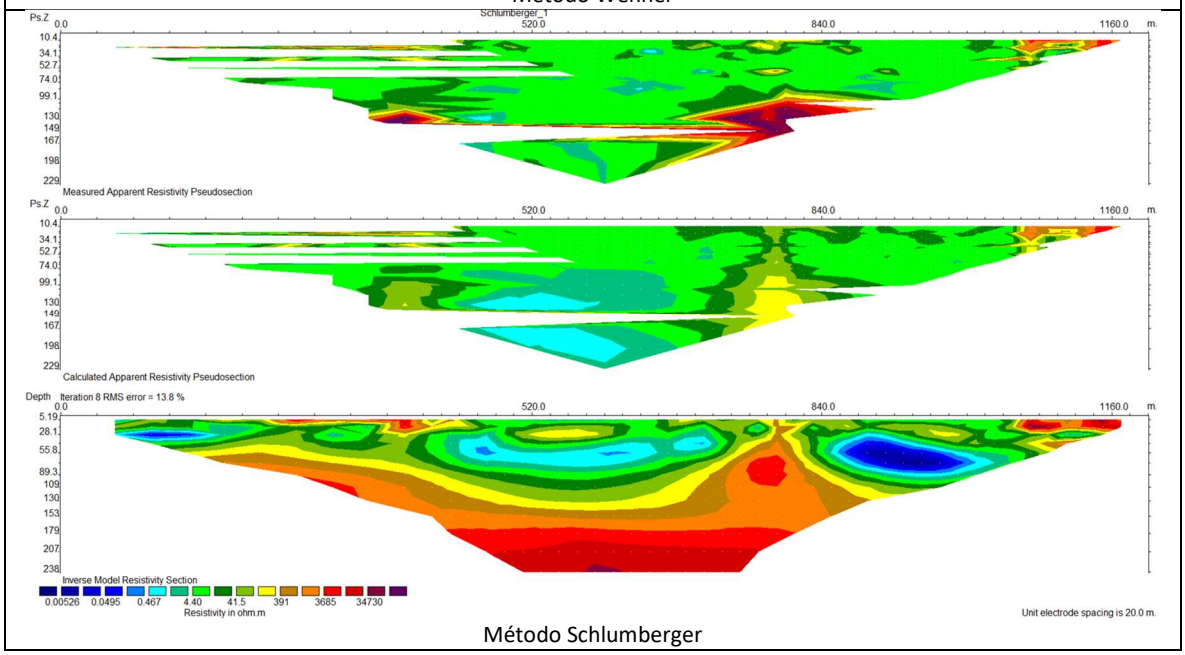
Método Gradient

Geotomografía 2 realizada en el municipio de Pivijay

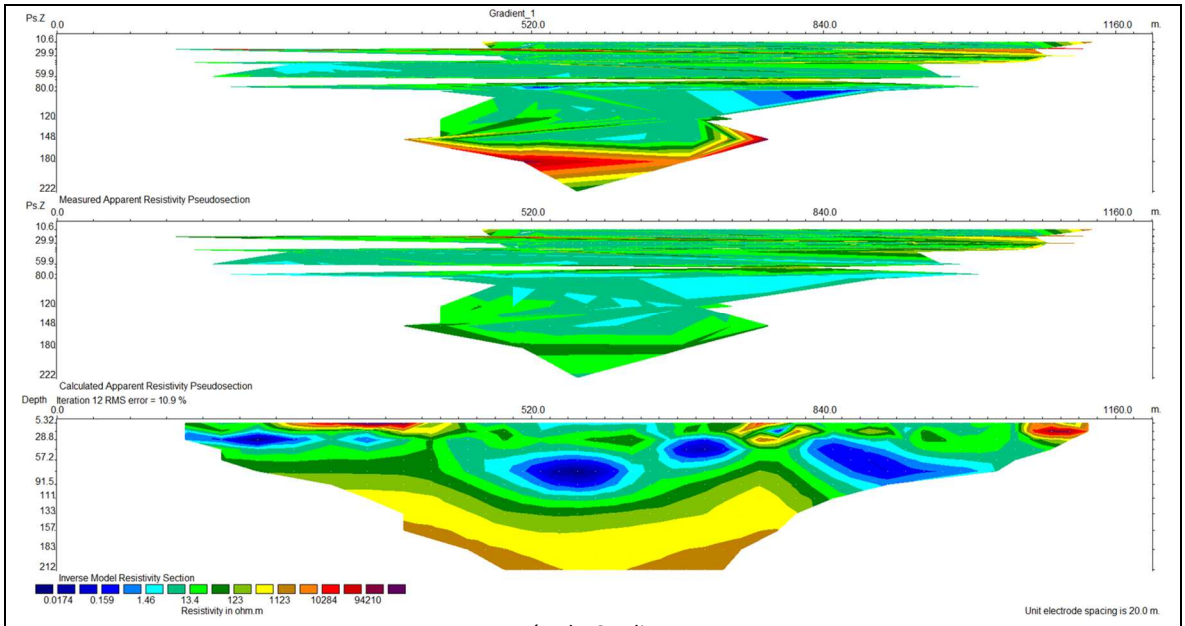




Método Wenner



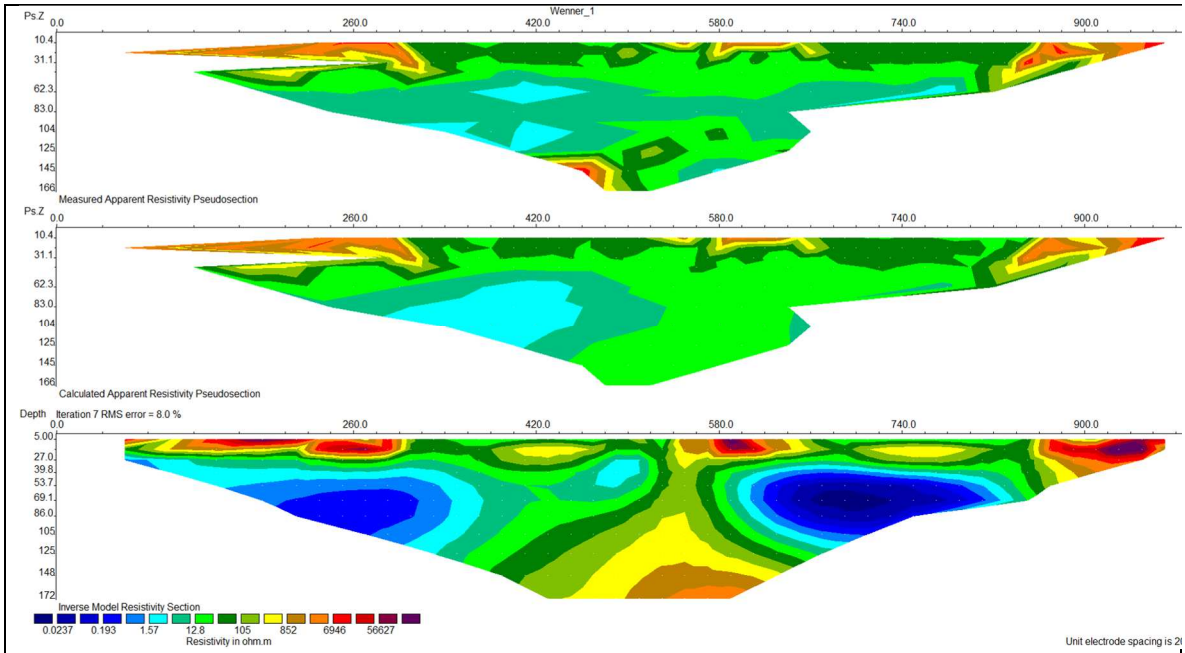
Método Schlumberger



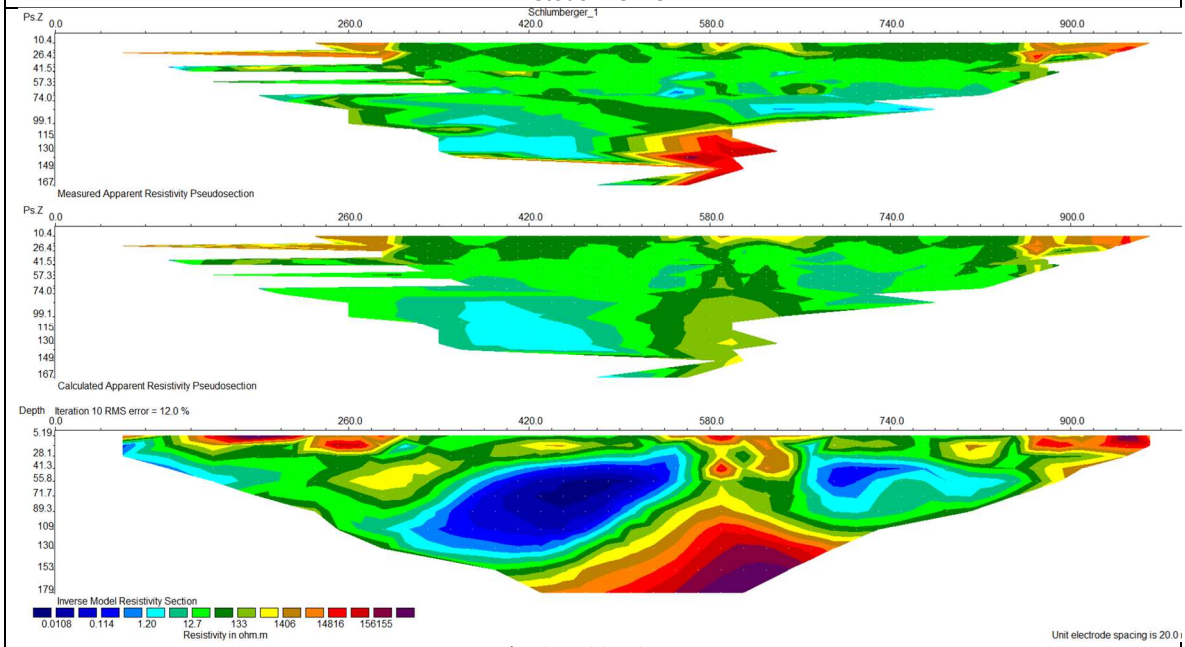
Método Gradient

Geotomografía 3 realizada en el municipio de Salamina

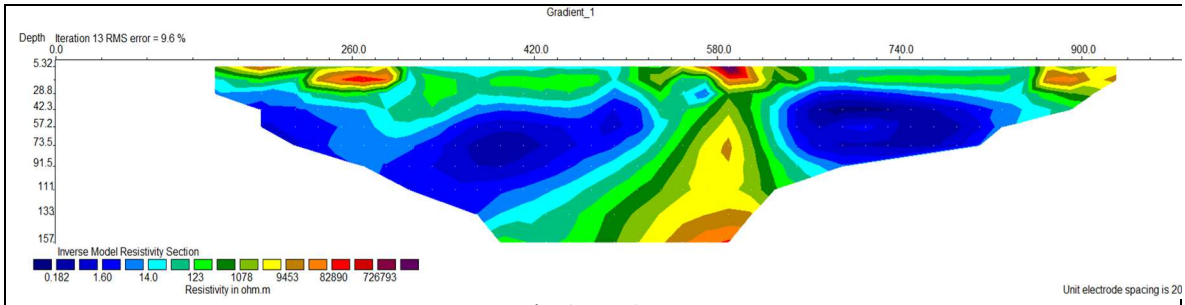




Método Wenner



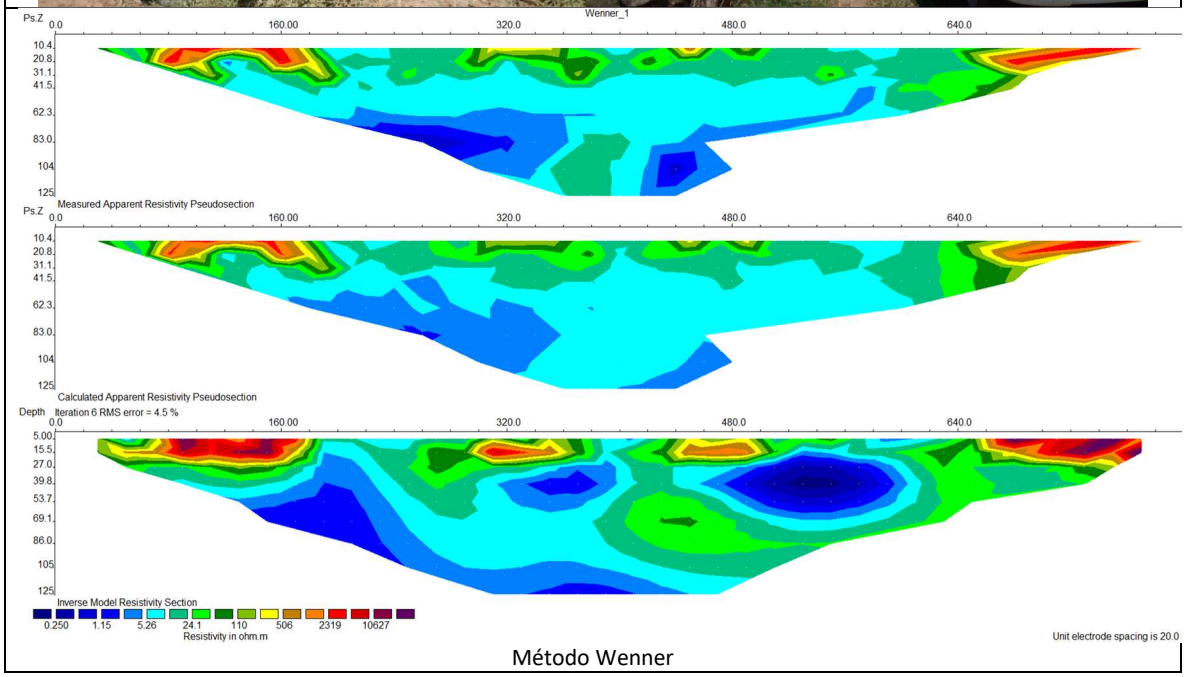
Método Schlumberger



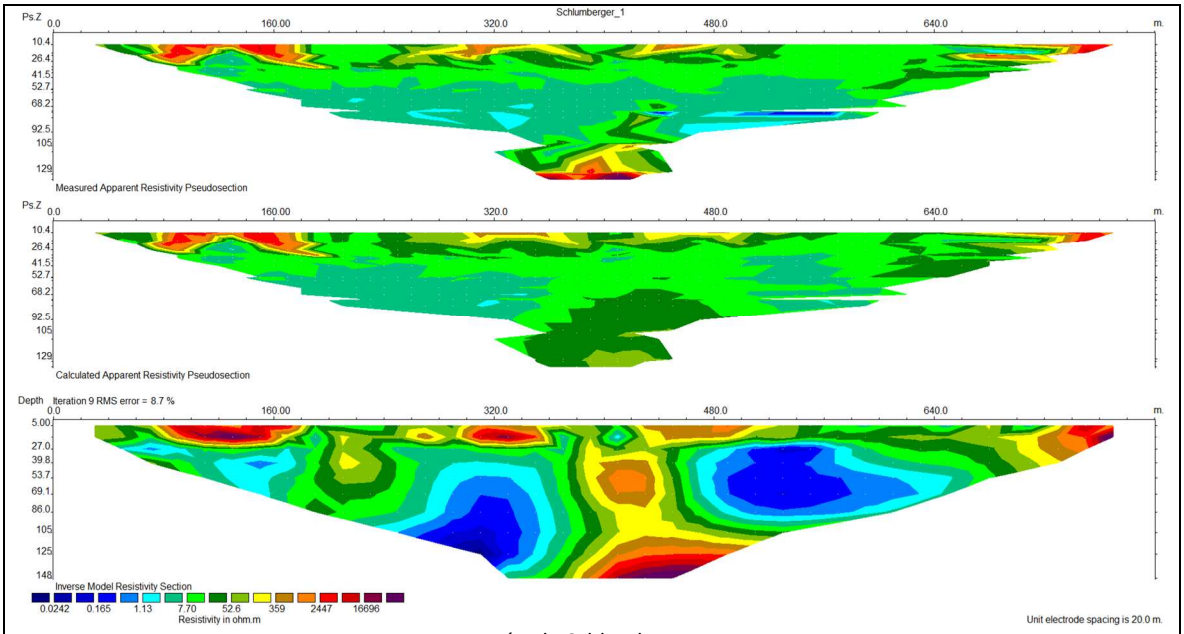
Método Gradient

Geotomografía 4 realizada en el Piñón

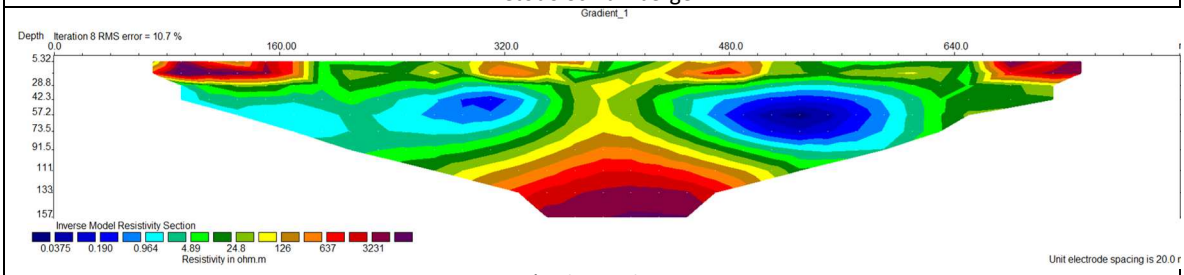




Método Wenner



Método Schlumberger



Método Gradient

Equipo con el que fueron realizadas las Geotomografías.



Equipo ABEM modelo TERRAMETER LS

4.1.3. Fase de post campo

Durante este periodo se realizó el análisis de información primaria recolectada en campo versus la información secundaria disponible para la cuenca objeto de ordenación

Para la interpretación final de las unidades hidrogeológicas se definió utilizar el método Wenner, pues permite una mejor interpretación en profundidad dada su alta penetración.

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.

4.1.3.1. *Análisis de la Geotomografía 1*

Figura 4.10. Ubicación geológica de la Geotomografía 1



La condición geológica del área muestra que la población de Medialuna se ubica sobre rellenos Cuaternarios de llanura de inundación (Q2lal), depositados sobre Sedimentos Terciarios (Formación Zambrano (N2z)).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 1, realizado al norte del corregimiento de Medialuna municipio de Pivijay, en dirección oriente occidente paralelo a la calle 10, tuvo una longitud de 780 m y una dirección de N89E y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner.

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 0,02 a los 10 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 a lo largo de todo el perfil en forma masiva (color azul oscuro a azul marino).

UH2: Se observa un leve aumento de la resistividad con valores de 10 a 25 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 formas de capas de espesor medio (color verde marino).

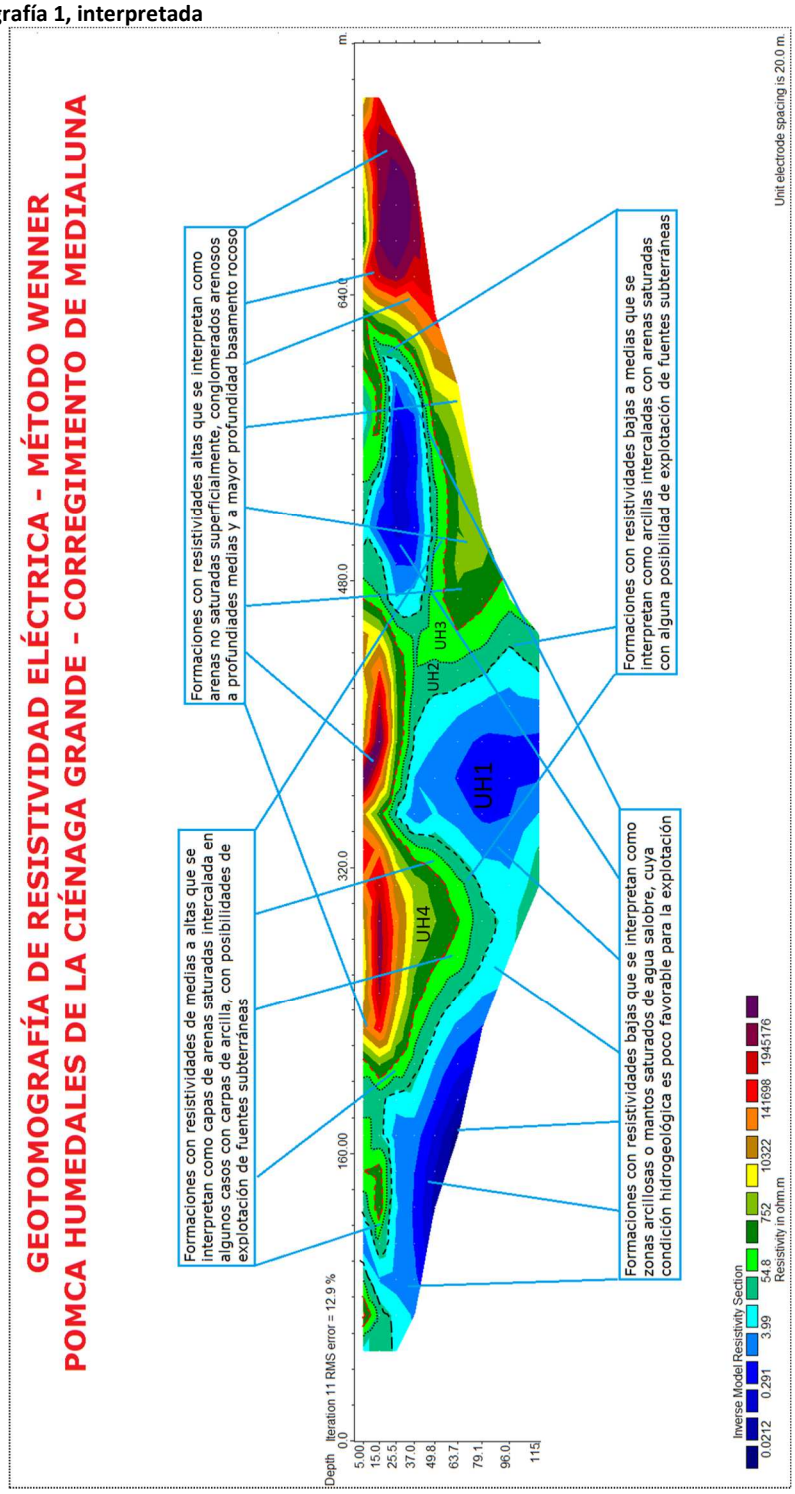
UH3: Se observan depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 25 a los 110 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras, intercaladas con arcillas, con condiciones hidrogeológicas aceptables y posibilidad a explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil, tanto superficialmente y como a profundidades medias en forma de capas de espesor medio (color verde brillante).

UH4: Se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 110 a 200000 Ohm-m, que se interpretan como basamento calcáreo (posiblemente de la Formación Zambrano, color verde oscuro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

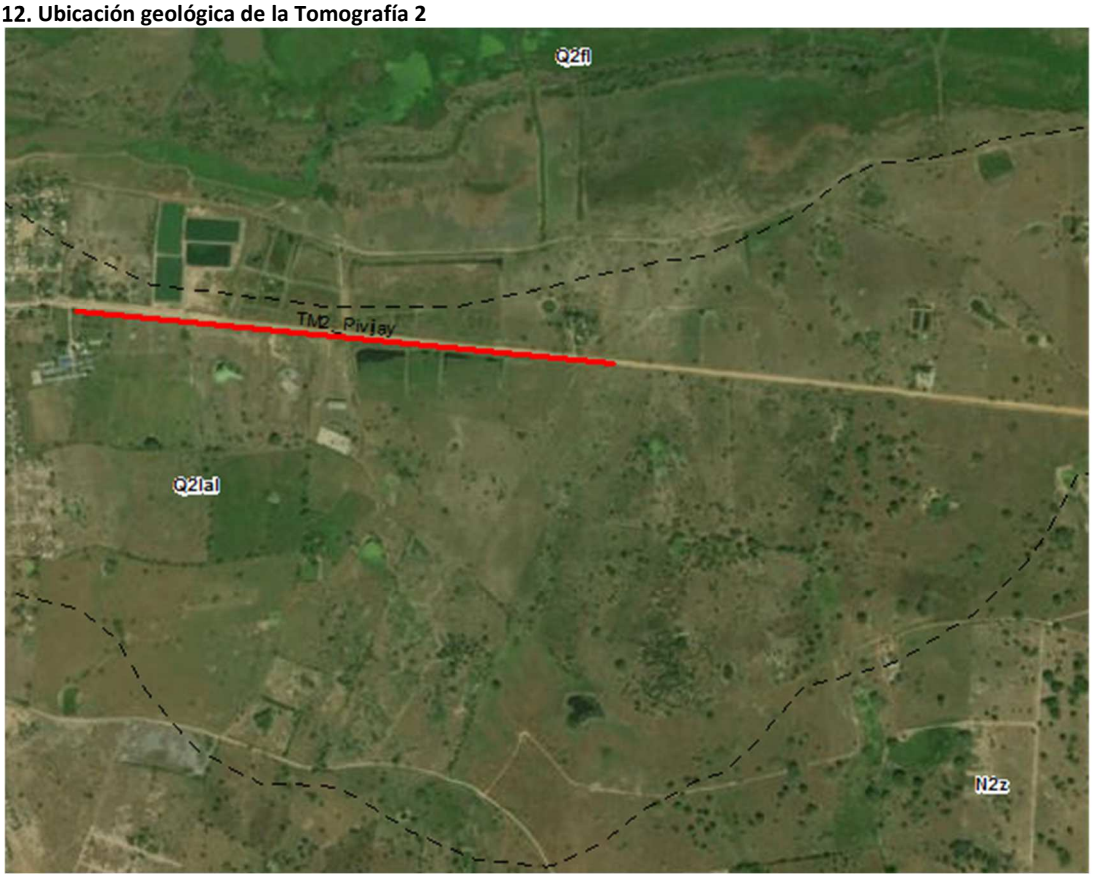
Se observa superficialmente hasta profundidades medias formaciones cuaternarias sedimentos con alternancia de materiales gruesos y finos con estratificación cruzada debido posiblemente a la presencia de paleo cauces de las escorrentías de la zona (caño Schiller y arroyo Sabaneta), en la parte más profunda se observa una reducción de la resistividad asociado a presencia de materiales finos o arenas saturadas de aguas salobres, que podría tratarse de depósitos residuales de origen marino asociados a la Formación Zambrano, aflorante al sur de la población de Medialuna.

Figura 4.11. Tomografía 1, interpretada



4.1.3.2. Análisis de la Tomografía 2

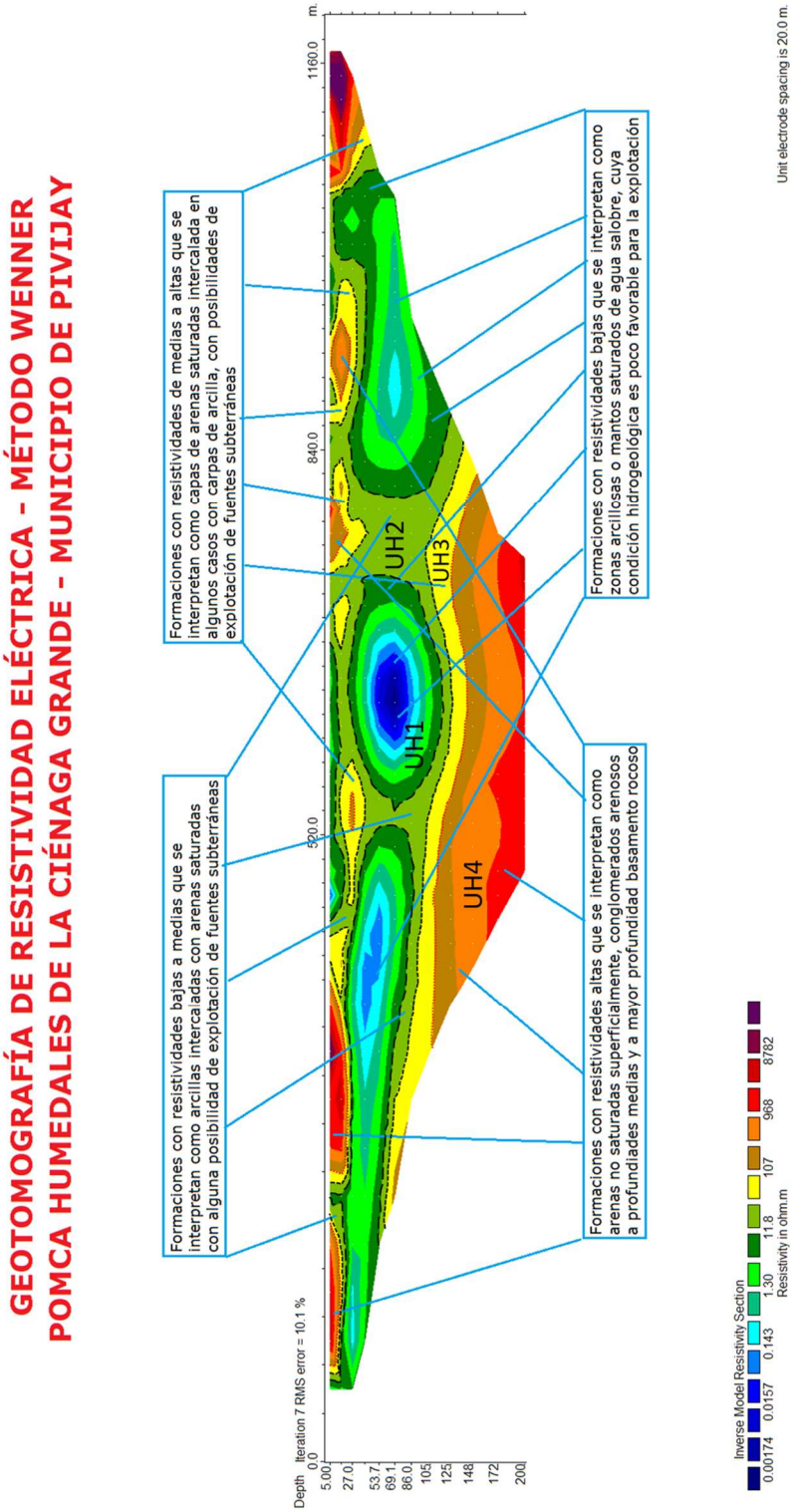
Figura 4.12. Ubicación geológica de la Tomografía 2



Al igual que el corregimiento de Medialuna la condición geológica del área muestra que la población de Pivijay se ubica sobre rellenos Cuaternarios de llanura de inundación. (Q2lal), depositados sobre Sedimentos Terciarios (Formación Zambrano (N2z)).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 2, realizado al occidente de la cabecera municipal de Pivijay, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio de Fundación (continuación de la calle 7), tuvo una longitud de 1200 m con dirección N85W y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner.

Figura 4.13. Tomografía 2 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 detectan en el registro estratos con valores de resistividades bajas que varían entre 0,002 a los 11,2 Ohm-m, que se interpretan como formaciones con alto contenido de finos o formaciones saturadas de agua salobre, cualquiera de las dos interpretaciones indican condiciones hidrogeológicas poco favorables; se localizan a lo largo de todo el perfil a profundidades medias y superficialmente, estas zona indican condiciones poco favorables para la explotación de aguas subterráneas (color azul oscuro a verde oscuro).

UH2: se muestra a lo largo del registro estratos con valores de resistividades de 11,2 a 25 Ohm-m, considerada como resistividades bajas a medias, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados, distribuidos a lo largo de todo el perfil en especial en la parte central en forma masiva y en los extremos en forma de capas, a profundidades medias y superficialmente, con posibilidades limitadas para la explotación de acuíferos (color verde claro).

UH3: se observan depósitos sedimentarios con resistividades medias a altas que varían entre los 25 a los 107 Ohm-m, que se interpretan como capas de arenas saturadas de aguas duras intercaladas con arcillas, con posibilidad de explotación, el cual se distribuye a lo largo de todo el perfil en forma de capas de espesor medio, profundidades medias y superficialmente (color amarillo).

UH4: finalmente se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 107 a 9500 Ohm-m, que se interpretan como sectores con predominio de conglomerados finos arenosos y a mayor profundidad se interpreta como basamento rocoso (Formación Zambrano) (color anaranjado claro a morado).

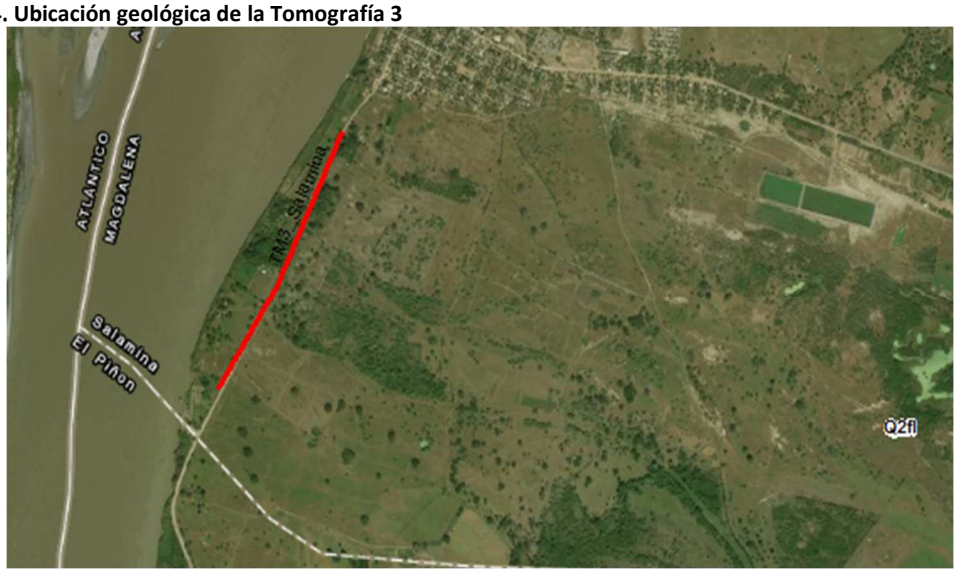
INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Superficialmente y a profundidades medias (0-30 m) se observa alternancia de sedimentos no consolidados, con una tendencia finos en la parte central del corte y material granular en los

extremos del mismo, asociado a posibles paleo cauces de las escorrentías superficiales de la zona; a mayor profundad (30-100 m) se observa una reducción de la resistividad asociado a la presencia de materiales finos o arenas saturadas de aguas salobres, que por la distribución geométrica se ajusta más a lentes arcillosos; finalmente se observa después de los 100 m un aumento en la resistividad, que se interpreta como basamento terciario (posiblemente componente calcáreo de la Formación Zambrano)

4.1.3.3. Análisis de la Tomografía 3

Figura 4.14. Ubicación geológica de la Tomografía 3



El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 3, realizado al suroccidente de la cabecera municipal de Salamina, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio de El Piñón (continuación de la carrera 2), tuvo una longitud de 1000 m y una dirección de 28 grados N-E y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner.

La geología superficial de la zona nos muestra a la población de Salamina ubicada sobre rellenos Cuaternario Fluvio lacustres (Q2fl), depositados sobre Sedimentos Terciarios

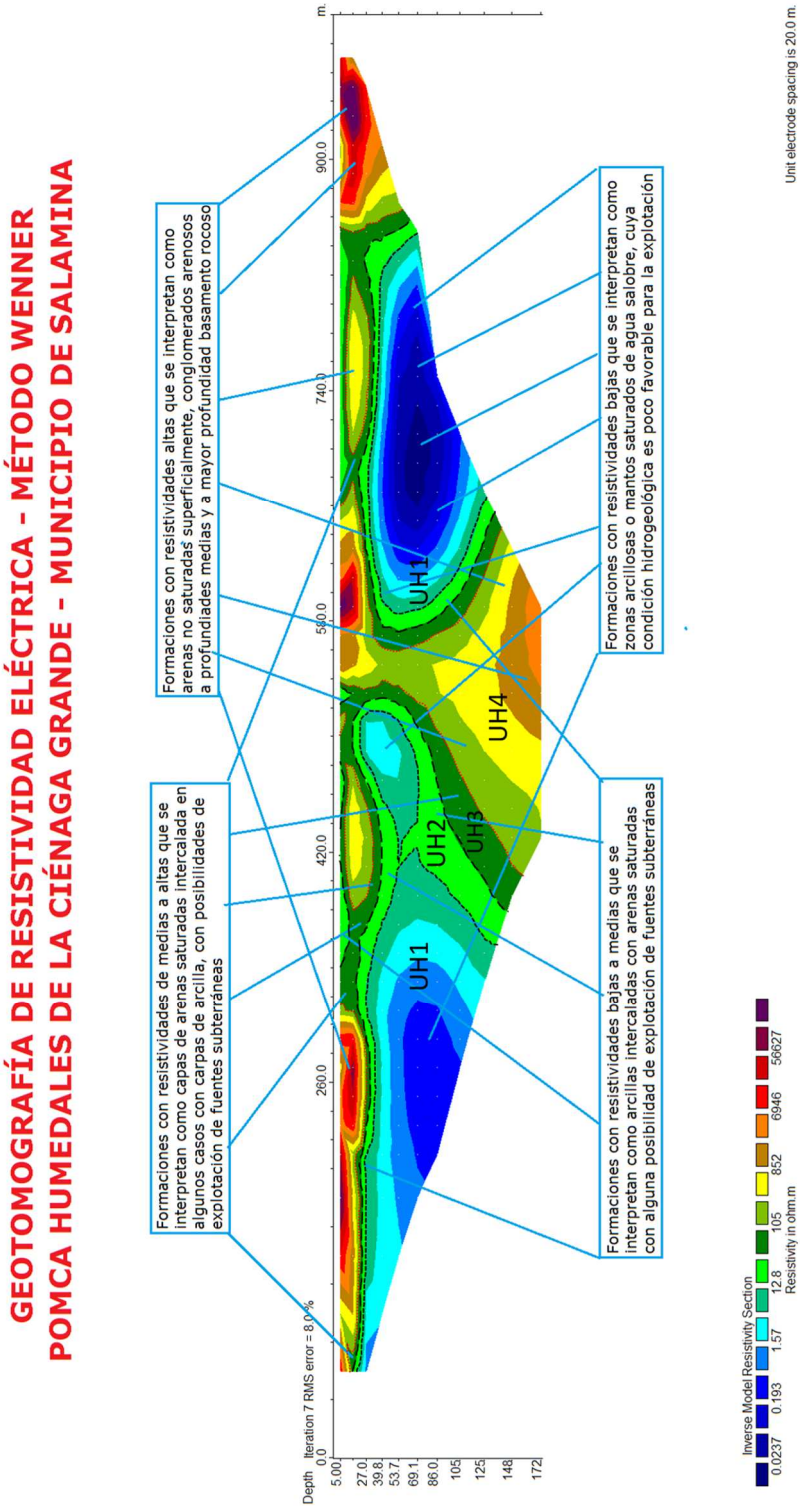
Nota: el perfil de la geotomografía presentado puede tener valores extremos asociados a: el espacio intergranular vacío, que genera valores y ruidos resistivos de alta magnitud, otra situación que puede generar estos valores se relaciona a las curvas de comparación que emplea el método, las cuales tienen 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 3 interpretada



INTERPRETACIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

UH1: inicialmente se detectan en el registro estratos con valores de resistividades bajas que varían entre 0,02 a 12,8 Ohm-m, que se interpretan con presencia de arcillas o arenas saturadas de agua salobre, cualesquiera de las dos interpretaciones indican condiciones hidrogeológicas poco favorables; se localizan a lo largo de todo el perfil especialmente en los extremos a profundidades medias (color azul oscuro a verde marino).

UH2: se observa un leve aumento de la resistividad con valores de 12,8 a 25 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido en capas aisladas de espesor medio a lo largo de todo el perfil, el cual se vuelve más predominante en la parte central del mismo (color verde brillante).

UH3: posteriormente se observa depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 25 a los 105 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 especial en la parte central y en el extremo nororiental, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color verde oscuro).

UH4: finalmente se observa formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 105 a 60000 Ohm-m, que se interpretan como sectores con predominio gravas y arenas y a mayor profundidad se interpreta como basamento rocoso (Formación Zambrano)(color verde claro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Se observa un predominio de materiales gruesos superficialmente y a profundidades medias (0-40m), asociados a resistividades medias, altas y muy altas (25 a 60000 Ohm-m);

Posteriormente (40-90m) se observa una reducción de la resistividad asociada a la a presencia de materiales finos o arenas saturadas de aguas salobres, la presencia de finos puede atribuirse a depósitos fluviolacustres del río Magdalena.

A mayor profundidad (90m en adelante) se aprecia un aumento en la resistividad que se interpreta como basamento terciario (componente calcáreo de la Formación Zambrano).

4.1.3.4. *Análisis de la Tomografía 4*

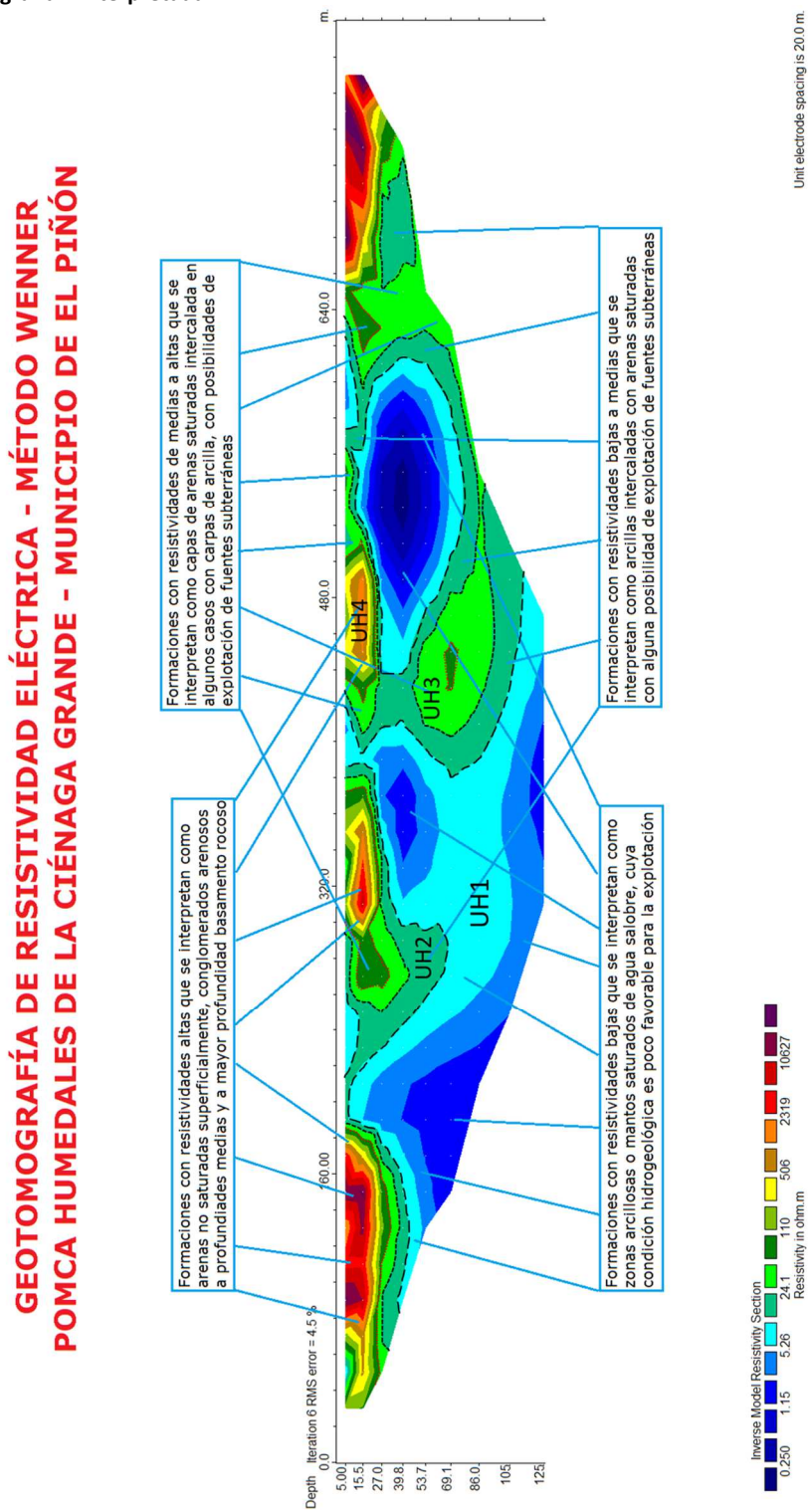
Figura 4.16. Ubicación geológica de la Tomografía 4



Al igual que el municipio de Salamina, la geología superficial de la zona de estudio muestra a la población de El Piñón, ubicada sobre rellenos Cuaternario Fluviolacustres (Qfl), depositados sobre Sedimentos Terciarios o del Pleistoceno (Formación Hibácharo (Nhg) o Formación Gravas de Rotinet (Qpr)).

El perfil de Geotomografía de Resistividad Eléctrica No. 4, realizado al suroccidente de la cabecera municipal de El Piñón, paralelo a la vía que comunica a este municipio con el municipio Cerro de San Antonio (continuación de la carrera 3), tuvo una longitud de 800 m y una dirección S26W y se tomó para efectos de análisis la configuración Wenner.

Figura 4.17. Tomografía 4 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 detectan a lo largo del registro estratos con valores de resistividades bajas que oscilan entre los 0,2 a los 10 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 en forma predominante a lo largo de todo el perfil (color azul oscuro a azul marino).

UH2: se observa un leve aumento de la resistividad con valores de 10 a 24,1 Ohm-m, asociado a la presencia de material fino intercalado con mantos arenosos saturados con condiciones hidrogeológicas limitadas, distribuido en capas aisladas a lo largo de todo el perfil, el cual se vuelve un poco más predominante en la parte central del mismo (color verde marino).

UH3: se observan depósitos con resistividades medias a altas que varían entre los 24,1 a los 110 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 especial en la parte central y en el extremo suroccidental, tanto superficialmente y como a profundidades medias (color verde brillante a verde oscuro).

UH4: se observan formaciones con resistividades altas a muy altas con valores que oscilan entre 110 a 12000 Ohm-m, que se interpretan como sectores con predominio de arenas o conglomerados finos arenosos superficiales, gravas a profundidades medias y a mayor profundidad se interpreta como basamento Terciario, (Formación Hibácharo (Nhg) o Formación Gravas de Rotinet (Qpr)). (color verde claro a morado).

INTERPRETACIÓN POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Se aprecia tanto superficialmente como a profundidades medias alternancia de sectores de sedimentos (no consolidados) finos de resistividades bajas (0,2 a los 10 Ohm-m) y sedimentos granulares con resistividades mayores (24,1 a los 12000 Ohm-m); a mayor profundidad se detecta un predominio de resistividades bajas asociado a la presencia de materiales finos que pueden atribuirse a depósitos fluviolcustres antiguos del río Magdalena.

4.1.3.5. *Conclusiones generales y consideraciones adicionales para las tomografías*

En las Geotomografías analizadas un predominio de formaciones sedimentarias de resistividades bajas relacionadas con presencia de materiales finos y arenas saturadas de agua salobre o salada (asociadas a la cuña salina), los cuales limitan la explotación de las aguas subterráneas del sector; lo que se corrobora con las características fisicoquímicas de los puntos monitoreados los cuales en su gran mayoría presentan valores de conductividad y salinidad altos, descartan el agua para consumo humano (conductividad superior a 1000 µs/cm y salinidad superior a 0,3 %), aun cuando las caracterisiticas físico químicas del agua no son aptas para el consumo humano, la población se ve obligada a consumirla al no disponer de otra fuente de abastecimiento.

La condición antes descrita es más dominante en las Geo tomografías realizadas en los municipios de Salamina y El Piñón, las cuales estas relacionadas con la presencia de depósitos fluviolacustres de zonas de inundación del Rio Magdalena, cuya tendencia es la depositación de material fino dando condiciones de confinamiento a los depósitos de agua subterránea más profundos y limitando la recarga de este río y sus afluentes.

La geofísica permite detectar presencia de acuíferos superficiales (2-10 m) y sub superficiales (10-40 m) midiendo una propiedad física del subsuelo y su distribución geométrica, en donde la información recolectada en campo se interpreta y finalmente se correlaciona con las formaciones geológicas de la zona y para el caso específico de la Geotomografía, la propiedad medida en campo es la resistividad, la cual mediante las configuraciones de Wenner, Schlumberger y Gradient, permite obtener un perfil estratigráfico del subsuelo y también es posible realizar una interpretación cualitativa de la calidad del agua depositada en el subsuelo; igualmente se puede discernir que a medida que un pozo se profundice en la formación acuífera, se obtendrá un mayor caudal debido a que se están captando más estratos aportantes.

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 esta característica 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 realizados 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, en la Figura 4.18 se presenta el mapa de Unidades Hidrogeológicas para la cuenca, y en la Figura 4.19 la respectiva leyenda.

4.2.1. A. Sedimento y rocas con flujo esencialmente intergranular

4.2.1.1. *Acuíferos de depósitos aluviales y de llanura de inundación (A-ALlAcLi-cf)*

Capas de arenas, limos y arcillas cuya litología y espesor varían según la historia morfológica del valle, acuíferos continuos de extensión regional relacionado a cauces de escorrentía superficial, y llanuras de inundación, presenta productividad moderada y espesor medio de 25 m, conformado por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, se clasifica como acuífero detrítico libre y semi confinado en sus niveles superiores y confinado localmente en sus niveles inferiores, con agua de regular calidad fisicoquímica y características hidráulicas aceptables. Se observa gran influencia de las formaciones terciarias que la subyacen (Formación Zambrano y Formación Rancho).

4.2.1.2. *Acuífero depósito de playa (A-PlAcLi-Se)*

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 delta del río Magdalena, los materiales se mezclan con los de los depósitos aluviales, presentando delgados lechos conglomeráticos.

Estos depósitos se encuentran expuestos a la modificación por procesos constantes de erosión y acreción de sedimentos, que actúan dependiendo del sector donde se localizan. Se estima un espesor relativo de 10 m.

Se clasifica como: acuífero libre, continuo y de extensión regional un espesor variable no mayor de 15 m. 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: capacidad especifica de 0,34 lps/m, transmisividad de 18,70 (m^2/día) y una permeabilidad de 1,45 (m/día), que se consideran como aceptables.

4.2.1.3. *Acuífero de Depósitos Fluvio lacustres (A-FlAcLi-cf)*
Lodos (limos y arcillas) y arenas finas, formadas por desecación de las masas de agua. Acuíferos discontinuos de extensión regional de productividad media, conformados por sedimentos cuaternarios con un apreciable porcentaje de finos en algunos sectores que se comportan como acuitardos, relacionados a zonas de inundación del río Magdalena.
Se clasifica como acuífero libre y confinado, de extensión regional con espesor varible promedio de 25 m.
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: capacidad especifica de 2,73 lps/m, transmisividad de 203,8 (m^2/día) y una permeabilidad de 94,36 (m/día).

Presenta aguas de calidad variable (afectada localmente por la influencia de la Ciénaga Costera) y características hidráulicas de aceptables a buenas.

4.2.2. B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

4.2.2.1. *Acuífero de la Formación Zambrano (B-ZAcf)*
Capas gruesas a medias de arenitas bioclásticas a bioesparíticas cuarzosas, arcillosas y areniscas calcáreas con abundantes clastos de moluscos, interestratificados con lodolitas calcáreas bioclásticas, según las correlaciones realizadas su edad corresponde al Plioceno temprano (Duque-Caro et al., 1996). Se propone un ambiente de formación marino muy somero y un depósito de relleno de canal con abundante contenido de conchas transportadas.
Se clasifican como acuíferos discontinuos de extensión regional de mediana a baja productividad conformados por rocas sedimentarias terciarias consolidadas de ambiente marino, con espesor promedio de 94 m.

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: capacidad especifica de 0,19 lps/m, transmisividad de 6,22(m^2/día) y una permeabilidad de 0,84 (m/día).

Se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de mala calidad fisicoquímica y características hidráulicas regulares.

4.2.2.2. *Acuífero de la Formación Rancho (B-RAcf)*
Capas gruesas a muy gruesas de sub litoarenitas de color gris verde oliva claro, interestratificadas con arcillolitas y con láminas de arenitas de grano medio, se le asignan una edad miocena tardía - pliocena temprana.

Se postula un ambiente de formación de abanico aluvial costero, cuyos sedimentos son transportados a lo largo del borde externo de la plataforma y son canalizados en la desembocadura de un cañón submarino.

Acuíferos discontinuos de extensión regional de mediana a baja productividad conformados por rocas sedimentarias terciarias consolidadas en alternancia de material granular y material fino (este

último se comporta como Acuífugo) de ambiente de abanico a aluvial costero, se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de mala calidad fisicoquímica y características hidráulicas regulares a bajas.

En la Figura 4.18 (Anexo 01 de Hidrogeología.) se presenta una ilustración del mapa unidades hidrogeológicas, para una mejor visualización, remitirse a los anexos del documento.

Figura 4.18. Mapa de Unidades Hidrogeológicas

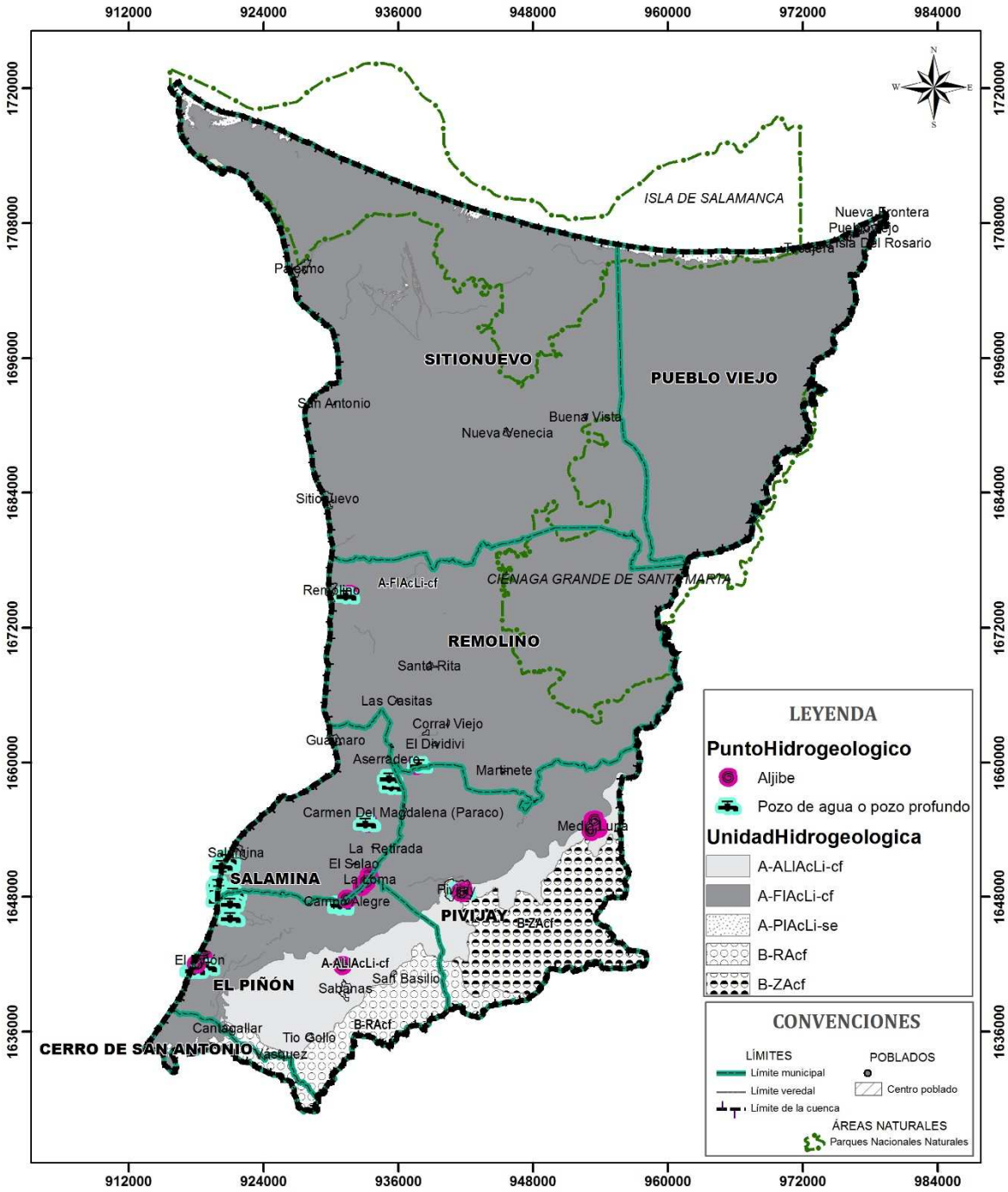


Figura 4.19. Leyenda unidades hidrogeológicas

SÍMBOLO	NOMENCLATURA	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS DE LA UNIDAD	DESCRIPCIÓN
	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 12 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 y vulnerabilidad moderada a alta
	B-RAcf	Acuífero Formación Rancho	Conductividad hidráulica: 0,53, Transmisividad: 5,28, Capacidad Especifica: B0.0-1.0.	La conductividad eléctrica nos muestra aguas con contenido de sales y un pH con tendencia acida Acuíferos discontinuos regionales de mediana a baja productividad, se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de mala calidad fisicoquímica y características hidráulicas regulares a bajas
	B-ZAcf	Acuífero Formación Zambrano	Conductividad hidráulica: 0,84, Transmisividad: 6,22, Capacidad Especifica: B0.19.	La conductividad eléctrica refleja para la unidad, aguas con un contenido moderado de sales, y un pH tendiente a la acidez Acuíferos discontinuos regionales de mediana a baja productividad, se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de mala calidad fisicoquímica y características hidráulicas regulares.
	A-AllAcLi-cf	Acuífero de depósitos de Llanura Aluvial y aluviales	Conductividad hidráulica: 4,01, Transmisividad: 9,13, Capacidad Especifica: A0.23.	Para la conductividad eléctrica muestra un alto contenido de sales, posiblemente como producto de la influencia del terciario residual marino y un pH acido Acuífero detrítico libre y semi confinado con agua de regular calidad fisicoquímica y características hidráulicas aceptables
	A-FlAcLi-cf	Acuífero de depósitos fluvio lacustres	Conductividad hidráulica: 94,36, Transmisividad: 203,82, Capacidad Especifica: A2.73.	La conductividad eléctrica indica aguas con bajo contenido en sales, el pH, muestra una leve tendencia básica Acuíferos libres, con agua de calidad variable (afectada localmente por la influencia de la Ciénaga Costera) y características hidráulicas de aceptables a buenas.

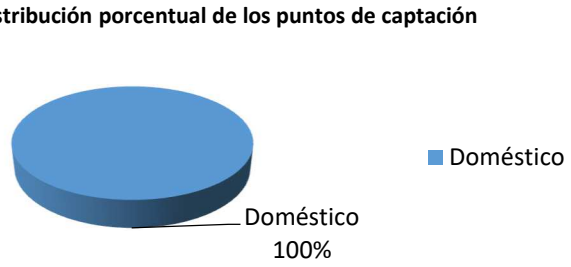
4.3. Usos Actuales y Potenciales del Recurso Hídrico Subterráneo.

Teniendo en cuenta la exhaustiva campaña de recolección de información primaria registrada en el anexo Tabla de Puntos hidrogeológicos Humedales, y que fue 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 %**
Doméstico	78	100 **%**
Total	78	100,0 **%**

Figura 4.20. Distribución porcentual de los puntos de captación



De la Figura 4.20 se concluye que el cien por ciento de los pozos se concentran en el uso doméstico, como es apenas lógico, dada la ubicación del acuífero, no se presentan otros usos, esto asociado al tamaño de las poblaciones que se abastecen.

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

Tabla 4.13. Tipo de Captación

Tipo de captación	#de pozos	Porcentaje
Pozos profundos	34	44%
Aljibes	44	56%
Total	78	100%

Figura 4.21. Tipo de captación



Al observar la Tabla 4.13 y la Figura 4.21 derivado de la tabla se concluye que existe una tendencia favorable a la utilización de aljibes respecto a los pozos profundos.

Derivado de la Figura 4.21 y la Figura 4.20 se concluye que para el caso de la cuenca la explotación del acuífero muestra un comportamiento claramente doméstico por lo que es posible asegurar que se trata de una explotación artesanal que en su mayoría no utiliza equipos de bombeo que incidan de manera significativa en la curva de abatimiento del acuífero, este hecho se fundamenta en la baja condición socio económica de los habitantes.

Según datos del estudio social adelantado por el consultor, el municipio en su casco urbano cuenta con veinte un mil ochocientos ochenta y siete habitantes (21887), de acuerdo con los datos recolectados en campo cerca del 30% de esta población, correspondiente a siete mil doscientos noventa y seis personas, no cuentan con conexión al sistema de acueducto del municipio y por lo tanto se autoabastecen por medio de pozos profundos y según el REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000, la dotación neta mínima dada la complejidad media del sistema es de 125 litros por habitante al día lo que arroja un valor diario de consumo de 912.000 L/día, o unos 912 m^3/día aproximadamente.

Gracias a datos recolectados en el corregimiento Medialuna (municipio de Pivijay), fue posible constatar que el 100% del abastecimiento en dicho corregimiento se realiza por pozos subterráneos. La población total establecida por el consultor en el estudio social adelantado, para este es de tres mil quinientos cuarenta y ocho habitantes (3548) y según el REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000, la dotación neta mínima dada la complejidad media del sistema es de 125 litros por habitante al día lo que nos arroja un valor diario de consumo de 443.500 L/día, o unos 443,5 m^3/día aproximadamente.

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.

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.

Dadas las condiciones de las cuencas, 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 4.14 se muestra un resumen de recargas por sub cuencas.

Tabla 4.14. Resumen de recargas por sub cuencas

Nivel sub siguiente	Nombre	Recarga	Área	Recarga potencial (mm/año)	Recarga potencial en m³
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	114,673927	26025417,2	2984436794	2984436,79
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	226,000917	58275447,7	1,317E+10	13170304,6
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	250,94154	85129184	2,1362E+10	21362448,6

Nivel sub siguiente	Nombre	Recarga	Área	Recarga potencial (mm/año)	Recarga potencial en m³
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	104,92721	104014503	1,0914E+10	10913951,5
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	285,667978	185383610	5,2958E+10	52958160,9
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	152,27763	195769387	2,9811E+10	29811298,3
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	170,468846	91065434,5	1,5524E+10	15523819,5
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	230,415945	163012537	3,7561E+10	37560687,9
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	201,476002	108483451	2,1857E+10	21856812
2906-010400	Complejo Caño El Salado	136,586447	162211031	2,2156E+10	22155828,4
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	201,811173	130335312	2,6303E+10	26303122,1
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	172,326321	94432909,6	1,6273E+10	16273275,9
2906-010503	Caño Los Micos	173,572192	55564435,8	9644440895	9644440,9
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	170,581737	134334777	2,2915E+10	22915059,6
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	229,4317	1190196084	2,7307E+11	273068711
Total					576502358m³

4.4.2. Pruebas de Bombeo

Para la estimación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos 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 la realización de varias pruebas, ni con el tiempo estándar de 24 a 48 horas continuas, por ello se concertó con la comunidad una duración de 7 horas.

4.4.2.1. *Descripción y metodología*

Las pruebas de bombeo se realizan en 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 cuatro pruebas de bombeo en Aljibes 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

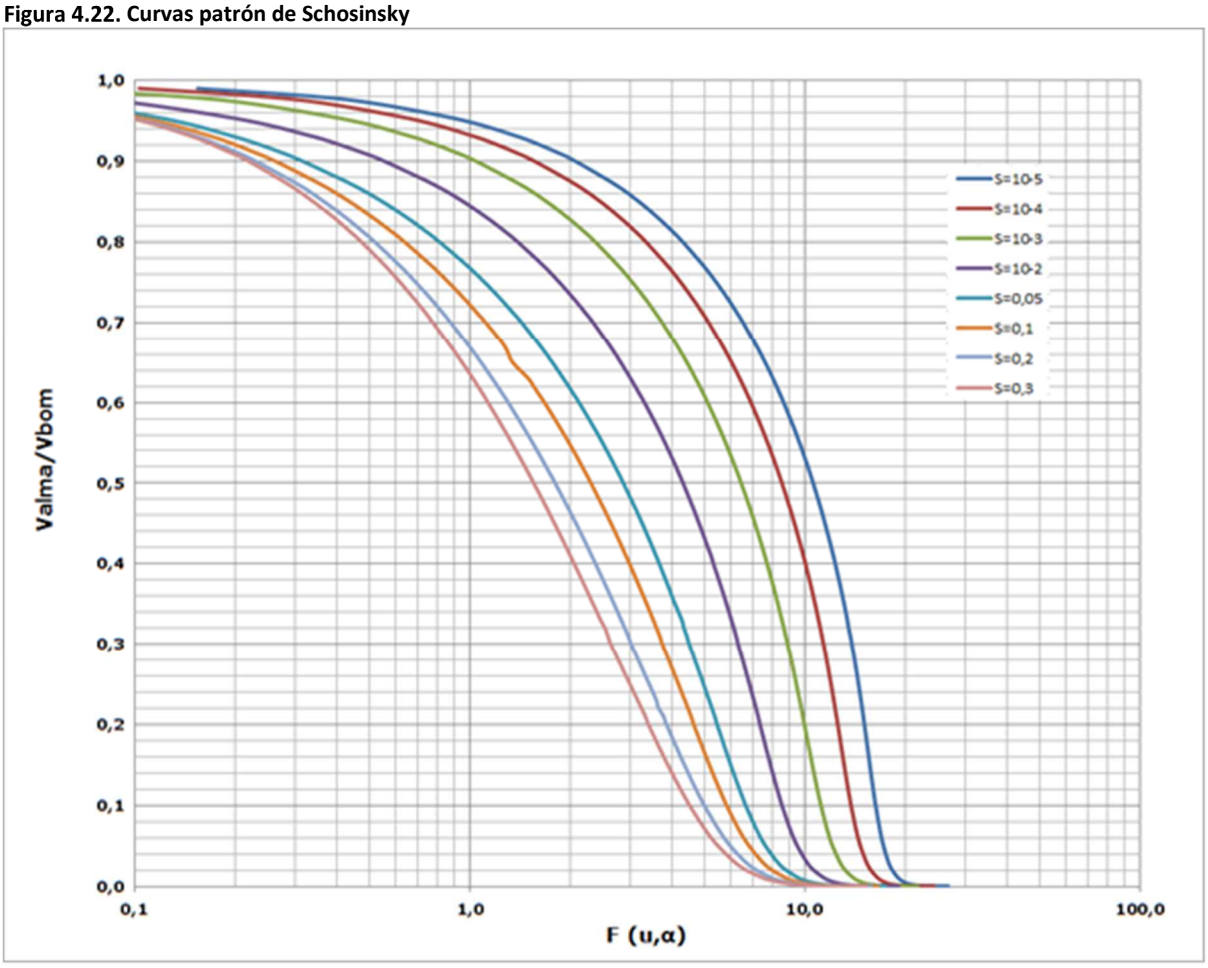
explotación y el nivel descendido durante la prueba se conoce con el nombre de capacidad específica.

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 4.22 se presentan las curvas patrón de Schosinsky.

Figura 4.22. Curvas patrón de Schosinsky



$$F(\alpha,u)=\frac{4\pi Ts}{Q}$$

$$\frac{F(\alpha,u)u}{S}=\frac{s\pi r_w^2}{Qt}=\frac{\text{Volumen almacenado}}{\text{Volumen bombeado}}$$

$$S=\frac{\alpha r_c^2}{r_w^2}$$

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.

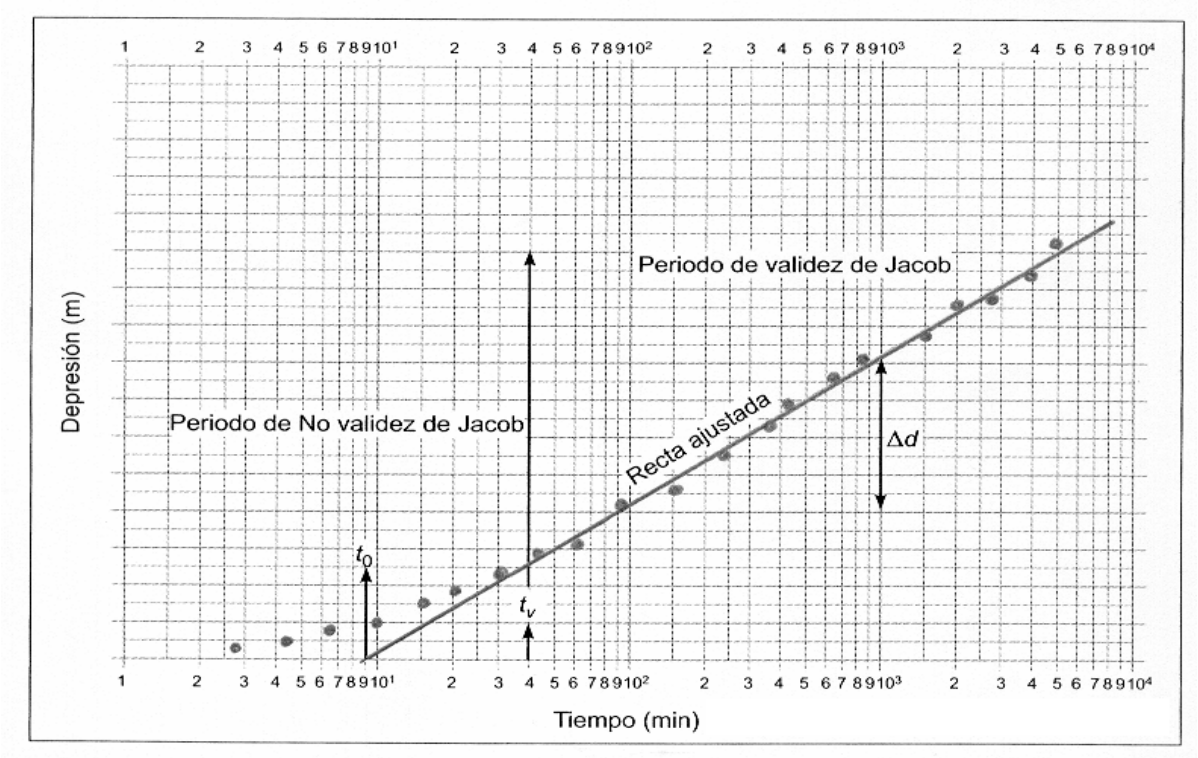
4.4.2.3. *Pruebas de bombeo en Pozos Profundos.*
El método utilizado para el cálculo de los parámetros hidráulicos en pozos de pequeño diámetro es el de Jacob Simplificado, el cual se basa en la ecuación de Thiem, cuya solución se da graficando en forma semi logarítmica el abatimiento contra el tiempo, 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 4.23. 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:

$$s = \underbrace{0{,}183 \frac{Q}{T}}_{m} \underbrace{\log t}_{x} \underbrace{- 0{,}183 \frac{Q}{T} \log t_0}_{n}$$

$$y = m . x + n$$

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

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 4.15 se presenta un resumen de la permeabilidad por tipo de material

Tabla 4.15. 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 mas
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 4.16. Ubicación de las pruebas de bombeo realizadas.

CODIGO	LOCALIZACIÓN	COORD. N	COORD. W	ALTURA GPS
Pz PB No. 1	Medialuna	10° 30' 59.80"	74° 30' 14.30"	4
Pz PB No. 2	Pivijay	10° 27' 33.00"	74° 36' 32.90"	17
Pz PB No. 3	Salamina	10° 28' 52.40"	74° 48' 10.30"	9
Pz PB No. 4	El Piñón	10° 23' 45.10"	74°49'36.00"	8

Figura 4.24. Ubicación geográfica de las pruebas de bombeo

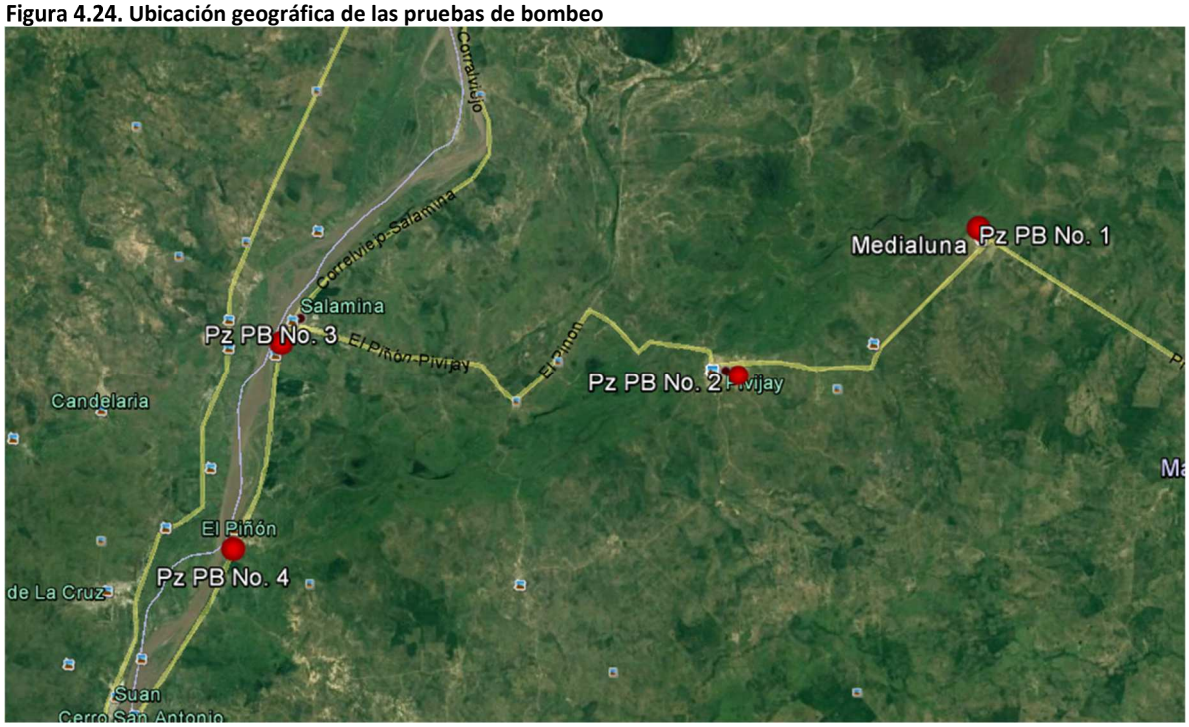


Tabla 4.17. Registro fotográfico

Pz-pb-No1	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el aljibe en Medialuna

	
Pz-pb-No2	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo del pozo en el municipio de Pivijay

	
Pz-pb-No3	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo del pozo en el municipio de Salamina

	
Pz-pb-No4	
	Toma de niveles y medición de caudal durante la prueba de bombeo en el municipio de El Piñón



4.4.2.6. *Resultados Prueba 1 realizada en el sector Medialuna*

Tabla 4.18. Resultados Prueba 1

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 4,20 m Diámetro: 1,18 m anillado en concreto Nivel Estático: 1,96 m Bomba: Tipo turbina de ½ HP Tubería de succión: 1" en PVC Tubería de impulsión: 1" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 0,14 lps/ 0,62 m = 0,23 lps/m.	NE: 1,96 m Qprom: 0,14 lps. Q: 12,1 (m^3/día) Esp. Saturado: 2,28 m S = 0,01 T = 9,13 m^2/día K = T / m = 9,13 / 2,28 = 4,01 m/día = 4,64 × 10-5 m/s

Figura 4.25. Formato Prueba de bombeo 1

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Predio de Etilvia Caro **Ubicación:** Corregimiento de Medialuna

Fecha: 17/08/2016 **Hora Inicio** 08:58 a.m.

Nivel Estático 1,96 **Realizada por:** Ruben Yepez

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	08:58	1,96	0,14
00:02	09:00	1,99	0,14
00:05	09:03	2,01	0,14
00:10	09:08	2,05	0,14
00:15	09:13	2,09	0,14
00:20	09:18	2,13	0,14
00:25	09:23	2,17	0,14
00:30	09:28	2,20	0,14
00:40	09:38	2,27	0,14
00:50	09:48	2,32	0,14
01:00	09:58	2,36	0,14
01:15	10:13	2,39	0,14
01:30	10:28	2,42	0,14
01:45	10:43	2,45	0,14
02:00	10:58	2,47	0,14
02:20	11:18	2,49	0,14
02:40	11:38	2,51	0,14
03:00	11:58	2,52	0,14
03:30	12:28	2,53	0,14

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	12:58	2,54	0,14
04:30	13:28	2,55	0,14
05:00	13:58	2,56	0,14
05:30	14:28	2,56	0,14
06:00	14:58	2,57	0,14
07:00	15:58	2,58	0,14
08:00	16:58	2,58	0,14
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

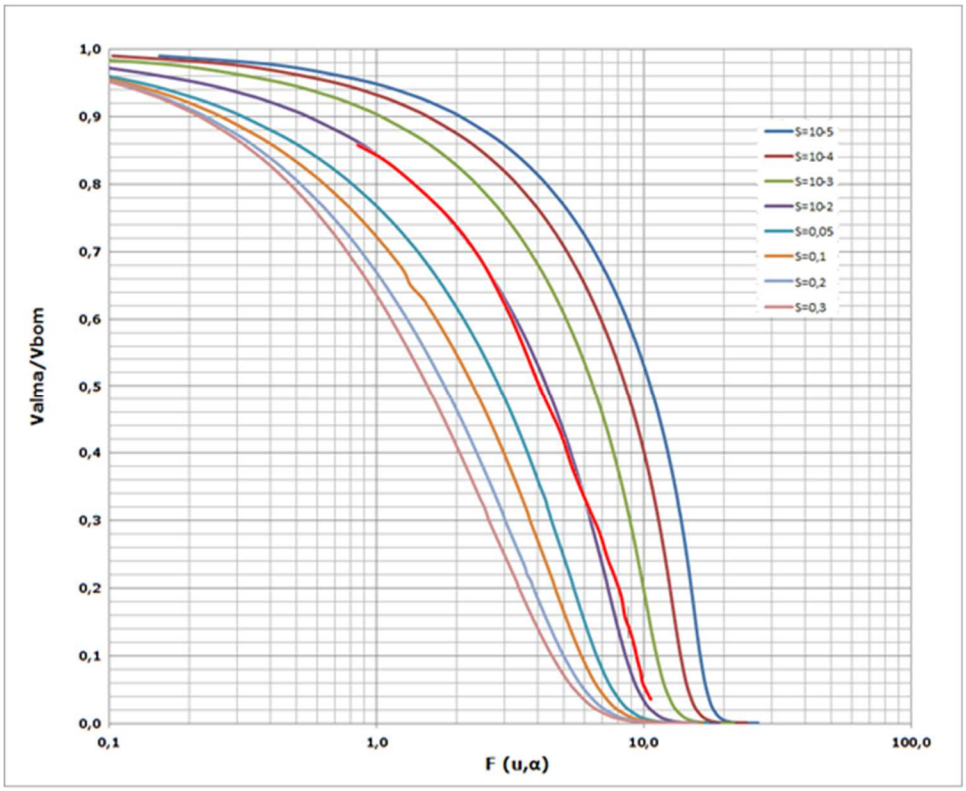
OBSERVACIONES:

Pozo tipo aljibe de Profundidad 4,20 metros, diámetro 1,18 metros

Bomba bomba tipo turbina de 1/2 HP

Tuberia de Succión e impulsión de PVC de 1 pulgada

Figura 4.26. Gráfica Prueba 1



Con base en los resultados gráficos de la relación de Valm/Vbom, contra una función F(α,u), una vez superpuesta la curva se obtiene el Coeficiente de Almacenamiento y la Transmisibilidad

De la prueba de bombeo se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados muestran a los acuíferos del sector con características hidrogeológicas apenas aceptables para extracción, lo que indica que las fuentes subterráneas del área permiten una explotación continua, a un caudal muy moderado.

4.4.2.7. Resultados Prueba 2 realizada en el municipio de Pivijay

Tabla 4.19. Resultados Prueba 2

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 14,0 m Diámetro: 36" anillado en concreto Nivel Estático: 6,61 Bomba: Tipo turbina de ½ HP Tubería de succión: ¾" en PVC Tubería de impulsión: ¾" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 0,21 lps/ 1,13 m = 0,19 lps/m	NE: 6,61 m Qprom: 0,21 lps. Q: 18,14 (m^3/día) Esp. Saturado: 7,39 m S = 0,001 T = 6,22 m^2/día K = T / m = 6,22 / 7,39 = 0,84 m/día = 9,74 × 10-6 m/s

Figura 4.27. Formato Prueba 2

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Predio Porfilio Bolaños **Ubicación:** Municipio de Pivijay

Fecha: 18/08/2016 **Hora Inicio** 08:23 a.m.

Nivel Estático 6,61 **Realizada por:** Fabio Tibaquicha

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	08:23	6,61	0,21
00:02	08:25	6,64	0,21
00:05	08:28	6,69	0,21
00:10	08:33	6,77	0,21
00:15	08:38	6,84	0,21
00:20	08:43	6,91	0,21
00:25	08:48	6,96	0,21
00:30	08:53	7,02	0,21
00:40	09:03	7,12	0,21
00:50	09:13	7,21	0,21
01:00	09:23	7,28	0,21
01:15	09:38	7,37	0,21
01:30	09:53	7,43	0,21
01:45	10:08	7,50	0,21
02:00	10:23	7,55	0,21
02:20	10:43	7,58	0,21
02:40	11:03	7,62	0,21
03:00	11:23	7,65	0,21
03:30	11:53	7,67	0,21

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	12:23	7,69	0,21
04:30	12:53	7,70	0,21
05:00	13:23	7,71	0,21
05:30	13:53	7,72	0,21
06:00	14:23	7,72	0,21
07:00	15:23	7,73	0,21
08:00	16:23	7,74	0,21
09:00	17:23	7,74	0,21
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

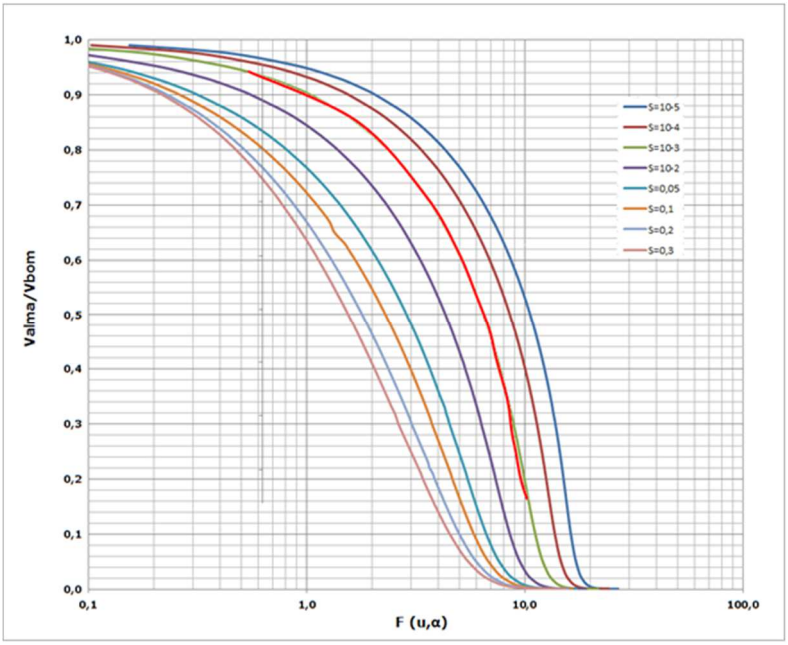
OBSERVACIONES:

Pozo tipo aljibe de Profundidad 14 metros, diámetro 36 pulgadas

Bomba bomba tipo turbina de 1/2 HP

Tuberia de Succión e impulsión de PVC de 3/4 pulgada

Figura 4.28. Gráfica Prueba 2



Con base en los resultados gráficos de la relación de Valm/Vbom, contra una función F(α,u), una vez superpuesta la curva se obtiene el coeficiente de almacenamiento y la Transmisibilidad.

Al igual que en la prueba anterior se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados, muestran a los acuíferos del sector con características hidrogeológicas apenas aceptables para extracción, lo que indica que las fuentes subterráneas del área permiten una explotación continua, a un caudal muy moderado.

4.4.2.8. Resultados Prueba 3 realizada en el municipio de Salamina

Tabla 4.20. Resultados Prueba 3

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 6,02 m Diámetro: 4 pulgadas en PVC Bomba: Tipo turbina de HP Tubería de succión: 1" en PVC Tubería de impulsión: 1" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 0,71 lps/ 0,49 m = 1,45 lps/m	NE: 3,86 m Qprom: 0,71 lps. Q: 61,34 (m^3/día) Esp. Saturado: 2,16 m ⍰S: 0,0551 T = 0,1832 Q/⍰S = 0,1832 x 61,34 / 0,0551 = 203,62 m^2/día K = T / m = 203,62 / 2,16 = 94,36 m/día = 1,09 × 10-3 m/s

Figura 4.29. Formato Prueba 3

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Predio de Carmen García **Ubicación:** Municipio de Salamina

Fecha: 19/08/2016 **Hora Inicio** 09:10 a.m.

Nivel Estático 3,86 **Realizada por:** Ruben Yepez

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	09:10	3,86	0,71
00:02	09:12	4,23	0,71
00:05	09:15	4,26	0,71
00:10	09:20	4,27	0,71
00:15	09:25	4,28	0,71
00:20	09:30	4,28	0,71
00:25	09:35	4,29	0,71
00:30	09:40	4,29	0,71
00:40	09:50	4,30	0,71
00:50	10:00	4,31	0,71
01:00	10:10	4,32	0,71
01:15	10:25	4,32	0,71
01:30	10:40	4,33	0,71
01:45	10:55	4,33	0,71
02:00	11:10	4,33	0,71
02:20	11:30	4,34	0,71
02:40	11:50	4,34	0,71
03:00	12:10	4,34	0,71
03:30	12:40	4,34	0,71

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	13:10	4,34	0,71
04:30	13:40	4,35	0,71
05:00	14:10	4,35	0,71
05:30	14:40	4,35	0,71
06:00	15:10	4,36	0,71
07:00	16:10	4,36	0,71
08:00	17:10	4,36	0,71
09:00			
10:00			
11:00			
12:00			
14:00			
16:00			
18:00			
21:00			
24:00			
30:00			
36:00			
48:00			

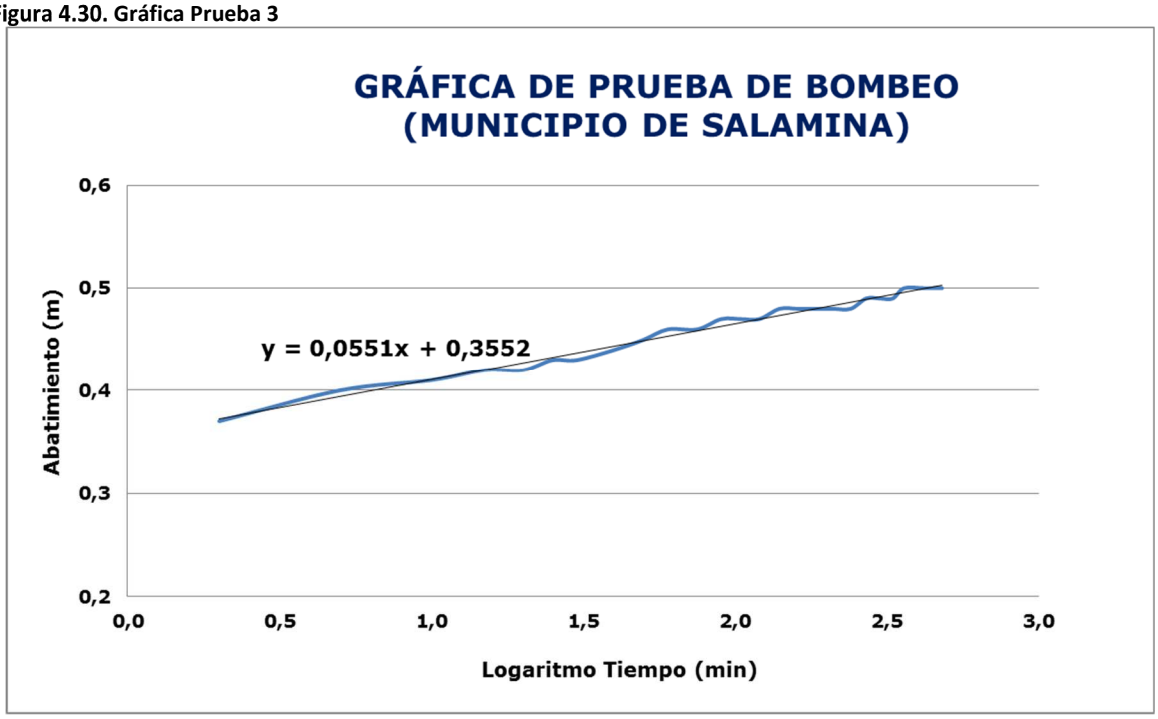
OBSERVACIONES:

Profundidad Pozo 6,02 metros, diámetro 4" en PVC

Bomba bomba tipo turbina de 1/2 HP

Tuberia de Succión e impulsión en 1 pulgadas

Figura 4.30. Gráfica Prueba 3



De la prueba de bombeo realizada en el pozo construido en inmediaciones del municipio de Salamina se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua, con un caudal moderado.

4.4.2.9. *Resultados Prueba 4 realizada en el municipio de El Piñón*

Tabla 4.21. Resultados Prueba 4

Datos del Pozo	***Capacidad Específica***	***Parámetros hidráulicos***
Profundidad: 9,14 m Diámetro: 4" en PVC Nivel Estático: 3,06 Bomba: Tipo turbina de 3 hp Tubería de succión: 2" en PVC Tubería de impulsión: 2" en PVC	CE = (caudal promedio) Q/S (abatimiento total) CE = 4,85 lps/ 1,21 m = 4,01 lps/m	NE: 3,06 m Qprom: 4,85 lps. Q: 419,04 (m^3/día) Esp. Saturado: 6,08 m ⍰S: 0,1104 T = 0,1832 Q/⍰S = 0,1832 x 419,04 / 0,1104 = 695,4 m^2/día K = T / m = 695,4 / 6,08 = 114,38 m/día = 1,32 × 10-3 m/s

Figura 4.31. Formato Prueba 4

FORMATO PRUEBA DE BOMBEO

CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nombre del pozo: Colegio Ineda **Ubicación:** Municipio de El Piñón

Fecha: 20/08/2016 **Hora Inicio** 09:10 a.m.

Nivel Estático 3,06 **Realizada por:** Ruben Yepez

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal L/S
00:00	09:10	3,06	4,85
00:02	09:12	4,01	4,85
00:05	09:15	4,06	4,85
00:10	09:20	4,11	4,85
00:15	09:25	4,14	4,85
00:20	09:30	4,16	4,85
00:25	09:35	4,17	4,85
00:30	09:40	4,18	4,85
00:40	09:50	4,19	4,85
00:50	10:00	4,21	4,85
01:00	10:10	4,22	4,85
01:15	10:25	4,22	4,85
01:30	10:40	4,23	4,85
01:45	10:55	4,23	4,85
02:00	11:10	4,24	4,85
02:20	11:30	4,24	4,85
02:40	11:50	4,25	4,85
03:00	12:10	4,26	4,85
03:30	12:40	4,26	4,85

Tiempo	Hora real	Nivel	Caudal
04:00	13:10	4,26	4,85
04:30	13:40	4,27	4,85
05:00	14:10	4,27	4,85
05:30	14:40	4,27	4,85
06:00	15:10	4,28	4,85
07:00	16:10	4,28	4,85
08:00	17:10	4,28	4,85
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:

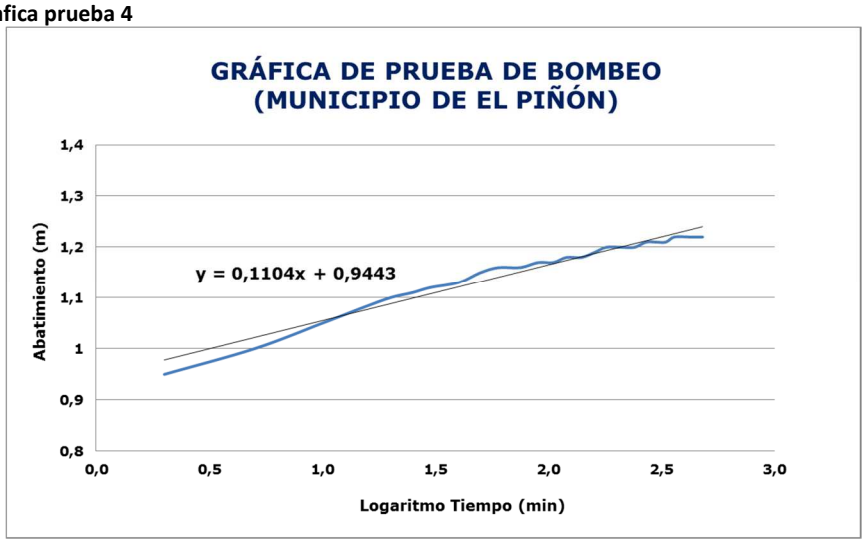
Profundidad Pozo del 9,14 metros, diámetro 4" en PVC

Bomba bomba tipo turbina de 3 HP

Tuberia de Succión e impulsión en 2 pulgadas

Pozo propiedad de la Escuela Agropecuaria de Bachillerato"INEDA"

Figura 4.32. Grafica prueba 4



De la prueba de bombeo realizada en el pozo construido en inmediaciones del municipio de Salamina se puede concluir que los parámetros hidráulicos analizados muestran acuíferos con características hidrogeológicas buenas, lo que indica que las fuentes subterráneas permiten una explotación continua, con un caudal moderado.

4.5. Calidad de agua subterránea

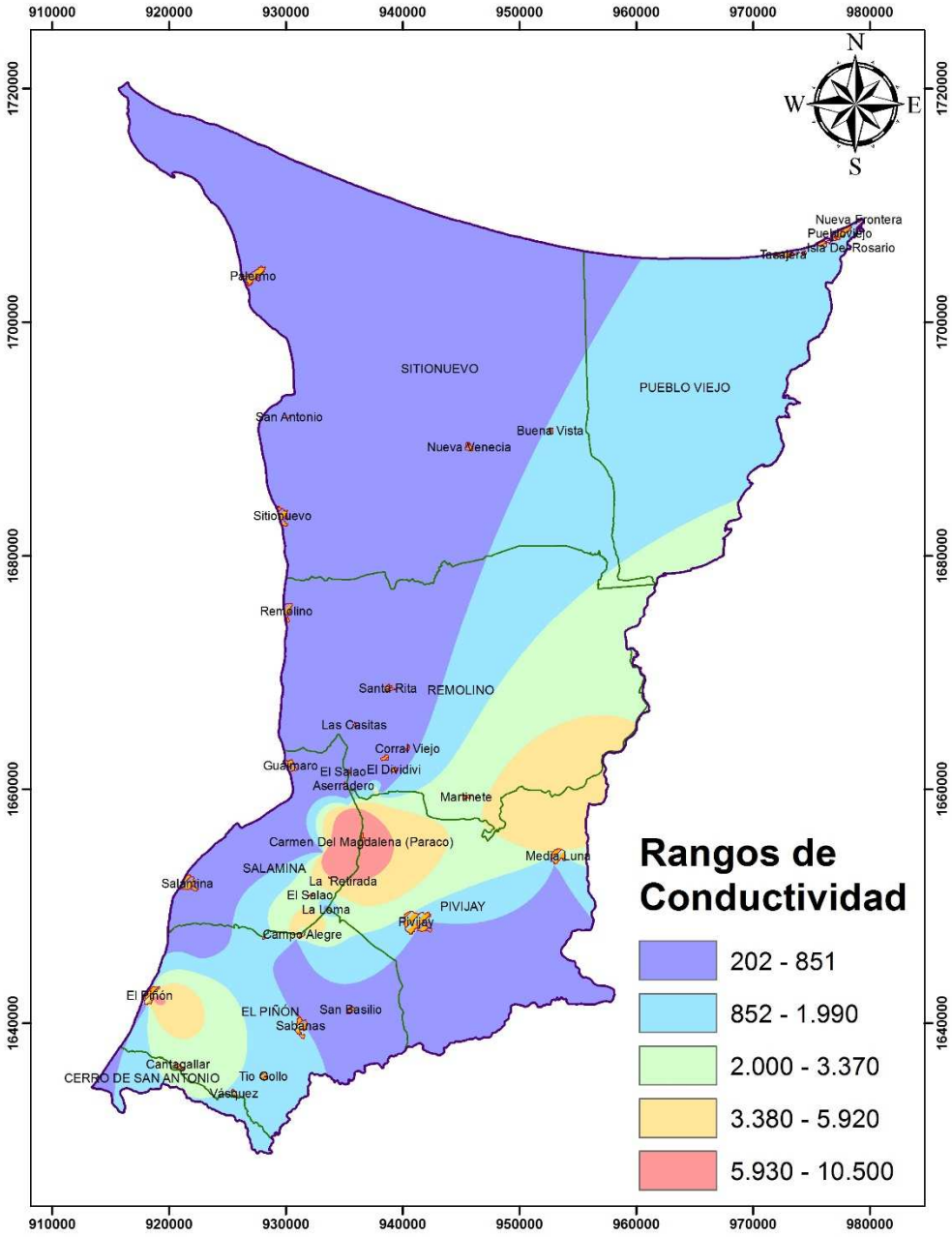
Para evaluar la calidad de agua subterránea se midieron parámetros como conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD) y Temperatura (T); para esto, el equipo del Consorcio realizó toma de muestras para setenta y ocho (78) pozos activos ubicados a lo largo de la Cuenca. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron interpolados con software Arcgis para obtener los mapas de iso contornos de cada uno de los parámetros medidos.

La Figura 4.33 muestra el mapa de iso conductividad para las muestras analizadas en el Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande se Santa Marta. De acuerdo con esta figura, los valores de conductividad se encuentran entre los 202 S/cm y los 10545,3 S/cm; debido a esto, en la cuenca se presentan también rangos muy variados de salinidad. Los valores de conductividad más altos se presentan hacia la zona suroccidental de la cuenca; estos valores son sumamente altos lo que indicaría que estas aguas no son aptas ni para consumo humano, ni para riego por su alta salinidad. Este fenómeno se relaciona con el ingreso de agua de mar a través de la Boca de la Barra cuando el nivel de la ciénaga es más bajo que el de la marea; en épocas de estiaje, los flujos de agua del mar son muy significativos, llegando a penetrar por un efecto túnel hasta el límite entre el área de influencia del Humedal de la Ciénaga de Buenavista y el Caño Schiller, al norte del casco urbano del municipio de Pivijay

Si se tiene en cuenta las unidades hidrogeológicas, los valores más altos de conductividad se ubican en la zona sur del acuífero de depósitos fluvio lacustres, que consiste en acuíferos semi confinados, con agua de calidad variable y características hidráulicas de aceptables a buenas.

Por otro lado, los valores más bajos se presentan en la zona norte de la misma unidad hidrogeológica y en los acuíferos Formación Rancho, que consiste en acuíferos discontinuos regionales de mediana a baja productividad, clasificado como acuífero generalmente confinado, con agua de mala calidad fisicoquímica.

Figura 4.33. Mapa de isoconductividad para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

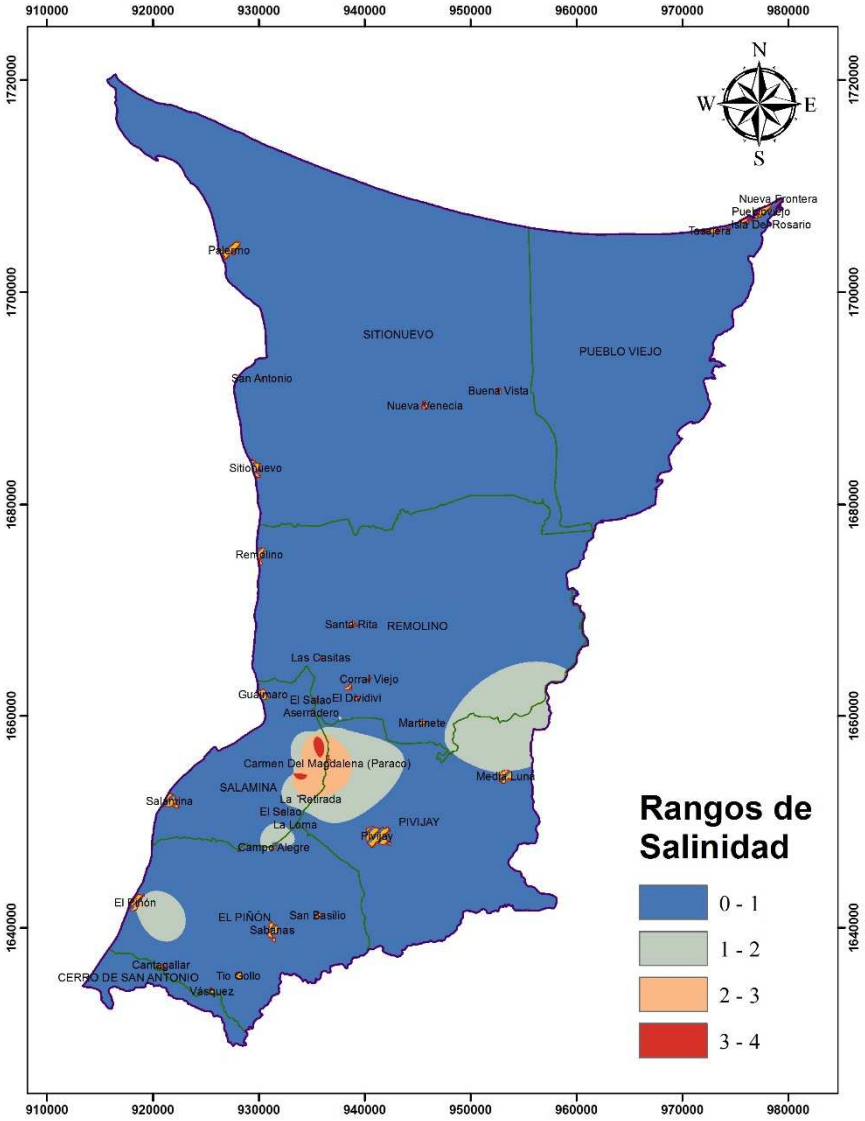


En cuanto al parámetro de salinidad, (ligado a la conductividad) presenta los valores más altos de salinidad ubicados al suroccidente de la cuenca en los mismos puntos identificados en la figura anterior.

La Figura 4.34 muestra el mapa de isosalinidad para las muestras analizadas en la Cuenca. Hacia la zona norte, se presenta una salinidad baja (CE < 250 S/cm) 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 sur de la cuenca, los valores aumentan, encontrando algunas excepciones en la zona suroriental.

En relación con las unidades hidrogeológicas y en concordancia con la estrecha relación entre la conductividad y la salinidad; los valores más altos de salinidad se ubican en la zona sur del acuífero de depósitos fluvio lacustres, cuyas aguas subterráneas son afectadas localmente por la influencia de la Ciénaga costera. Del otro lado, los valores más bajos se presentan en la zona norte de la misma unidad hidrogeológica y en los acuíferos formación rancho, que consiste en acuíferos discontinuos regionales; y el acuífero de depósitos de llanura aluvial y aluviales, que es un acuífero detrítico libre y semi confinado en sus niveles superiores, confinado localmente en sus niveles inferiores. También presenta valores bajos el acuífero Formación Zambrano, con acuíferos discontinuos regionales de mediana a baja productividad.

Figura 4.34. Mapa de isosalinidad para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta



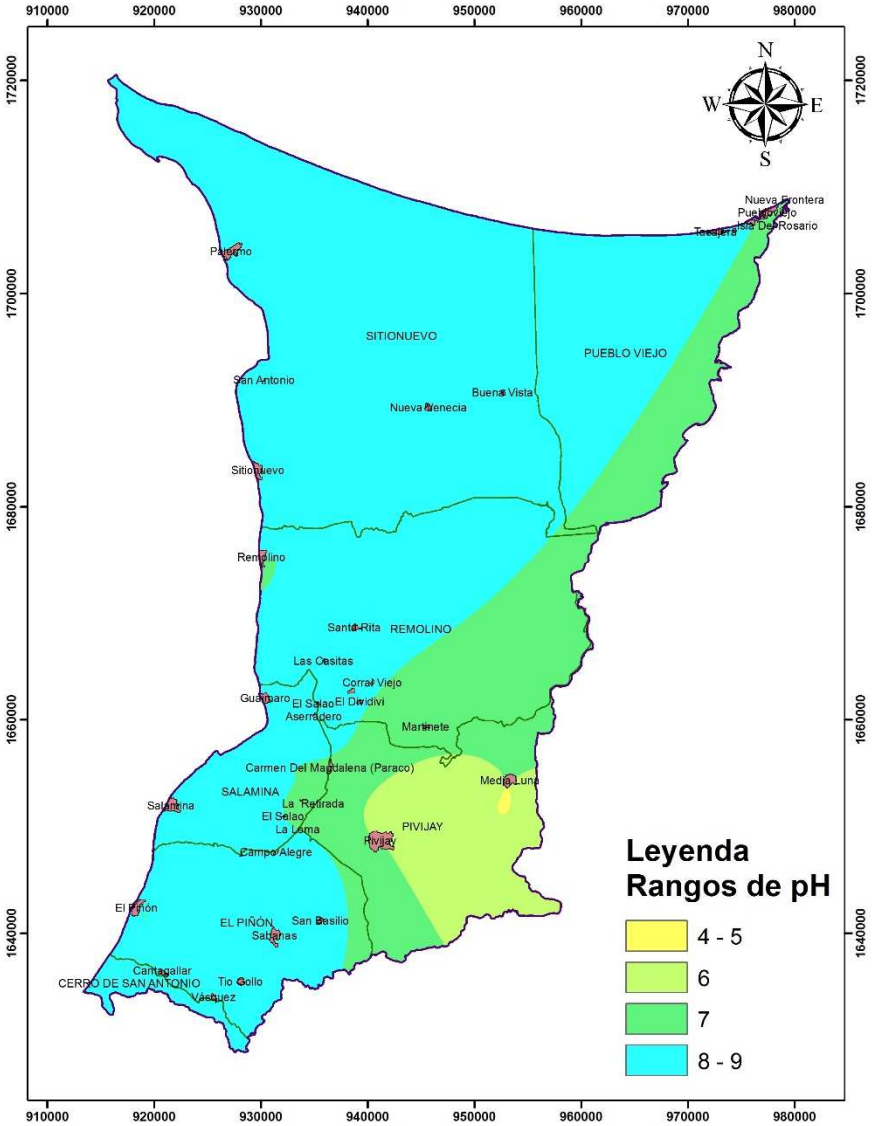
Para el potencial de hidrógeno (pH) una vez procesada la información, se encontró que el rango está entre 4,89 y 8,16 Figura 4.35); haciendo del agua subterránea en la zona muestreada no apta para el consumo humano (6,5 < pH < 9,0) en la mayor parte de la Cuenca y con tendencia a la acidez, especialmente en la zona suroriental de la cuenca. De igual forma, en lo que respecta al pH, estas aguas son admisibles para irrigación si se toman las precauciones relacionadas con las condiciones de salinidad como lavado de suelos.

Analizando el parámetro en relación a las unidades hidrogeológicas, los valores más ácidos con isolíneas de menos de 6,5 unidades de pH, se encuentran presentes en los acuíferos de formación Zambrano y en la zona nororiental del acuífero de depósitos de llanura aluvial y aluviales. Por su parte, los valores más alcalinos se encuentran en tres unidades: zona norte y suroccidente del

acuífero de depósitos fluvio-lacustres; en la parte suroccidente de los acuíferos formación Rancho y acuífero de depósitos de llanura aluvial y aluviales.

Con base en los criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico establecidos en el decreto 1594 de 1984, el agua de la cuenca no se consideraría apropiada para destinación a uso humano y doméstico (pH< 5,0; pH >9,0), tampoco 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 que no cumple; pero sí podría tener un uso de 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; y también podría tener uso agrícola pues exige un pH de mínimo 4,5 unidades.

Figura 4.35. Mapa de isopotencial de hidrógeno (iso-pH) para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta



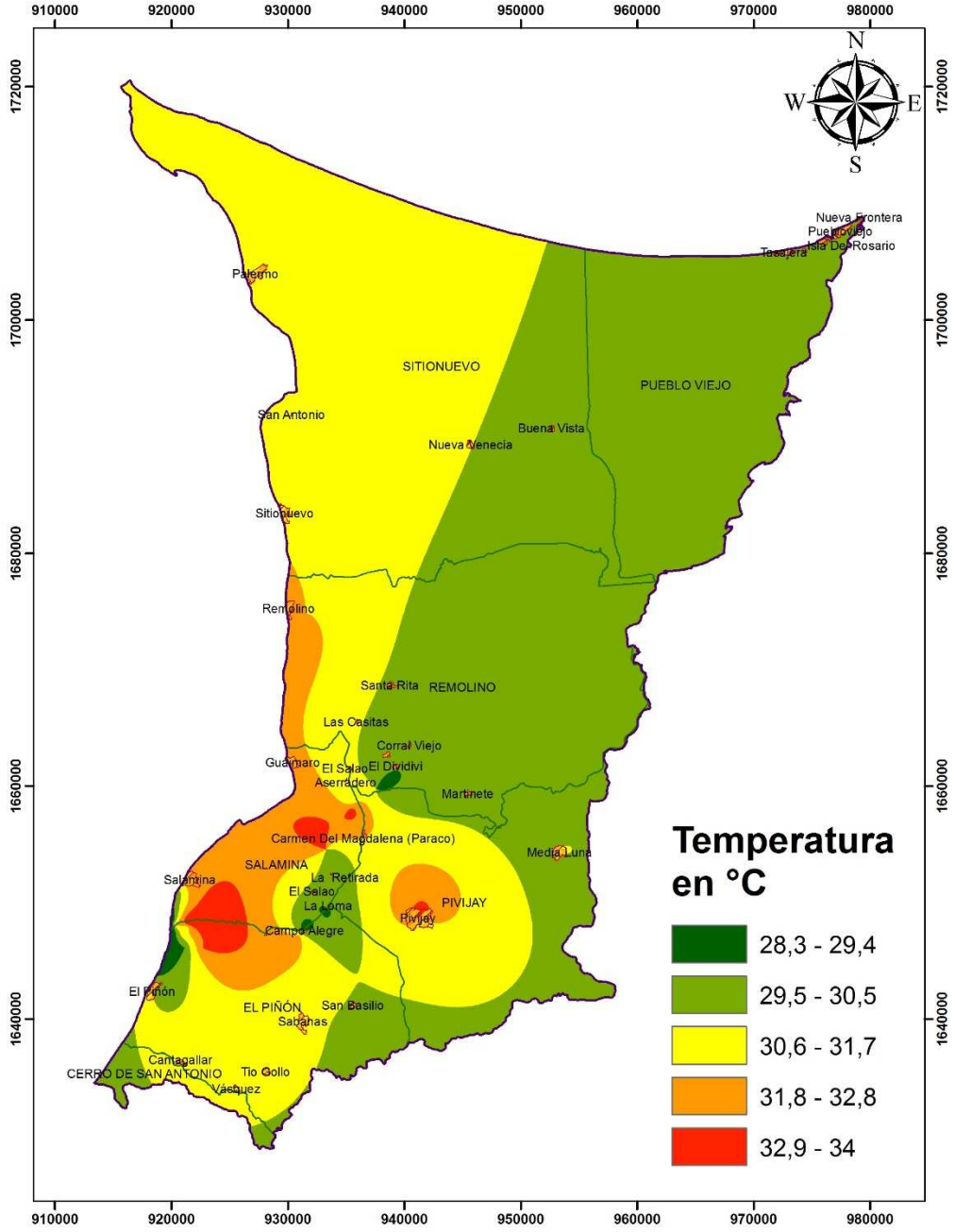
La Figura 4.36 muestra los resultados de muestreo de Temperatura para en la cuenca; el rango de variación de este parámetro va desde los 28,3°C hasta los 33,8°C, determinado por diferentes factores como lo son el terreno que drena, la naturaleza de las rocas, periodo de la secuencia cíclica en el que se encuentren, profundidad de surgencia, entre otros.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos, no se considera que haya notables diferencias de temperatura dentro de la misma y preliminarmente no se sospecharía de condiciones que alteren los equilibrios fisicoquímicos que regulan la concentración de sustancias en el agua subterránea.

Las temperaturas más altas en la cuenca se presentan hacia la zona suroccidental del acuífero de depósitos fluvio lacustres con isolíneas de 30 a 33°C, en el costado oriental del mismo se presentan las temperaturas más bajas con isolineas de 30°C.

Por su parte en los acuíferos de depósitos de llanura aluvial y aluviales, en el acuífero formación Zambrano y en el acuífero formación Rancho se presentan valores bajos a medios de temperatura.

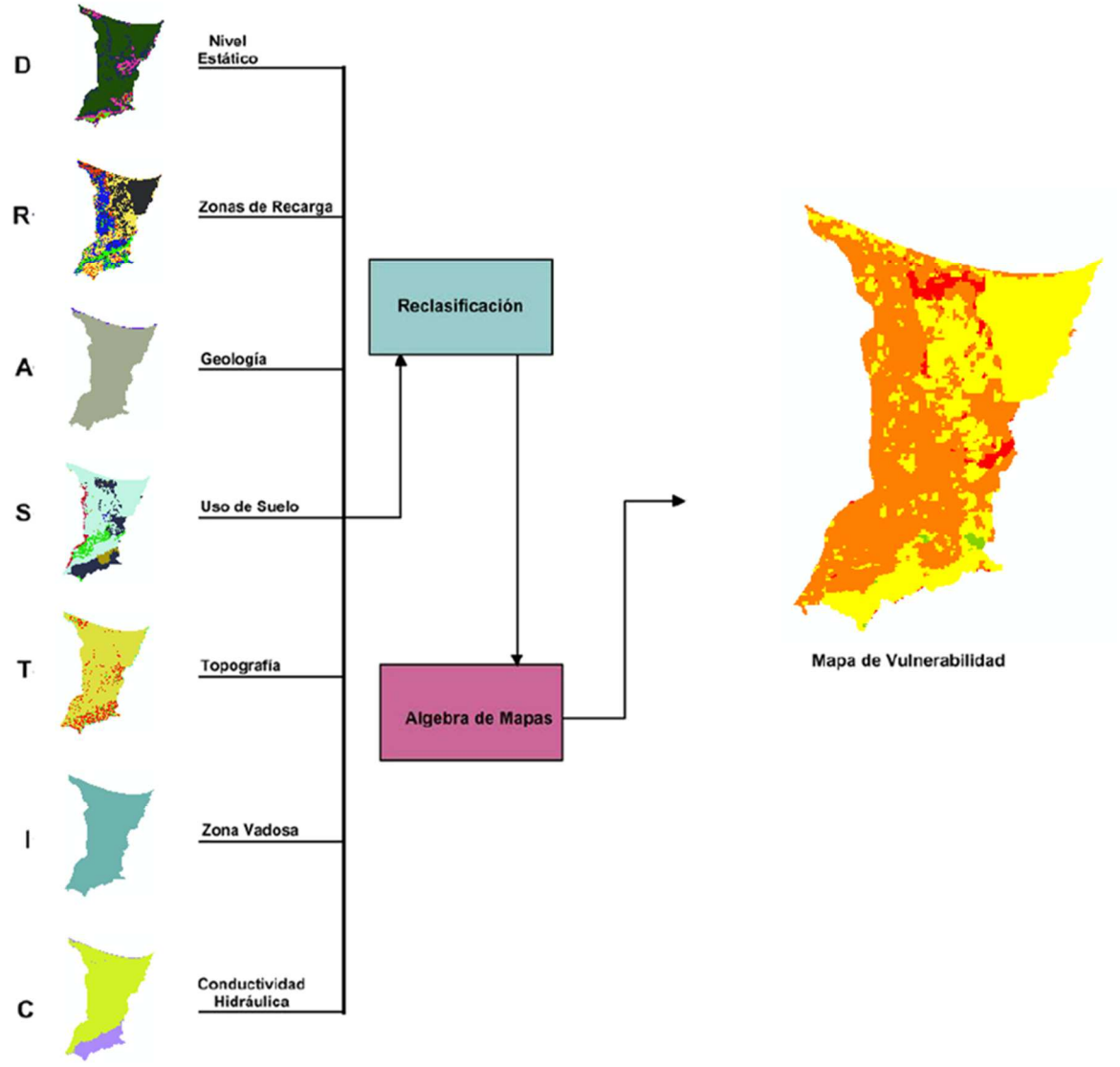
Figura 4.36. Mapa de isotemperatura para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta



4.6. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación

Para la caracterización de la vulnerabilidad de los acuíferos 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 4.37. Proceso metodológico desarrollado para la evaluación de la vulnerabilidad.



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

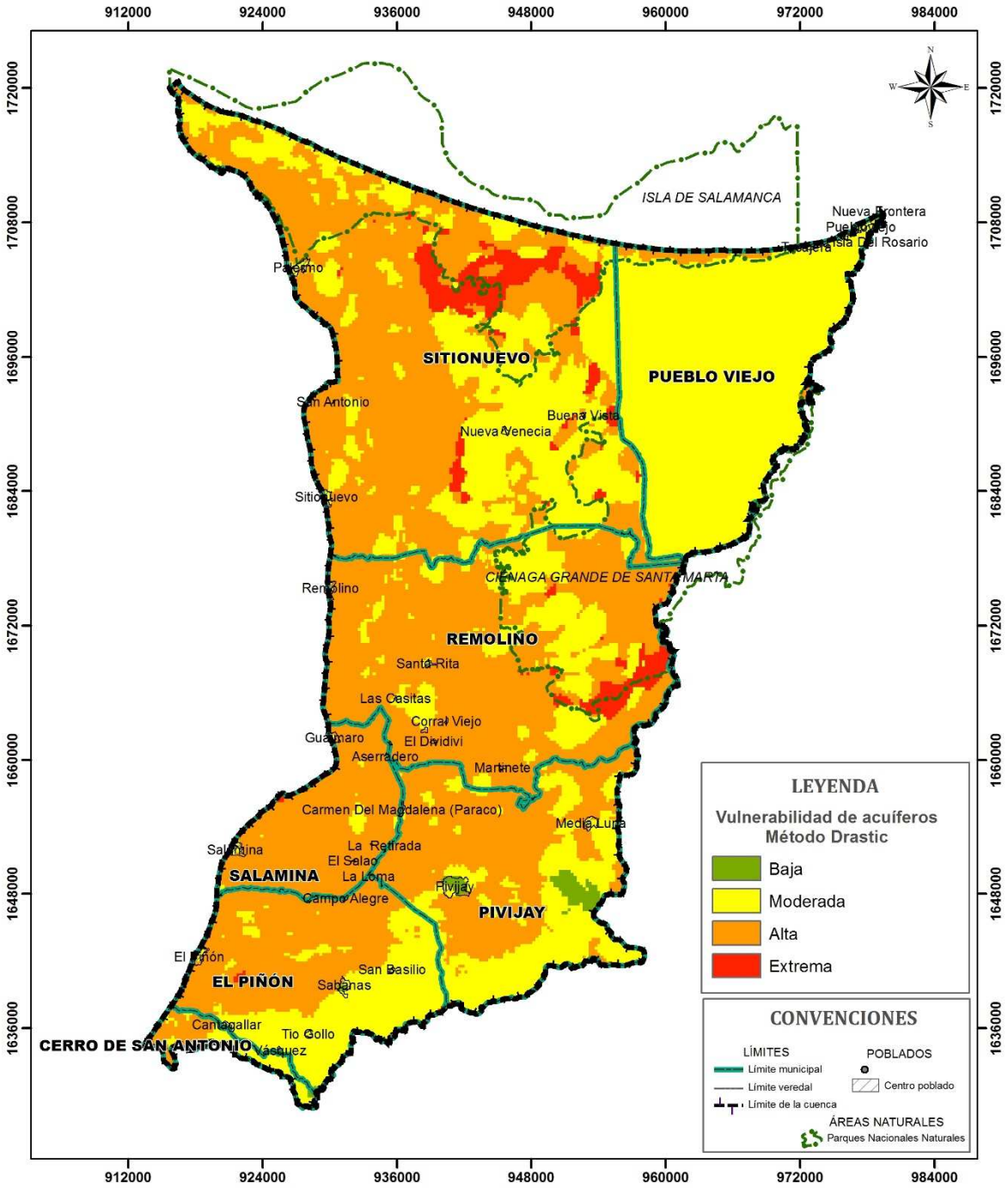
Conductividad hidráulica: La conductividad Hidráulica es un coeficiente de proporcionalidad, que determina el grado de movilidad del agua en un medio permeable. Un acuífero será más vulnerable mientras mayor sea su conductividad hidráulica es utilizado para expresar la capacidad del acuífero de transmitir el agua

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

En la Figura 4.38 Se puede apreciar que la Cuenca presenta condiciones no favorables de vulnerabilidad, ubicándose un 54,25% del área en categorías alta y extrema y solo 0,4% en categoría baja. Los valores críticos de vulnerabilidad se presentan en la zona norte del Humedal de la Ciénaga de Pajarales, donde se conecta la Ciénaga Grande con el PNN Vía Parque Isla Salamanca, y en la zona del caño Schiller más cercana a su punto de entrega al Arroyo Palenque. Es de notar que la mayor parte de las áreas con vulnerabilidad moderada corresponden a espejos de agua mientras que la parte de los humedales que aún se conservan sobre tierra firme presentan una vulnerabilidad alta.

Figura 4.38. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación



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 ESTIMACION DE LA OFERTA HÍDRICA SUBTERRANEA, Y PARAMETROS 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, los intervalos de recargas fueron definidos en base a los parámetros de los intervalos del método DRASTIC para la definición de vulnerabilidad del acuífero, en la Tabla 4.22 se presenta el valor de los intervalos utilizados.

Tabla 4.22. Intervalos de recarga para la cuenca.

Intervalos de recarga (mm/año)
0-50
50-250
250-500
500-1000
1000<

La Figura 4.39 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 4.40 se observan los polígonos generados a partir de la capa en formato raster, para la elaboración de los polígonos se realiza un re procesamiento de los polígonos obtenidos del raster, con miras a sustentarse en la escala de presentación.

Figura 4.39. Raster de los valores de recarga.

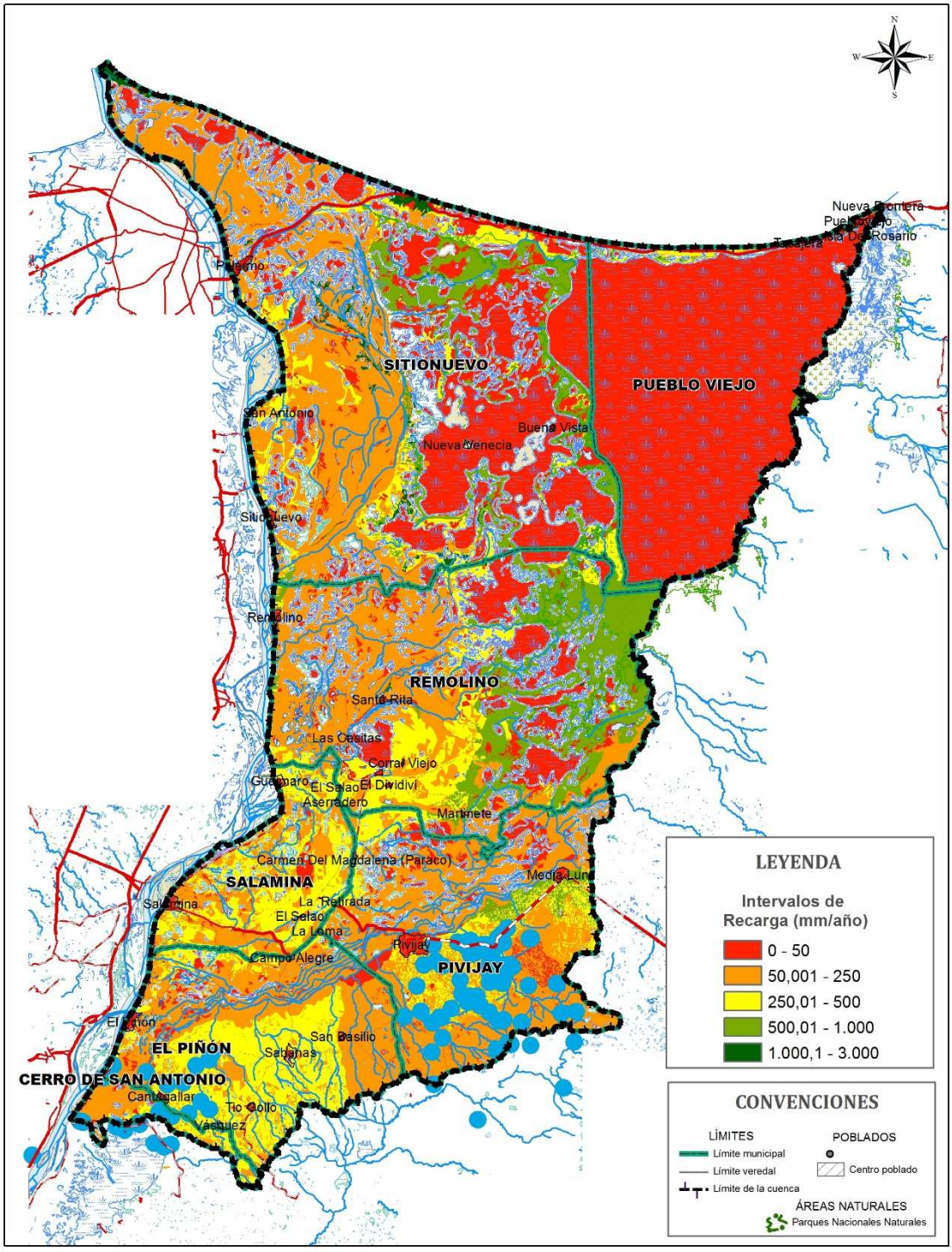
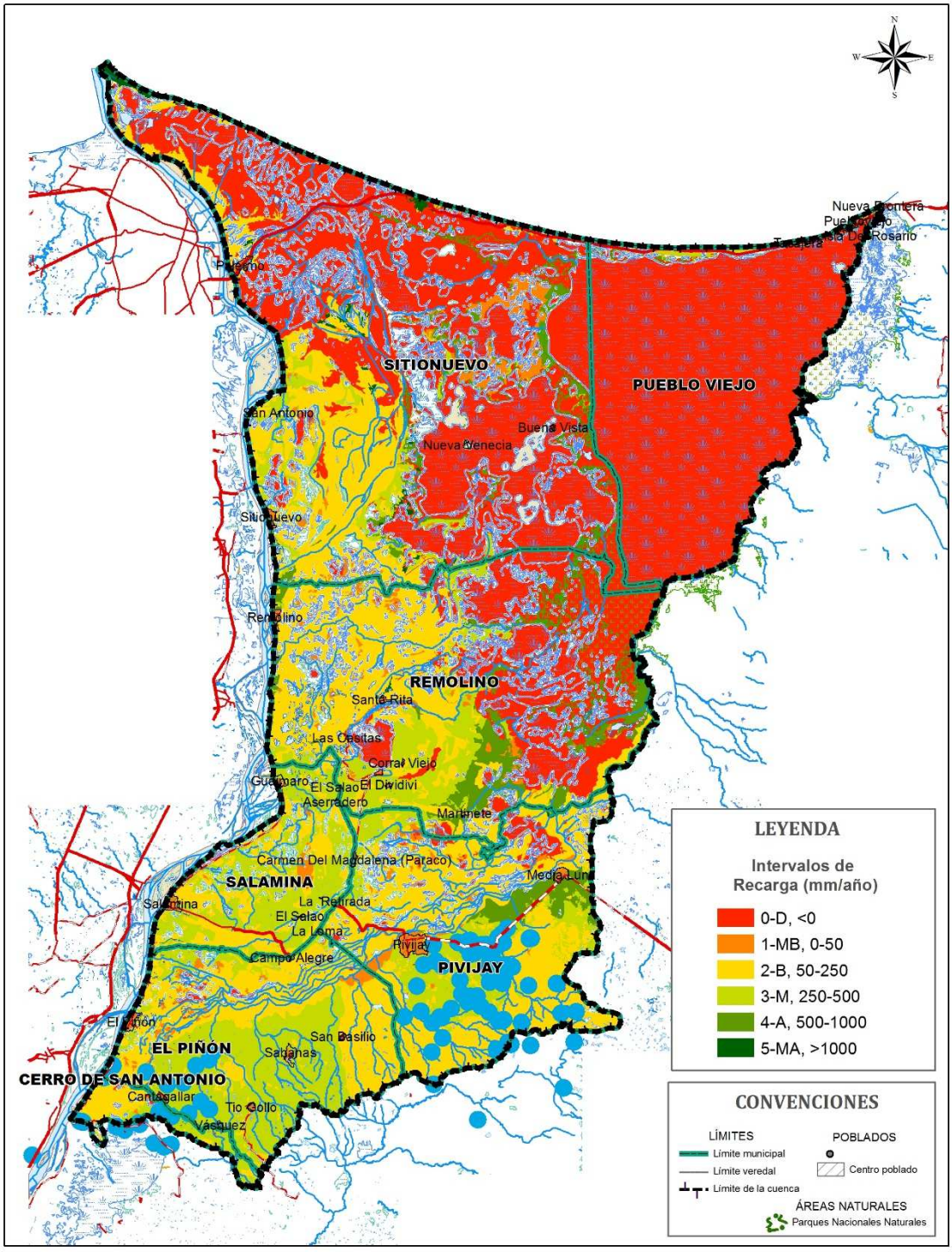


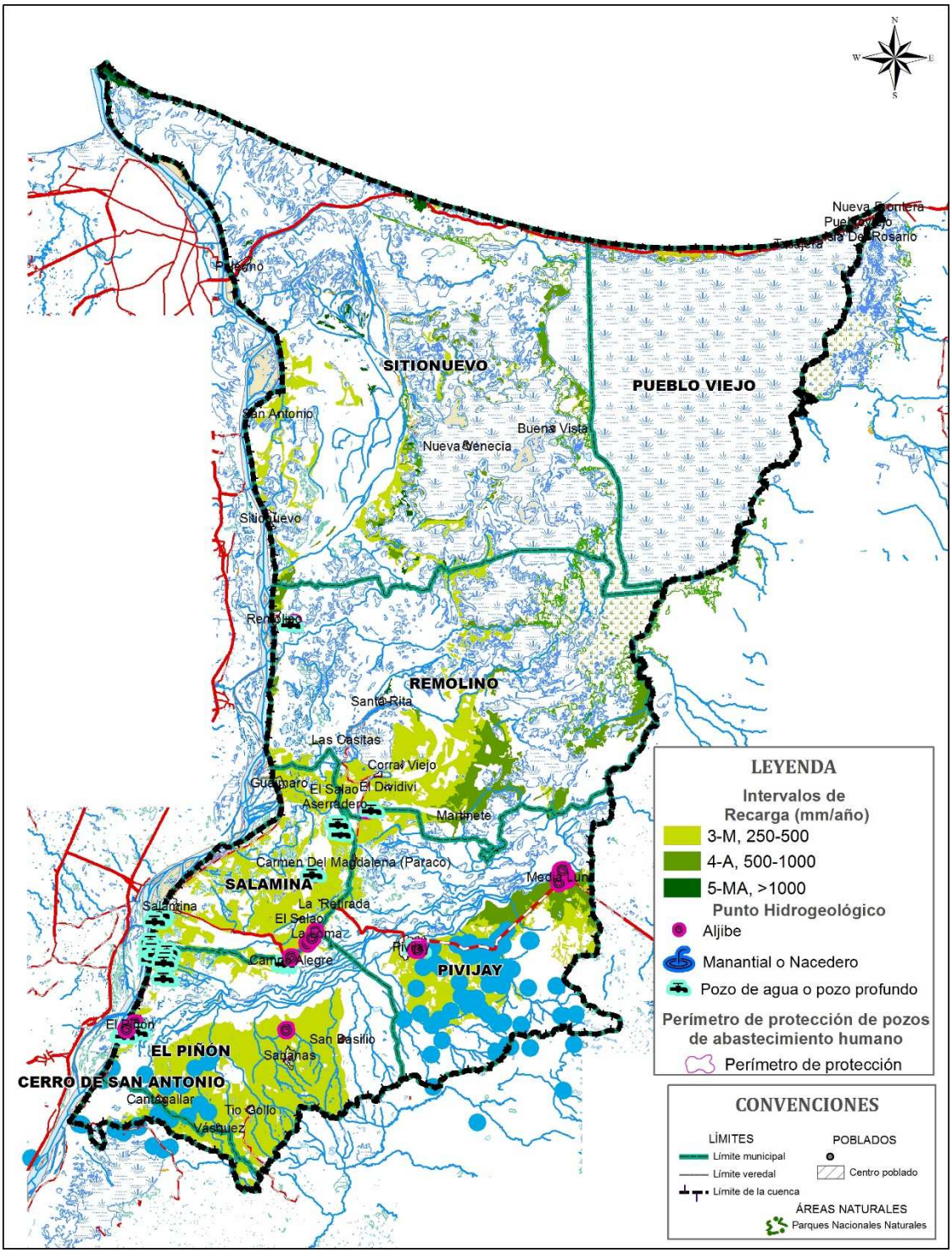
Figura 4.40. Polígonos de recarga, reclasificados.



4.8. Priorización de acuíferos y zonas de manejo especial

Las zonas objeto de protección y priorización definidas en la cuenca se representan en la Figura 4.41 (Anexo 05 de Hidrogeología) corresponden a las áreas que presentan valores de recarga superiores a los 500 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 4.41. Zonas objeto de protección 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.

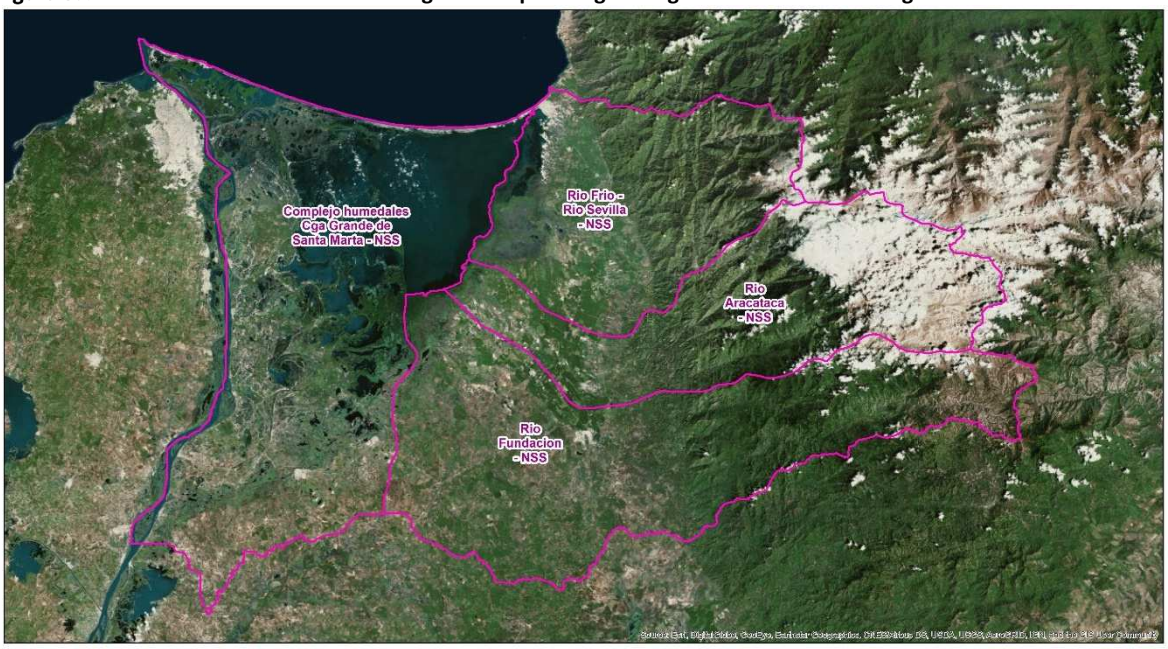
Finalmente se realiza el cálculo de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales a nivel de los afluentes principales de las subcuencas, de acuerdo con la metodología propuesta por IDEAM (2010).

5.1. Delimitación de la Cuenca y Unidades Hidrográficas Subsiguientes.

La cuenca de la Ciénaga Grande de Santa Marta, como se puede observar en la Figura 5.1, está compuesta por varios niveles subsiguientes como son Río Frío – Río Sevilla, Río Aracataca, Río Fundación y Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, siendo este último el que compete al presente POMCA. En la Figura 5.1 se detallan los cuatro niveles subsiguientes que integran la gran cuenca y en color magenta el límite elaborado por el IDEAM[33] para cada uno de los niveles subsiguientes.

[33] IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

Figura 5.1. Localización de los niveles subsiguientes que integran la gran cuenca de la Ciénaga Grande de Santa Marta



De acuerdo con el Decreto 1640 del MinAmbiente (2012) y la Guía técnica para la formulación de POMCA MinAmbiente (2014), la presente delimitación está sujeta a la cartografía 1:25.000[34] generada por el IGAC y se encuentra en concordancia con el mapa vigente de Zonificación Hidrográfica de Colombia elaborado por el IDEAM.

5.1.2. Criterios y geoprocesos para la obtención del límite de la cuenca y niveles subsiguientes.

El proceso de delimitación seguido para este POMCA, partió de la delimitación entregada por el IDEAM -la cual se encuentra a una escala de menor detalle 100.000 o 250.000- la cual fue sometida a un ajuste, de acuerdo con la cartografía base de mayor detalle. Para ello se tuvieron en cuenta los siguientes insumos: base cartográfica escala 1:25.000 (suministrada), imágenes de satélite utilizadas para generar la capa de cobertura y la geomorfología elaborada para el proyecto.

Para el ajuste del límite de la cuenca, se editó completamente el borde del río Magdalena según las imágenes de satélite -Figura 5.2- al igual que el borde de playa frente al mar Caribe; ajustes que se pueden observar en la Figura 5.3 y la Figura 5.4, donde el color magenta representa el límite general del IDEAM y en color verde corresponde con el límite ajustado. Posteriormente, se adecuó la delimitación hacia el interior de la cuenca, empezando por la parte norte de la misma. En este sentido, se tratan a continuación los diferentes tramos estudiados:

[34] Esta cartografía se encuentra actualizada al año 2015.

Figura 5.2. Detalle del ajuste del límite de la cuenca sobre el río Magdalena



5.1.2.2. *Tramo Bocas de la barra a Rio Sevilla – Río Frío.*

Comprende desde la Boca de la barra en la playa de Pueblo Viejo hasta la desembocadura de los ríos Sevilla – Frío. En esta sección, al observar la delimitación desarrollada por el IDEAM a primera vista parece que hubiese quedado parte de la ciénaga fuera de la delimitación, sin embargo, este tramo es la separación de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la ciénaga del Chino como se muestra en la Figura 5.4. Esta separación se presenta debido a que entre estas dos áreas se encuentra una barra de arena (geoforma) que soporta bosques de mangle, producto de la acumulación de material proveniente de la Sierra Nevada de Santa Marta, y que en términos geomorfológicos son parte de la acumulación de material que originará deltas progradantes asociados a los ríos y arroyos provenientes de la Sierra. Este material ha sido, en tiempo geológico, depositado sobre esta parte oriental de la ciénaga Grande, lo cual, desde el punto vista hidrológico, ha ocasionado que el movimiento de las aguas o intercambio con el mar se inicie en la boca.

Como se observa en la Figura 5.4, las aguas que ingresan a la Ciénaga pueden tomar dos direcciones diferentes, donde unas ingresan por el costado oriental, mezclándose con las aguas que bajan de la Sierra por drenajes como la Quebrada Mateo, los caños La Aguja, Caimán, Salcedo, García o San Antonio y Paso Corriendo en el centro poblado del Sevillano, mientras que otras ingresan a la ciénaga Grande, simulando el recorrido contrario a las manecillas del reloj, como se observa en la Figura 5.4.

Figura 5.3. Detalle del ajuste de límite de la cuenca sobre el mar Caribe



Figura 5.4. Flujos e intercambio del agua entre las ciénagas del Chino y Grande de Santa Marta



Como se deriva del estudio de Bernal y Betancur (1996), el área correspondiente a la ciénaga del Chino presenta características sedimentológicas y químicas diferentes, dado que esta zona se encuentra contra la llamada llanura aluvial de piedemonte, y está conformada por las llanuras aluviales de los ríos y arroyos que descienden de la Sierra. Lo anterior, genera una diferenciación en los sedimentos que soportan este sistema lagunar, y como resalta dicho estudio, la composición química de las aguas es diferente, al punto de que la acumulación de carbonatos biogénicos es mucho menor en esta ciénaga que en la ciénaga Grande, aumentando a medida que se interna hacia

la Ciénaga Grande. Al llegar la época seca, las aguas marinas se convierten en la mayor entrada de la ciénaga Grande -por la Boca de la barra-, mientras que la ciénaga del Chino debe[35] recibir aportes de agua significativos para su ecosistema desde la Sierra Nevada.

Otro efecto mayor que evidencia la diferencia entre las dos áreas y que sustenta su separación es el hecho del desarrollo de vegetación de aguas someras (que no soporta aguas profundas). Esta zona de forma natural permite el establecimiento del manglar, cuya función no solo se remite a la de guardería de especies, sino que entre otros modela el paisaje permitiendo la progradación de orillas (Bernal, 1996) como lo comprueban las líneas de vegetación de manglar aún existentes.

5.1.2.3. *Tramo desembocaduras Rio Sevilla – Arroyo Palenque.*
En este tramo al igual que en el anterior, la delimitación se realizó siguiendo la línea de manglar, como se puede observar en la Figura 5.5; dado que el límite propuesto por el IDEAM se encontraba muy generalizado, lo que no permitía dar el detalle adecuado para la escala de trabajo. En esta área de la desembocadura del río Aracataca, se puede observar como éste forma un delta que avanza hacia la ciénaga Grande, y los materiales allí depositados aún no son someros, lo cual impide por ahora el establecimiento del manglar -siendo esta la zona más profunda de la ciénaga- por lo tanto, no se tuvo en cuenta esta geoforma como parte de la delimitación.

Margen abajo, se sigue la delimitación sobre el borde de la ciénaga hasta la desembocadura del río Fundación. En este punto se toma la decisión de trazar el límite del costado occidental a la margen izquierda del río Fundación -en dirección aguas arriba- (Figura 5.6). Esta decisión obedece a que, si se sigue sobre el borde de la ciénaga, se adentra en la cuenca del complejo del humedal, haciendo imposible llegar a un punto tangible para seguir dicha delimitación.

La delimitación siguió por este costado dirigido aguas arriba, hasta encontrar la desembocadura del arroyo Palenque, cuerpo de agua con cauce de origen natural y que sirve de límite para el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta. En este punto, la delimitación atraviesa este cuerpo de agua desde su desembocadura -pasando por su margen derecha-.Por ausencia de curvas de nivel en esta área, se toma como parámetro de límite el borde externo del manglar presente y siguiendo aguas arriba se delimita hasta encontrar la desembocadura del llamado caño Schiller como se ve en la Figura 5.7.

[35] La afirmación “debe” se realiza porque la situación normal de los flujos de agua debería ser la mencionada, si no se consumieran los caudales antes de llegar a su destino final.

Figura 5.5. Desembocadura río Aracataca, detalle del delta progradante y delimitación IDEAM (magenta) POMCA (verde)



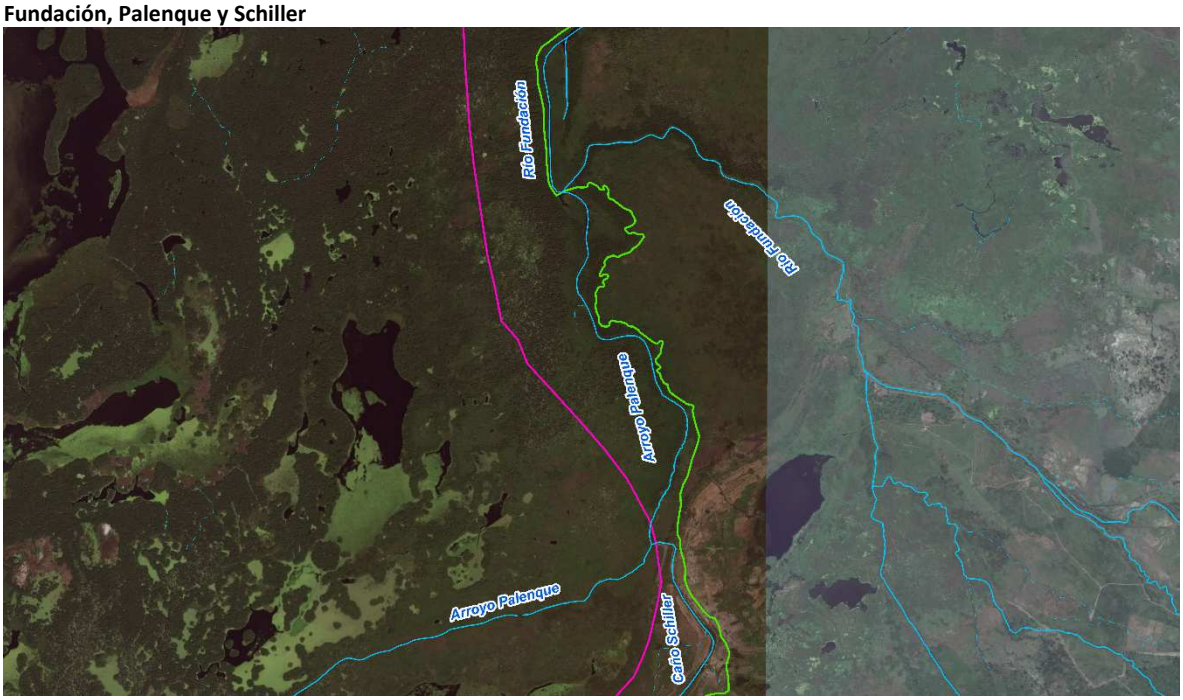
Figura 5.6. Desembocadura río Fundación, delimitación IDEAM (magenta) y del POMCA (verde)



5.1.2.4. *Tramo Arroyo Palenque a Media Luna.*

Al avanzar por el arroyo Palenque, se encuentra la conexión con el caño Schiller, cuyo nombre oficial es caño Ciego[36] -como se ve en la Figura 5.7-, el cual, debido a la actividad antrópica conecta en la actualidad el Río Magdalena hasta el arroyo El Palenque, por ende, al río Fundación. Lo anterior fundamenta por una parte la delimitación propuesta por el IDEAM, puesto que desde la conformación natural del relieve y en consecuencia de la cuenca, esta zona tenía una conexión diferente para su desagüe, dirigido hacia el interior de la misma, conectando diferentes cuerpos cenagosos.

Figura 5.7. Detalle de los límites del IDEAM (magenta) y del POMCA (verde) en uniones de los cuerpos de agua Fundación, Palenque y Schiller



Además de lo anterior, por medio del análisis de la red de drenajes de la cartografía oficial y a su vez, de las verificaciones en campo, se pudo evidenciar que los cauces presentes al norte del corregimiento de Media Luna y casi hasta llegar al río Fundación pierden conexión de forma natural con otros cuerpos de agua[37], lo que puede indicar que esta zona presenta una mayor profundización del agua (infiltración o recarga hídrica). En relación a lo anterior, desde la geomorfología se puede

[36] El nombre de Caño Ciego fue dado por una condición especial del mismo, ya que saliendo de la ciénaga Cerro de San Antonio, existían pequeños cauces que conectaban los diferentes cuerpos de agua (ciénagas, lagunas y pantanos) desde este sitio hasta Pivijay y Media Luna; sin embargo, una vez pasada la época de lluvias se perdía la conexión entre ellos, quedando los cauces "ciegos". Cuando hubo la necesidad de llevar aguas "dulces" desde el río Magdalena hasta la ciénaga Grande se realizó un canal que conectó los diferentes cauces ciegos y otros artificiales, y es este nuevo cuerpo de agua el referido como caño Schiller. Buena parte de este caño es una construcción antrópica y entre sus aspectos negativos cabe resaltar que alteró el comportamiento hidrológico en la época de inundaciones entre Pivijay y Media Luna porque, así como lleva agua a la ciénaga Grande, en tiempo de lluvias las aguas que caen a sitios como la ciénaga El Playón del Jorobado, que tienen una cota más alta que la del Caño Schiller, se represa el agua inundando aguas arriba, pasando por Media Luna hasta llegar a Pivijay.

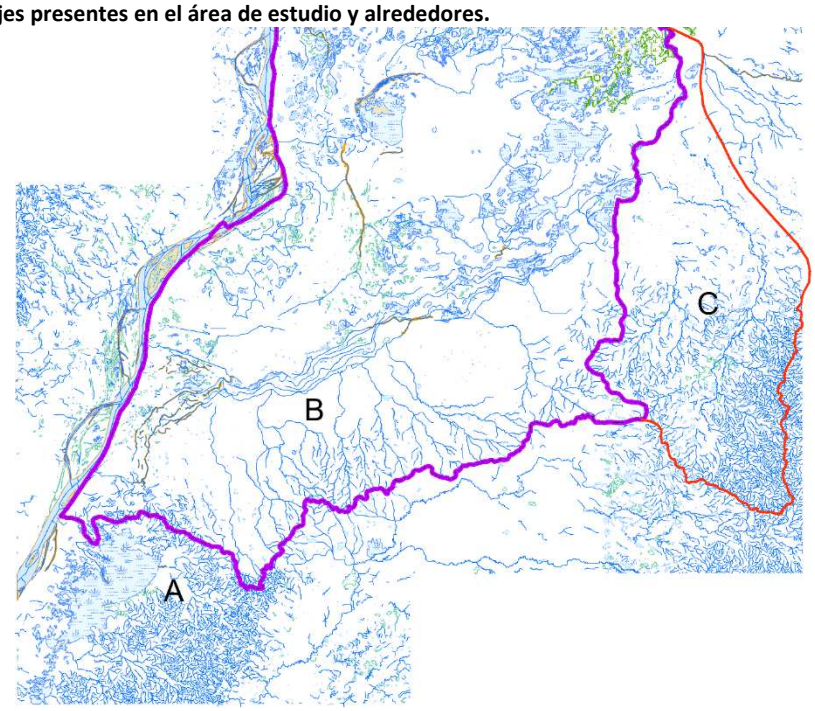
[37] Es posible que en la actualidad exista esta conexión por iniciativa de propietarios que han canalizado estos tramos para garantizar agua en sus predios.

comprobar que hay un cambio significativo en las geoformas que rigen la distribución de esta red de drenajes, disminuyendo su número y su patrón.

A su vez, la densidad de drenaje, presentada en la Figura 5.8, permitió analizar el área que debía ser considerada dentro de la cuenca en éste sector. Analizando los drenajes pertenecientes a la escala 1:25.000, se realizó la comparación entre tres áreas, identificadas en la Figura 5.8 con las letras A, B y C, permitiendo evidenciar la diferencia en la densidad de drenaje respecto a cada una de ellas.

Para el Sector A, que cubre las áreas aportantes a la Ciénaga de San Antonio, se presenta una fuerte densidad de drenaje; en el sector B, correspondiente al área alimentada por los cuerpos de agua Arroyo Pacheco, Arroyo Jamaica, Arroyo Las Casas, Arroyo Manteca, Arroyo Manchado, Arroyo Porvenir, Arroyo Grande, Arroyo Pertúz, Arroyo El Bongo, Arroyo Palma de Vino (Santa Rita, Tamarindo), Arroyo Los Puercos, se ve de manera evidente el cambio en la tendencia de drenaje, teniendo una densidad baja respecto a los demás sectores. Finalmente, en el Sector C, que corresponde al área aportante de Arroyo Resbaloso, Arroyo Manbuca, Arroyo Quiebra Barro, Arroyo Sabaneta, Arroyo Miquera, Arroyo Vueltas y Arroyo La Ensenada se puede identificar como la densidad de drenaje resulta mayor en la parte alta de estas microcuencas, mientras que en la parte baja resulta mucho menor, así como se evidencian comportamientos distintos, intermitencias y alteraciones.

Figura 5.8. Drenajes presentes en el área de estudio y alrededores.



Esta resulta ser otra prueba que sustenta la no inclusión del área denominada C, y que manifiesta el comportamiento hidrológico diferente de esta área aportante respecto a la considerada como complejo de humedales de la Ciénaga grande de Santa Marta.

Con el trabajo de campo realizado durante el proyecto, se pudo verificar sobre esta parte de la cuenca que el paisaje de planicie fluvio-marina que bordea a Caño Ciego o Caño Schiller sobre la margen derecha sufre un estrechamiento poco antes del corregimiento de Media Luna, al punto de que las formas del terreno de Plano de nivel 2, Depresión y Plano de nivel 1 correspondientes al tipo de relieve de terraza aluvial casi desaparecen; sólo este último logra ampliarse hacia el norte del corregimiento en la Figura 5.9. Adicionalmente, se evidenció que los vallecitos angostos (cauces naturales) de los arroyos no llegan hasta Caño Schiller, indican lo efímero de los drenajes y sus caudales. De hecho, el trabajo social que se realizó con trabajadores y propietarios por parte del equipo técnico, se evidenció que los propietarios de los predios utilizan maquinaria pesada ya sea para profundizar los exiguos cauces o para extenderlos con el fin de hacer llegar el agua hasta la parte más baja de sus predios y del área estudiada.

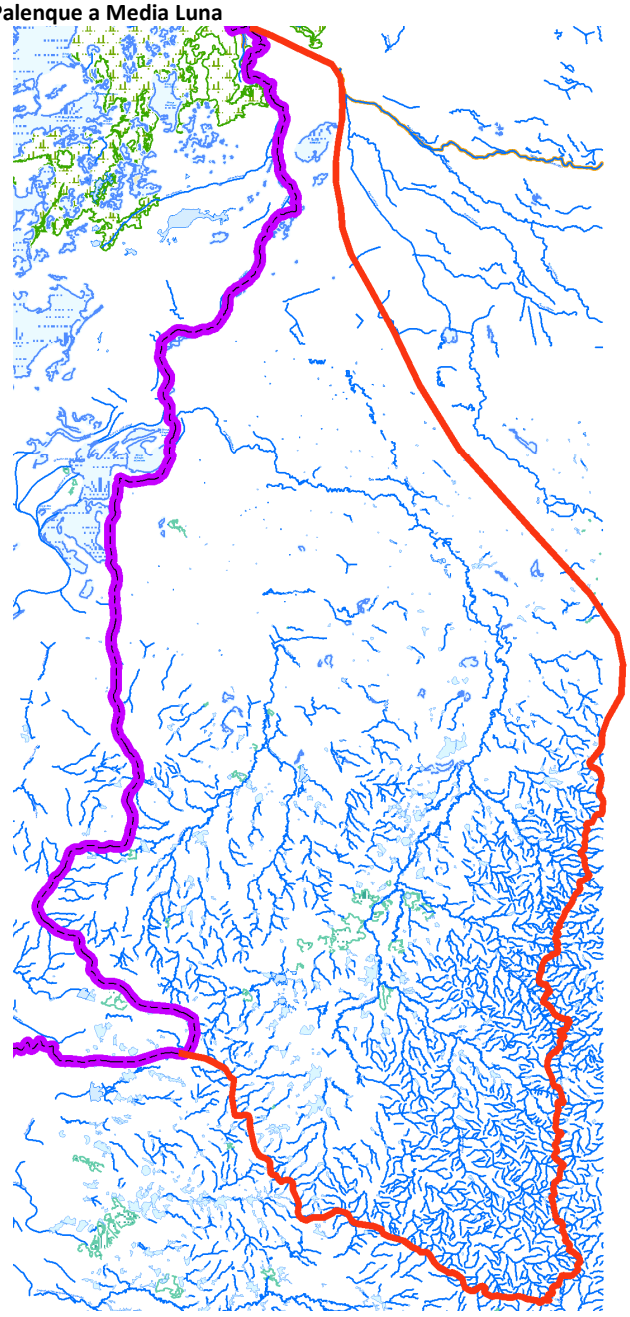
En términos generales, la construcción del relieve actual en la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, es el resultado de los procesos morfodinámicos asociados al río Magdalena; ello implica que el equilibrio ecosistémico esta soportado por los aportes hídricos de este río. La actual delimitación presentada en este ejercicio deja por fuera aquellas áreas que, si bien aportan a esta cuenca, no pertenecen a ella, pues sus geoformas son el producto del trabajo morfodinámico de otros cuerpos de agua y requieren de un análisis diferenciado. En este tramo, dada la fuerte alteración hidrológica impresa por el hombre a la red de drenaje, se delimitó la cuenca sobre el borde derecho (oriental) del llamado caño Schiller y se incluyeron los cuerpos cenagosos asociados a los drenajes naturales.

5.1.2.5. *Tramo Media Luna a Río Magdalena.*

Este tramo se caracteriza por una disección moderada de los drenajes sobre el relieve; desde el punto de vista de la geomorfología, se presenta en forma general un lomerío claramente disectado que imprime su huella sobre la cartografía, facilitando la delimitación. Solo en la parte extrema occidental de este tramo, cerca del casco urbano del Cerro de San Antonio (sobre el río Magdalena), varía el paisaje a una planicie de inundación que atestigua sobre el divagar pasado del río Magdalena. Sobre esta zona se encuentra la ciénaga del Cerro de San Antonio, la cual hacia el nororiente se ve confinada por el lomerío antes mencionado y cuyo desagüe bajo eventos extremos de precipitación o inundación ocasionada por el Río Magdalena, podría llegar a conectarse con el Caño Schiller; no obstante, en esta área resulta clara la delimitación de la cuenca, las transformaciones que se han introducido al paisaje y los ecosistemas dan muestra de la pérdida de conectividad hidrológica pese a mantenerse una débil conectividad ecológica.

Con este tramo se cierra la delimitación de la cuenca de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 5.9. Tramo Arroyo Palenque a Media Luna



5.1.3. Zonificación y codificación 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.

. 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 Bajo Magdalena tendrá como codificación (29) como se relaciona en la Tabla 5.2.

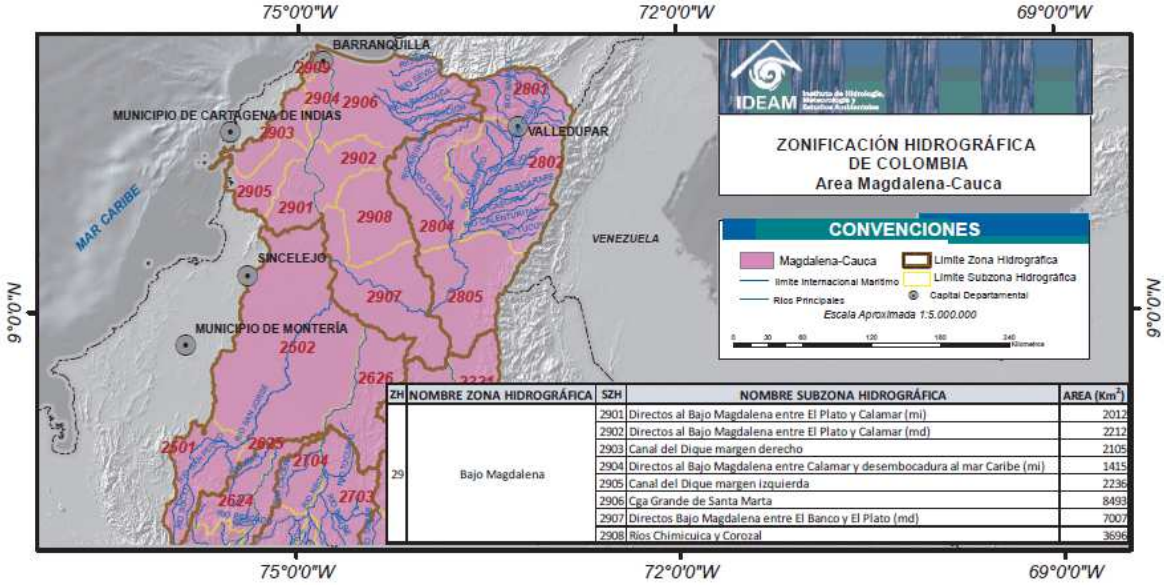
Código zonas hidrográficas.

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)

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, para la zona hidrográfica Bajo Magdalena hay ocho subzonas las cuales se pueden observar en la Figura 5.10.

Figura 5.10. Subzonas hidrográficas Bajo Magdalena.



De acuerdo a lo anterior, la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta pertenece a la subzona 2609 que, como poemos observar en la Figura 5.10, corresponde a la Ciénaga Grande de Santa Marta. En la Figura 5.11 se presenta el esquema de codificación de las subzonas hidrográficas.

Figura 5.11. Codificación subzonas hidrográficas.



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 en sentido contrario a las manecillas del reloj desde el punto de entrega del nivel superior como lo define la metodología presentada por el IDEAM (2013). Como se muestra en la Figura 5.12.

Figura 5.12. Niveles de codificación, cuencas hidrográficas.



Fuente: IDEAM (2013)

Ahora bien, obsérvese en la Tabla 5.3 que para el segundo y tercer nivel de información la codificación está encabezada por "2906-01" que obedece a la relación que se establece en la Figura 5.12, como se mencionó anteriormente, y el numero 06 hace caso a la subzona hidrográfica "Ciénaga Grande de Santa Marta", mientras que el 01 completa la codificación del Complejo de humedales de la ciénaga Grande de Santa Marta determinado por el IDEAM. En la Tabla 5.3 se detalla la codificación que se presenta al interior de la cuenca

Codificación para las unidades hidrográficas del Complejo de humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta

UNIDADES HIDROGRÁFICAS II NIVEL		UNIDADES HIDROGRÁFICAS III NIVEL	
2906-0101	Caño Schiller	2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM
		2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo
		2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey
		2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma
		2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller
		2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista
		2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio
2906-0104	Complejo Caño El Salado	2906-010400	Complejo Caño El Salado
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo
		2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo
		2906-010503	Caño Los Micos
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande

En la Figura 5.13 se representan las unidades de segundo nivel subsiguiente, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, con su respectiva nomenclatura y codificación y en la Figura 5.14 las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Figura 5.13. Unidades de segundo nivel subsiguiente

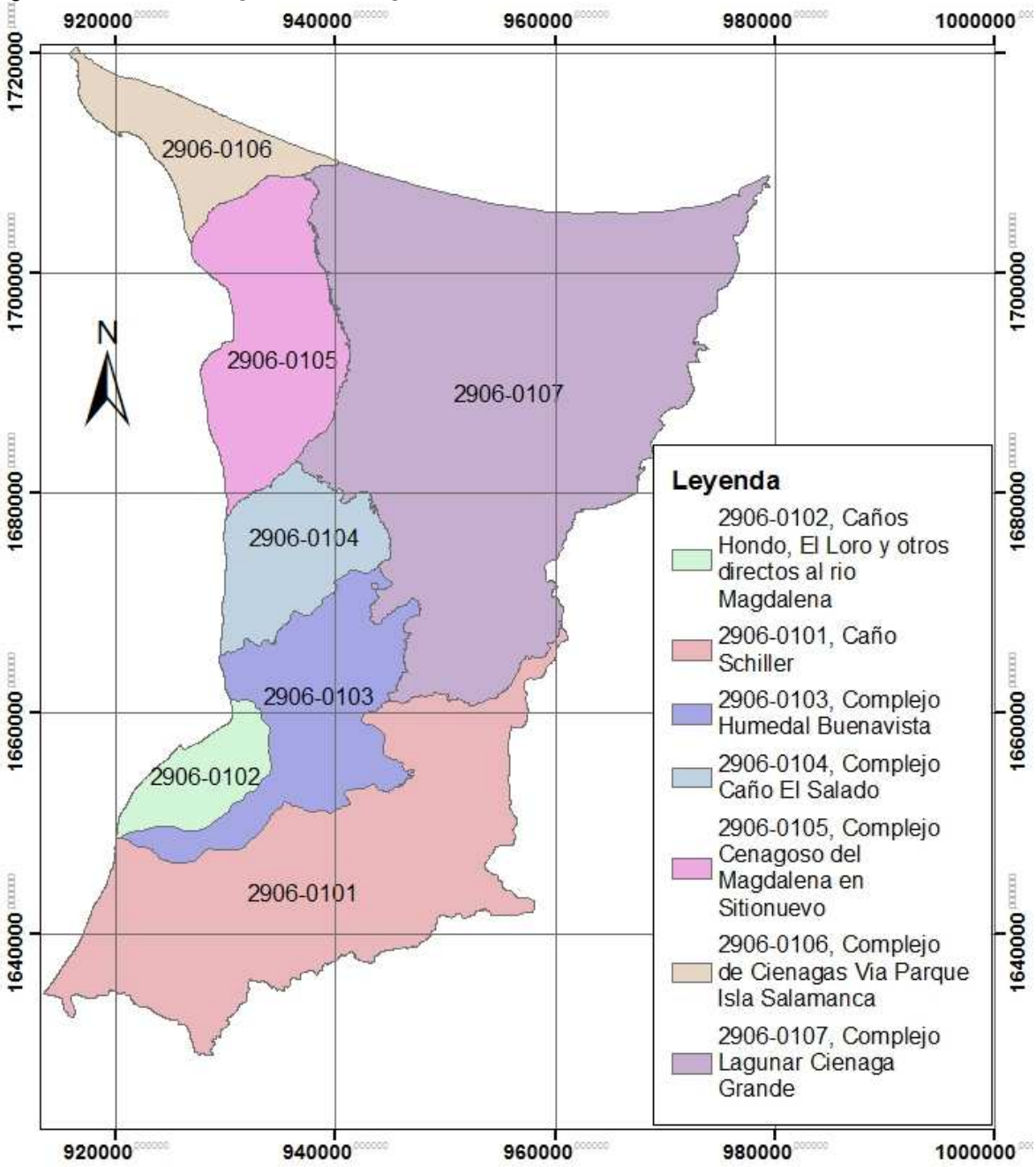
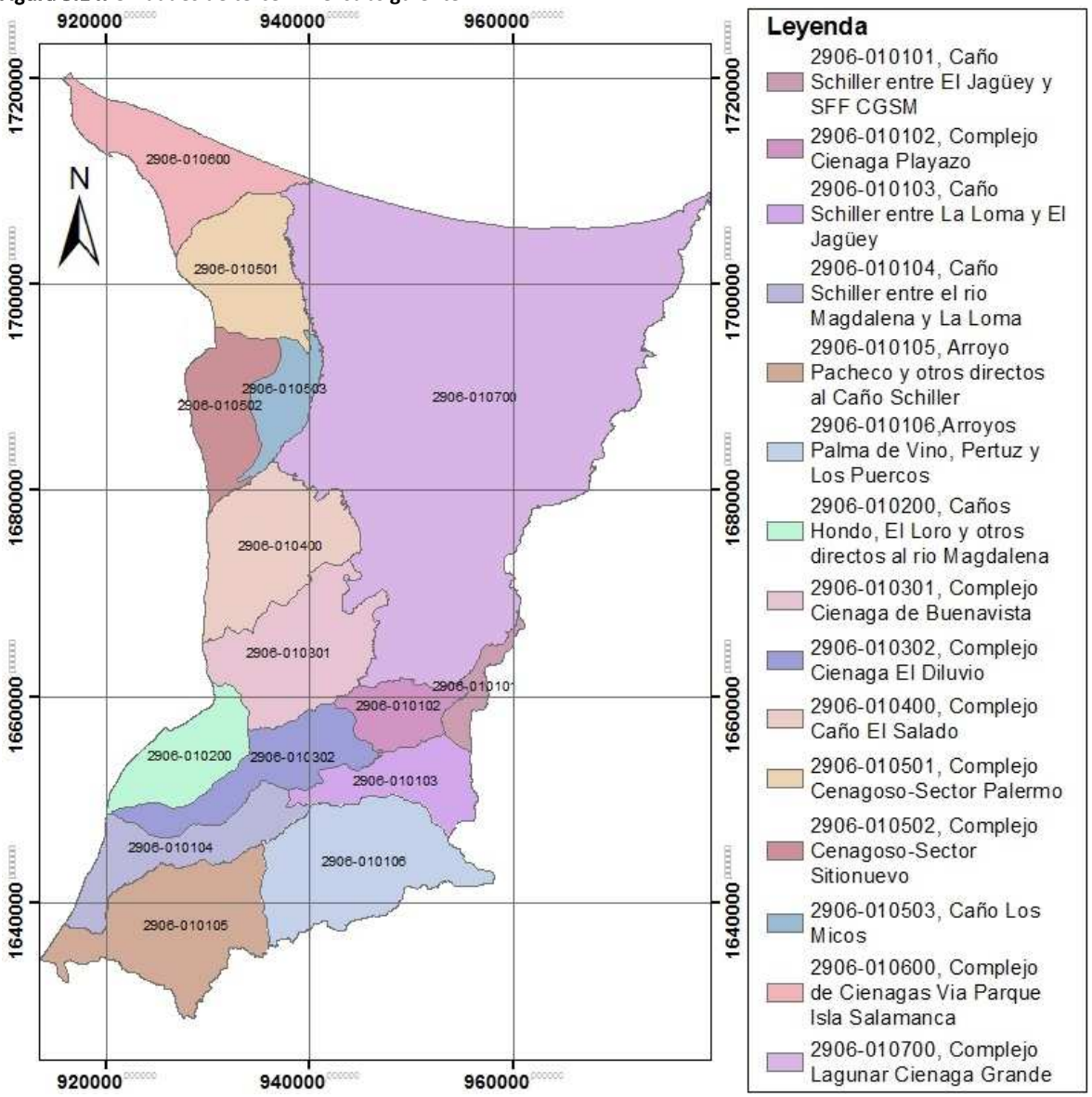


Figura 5.14. Unidades de tercer nivel subsiguiente



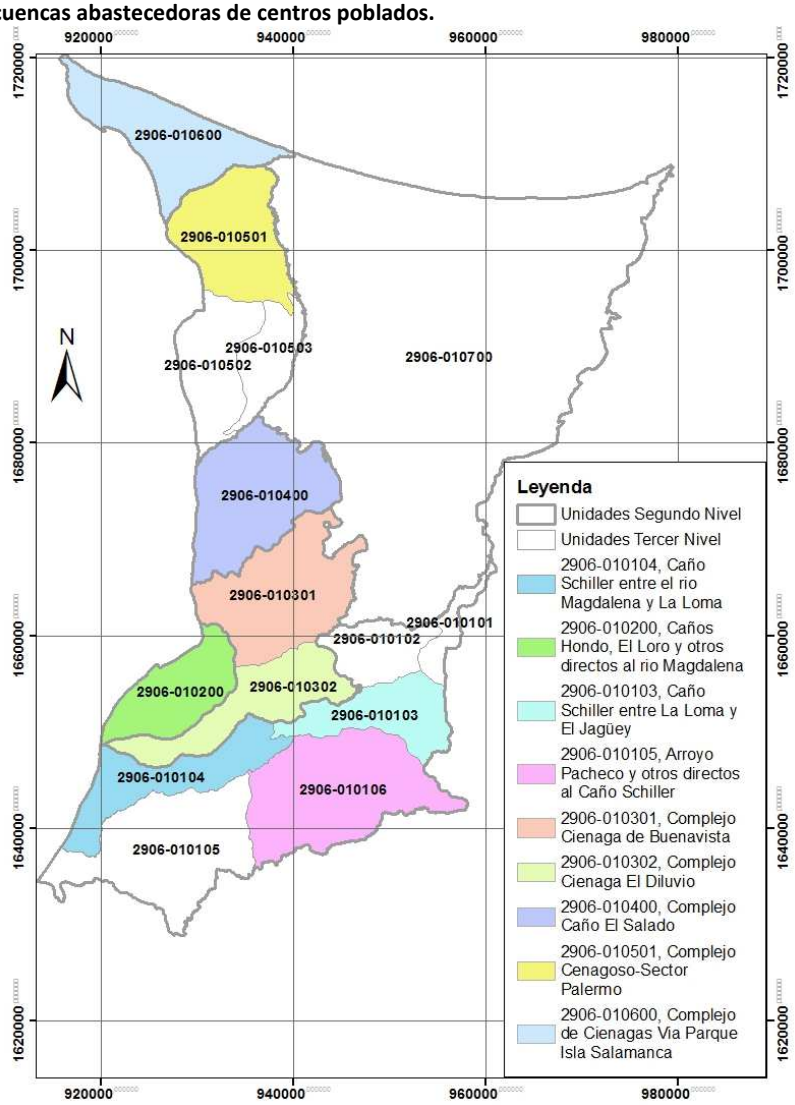
5.1.4. Identificación de unidades abastecedoras de centros urbanos y centros poblados

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.

Microcuencas abastecedoras.

Código	Nombre	Área (km2)	Clasificación
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	85,13	Pequeña
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	104,01	Pequeña
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	195,77	Pequeña
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	91,07	Pequeña
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	163,01	Pequeña
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	108,48	Pequeña
2906-010400	Complejo Caño El Salado	162,21	Pequeña
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	130,34	Pequeña
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	134,34	Pequeña

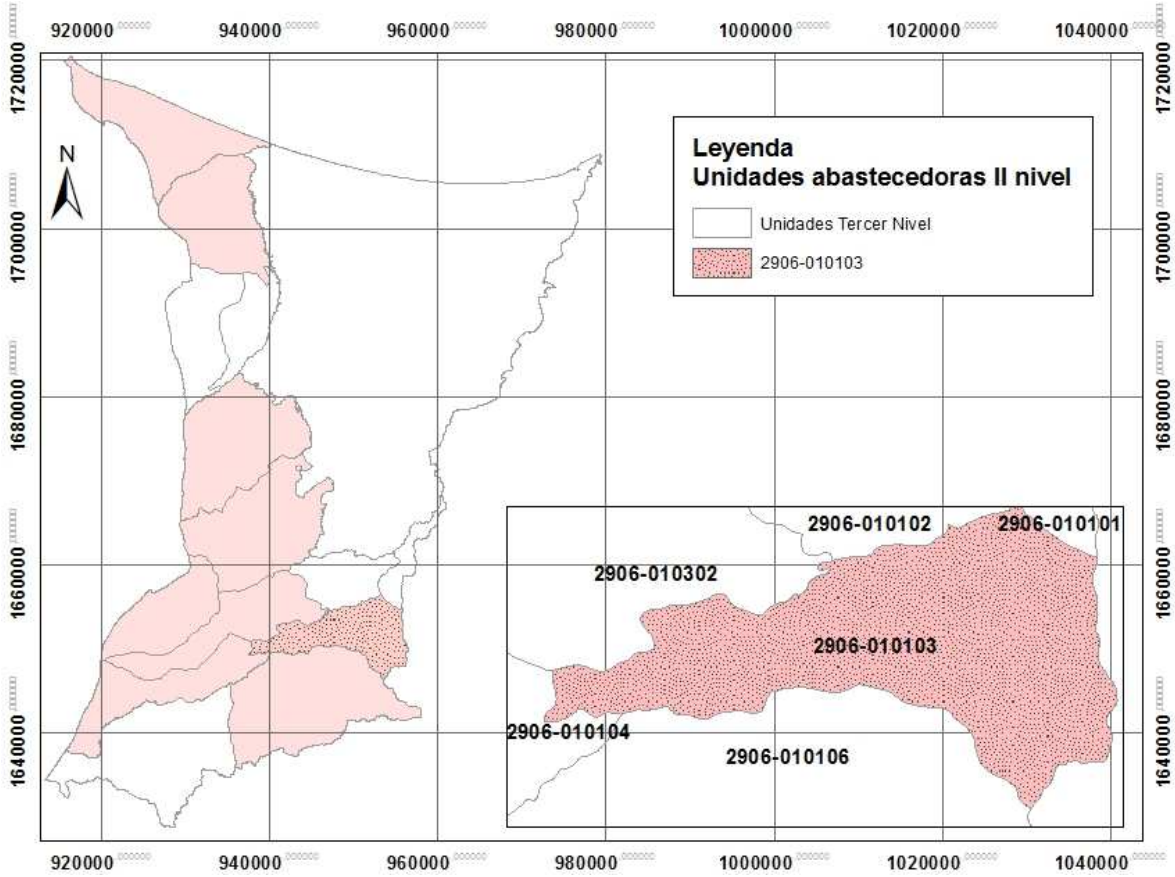
Figura 5.15. Microcuencas abastecedoras de centros poblados.



Delimitación y localización de las unidades abastecedoras de tercer nivel subsiguiente.

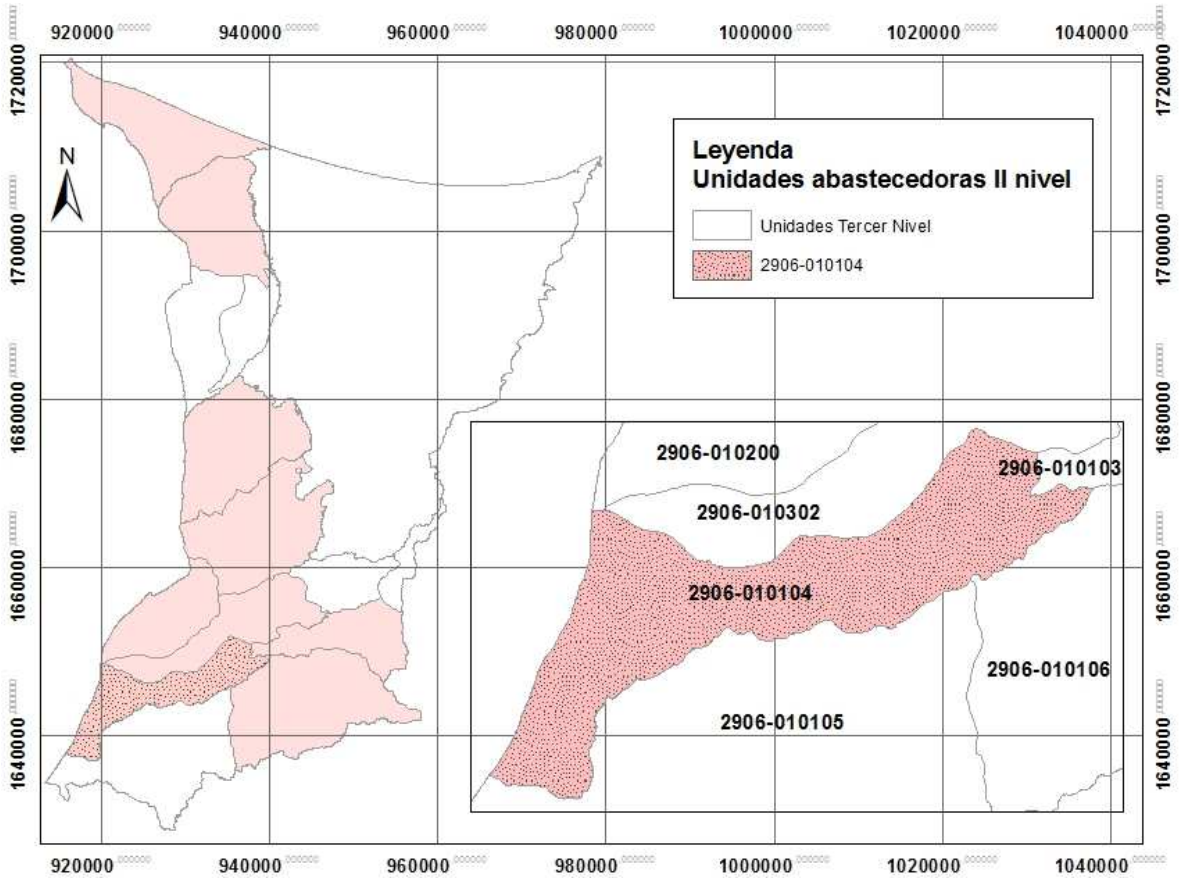
290601-0103, Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey. Se encuentra localizada en el municipio de Pivijay en las veredas Media Luna y Pivija. En la Figura 5.16 se puede observar la localización de esta microcuenca respecto a las demás unidades de tercer nivel.

Figura 5.16. Localizacion microcuenca 2906-010103



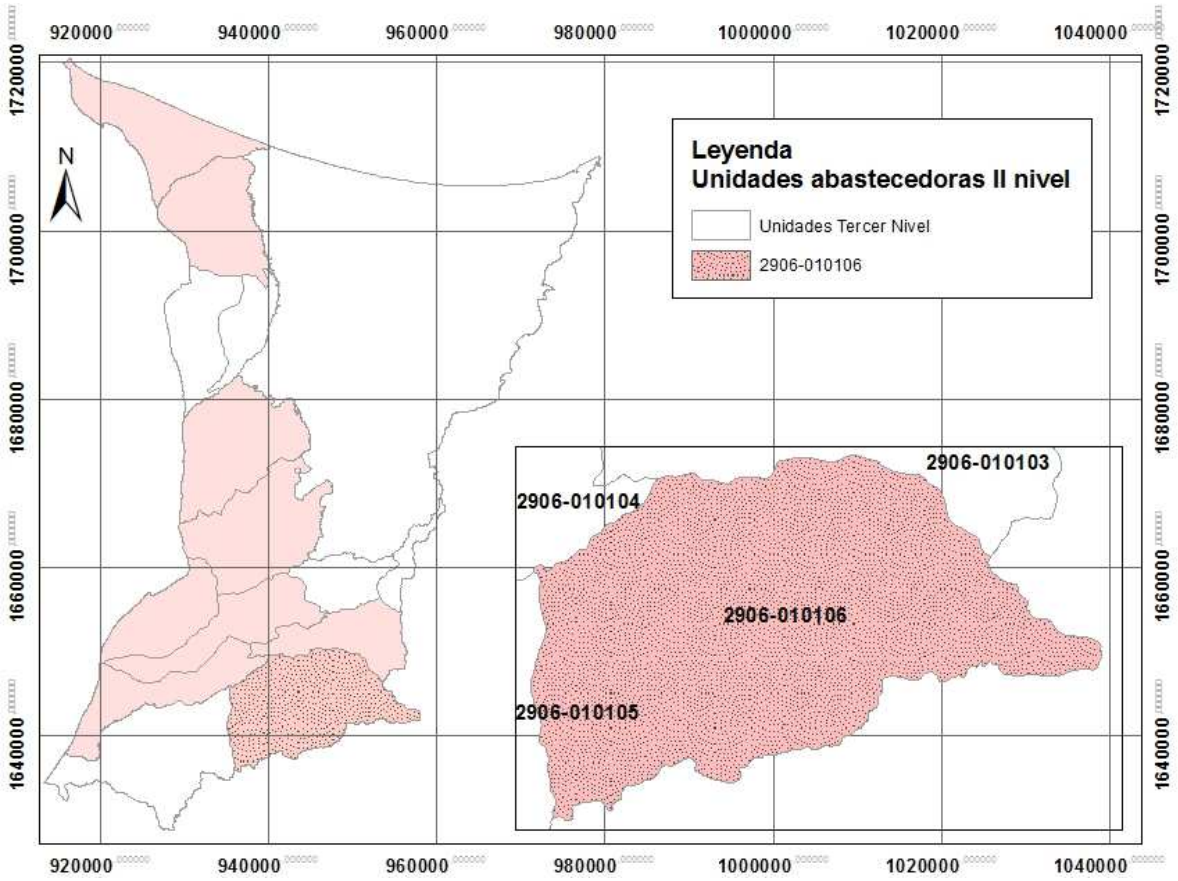
2906-010104, Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma. Su extencion abarca las veredas Tiogollo, San Basilio, El Peñón y Campo Alegre en el municipio del Piñon, en el municipio de Pivijay abarca las veredas Carmen del Magdalena y Pivijay. En la Figura 5.17 se puede observar la ubicación de esta microcuenca en la cuenca Complejo de humedales de la ciénaga Grande de Santa Marta y las unidades que la limitan.

Figura 5.17. Localizacion microcuenca 2906-010104



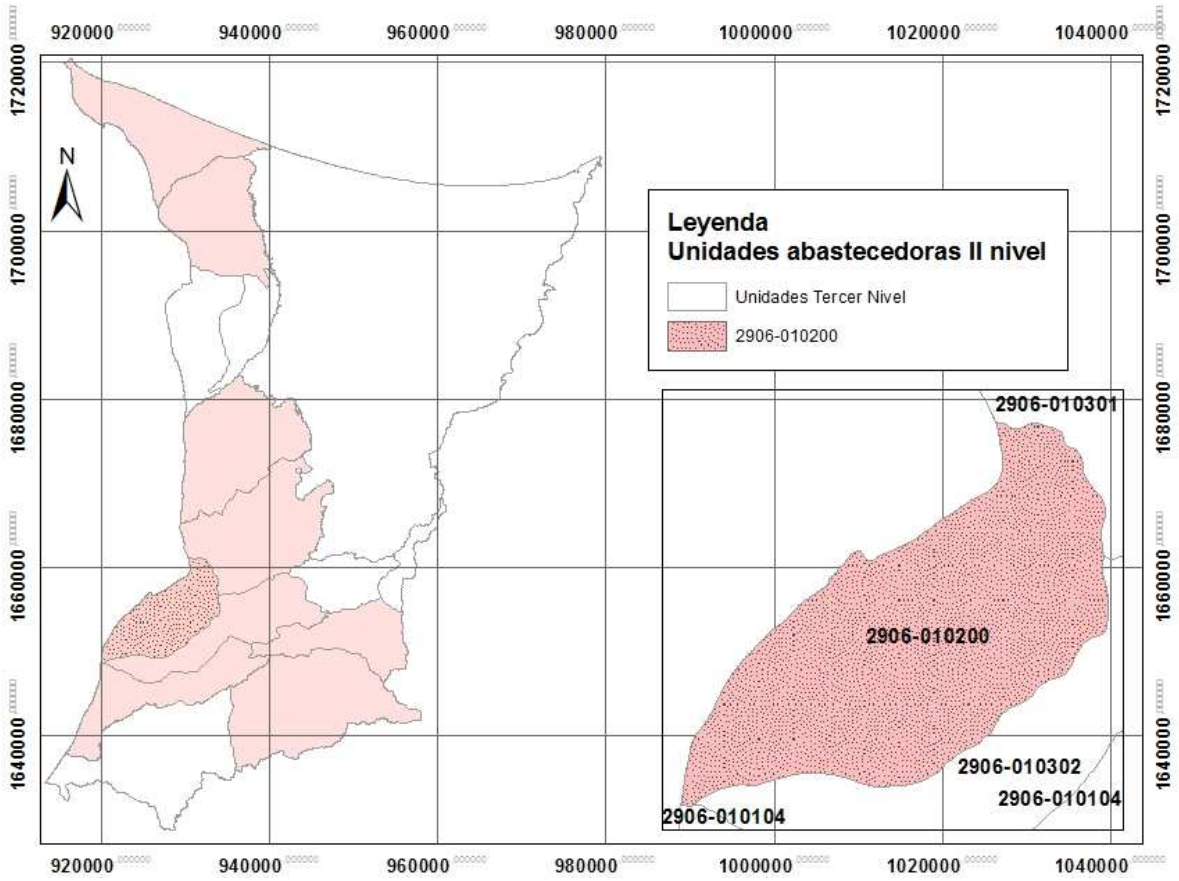
2906-010106, Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos. Esta situada en en el municipio de Pivijay en la veredas Las Piedras y Pivijay y en el municipio el Piñon en las veredas San Basilio y Vazquez. En la Figura 5.18 se encuentra la localización de esta unidad hidrogtafica y las unidades que la limitan.

Figura 5.18. Localizacion microcuenca 2906-010106



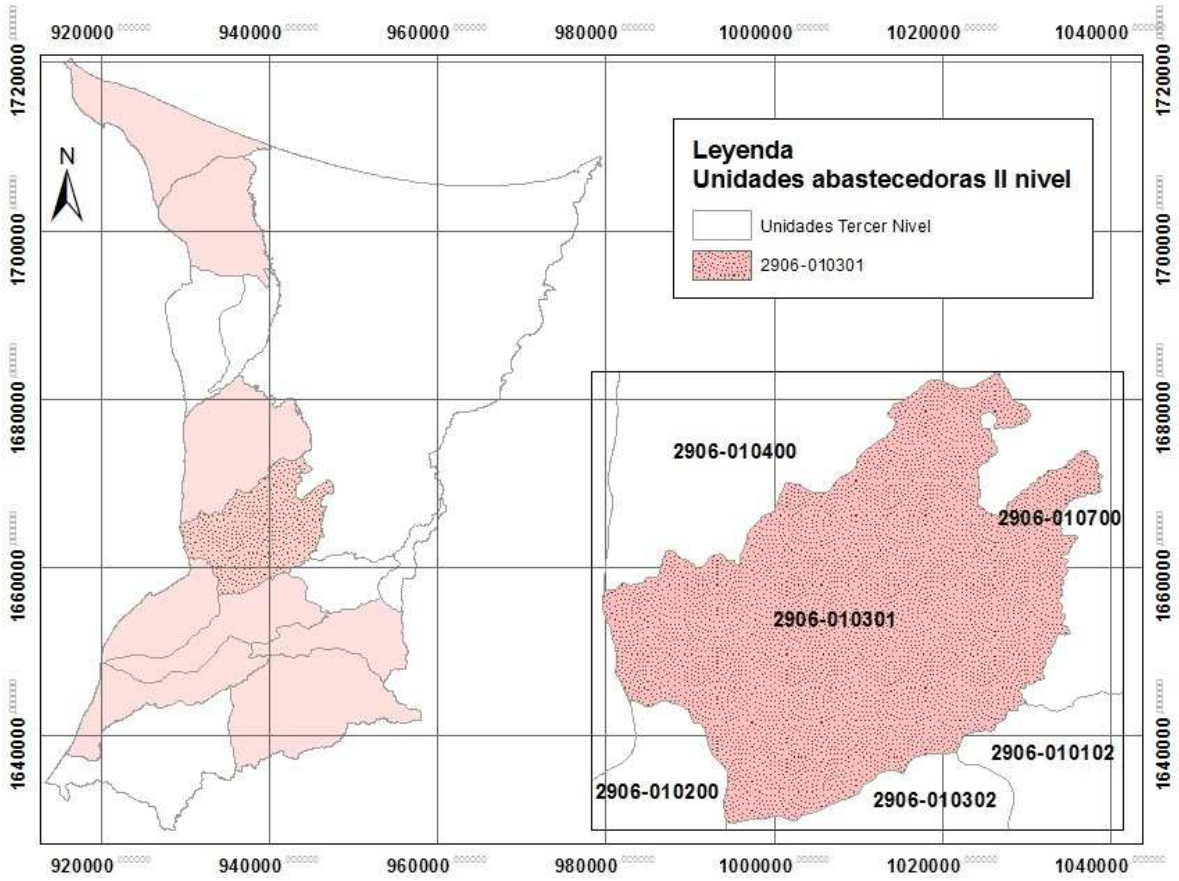
2906-010200, Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena. Su área se extiende por el municipio de Salamina en la vereda Carmen del Magdalena y Campo Alegre. En la Figura 5.19 se observa su localización y las unidades de tercer nivel que la limitan.

Figura 5.19. Localizacion microcuenca 2906-010200



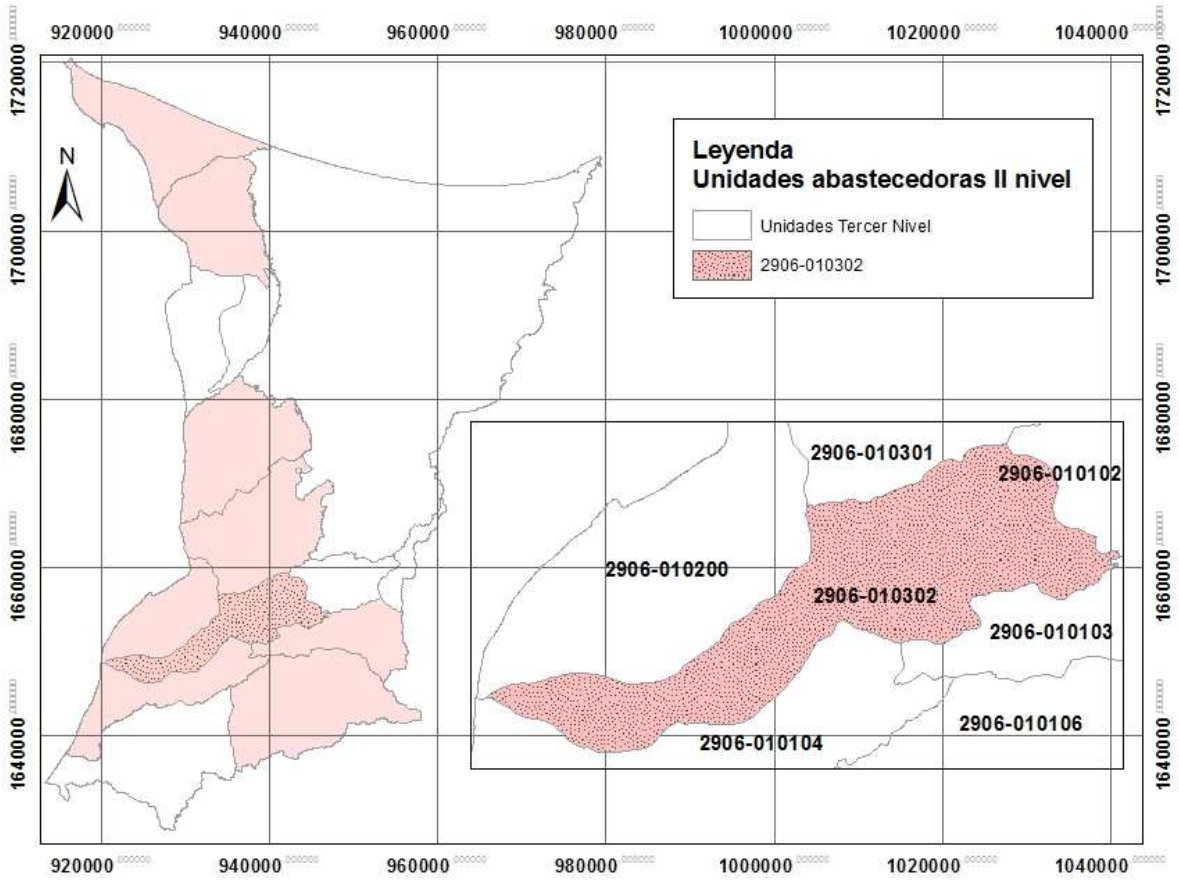
2906-010301, Complejo Cienaga de Buenavista, Esta ubicada en le municipio de Remolino en las veredas condazo, Calle Larga y La Yegua, en el municipio de Salamina en la vereda Carmen del Magdalena y en el municipio de Pivijay en las veredas Carmen del Magdalena y Pivijay. En la Figura 5.20 se localiza la unidad respecto a las demás unidades de tercer nivel.

Figura 5.20. Localizacion microcuenca 2906-010301



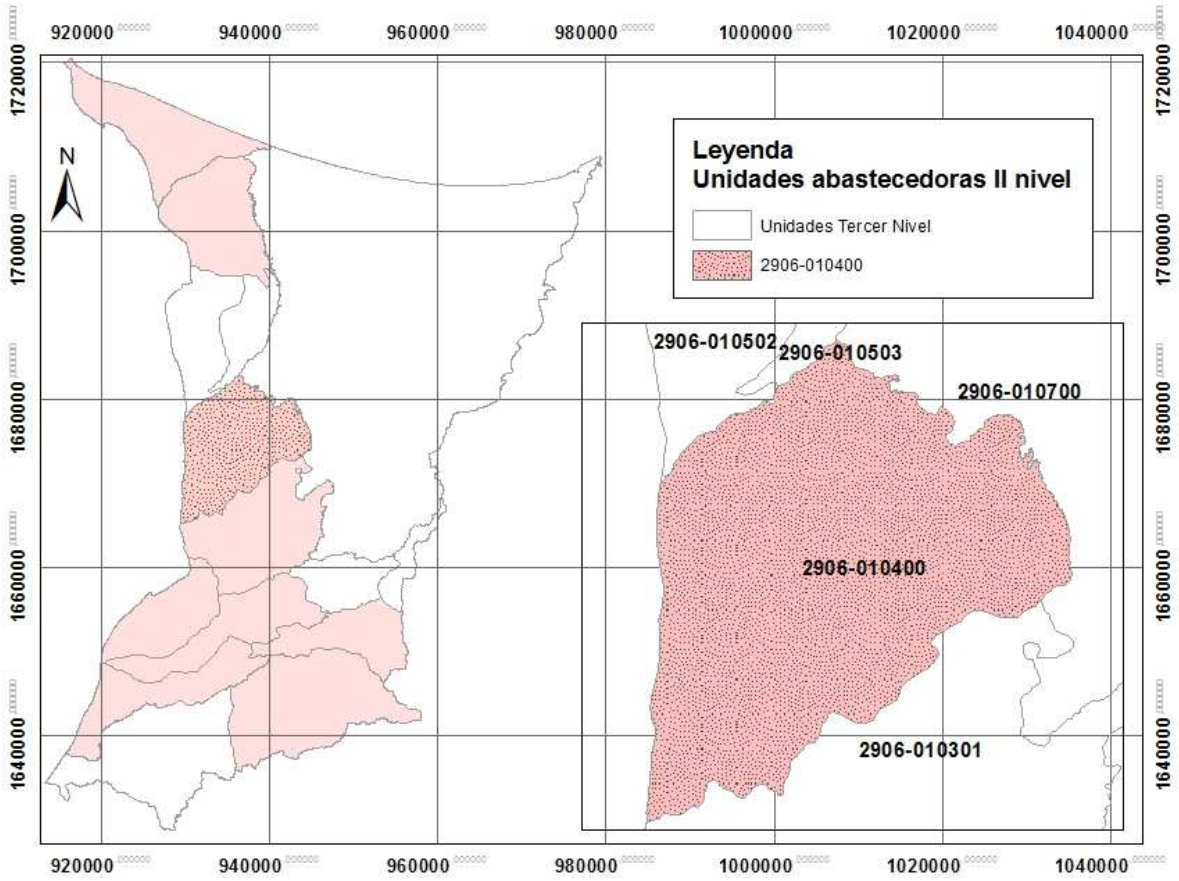
2906-010302, Complejo Cienaga El Diluvio. El área de esta microcuenca se extiende por el municipio de Salamina en las veredas Carmen del Magdalena y Campo Alegre, en el municipio de Pivijay en las veredas Carmen del Magdalena y Pivijay en le municipio de Remolino en la vereda La Yegua, finalmente pasa por el municipio el Piñon por las veredas El Peñón y Campo Alegre. En la Figura 5.21 se puede observar las unidades que limitn esta microcuenca y su ubicación en realcion con las dems unidades de tercer nivel.

Figura 5.21. Localizacion microcuenca 2906-010302



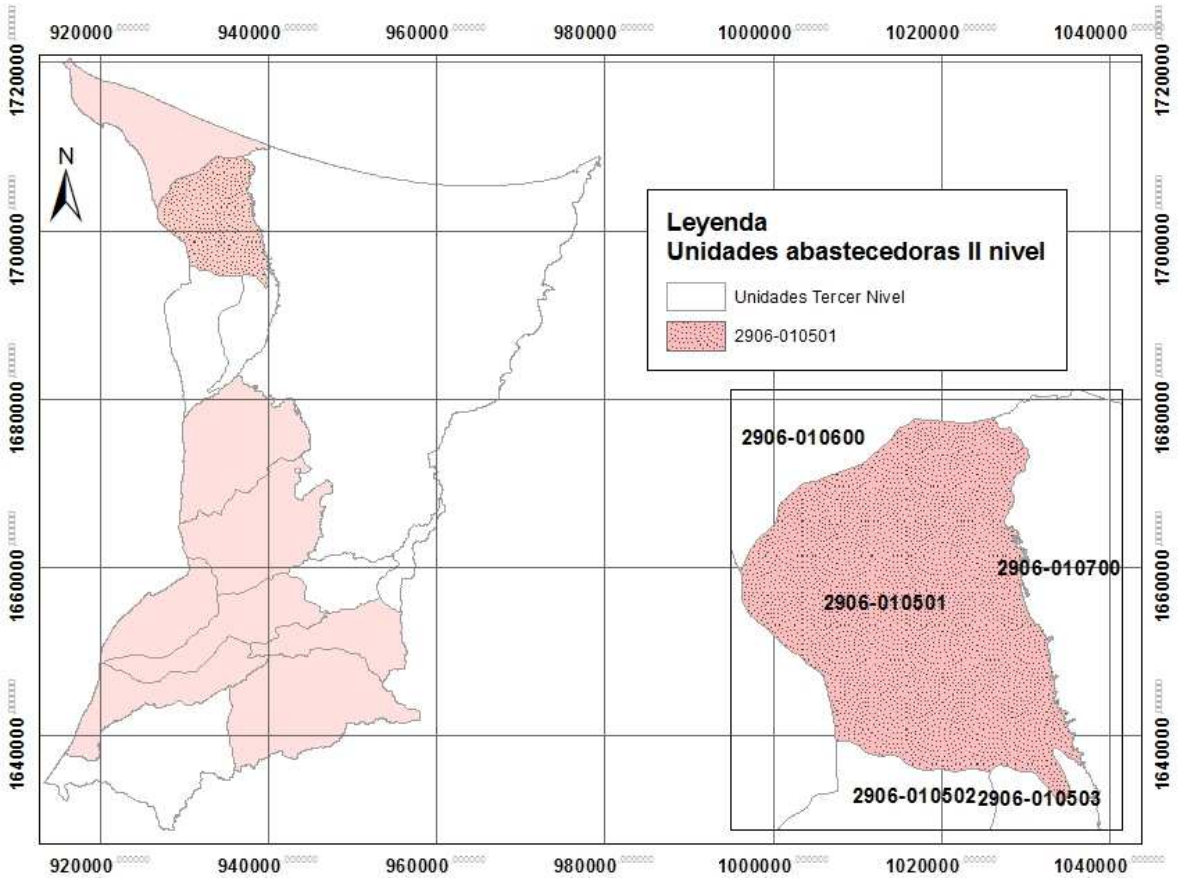
2906-010400, Complejo Caño El Salado. Esta microcuenca se localiza en le municipio de Remolino en las veredas Camino a la Playa, Condazo. En la Figura 5.22 se encuentra su ubicación respecto a las otras unidades abastecedoras y las microcuencas qu la limitan.

Figura 5.22. Localizacion microcuenca 2906-010400



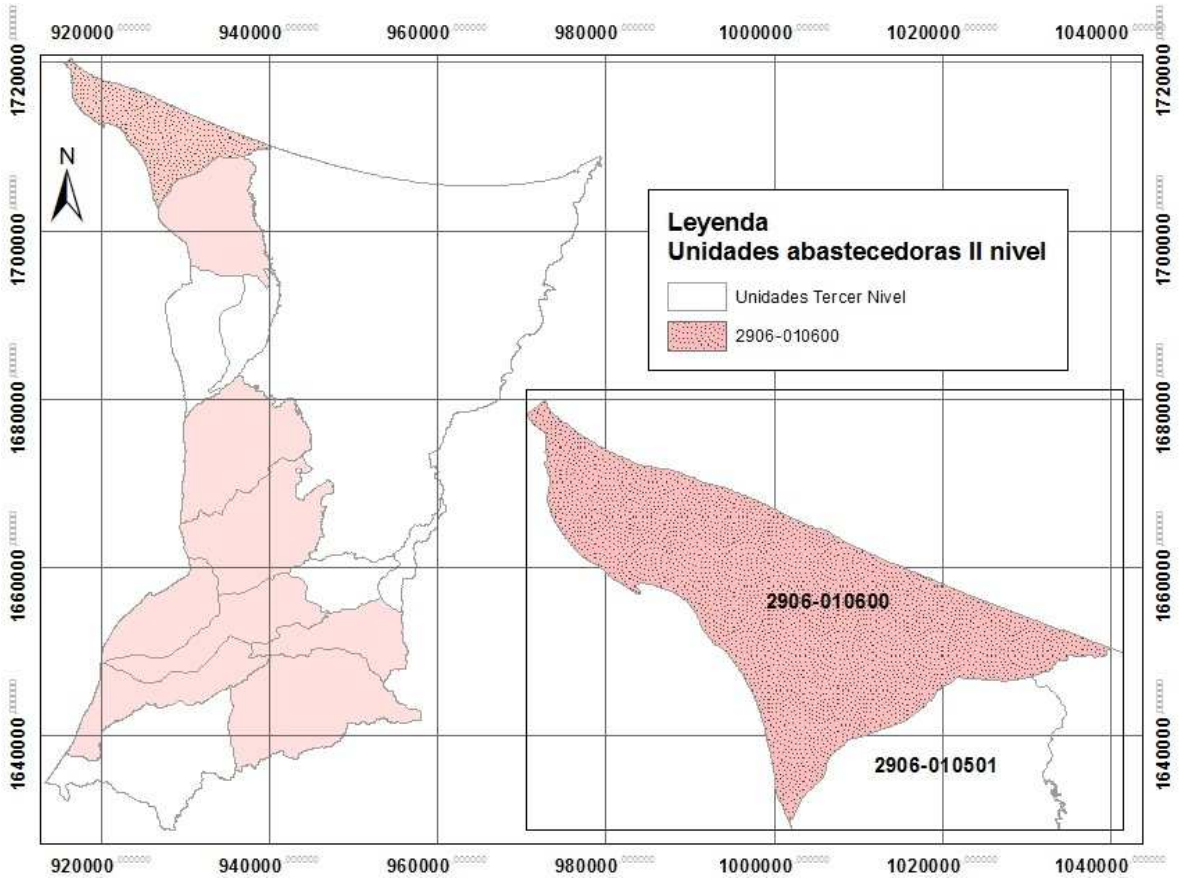
2906-010501, Complejo Cenagoso-Sector Palermo. Se encuentra ubicada en el municipio Sitionuevo en las veredas Isla Pensilvania, La Trinidad y Cienagas de Ahuyama y Pájaro. En la Figura 5.23 se pueden ver las unidades que la limitan y su localización en la cuenca.

Figura 5.23. Localizacion microcuenca 2906-010501



2906-010600, Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca. Localizada en el municipio Sitionuevo por las veredas El Rodeo, Isla Pensilvania y Los Boquerones, en la Figura 5.24 se puede observar su localización y las unidades que la limitan.

Figura 5.24. Localizacion microcuenca 2906-010600



5.2. Caracterización De La Red De Drenaje.

En esta caracterización se detallan los patrones de la red de drenaje para cada unidad hidrográfica de II y III nivel, su jerarquización según el método de Strahler, e igualmente se distinguen los patrones de alineamiento de los cauces principales y se describe la dinámica de flujo de la cuenca en ordenación. A continuación, se dará una breve descripción de los patrones de alineamiento más comúnmente encontrados en la naturaleza.

Como se puede observar en la Figura 5.25, uno de los patrones de alineamiento más comunes en los cauces amplios de cuencas sedimentarias es el trenzado; caracterizado por la formación de islas causando una partición de las aguas en tramos cortos que alteran la actividad de las corrientes. Esta dinámica usualmente es estacional, es decir, las formaciones trenzadas de los ríos presentan grandes fluctuaciones en cortos periodos de tiempo.

Figura 5.25. Patrón de alineamiento trenzado.



Fuente: DigitalGlobe (2012)

En la Figura 5.26 podemos observar el patrón de alineamiento recto o rectilíneo no muy común en la naturaleza, sin embargo, puede llegar a presentarse en caso de una falla geológica, antropicamente se da en canales alterados por el ser humano. Usualmente, la energía del agua será mayor a la de un río trenzado o meándrico, dado que la pérdida de energía considerable por fricción es mucho menor.

Figura 5.26. Patrón de alineamiento recto.



Fuente: (DigitalGlobe, 2016)

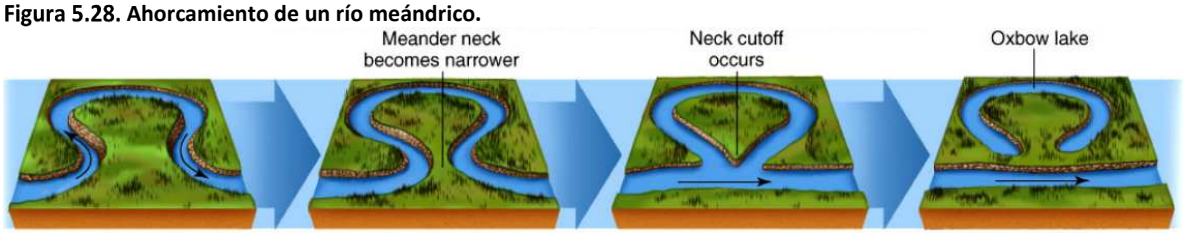
Finalmente, se tienen los cauces meándricos que se caracterizan por ser altamente sinuosos como se ve en la Figura 5.27, estos presentan una mayor concentración de sedimentos en la parte externa. Usualmente en ríos viejos, se presentan ahorcamientos como se observa en la Figura 5.28, que dan lugar a formaciones como las Madrevieja o por su terminología en inglés *Oxbow lake*.

Figura 5.27. Patrón de alineamiento meándrico.



Fuente: GeoEye (2002)

Figura 5.28. Ahorcamiento de un río meándrico.



Fuente: Molina (s.f)

5.2.2. Unidades hidrográficas segundo Nivel subsiguiente

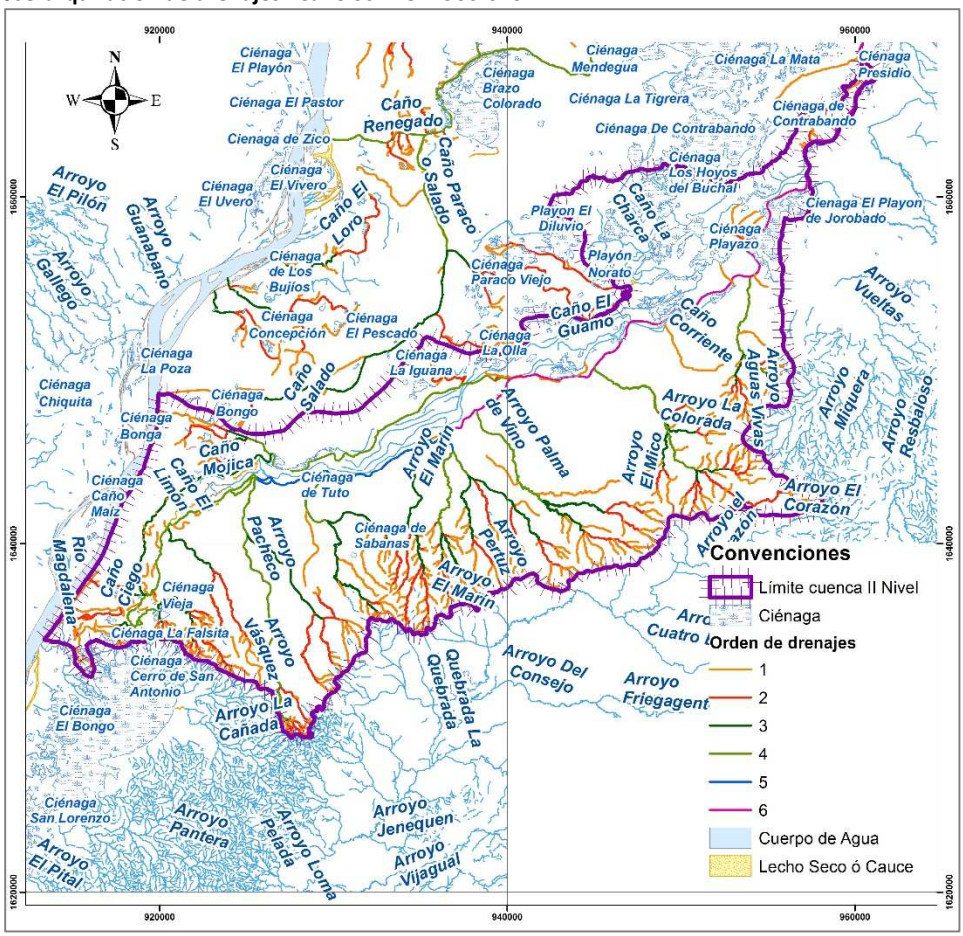
A continuacion se realiza la descripción hidrográfica de cada una de las unidades de segundo nivel subsiguiente de la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

5.2.2.1. *Caño Schiller-NSS (Cód. 2906-0101)*

Ubicada en el extremo sur, atraviesa tres municipios (Cerro de San Antonio, El Piñón y Pivijay), la unidad hidrográfica se extiende unos 654,6 km^2 alcanzando el orden 6 y es alimentada por el Río Magdalena en dirección SW-NE, comienza encauzando sus aguas al Caño Schiller, a la altura del municipio Cerro de San Antonio, recorre cerca de 4 km, hasta que tiene lugar el nacimiento del Caño Patillas que, posteriormente se convertirá en Caño Limón, con una dirección de flujo de S-N como lo muestra la Figura 5.29.

En cercanías del centro poblado de Cantagallar, el Caño Schiller recoge las aguas de Caño Ciego, el cuerpo de agua que tiene su nacimiento en una de las cabeceras más alejadas de la cuenca, para cambiar su curso en dirección norte, y luego hacia el noreste en inmediaciones de la vía que comunica la cabecera urbana del municipio de El Piñón con el corregimiento de Sabanas. Posteriormente, los arroyos Canta gallar, Vásquez, Pacheco, La Manteca, Machado, Porvenir, Arena, El Marín, Pertuz, El Bongo, Palma de vino, Cascajal, Los Puercos, Caño Corriente, entre otros; descienden en un patrón de drenaje dendrítico desde lo más elevado de la cuenca (72 msnm) para entregar sus aguas al Caño Schiller (conocido en algunos tramos como Caño El Oso) que se presenta a lo largo de su recorrido bajo un patrón de alineamiento meándrico leve, con formaciones sinuosas, similares a las que se observan en la Figura 5.27. En la Figura 5.29 se observa cómo en el extremo Noreste las ciénagas confunden el cauce principal, favorecidas por el relieve plano y la mayoría de cauces que drenan hacia el NE lo hacen en un patrón paralelo. Después de un recorrido aproximado de 69,8 km el Caño Schiller desemboca en el Arroyo Palenque, el cual se integra posteriormente al río Fundación antes de su descarga a la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 5.29. Jerarquización de drenajes "Caño Schiller 2906-0101"

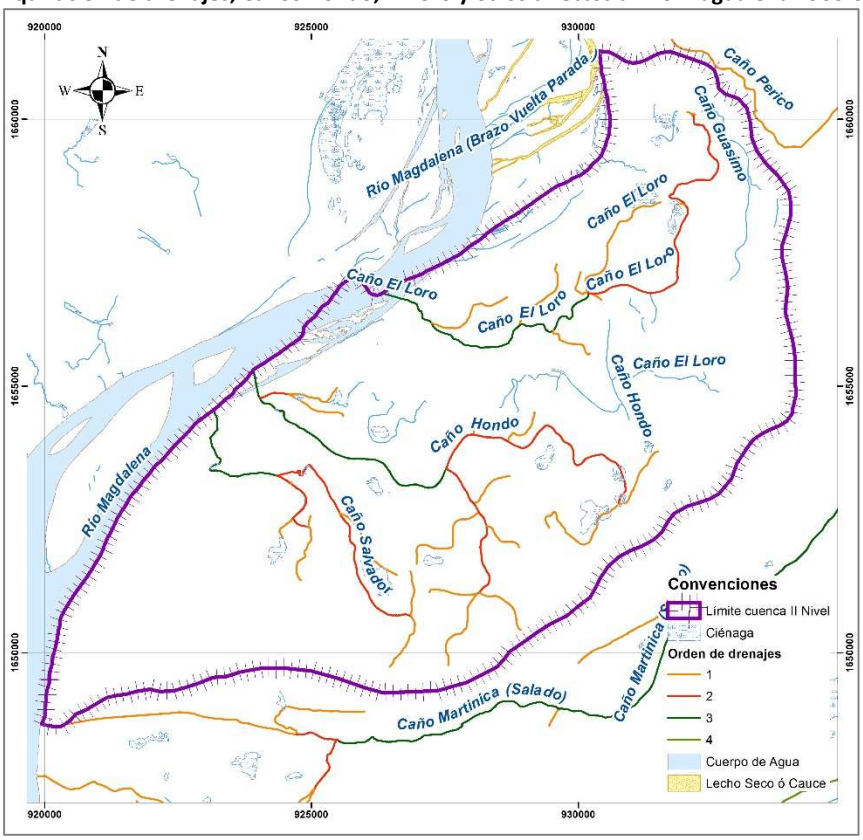


5.2.2.2. *Caños Hondo, El Loro y otros directos al Río Magdalena-NSS (Cód. 2906-0102)*

Ubicada en el margen oriental del Río Magdalena a la altura del municipio de Salamina, es una unidad hidrográfica al Suroeste del complejo de humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, con conexión directa al río Magdalena que no comparte cauce principal con otras unidades de segundo o tercer nivel. La conforman tres corrientes de corto alcance y se estima como una cuenca de orden 3. No obstante, se definió el cauce principal como el Caño El Loro, el flujo inicia en el nacimiento del Caño Guásimo que posteriormente suma sus aguas después de 2,8 km de recorrido al Caño El Loro que las encauza en dirección NE-SW al Río Magdalena. Obsérvese en la Figura 5.30, la tendencia de los tributarios de orden 1 a presentar patrones de drenaje rectangular y alineamientos que tienden a ser meándricos y algunos tramos rectos, debido a su corto recorrido en un relieve de predominancia plano.

La cuenca alcanza una extensión de 91,2 km^{2}y su cauce principal mide 11,3 km de longitud.

Figura 5.30. Jerarquización de drenajes, Caños Hondo, El Loro y otros directos al Río Magdalena 2906-0102



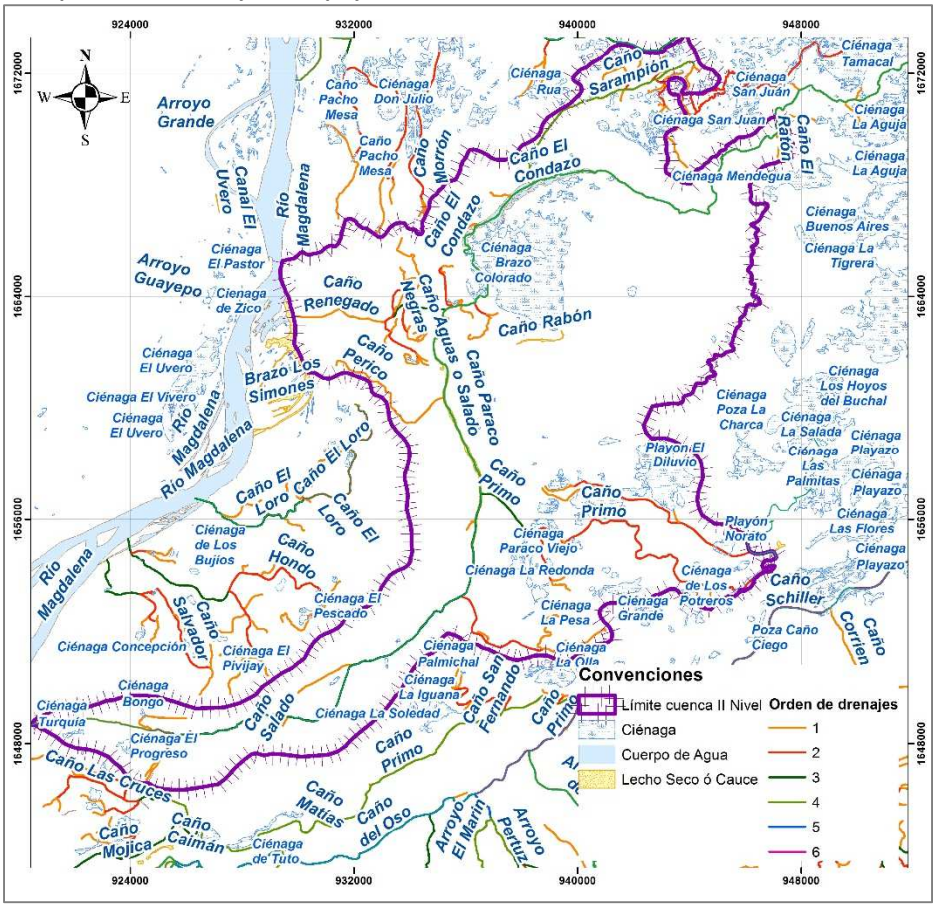
5.2.2.3. *Complejo Humedal Buenavista-NSS (Cód. 2906-0103)*

Ocupa una de las mayores extensiones de la cuenca, con 271,5 km^2 y se clasifica como una una unidad hidrográfica "Intermedia-pequeña", ubicada entre los municipios de Pivijay, Remolino, Salamina y El Piñón; contribuye con agua dulce a la Ciénaga Grande de Santa Marta, encauzando las aguas del Río Magdalena. Iniciando su recorrido a lo largo del Caño Martinica (Salado), atraviesa los centros poblados de Los Platos, El Salao y Carmen del Magdalena (Paraco), recogiendo las aguas del Caño Barracudo, Caño Primo y Caño Perico que nacen y fluyen en dirección W-E. Debido a su condición de relieve plano presenta un alineamiento recto o rectilíneo predominante a través de la unidad hidrográfica. Renombrado aguas abajo el Caño Martinica (Salado), se convierte en Caño Paraco o Salado, y después de un recorrido aproximado a los 25,6 km suma sus aguas al Caño Renegado, con un cambio de alineamiento a meándrico leve (formas sinusoidales de ángulos obtusos).

En la Figura 5.31 se evidencia la escasez de drenajes que presenta la unidad hidrográfica y un número considerable de ciénagas al Noreste y Sureste. Es así como el Caño Renegado vierte sus aguas a la Ciénaga Brazo Colorado, dónde presenta un cambio en la dirección de flujo hacia el NE, encauzándose al Caño El Condazo, dónde desemboca finalmente al Caño El Morro, después de 51 km de recorrido, aproximadamente. No obstante, la alineación de la red de drenajes al presentar

una muy baja densidad, puede presentar comportamientos aislados, es por eso que, al SE la tendencia de patrón de drenaje se presenta en paralelo, mientras que al NE y NW la tendencia cambia a rectangular.

Figura 5.31. Jerarquización de drenajes, Complejo Humedal Buenavista 2906-0103

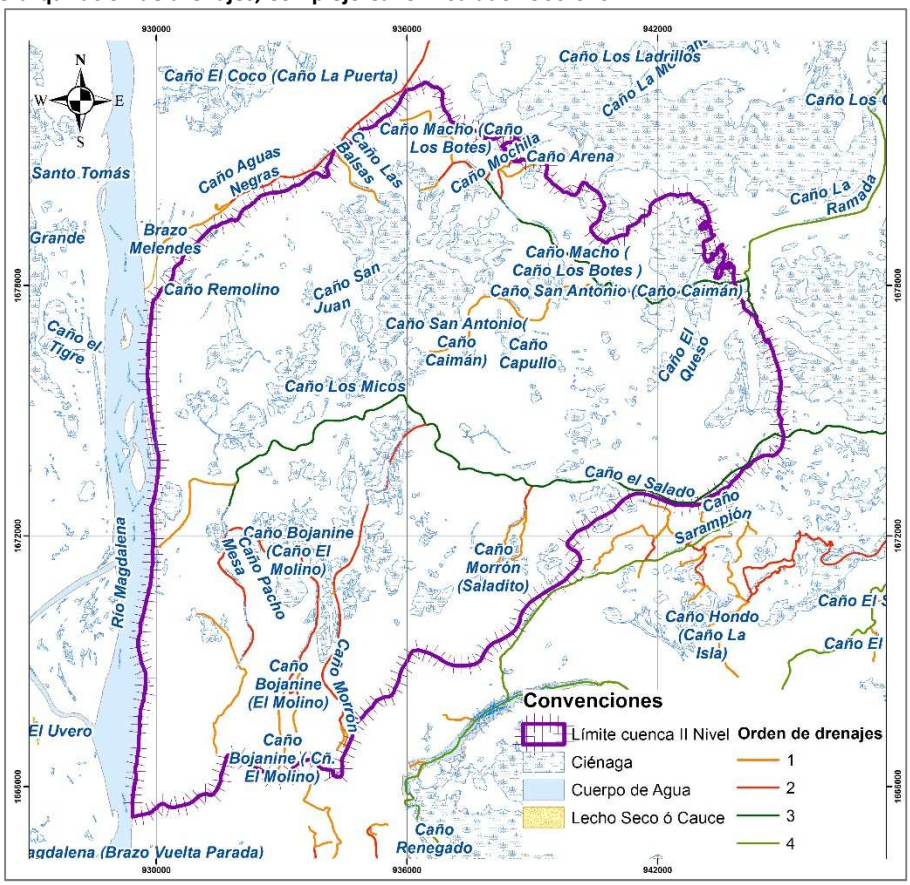


5.2.2.4. *Complejo Caño El Salado-NSS (Cód. 2906-0104)*

Ubicado en el municipio de Remolino, se establece como un sistema complejo cenagoso, obsérvese en la Figura 5.32 que la unidad hidrográfica tiene una entrada directa de agua dulce desde el Río Magdalena, por el Caño El Salado en dirección W-E, que en temporadas específicas invierte su flujo E-W. Para esta unidad no se ha discriminado el análisis de una red de drenaje, debido a que su dinámica hidrológica obedece en gran parte a las interconexiones dadas entre los cuerpos lénticos.

Extendiéndose, 162,2 km^2, el Complejo El Salado incluye unas 253 ciénagas –correspondientes a aproximadamente 26 km^2-, con un porcentaje de participación del 16% de la superficie. Cabe señalar que, a pesar de no presentar una clara diferenciación de la red de flujo, se ha estimado una jerarquización del cauce Caño El Salado que le da el orden 4 a la unidad de II nivel subsiguiente, con una tendencia meándrica.

Figura 5.32. Jerarquización de drenajes, Complejo Caño El Salado 2906-0104



5.2.2.5. *Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo-NSS (Cód. 2906-0105)*

Presenta una de las dinámicas hidrológicas más complejas, debido al intercambio recíproco de entradas y salidas que tienen lugar con el Río Magdalena y la Ciénaga Grande de Santa Marta ubicada en el costado oriental de la unidad hidrográfica. En la Figura 5.33, al extremo sur de la cuenca el Caño Aguas Negras, que se establece como la principal entrada de agua dulce, con un flujo en dirección SW-NE hasta el Caño Los Micos, sufriendo diversas bifurcaciones en patrón paralelo, para finalmente verter al complejo de Pajarales que integra el Complejo Lagunar Ciénaga Grande.

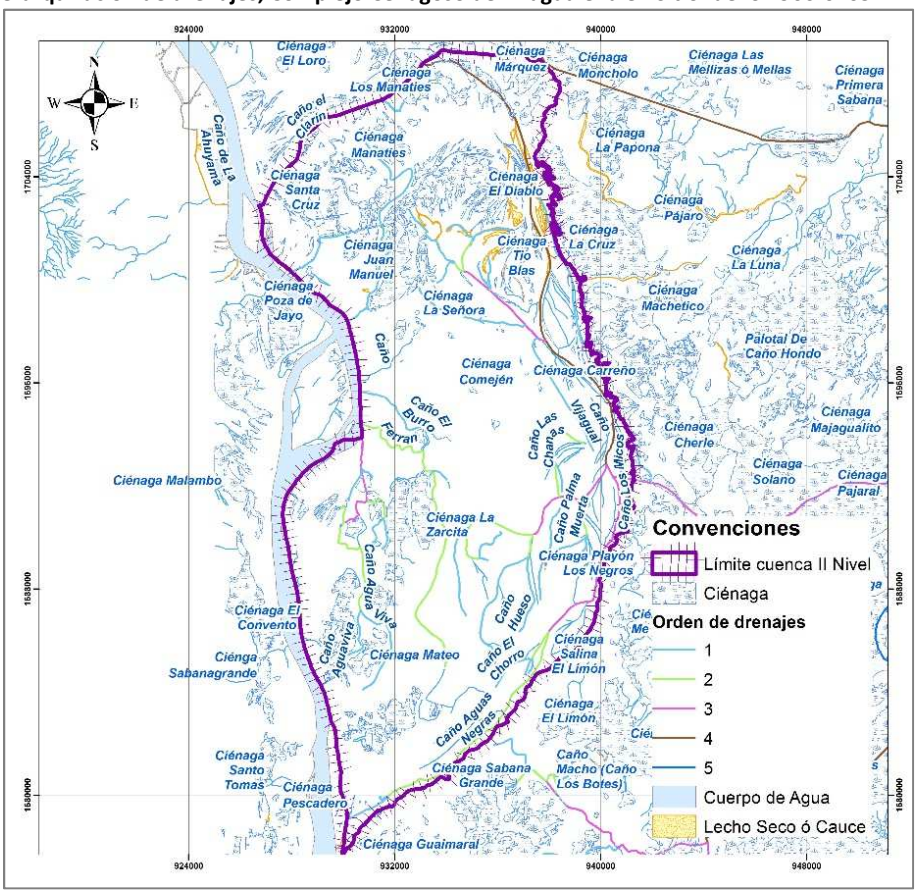
En sentido contrario a las manecillas del reloj, el agua continúa circulando por el cauce Caño Los Micos que al recibir las aguas de los Caños Vijagual y San Juan se adentra al complejo cenagoso, inundando cerca de 28,6 km^2 correspondientes a unas 179 ciénagas, aunque estas cifras pueden fluctuar de acuerdo con la época del año, encontrándose, kilómetros al Norte, con la ciénaga Los Manatíes -conexión temporal con el Caño El Clarín-, convirtiéndose en un canal de comunicación entre la Ciénaga Grande y el complejo cenagoso del Magdalena en Sitionuevo. En épocas de sequía el agua puede seguir circulando descargando de regreso al Río Magdalena.

El complejo Cenagoso del Magdalena en el municipio de Sitionuevo, ocupa 280,3 km^2 y su compleja red de drenaje le da el orden 4 a la unidad hidrológica de II nivel, con una longitud de cauce principal

estimada de 33,9 km, cabe señalar que, esta longitud es considerada de acuerdo a la tendencia del flujo al interior del complejo cenagoso y no establece una relación estática entre el Q de entrada y el tiempo de concentración al interior de la cuenca.

Ahora bien, nótese en la Figura 5.33 que la unidad hidrográfica presenta otros canales de intercambio entre el complejo cenagoso y el Río Magdalena dados por el Caño Limón al NW, Caño Remolino, Aguaviva, El Coco, El Burro y Ferrán al costado SW, sin embargo, según UAESPNN (2004), estos últimos se han colmatado, impidiendo la entrada que alimentaría las ciénagas localizadas al occidente de la cuenca. Finalmente, se tiene una compleja red de conexiones que drenan en un patrón paralelo con tendencia de SW-NE, dónde la mayoría de la oferta hídrica se encauza en una corriente levemente sinuosa con tendencia a alineamientos rectilíneos.

Figura 5.33. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo 2906-0105



5.2.2.6. *Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca-NSS (Cód. 2906-0106)*
Con intercambio directo de agua salada y aportes de agua dulce provenientes del Río Magdalena, se encuentra el Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca con una extensión de 134,3 km^2, incluida en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca.

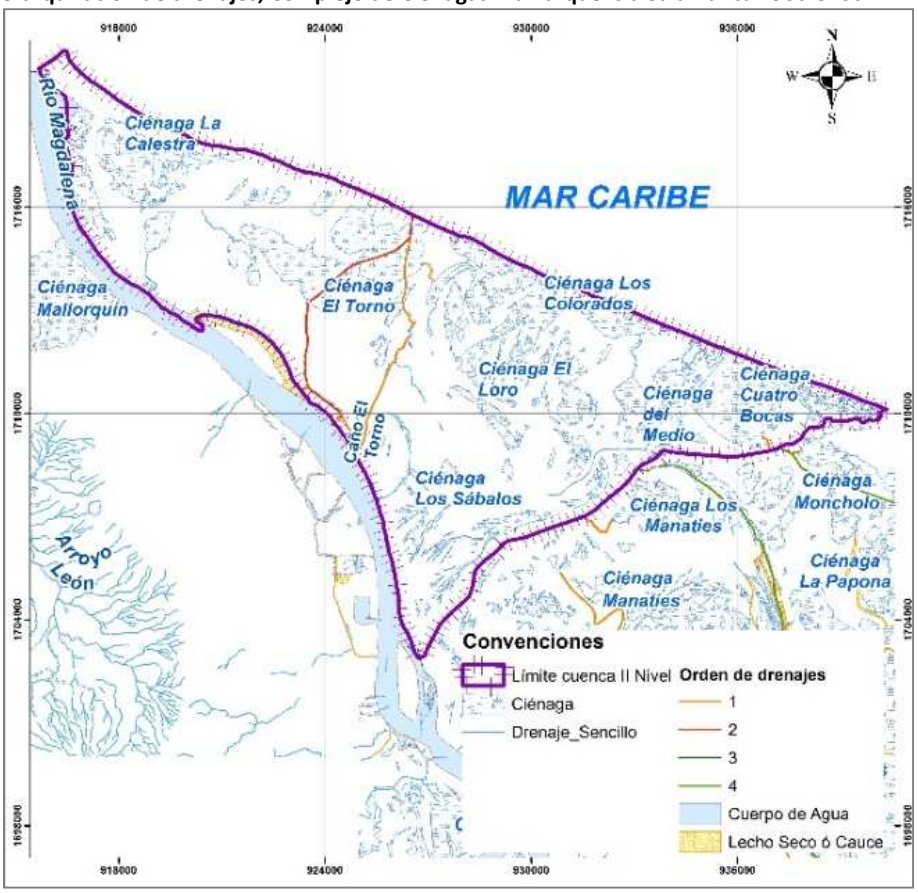
Con más de 35 km^2 en ciénagas, estas rigen la oferta hídrica de la cuenca, ubicada en el municipio de Sitionuevo; se ve claramente separada del sistema cenagoso de la Ciénaga Grande de Santa Marta por el Caño Clarín y el Caño Clarín Viejo al Sureste de la unidad hidrográfica.

A pesar que cuenta con el Caño El Torno y el Caño Los Almendros como canales directos que enriquecen los aportes al ecosistema cenagoso desde el Río Magdalena, directamente a las ciénagas El Menao y Poza Verde, respectivamente, esta unidad hidrográfica no clasifica para ser sometida a un análisis de red de drenaje, dado que el comportamiento hidrológico obedece a las relaciones armónicamente definidas entre el Mar, las ciénagas y el Río Magdalena. Por lo tanto, esta unidad hidrográfica presenta dinámicas propias de un estuario, explicado a partir de la entrada de agua salada que se da por fenómenos de intrusión marina en los suelos permeables, conjugada con entradas directas temporales en la Ciénaga Cuatro Bocas, La Atascosa y El Torno como lo confirma UAESPNN (2004).

Igualmente, el transporte de sales y minerales se ve facilitado superficialmente por las intrincadas conexiones entre el complejo cenagoso, como el Caño Medio que comunica la Ciénaga del Medio con la Ciénaga La Atascosa, contribuyendo adicionalmente a esta última con agua dulce en dirección Sur – Norte. Adicionalmente, al Sur de la Ciénaga Cuatro Bocas se estableció una conexión artificial desde el Caño El Clarín que atraviesa la Vía al Mar -similar al Caño Clarín Viejo, encontrado al Noreste-, alterando el equilibrio hídrico de la ciénaga; mientras que, en el costado Suroeste, el Caño Rosalba alimenta la Ciénaga de Las Playitas con aportes del Río Magdalena.

En conclusión, el Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca se nutre al Norte en mayor parte por los aportes marinos del Caribe presentados superficial y subsuperficialmente, en contraste con la actividad fluvial que alterna en las ciénagas del Sur del complejo, dónde el Río Magdalena y diversas alteraciones antrópicas impactan la unidad hidrográfica.

Figura 5.34. Jerarquización de drenajes, Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 2906-0106



5.2.2.7. *Complejo Lagunar Ciénaga Grande-NNS (Cód. 2906-0107)*

Con 1190,2 km^2, se establece la cuenca de segundo nivel más extensa del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. Reconocida por el Ministerio del Medio Ambiente (1998) en el Decreto 224 como humedal de importancia internacional RAMSAR y su declaración en la UNESCO como Reserva Mundial de la Biosfera en el año 2000, según lo establecido por la Cancillería colombiana. Esta se constituye como uno de los humedales más grandes del territorio nacional, como lo señala Danies (2011). Adicionalmente, se integra con el Santuario de fauna y flora Ciénaga Grande de Magdalena (resolución 0168 de 1977) y el Vía Parque Isla de Salamanca (resolución 0283 de 1985).

Es un sistema complejo constituido por una intrincada red de drenajes, caños, ciénagas, manglares y arrecifes, influenciados por la actividad oceánica del Atlántico; y que a su vez se relaciona con las cuencas de segundo nivel anteriormente descritas. Adicionalmente, como se indicó en el apartado "*DELIMITACIÓN DE LA CUENCA Y UNIDADES HIDROGRÁFICAS SUBSIGUIENTES"* el Complejo Lagunar recibe las aguas provenientes de las cuencas del Río Aracataca, Río Fundación, Río Tucurinca y Río Sevilla-Río Frío, que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta, conectados al costado oriental, establecen la principal entrada directa de agua dulce hacia la Ciénaga Grande UAESPNN (2011). No

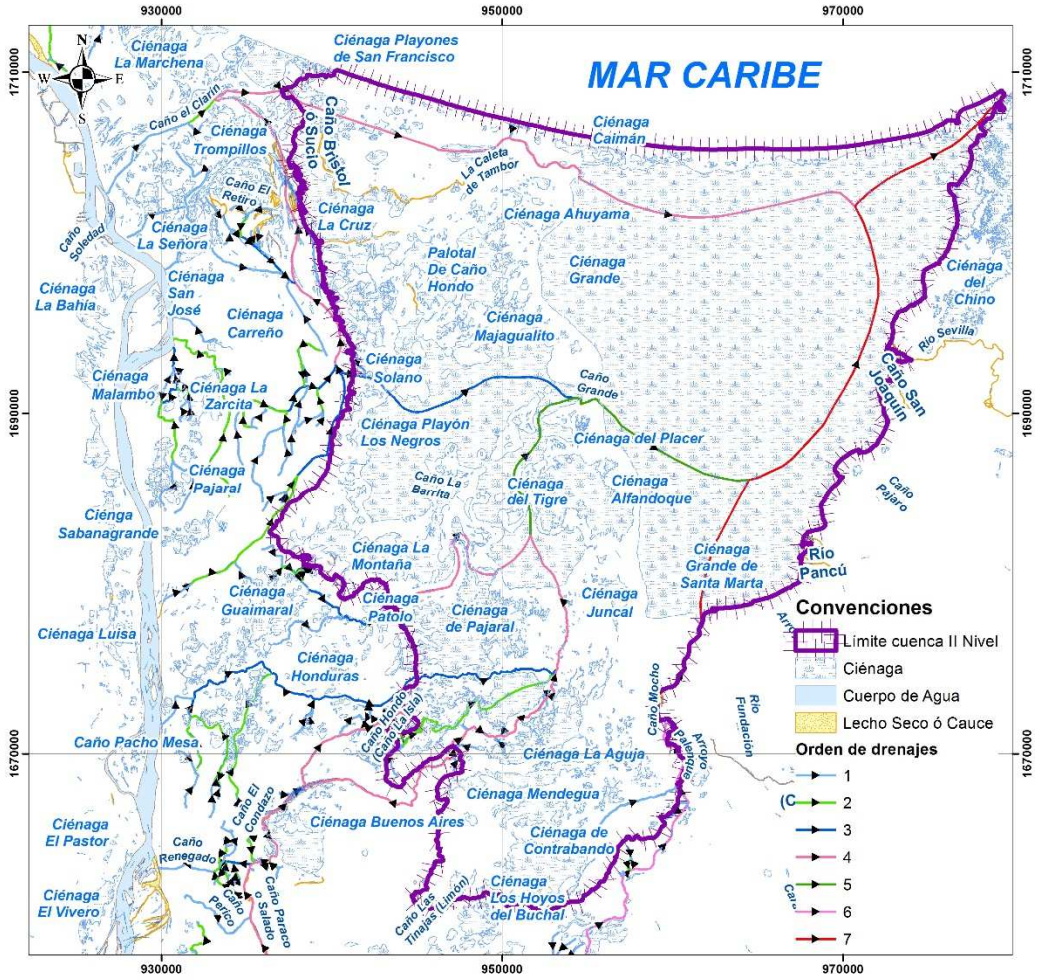
obstante, su dinámica hidrológica se ve mayormente perturbada por actividades antrópicas que alteran los regímenes de flujo, provocando desviaciones en el equilibrio de la concentración de sales en el recurso hídrico que sostiene la biodiversidad en la cuenca, como lo ha señalado detalladamente Múnera et al., (2003).

Debido a su naturaleza, no se considera procedente definir una red de drenaje que explique las entradas y salidas de la cuenca; en su lugar, se establecen en la Figura 5.35 las tendencias de la dirección de flujo del agua. A pesar que todas las cuencas que rodean el complejo lagunar presentan aportes al balance hídrico de la cuenca; Caño El Morro se considera como una de las entradas de mayor relevancia al interior del Complejo, encauzando las aguas de Caño Condazo provenientes del Complejo Humedal Buenavista, e ingresa en dirección SW-NE interactuando de manera directa con la Ciénaga Tamacal y la Ciénaga La Aguja por medio del Caño Los Puercos, hasta integrarse al complejo sistema de manglares que protegen la Ciénaga Grande.

Al costado Sureste se encuentra el Río Fundación, la segunda fuente de agua dulce que se presenta para la Ciénaga Grande, que suma las aguas del Arroyo Palenque -que tiene su nacimiento en el Santuario de Flora y Fauna y recibe los aportes del Caño Schiller- y rodea la cuenca, atravesando cerca de 7 km para desembocar en la Ciénaga Grande. En el extremo Noreste, en inmediaciones de los centros poblados del municipio de Puebloviejo, el Mar Caribe hace contacto directo con la Ciénaga Grande de Santa Marta a través de la Boca de la Barra, como se ilustra en la Figura 5.36, limitado por la flecha costera e influenciada por la dinámica de oleaje.

Siguiendo hacia el Noroeste, se hayan el Caño Hondo, Caño Tambor y el Caño Bristol o Sucio, como principales conexiones que descargan las aguas en dirección W-E, interceptando el Caño El Clarín, para posteriormente integrarse al complejo de Pajarales y a su vez alimentar la Ciénaga Grande.

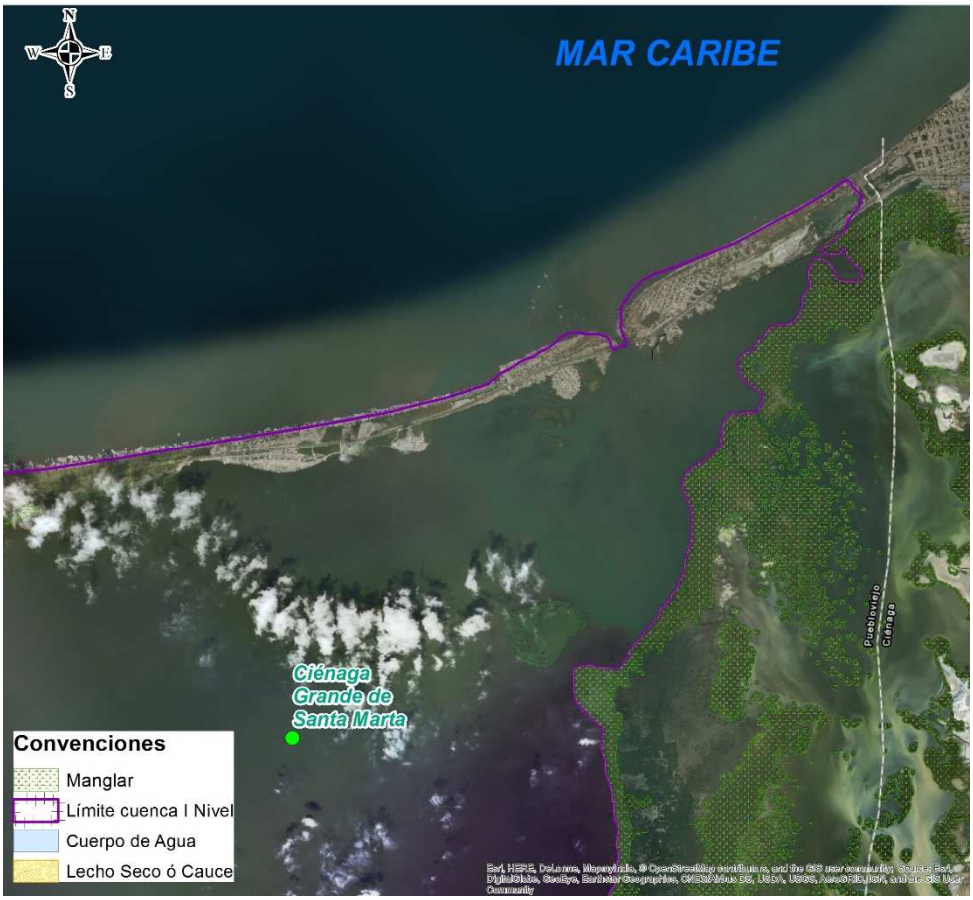
Figura 5.35. Jerarquización de drenajes, Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-0107



Al Occidente, se encuentra el Caño Los Micos, que lleva las aguas de la cuenca Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo 290601-05, directamente hacia la Ciénaga Mendegua en dos puntos: al Norte siendo mediado el intercambio por el corredor de manglares y al Sur dando origen al Caño de Los Horranos.

Finalmente, esta es una cuenca de II Nivel que difícilmente puede ser analizada de manera aislada a las demás cuencas que la rodean; debido a la altísima complejidad hidrológica de la región, presenta un sinnúmero de frágiles conexiones que dan lugar al sistema "Delta Estuarino del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta" reglamentado como humedal de importancia internacional por el Ministerio del Medio Ambiente (1998), y que sirve de abastecimiento y soporte para las poblaciones de los municipios de El Piñón, Salamina, Remolino, Sitionuevo, Pivijay, Pueblo viejo y el extremo norte de Cerro de San Antonio.

Figura 5.36. Localización del punto de entrega de la Ciénaga Grande de Santa Marta en la Boca de la Barra



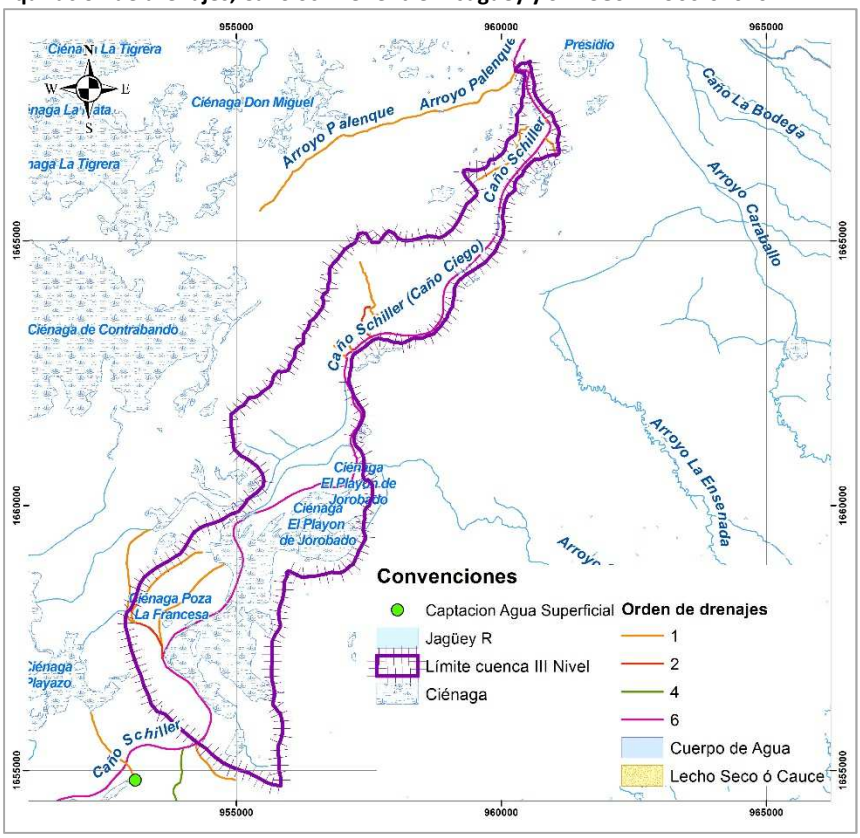
5.2.3. Unidades hidrográficas tercer nivel subsiguiente.

A continuacion se realiza la descripción hidrográfica de cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente de la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

5.2.3.1. *Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM-NSS (Cód. 2906-010101)*

Ubicada al extremo Noreste de la unidad Caño Schiller, tiene una extensión de 26 km^2 y se presenta como la unidad hidrográfica más pequeña al interior del Complejo de Humedales, su red de drenaje se limita al Caño Schiller y unos escasos tributarios de carácter intermitente. Con una característica a largada, el Caño Schiller recorre unos 18,2 km en un patrón meándrico leve, alimentando a su paso, en primera instancia a la ciénaga Poza la Francesa y El Playón de Jorobado como se muestra en la Figura 5.37.

Figura 5.37. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM 2906-010101



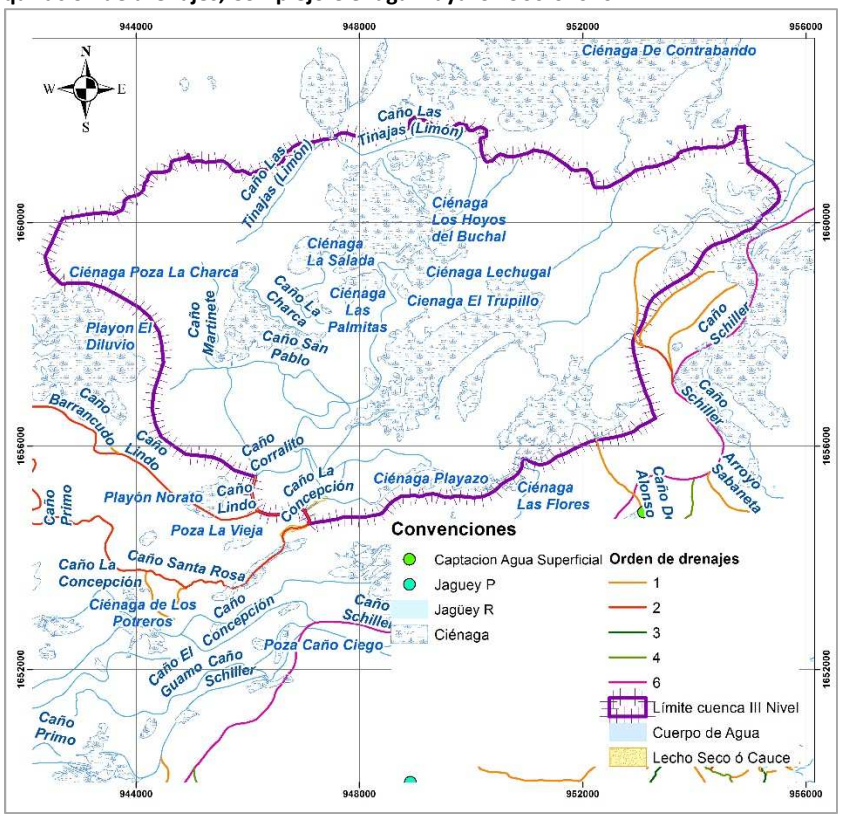
5.2.3.2. *Complejo Ciénaga Playazo-NSS (Cód. 2906-010102)*

Se extiende 78,3 km^2 al norte de la unidad hidrográfica II Nivel Caño Schiller y constituye un Complejo cenagoso alimentado principalmente por el Caño La Concepción y Caño Corralito que captan las aguas desde las ciénagas La Burra y Playón Norato que fluyen en dirección SW-NE.

En la Figura 5.38 se observa una enrevesada red de caños que conectan inicialmente la Ciénaga Playazo con las Ciénagas el Trupillo, Lechugal, Los Hoyos del Buchal, Las Palmitas, La Salada y Poza La Charca. No obstante, la unidad hidrográfica presenta conexiones directas desde y hacia el Caño Schiller por medio del Caño La concepción y otros de carácter intermitente.

Para la presente unidad, no se discrimina su red de drenaje, ni su cauce principal, al considerar su dinámica hidrológica característica de un cuerpo léntico, gracias a sus 11,5 km^2 de ciénagas que ocupan cerca del 44% de su extensión.

Figura 5.38. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga Playazo 2906-010102



5.2.3.3. *Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey-NSS (Cód. 2906-010103)*

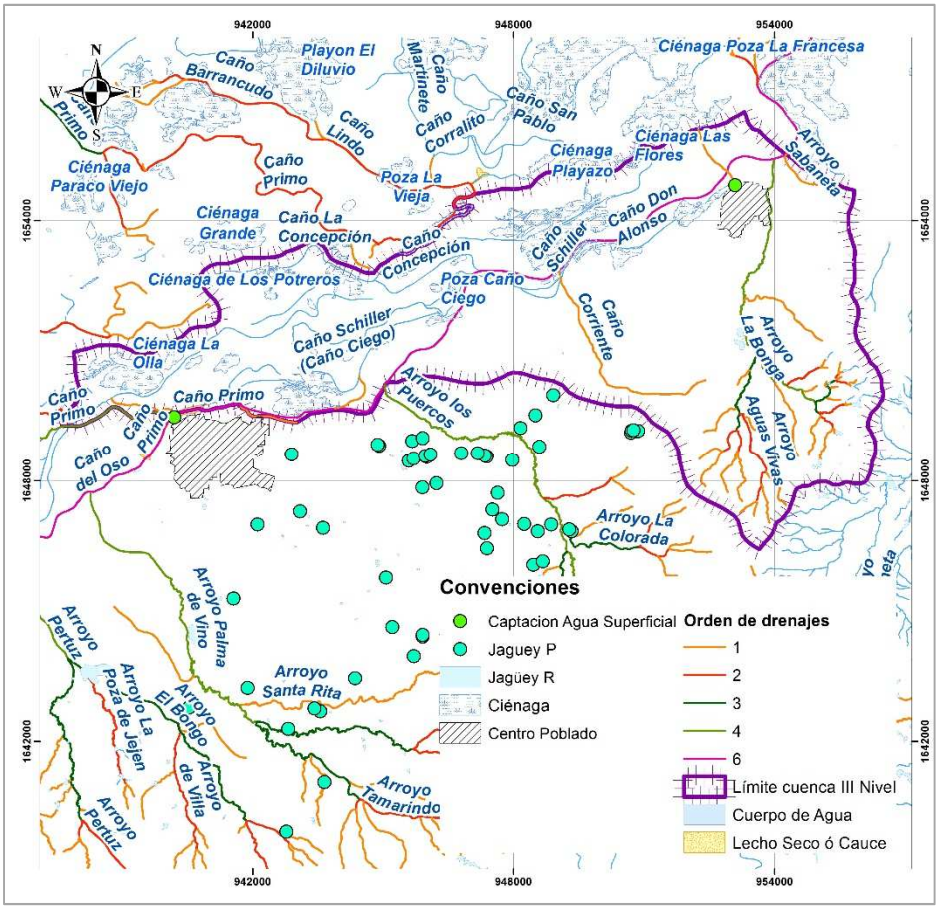
Ubicada al extremo Noreste de la unidad hidrográfica II Nivel Caño Schiller, ocupa 85,1 km^2 y es drenada por el Caño Schiller en dirección SW-NE que le da el orden 6, con un recorrido aproximado de 15,9 km; alimenta a su paso la Ciénaga Poza Caño Ciego en un patrón de drenaje paralelo, adicionalmente recibe los aportes del Caño corriente y los arroyos La Bonga y Aguas vivas que nacen al Sureste y tienen un patrón de drenaje dendrítico.

Al costado Oeste, La Ciénaga La Olla conectada por el Caño Palma de vino se comunica aguas arriba con la Ciénaga Los Potreros y esta a su vez por el Caño La Concepción hacia la Ciénaga Playazo, con una tendencia de flujo en dirección SW-NE, paralelo a la red de drenaje del Caño Schiller.

En la Figura 5.39 se identifica al interior de la cuenca el centro poblado Media Luna perteneciente al municipio de Pivijay que se abastece con una captación de aguas alimentada por el Caño Don Alonso -tributario al Caño Schiller- y el Arroyo La Bonga que rodea el costado Este del asentamiento.

Finalmente, el Caño Schiller -meándrico leve en la mayoría de su recorrido- se ve interceptado por el Arroyo Sabaneta para inmediatamente fluir a la Ciénaga Poza La Francesa.

Figura 5.39. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey 2906-010103

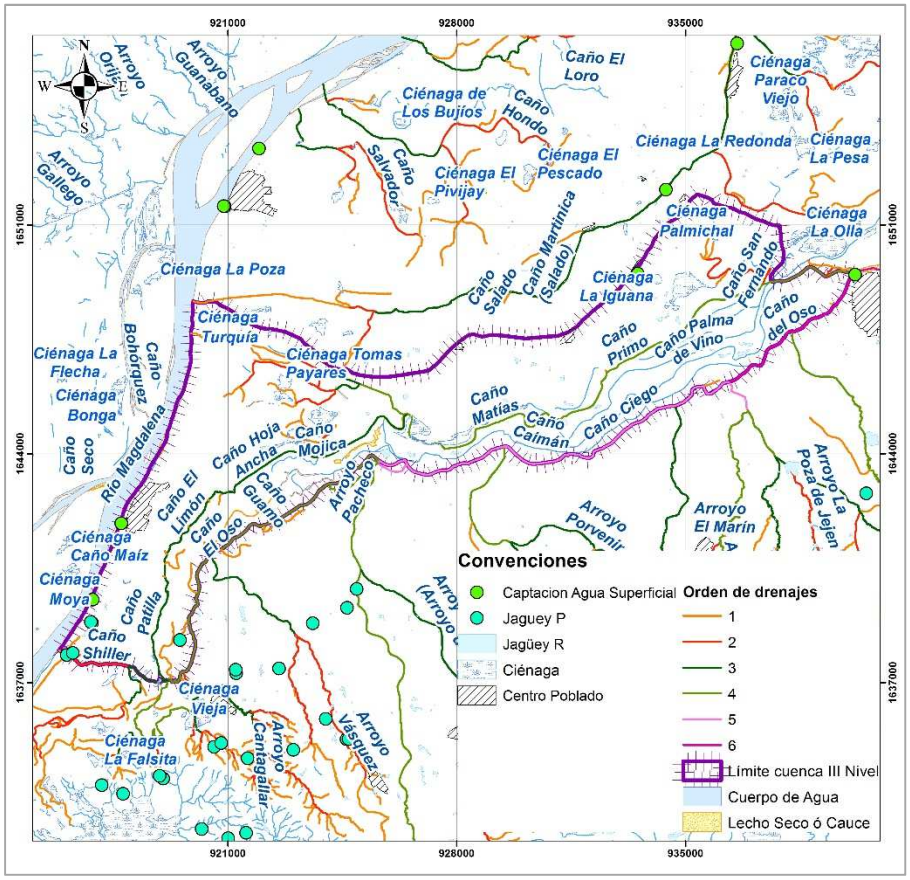


5.2.3.4. *Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma-NSS (Cód. 2906-010104)*
Alimentado por el Río Magdalena, el Caño Schiller nace para posteriormente convertirse en el Caño El Oso, con una red de drenaje paralela y un alineamiento meándrico, fluye en sentido SW-NE, recorre una distancia de 34,35 km, bordeando la unidad hidrográfica y nutriendo a su paso al Caño Guamo, Caño Patilla, Caño el Limón y el Caño Hoja Ancha que alimenta la Ciénaga de Tuto, entre otros.

La unidad hidrográfica presenta otras entradas desde el Río Magdalena superficiales y subsuperficiales como la ciénaga Los Palmitos y el Caño San Vicente Caballero al Noroeste que ingresa a la Ciénaga El Silencio y Tomas Payares para posteriormente unirse al Caño Mojica y drenar hacia la Ciénaga de Tuto.

En la Figura 5.40 se identifican cinco captaciones al costado Oeste de la unidad hidrográfica sobre el Río Magdalena que alimentan a los acueductos veredales en cercanías al asentamiento de El Piñón, que disminuyen las entradas de agua dulce hacia la unidad hidrográfica. Adicionalmente, al Noreste una captación de uso agrícola se ubica en cercanías a las ciénagas La Iguana y Palmichal.

Figura 5.40. Jerarquización de drenajes, Caño Schiller entre el río Magdalena y La Loma 2906-010104



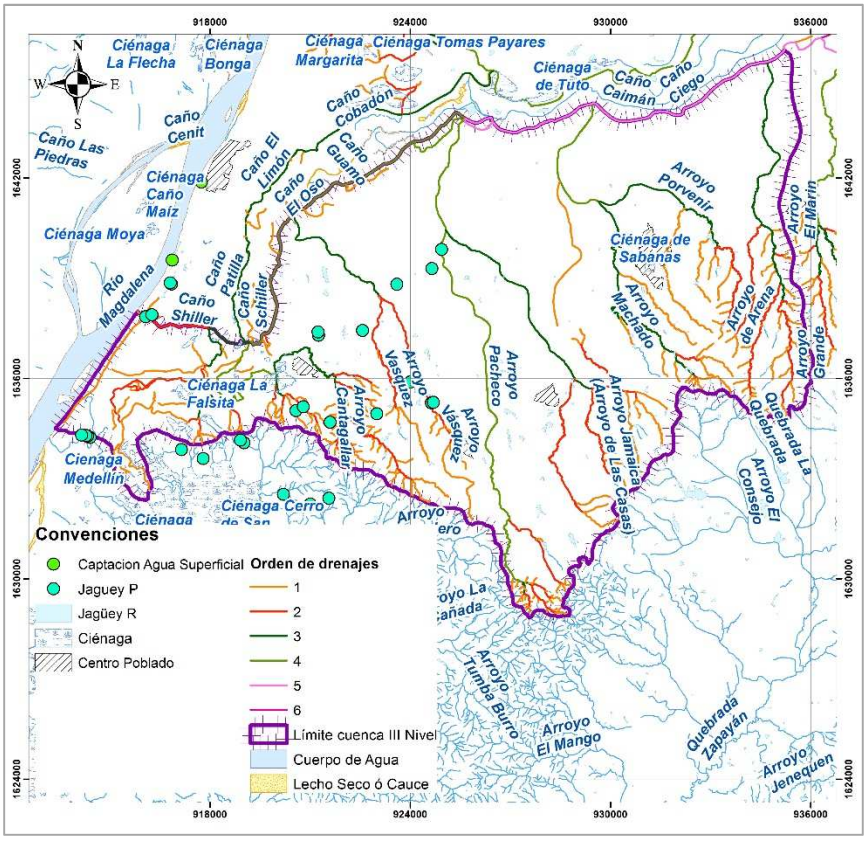
5.2.3.5. *Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller-NSS (Cód. 2906-010105)*

Esta unidad hidrográfica presenta dos comportamientos particulares en su dinámica hidrológica, según la Figura 5.41, el sur de la cuenca se caracteriza -debido a su elevación- por el nacimiento de los arroyos Cantagallar, Vásquez, Pacheco, Jamaica, Porvenir y Arena, que abastecen a las poblaciones de Cantagallar, Vásquez, Tiogollo y Sabanas. Mientras que el Noroeste y Noreste, dónde el río Magdalena da origen al Caño Schiller o Caño el Oso que bordean la unidad hidrográfica en un patrón paralelo y en un alineamiento méandrico, influenciado por el relieve plano.

Ahora bien, el cauce principal nace en la cabecera más alejada -nacimiento del Arroyo Pacheco-, desciende 61,5 msnm en dirección S-N, para unirse al Caño El Oso -aguas arriba Caño Schiller- cambiando su dirección de flujo de SW-NE, para recorrer finalmente 29,4 km y otorgarle el orden 5 a la unidad hidrográfica.

Cabe señalar que, gracias a la pendiente leve que presenta esta unidad hidrográfica y sus asentamientos humanos, el comportamiento hidrológico se ve alterado al ser favorable la desviación de los cauces naturales para alimentar cerca de 187 jagüeyes (cuerpos de agua artificiales) que sustentan la demanda del recurso.

Figura 5.41. Jerarquización de drenajes, Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller 2906-010105



5.2.3.6. *Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos (Cód. 2906-010106)*

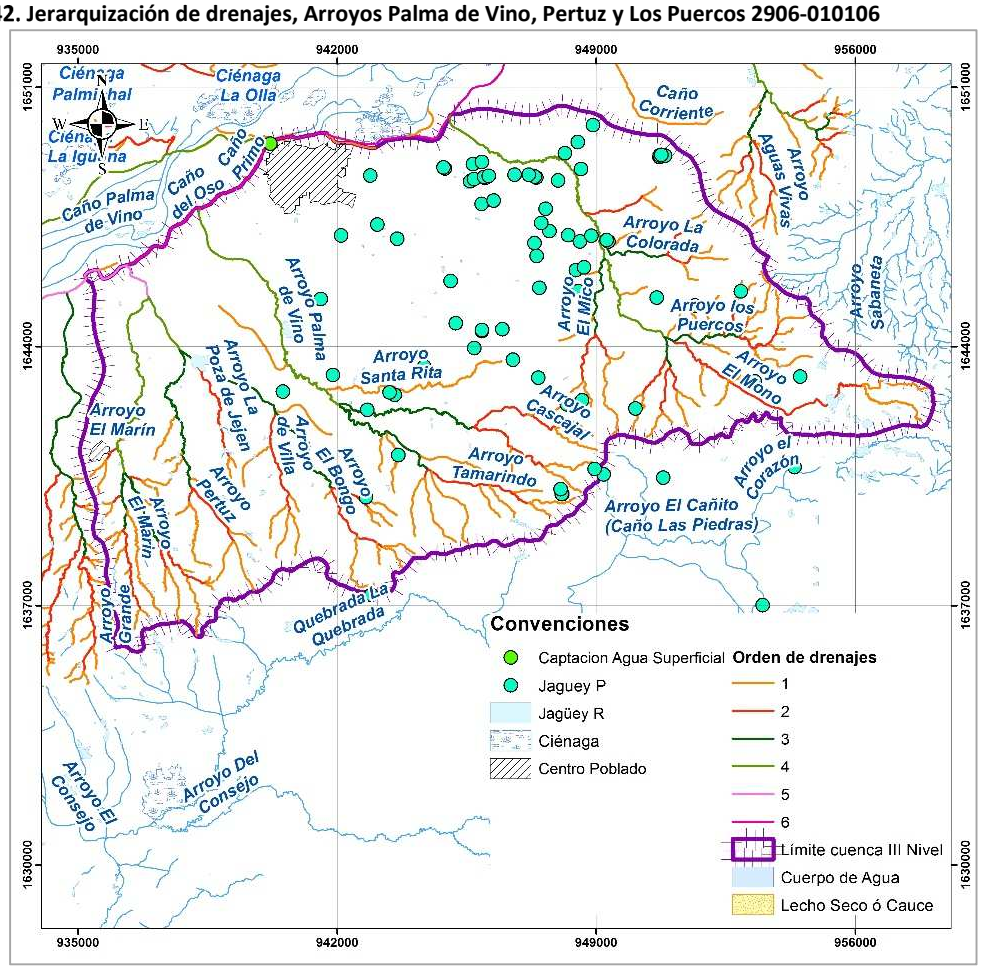
Se encuentra al extremo sureste de la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta que se extiende 195,8 km^2, es una de las unidades hidrográficas de III Nivel de mayor superficie. Su cauce principal inicia en el Arroyo Tamarindo, convirtiéndose aguas abajo en el Arroyo Palma de vino con un alineamiento meándrico en dirección S-N, desemboca sus aguas al Caño El Oso y este al Caño Primo que fluyen hacia el Noreste, recorriendo 22 km hasta la ciénaga La Olla.

Obsérvese en la Figura 5.42, al interior de la cuenca se ubica el casco urbano del municipio de Pivijay, el cual se abastece a partir de una captación de agua sobre el Caño Schiller para el acueducto veredal, adicionalmente en la unidad hidrográfica se presenta una captación para riego en la parte alta del Arroyo Los Puercos.

Cabe señalar que, el número de jagüeyes al interior de la unidad hidrográfica asciende a más de 198, las implicaciones de estas intervenciones antrópicas incluyen, alteraciones en la dinámica hidrológica dado por la desviación de agua hacia los predios, erosión de los suelos y desabastecimiento aguas abajo de las captaciones.

En conclusión, la cuenca Arroyos Palma de Vino, Pertúz y Los Puercos, presenta una red de drenaje dendrítica -altamente intervenida, de media densidad en la parte alta, estableciendo para la unidad hidrográfica el orden 6.

Figura 5.42. Jerarquización de drenajes, Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos 2906-010106



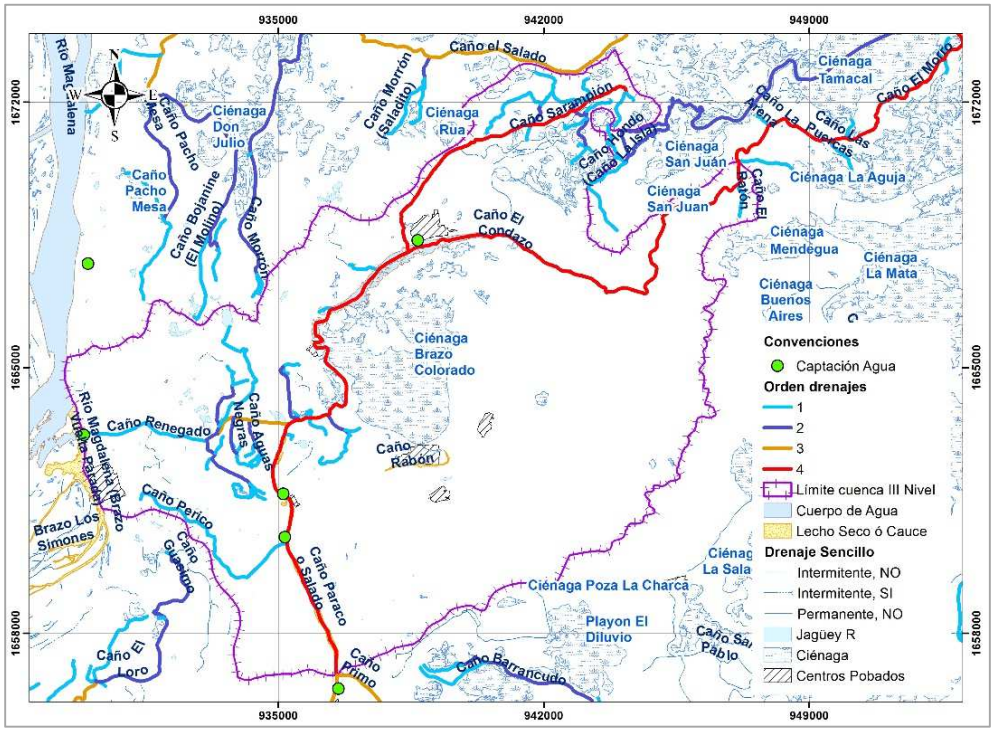
5.2.3.7. *Complejo Ciénaga de Buenavista-NSS (Cód. 2906-010301)*

Ubicada al costado derecho del Río Magdalena a la altura del Brazo Vuelta Parada, alberga el centro poblado de Guáimaro del municipio de Salamina, al igual que San Rafael de Buenavista y Santa Rita, pertenecientes al municipio de Remolino, como se observa en la Figura 5.43. Se extiende 163 km^2 y se clasifica como una de las unidades más grandes de III Nivel subsiguiente.

El Caño Renegado es su principal entrada desde el Río Magdalena, recorre aproximadamente 9 km hasta desembocar en dirección W-E a la Ciénaga Buenavista (Brazo Colorado). Para esta unidad hidrográfica la red de drenaje no se encuentra discriminada, debido a su baja densidad, es así como la dinámica hidrológica corresponderá a la del complejo único ciénaga Buenavista (Brazo Colorado).

Al interior de la unidad hidrográfica se localizan 9 captaciones, principalmente en el Caño Paraco o Salado, Renegado y Condazo que nutren los acueductos veredales. Adicionalmente, la población de Santa Rita del municipio de Remolino se ve rodeada por el Caño Sarampión que nace al extremo Noreste de la cuenca y se encuentra con el Caño El Condazo que recorre unos 12,4 km antes de ser interceptado por el Caño El Socorro para luego desembocar en el Caño El Morro kilómetros aguas arriba.

Figura 5.43. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga de Buenavista 2906-010301



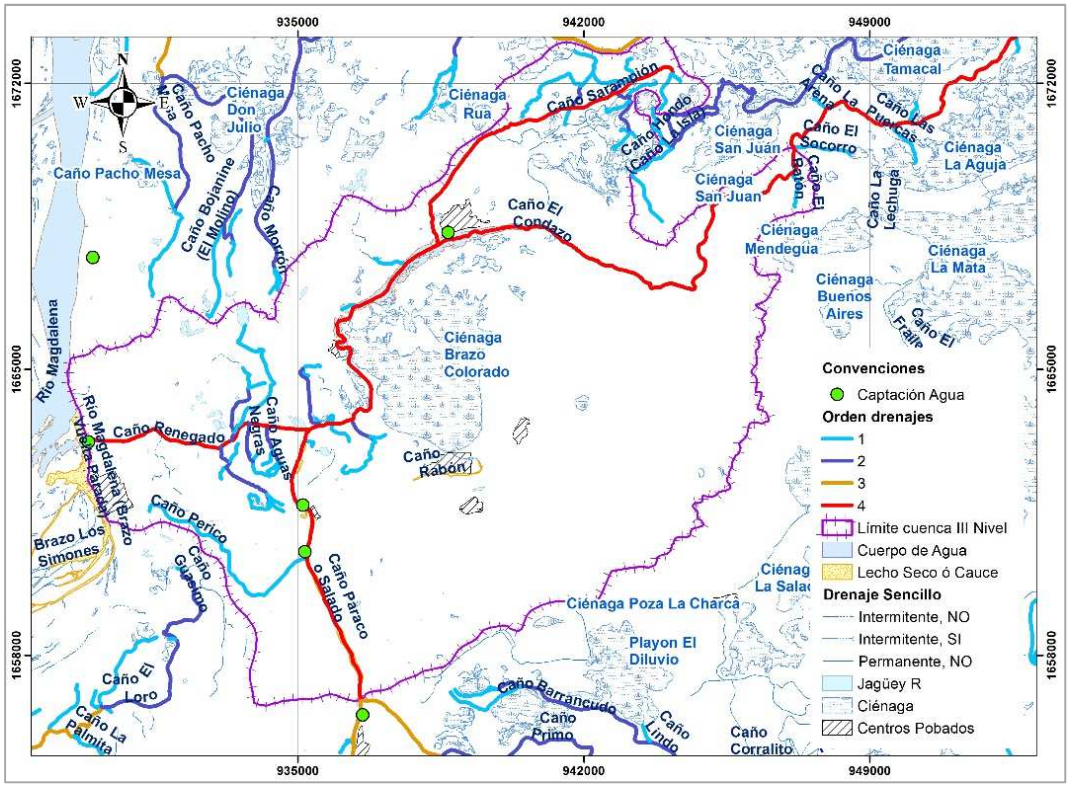
5.2.3.8. *Complejo Ciénaga El Diluvio-NSS (Cód. 2906-010302)*

Abarca la parte sur de la unidad hidrográfica II Nivel Complejo Humedal Buenavista, presenta una dirección de flujo predominante SW-NE, está constituida por una sencilla red que drena en patrón paralelo y dónde su cace principal de naturaleza meándrico leve -Caño Martinica (Salado)- recorre unos 24 km, otorgándole el orden 3.

La Ciénaga Playón El Diluvio, se ubica al extremo Noreste de la unidad hidrográfica, ésta presenta dos conexiones importantes, por medio del Caño Lindo que desemboca sus aguas hacia la cuenca Complejo Ciénaga Playazo y al Caño Martinica por medio de flujos intermitentes y permanentes como El Caño Barracudo hacia la Ciénaga Paraco Viejo y esta al Caño Martinica (Salado).

Cabe resaltar que, el Caño Martinica (Salado) se ve intervenido a la altura del centro poblado Carmen del Magdalena (Paraco) por una captación de aguas que alimenta el acueducto veredal, ésta precedida por tres bocatomas que recogen agua para los asentamientos Julepe, El Salao y La Lomita.

Figura 5.44. Jerarquización de drenajes, Complejo Ciénaga El Diluvio 2906-010302



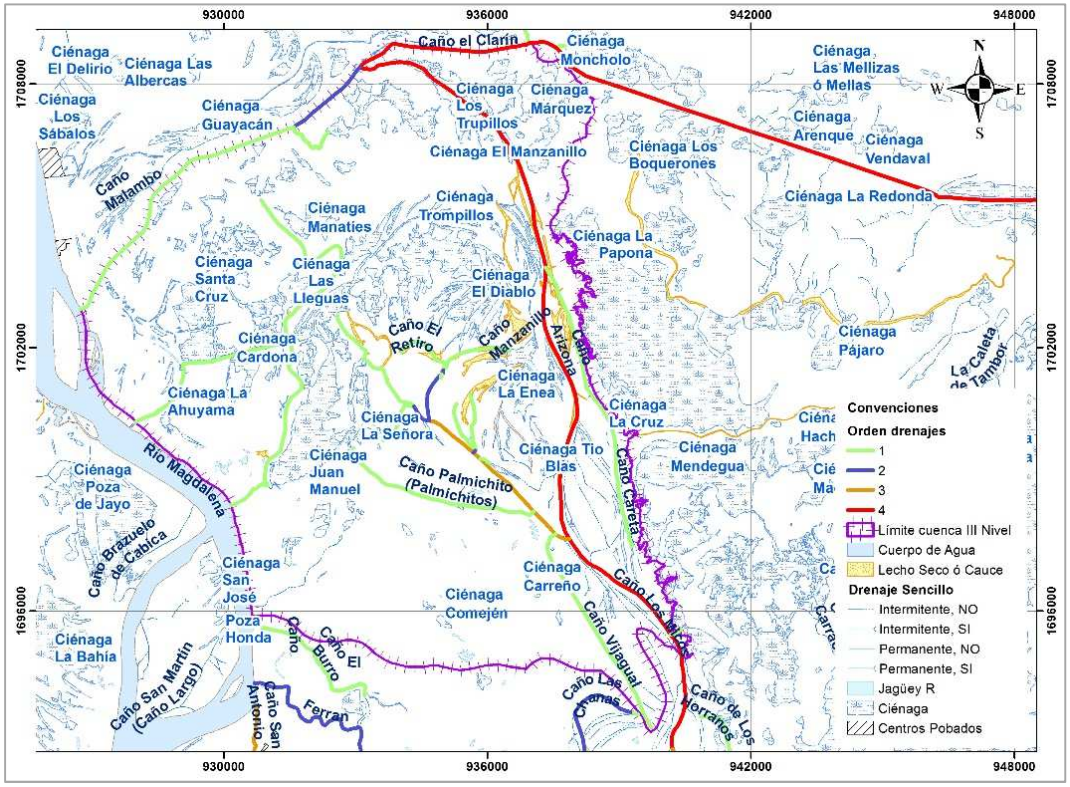
5.2.3.9. *Complejo Cenagoso-Sector Palermo-NSS (Cód. 2906-010501)*

Tiene una superficie de 130,3 km^2, bordea el Río Magdalena en su margen derecha, unos 8,5 km, desde la Ciénaga San José ubicada al Suroeste, hasta el Caño Clarín por el Noroeste. Conecta superficialmente con el Río Magdalena por el Caño Pendejito -conectando con la Ciénaga Juan Manuel-, el Caño Limón que atraviesa la Ciénaga Cardona y el Caño Clarín que conecta con la Ciénaga Grande.

El cauce principal de la unidad hidrográfica se caracteriza por adentrarse en un complejo cenagoso y ramificarse en un patrón paralelo, comienza al Sur con el Caño Los Micos (aguas arriba del Caño Los Horranos), ingresa como drenaje de orden 4, alternándose entre el Caño Arizona y la Ciénaga Los Trupillos, para verter al Caño Clarín a la altura de la Ciénaga Los Manatíes. A su paso esta corriente alimenta la Ciénaga La Puerta, Los Trompillos y el Caño San Juan que se ramifica para nutrir una segunda ramificación, compuesta en primera instancia por las Aguas del Caño Vijagual, Palmichito, Los Cachos, Campanita, El Brujo, El Retiro y El Tigre. Éstos últimos integran las ciénagas de Tío Blas, La Enea, El Diablo, Las Lleguas y La Señora, conexiones que fluctúan de acuerdo a la estacionalidad, mientras que en épocas de lluvias tiende a sumarse al Complejo de Pajarales en la Ciénaga Grande, en tiempos de sequía podría invertirse su flujo, aumentando los contenidos de sales por la entrada de agua de mar a través del complejo lagunar de la Ciénaga Grande.

Debido a la dinámica que presenta la corriente principal, su patrón de alineamiento puede presentar grandes fluctuaciones pasando de meándrico a trenzado.

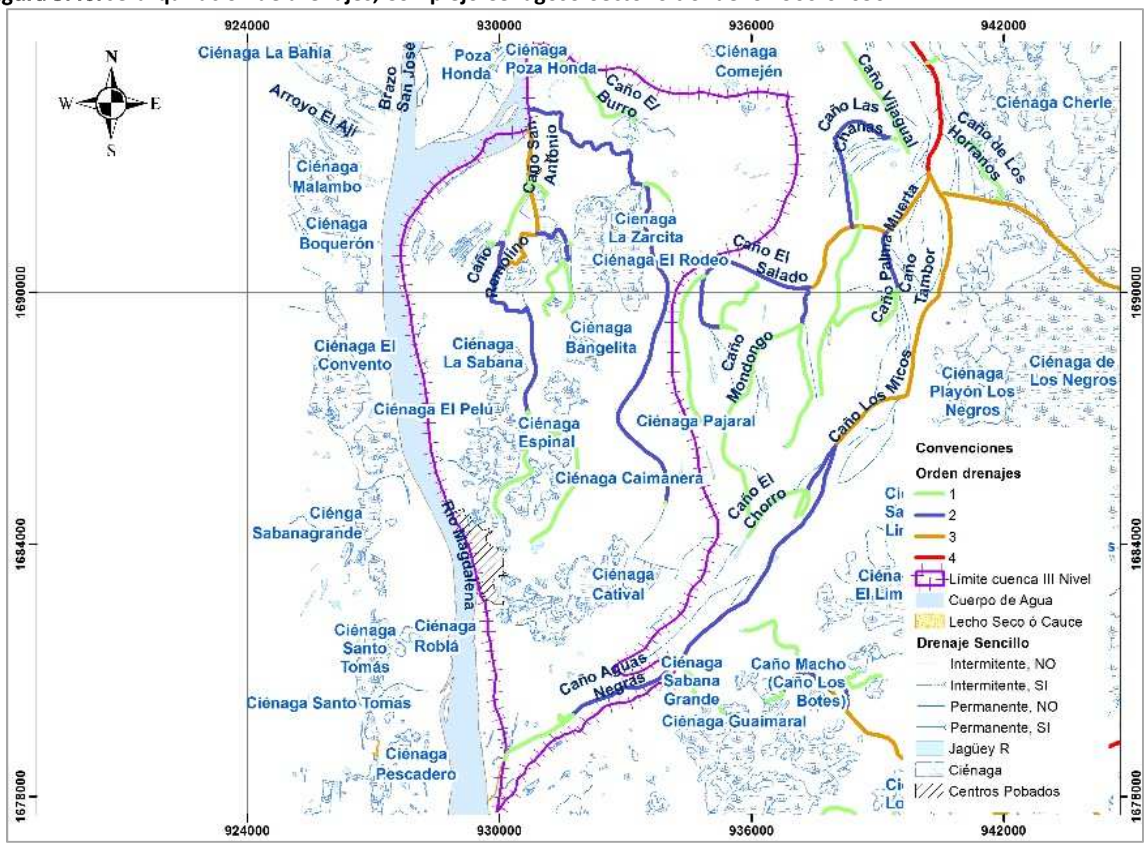
Figura 5.45. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso-Sector Palermo 2906-010501



5.2.3.10. *Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo-NSS (Cód. 2906-010502)*

Ubicada al extremo Suroeste de la unidad hidrográfica "Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo", se extiende 94,4 km^2 y su corriente principal se nutre esencialmente de las ciénagas La Avena, El Pelú, La Sabana y El Purgatorio; mientras que combina los Caños Agua viva, Remolino y San Antonio, recorriendo 11,8 km. Se caracteriza por drenar en dirección S-N hacia el Río Magdalena, albergar la cabecera del municipio de Sitionuevo y por su red de drenaje escasa que se limita a unos pocos drenajes meándricos que le dan el orden 3.

Figura 5.46. Jerarquización de drenajes, Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo 2906-010502

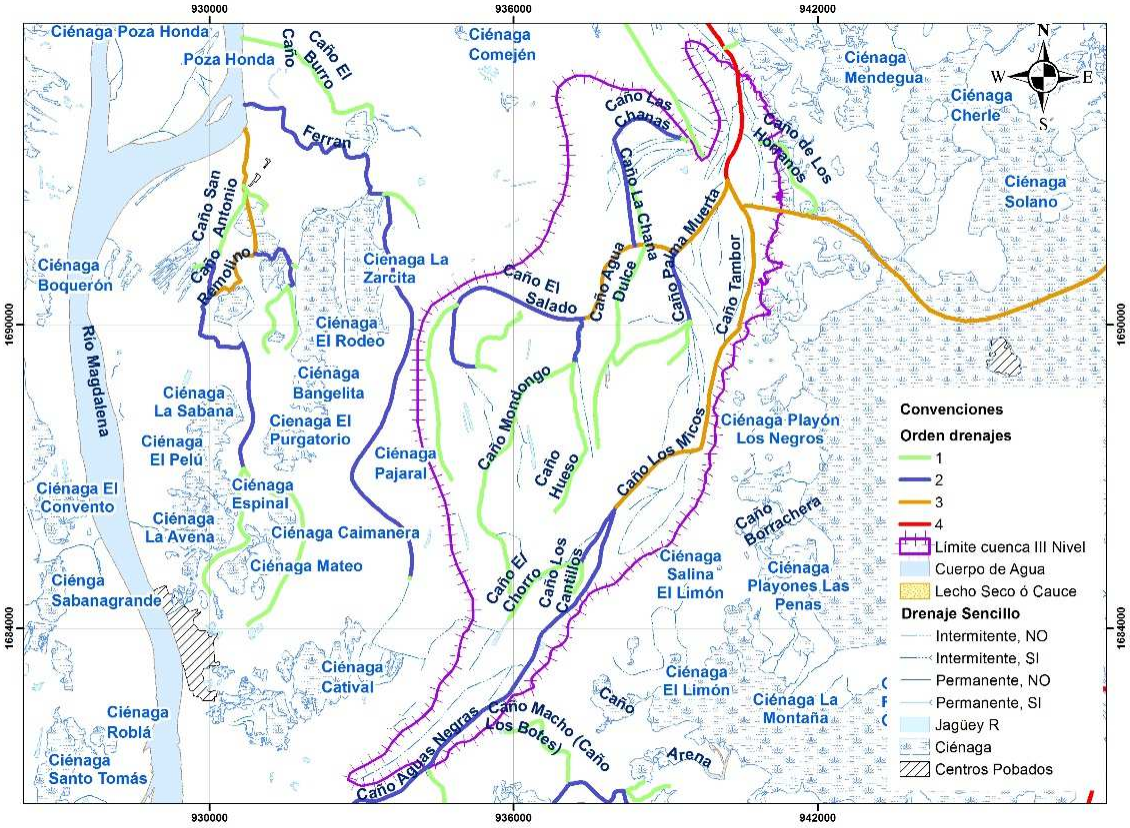


5.2.3.11. *Caño Los Micos-NSS (Cód. 2906-010503)*

Con 55,6 km^2 se extiende la segunda más pequeña unidad hidrográfica de III Nivel, caracterizada por una red de drenaje paralela de baja densidad y un escaso número de ciénagas. Presenta un cauce principal de corto alcance de 16,6 km que inicia en el Caño Aguas Negras, sumando las aguas de los Caños Cantillos y El Chorro, se convierte en el Caño Los Micos y posteriormente Caño Tambor, con una salida directamente hacia la Ciénaga Solano en el Complejo de la Ciénaga de Pajarales -que forma parte del Complejo lagunar de la Ciénaga Grande por el Caño Los Horranos.

Al costado Oeste, se presenta una ramificación en dirección SW-NE que inicia con Caño Mondongo, Caño Hueso y Caño El Salado, conjugándose para dar lugar al Caño Palma Muerta que desembocará en el Caño Tambor, es así como la cuenca recibe el orden 4 en la jerarquización de drenajes como se ve en la Figura 5.47.

Figura 5.47. Jerarquización de drenajes, Caño Los Micos-NSS 2906-010503



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 microcuencas o unidades de tercer nivel subsiguiente, analizado en el numeral 5.2 del presente capitulo.

5.3.1. Datos morfométricos por subcuencas

En la Tabla 5.5 se describen los datos morfométricos de las unidades hidrográficas abastecedoras de centros poblados de la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 163 Km^2, siendo esta la microcuenca Complejo Cienaga de Buenavista, la más pequeña apenas cuenta con un área de 85 km^2, correspondiente Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey siendo esta la aproximadamnte la mitad del área de la primera

Datos morfométricos

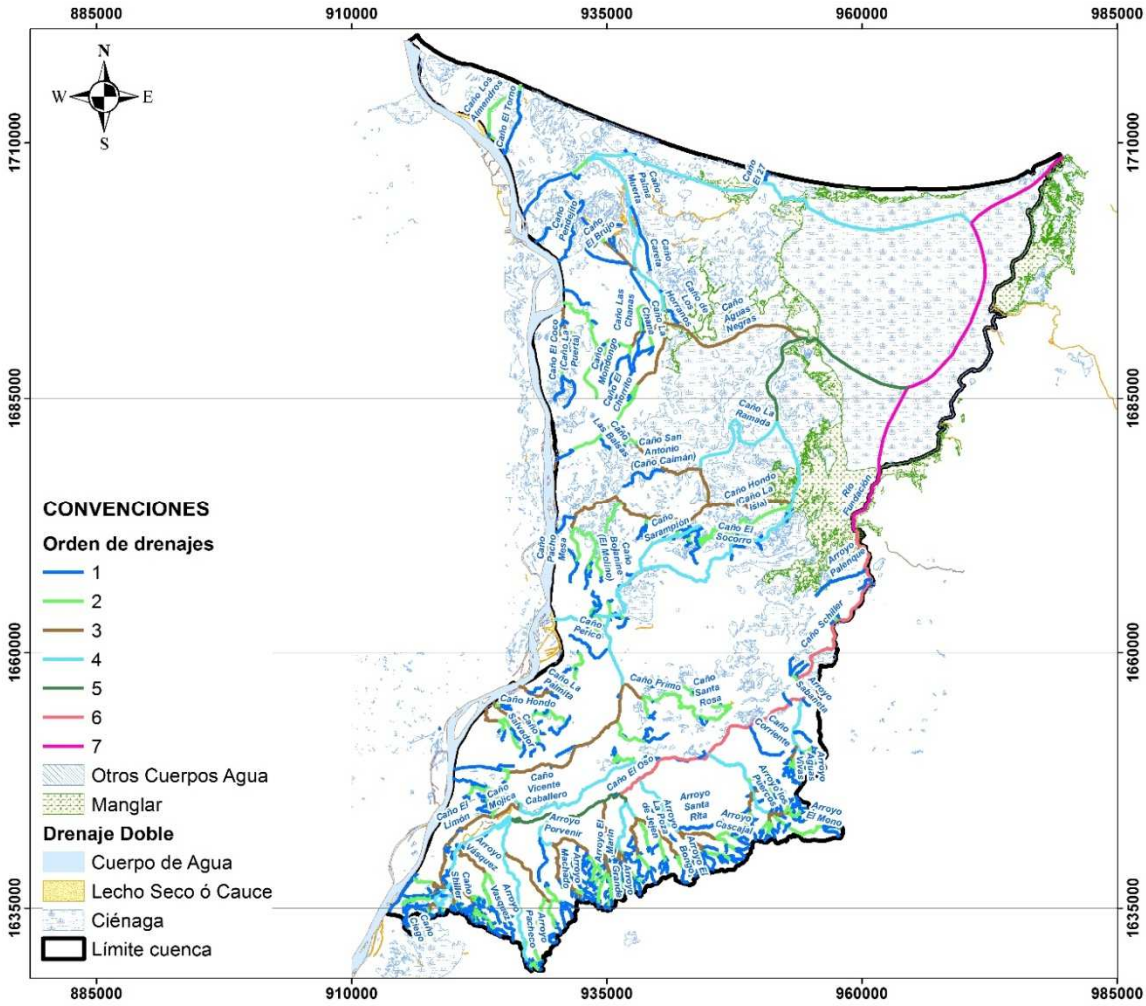
Unidades abastecedoras de centros poblados Segundo nivel subsiguiente.		Área	Perímetro	Longitud Axial	Ancho	Índice Gravellius	Coeficiente De Forma
Código	**Nombre**	**Km²**	**Km**	**Km**	**Km**	**Kc**	**Kf**
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	85,1	55,0	17,8	4,8	1,7	0,3
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	104,0	71,2	26,9	6,9	2,0	0,3
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	195,8	70,0	18,0	5,8	1,4	0,3
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	91,1	44,1	6,1	15,0	1,3	2,5
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	163,0	72,7	19,0	8,6	1,6	0,5
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	108,5	70,5	18,1	6,0	1,9	0,3
2906-010400	Complejo Caño El Salado	162,2	66,0	15,4	10,6	1,5	0,7
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	130,3	65,1	15,8	8,3	1,6	0,5
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	134,3	67,7	15,5	8,7	1,6	0,6

5.3.2. Jerarquización del drenaje

Como se explico en el capitulo de morfometría para la cuenca “2906-01” el relieve, la influencia de la zona costera y la dinámica de la cuenca baja del Río Magdalena determina el orden de los drenajes.

En la Figura 6.4 se encuentra la jerarquización de la red de drenaje analizada donde podemos ver que la cuenca no presenta cauces de primer orden en gran proporción. Como se menciono anteriormente se ha integrado el Río Fundación, presente al costado derecho de la cuenca, con una estimación en el orden 7 que finalmente alimentan a la Ciénaga Grande de Santa Marta y le dan el este orden a la cuenca.

Figura 5.48. Orden de drenajes


885000
910000
935000
960000
985000
1710000
1685000
1660000
1635000
N
W
E
S
CONVENCIONES
Orden de drenajes
1
2
3
4
5
6
7
Otros Cuerpos Agua
Manglar
Drenaje Doble
Cuerpo de Agua
Lecho Seco ó Cauce
Ciénaga
Límite cuenca

En la Tabla 6.17, se relacionan el número de entidades presentes en la cuenca según su orden, los valores recopilados a continuación obedecen a las corrientes segmentadas de acuerdo a los cruces entre la red de drenaje.

Orden de drenajes

Orden de drenajes	Número de drenajes
1	560
2	600
3	429
4	352
5	50
6	108
7	21

5.3.3. Patrón de alineamiento.

Como se observa en la Tabla 5.7 los drenajes de la cuenca cuentan con un patrón de alineamiento Rectilíneo en su mayoría y con pocas unidades con patrones meandricos leves, lo cual es determinado por la resistencia a la erosión de las orillas y genera pérdidas de energía fluctuantes a lo largo del recorrido.

Análisis de Patrón de alineamiento

Código	Nombre	Patrón de Alineamiento
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	Meándrico leve a rectilíneo
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	Rectilíneo
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	Rectilíneo
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	Meándrico leve
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	Anastomoso
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	Meándrico leve a rectilíneo
2906-010400	Complejo Caño El Salado	Rectilíneo
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	Anastomoso
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	Meándrico leve

5.3.4. Patrón de drenaje

Los drenajes de la cuenca en las unidades abastecedoras de centros poblados cuentan con un patrón de drenaje paralelo en su mayoría, es necesario aclara que las unidades Complejo Caño El Salado y Complejo Cienaga de Buenavista al presentar un porcentaje de área tan alto en ciénagas no permite un analisi claro del patrón de drenaje. En la Tabla 5.8 se analiza la cuenca de acuerdo al patrón de alineamiento.

Análisis de Patrón de drenaje

unidades abastecedoras		Patrones De Drenaje
Código	Nombre	
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	Paralelo
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	Paralelo
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	Paralelo
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	Rectangular
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	No aplica
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	Paralelo

2906-010400	Complejo Caño El Salado	No aplica
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	Reticular
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	No aplica

5.3.5. Densidad de drenaje

En la Tabla 5.9 se muestra el valor de la densidad de drenaje para cada una de las unidades hidrográficas abastecedoras de tercer nivel, con su respectiva clasificación. De acuerdo a esto se puede deducir que las unidades abastecedoras cuentan con una mala densidad de drenajes para el transporte y evacuación del agua.

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**		
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	0,4	Baja
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,7	Baja
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	0,2	Baja
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	0,3	Baja
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	0,2	Baja
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	0,2	Baja
2906-010400	Complejo Caño El Salado	0,2	Baja
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,4	Baja
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	0,1	Baja

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. Según la Tabla 5.10 la totalidad de la cuenca presenta un riesgo medio de presentar eventos tonrreciales.

Índices de vulnerabilidad a eventos torrenciales para cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente

Código	Nombre	Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
290601-0101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0102	Complejo Cienaga Playazo	112	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	112	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	113	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0301	Complejo Cienaga de Buenavista	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0302	Complejo Cienaga El Diluvio	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0400	Complejo Caño El Salado	112	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	112	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0503	Caño Los Micos	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media

Código	Nombre	Índice morfométrico		Índice de Variabilidad		IVET
290601-0600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	111	Muy Baja	50,70	Alta	Media
290601-0700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	111	Muy Baja	65,17	Muy alta	Media

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.

6.1.1. Parámetros de forma

Dentro de los parámetros de forma se incluyen aquellos que indican el tamaño y la simetría de la cuenca con respecto a la homogeneidad de su geometría. Estos se estimaron con la herramienta de software ArcGIS versión 10.3.

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 d 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 utilizo el software ArcGIS 10.3.

Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo al área

Área (Km^2)	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 tendencia de las cuencas de tercer nivel es “Pequeña” siendo solo la unidad Complejo Lagunar Cienaga Grande “Intermedia Grande”. La unidad de mayor extensión fue “Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-010700” con 1190,2 Km^2. Lo anterior se recopila en la Tabla 6.2.

Áreas y clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Área (km2)	Clasificación
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	26,03	Pequeña
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	58,28	Pequeña
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	85,13	Pequeña
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	104,01	Pequeña
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	195,77	Pequeña
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	91,07	Pequeña
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	163,01	Pequeña
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	108,48	Pequeña
2906-010400	Complejo Caño El Salado	162,21	Pequeña
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	130,34	Pequeña
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	134,34	Pequeña
Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	185,38	Pequeña
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	94,43	Pequeña
2906-010503	Caño Los Micos	55,56	Pequeña
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	1190,20	Intermedia Grande

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.

En la Tabla 6.3 se encuentran los valores calculados para cada unidad, y nos permite concluir que la unidad "Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-010700" tiene el mayor perímetro calculado, mientras que la unidad "Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma 2906-010104" presenta la menor longitud con valores de 232,67 y 1.15 Km, respectivamente. Este parámetro es uno de los insumo para el cálculo de los índices descriptivos como el Coeficiente de compacidad.

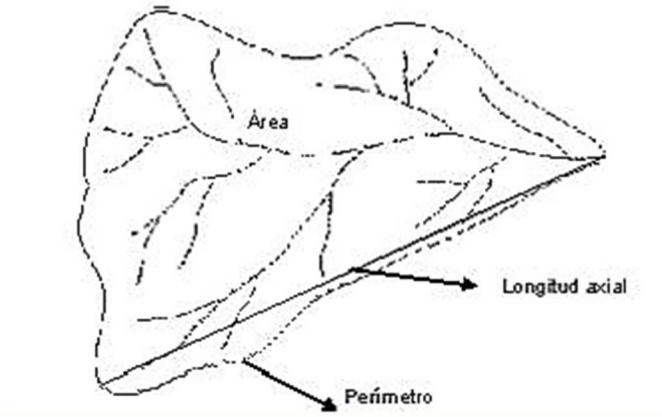
Perímetro de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Perímetro (km)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	39,14
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	37,96
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	55,02
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	1,15
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	70,03
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	44,15
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	72,69
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	70,53
2906-010400	Complejo Caño El Salado	65,98
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	65,06
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	67,74
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	79,93
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	51,42
2906-010503	Caño Los Micos	46,33
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	232,67

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.)

Cabe señalar, que la microcuenca, "Caño Schiller 2906-0101" presenta la mayor longitud axial, abarcando mas de 48 Km. Lo anterior, es concordante con las dos cuencas de tercer nivel 2906-010104 y 2906-010105 que comparten tramos del cauce "Caño Schiller" y presentan 26,9 y 24,6 km respectivamente. En la Tabla 6.4 se realciona la longitud axila para cada unidad hidrográfica de tercer nivel subsiguiente.

Longitud axial para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Longitud Axial (Km)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	14,21
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	7,55
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	17,76
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	26,93
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	17,99
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	6,09
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	18,96
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	18,14
2906-010400	Complejo Caño El Salado	15,37
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	15,78
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	15,51
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	24,60
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	16,23
2906-010503	Caño Los Micos	15,10
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	48,37

6.1.1.4. *Ancho de la cuenca (B)*

Se estima como la razón entre el área y la longitud axial de la cuenca en kilómetros. La cuenca que presentó el valor máximo para este parámetro fue el "Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-010700" con 24,6 Km. Mientras que "Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM 2906-010101" con tan solo 1,83 Km.

Aquellas unidades que presenten formas anchas con tendencias redondas pueden tener implicaciones en la vulnerabilidad de la cuenca, presentando una mayor probabilidad a fenómenos de inundación como lo considera Gaspari (2013). En la Tabla 6.5 se puede observar el ancho de las microcuencas presentes en la cuenca.

Ancho para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Ancho (Km)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	1,83
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	7,72
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	4,79
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	6,89
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	5,78
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	14,96
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	8,60
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	5,98
2906-010400	Complejo Caño El Salado	10,56
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	8,26
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	8,66
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	7,96
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	5,82
2906-010503	Caño Los Micos	3,68
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	24,61

6.1.1.5. *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 dela 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 es el 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.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (1)$$

Dónde:
P: Perímetro de la cuenca, en Km.
A: área de drenaje de la cuenca, en Km^2.

En la Tabla 6.6 se presentan las categorías para la clasificación de las cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad obtenido.

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 6.7.

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 los mayores K_c se obtienen para las cuencas de segundo nivel "Complejo Humedal Buenavista 2906-0103" y "Caño Schiller 2906-0101" con valores levemente por encima de 2 con tendencia a formas rectangulares, lo que implica una menor concentración de la escorrentía al interior de la unidad hidrográfica. En la Tabla 6.8 se presenta el coeficiente de compacidad para cada unidad de tercer nivel.

Coeficiente de compacidad y su clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	**Nombre**	**Kc**	**Forma de la cuenca relativas a Kc**
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	2,15	Rectangular
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	1,39	Oval redonda a oval oblonga
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	1,67	Oval oblonga a rectangular oblonga
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	1,95	Rectangular
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	1,40	Oval redonda a oval oblonga
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	1,30	Oval redonda a oval oblonga
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	1,59	Oval oblonga a rectangular oblonga
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	1,90	Rectangular
2906-010400	Complejo Caño El Salado	1,45	Oval redonda a oval oblonga
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	1,60	Oval oblonga a rectangular oblonga
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	1,64	Oval oblonga a rectangular oblonga

Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	1,64	Oval oblonga a rectangular oblonga
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	1,48	Oval redonda a oval oblonga
2906-010503	Caño Los Micos	1,74	Oval oblonga a rectangular oblonga
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	1,89	Rectangular

6.1.1.6. *Coeficiente 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 6.9 se recopilan las interpretaciones de los K_f.

$$K_f = \frac{B}{L} \qquad (2)$$

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 segundo y tercer nivel, como por ejemplo la unidad de Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM asume una forma muy alargadas mientras que, la unidad Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena entra en la clasificación rodeando el Desagüe, siendo el otro extremo de los rangos anteriormente descritos. En la Tabla 6.20 se presentan los valores y la clasificación del coeficiente de forma.

Factor de forma y su clasificación de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Coeficiente de forma (Kf)	Formas Relativas A Kf
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	0,13	Muy Alargada
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	1,02	Muy Ensanchada
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	0,27	Alargada
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,26	Alargada
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	0,32	Ligeramente Alargada
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	2,46	Rodeando el Desague
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	0,45	Ensanchada Ligeramente
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	0,33	Ligeramente Alargada
2906-010400	Complejo Caño El Salado	0,69	Ensanchada Ensanchada
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,52	Ensanchada Ligeramente
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	0,56	Ensanchada Ligeramente
Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	0,32	Ligeramente Alargada
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	0,36	Ligeramente Alargada
2906-010503	Caño Los Micos	0,24	Alargada
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	0,51	Ensanchada Ligeramente

6.1.1.7. *Longitud del cauce principal (Lc)*

La longitud del cauce principal es uno de los parámetros de mayor criticidad en la cuenca, debido a que las complejas relaciones entre los sistemas de drenaje no se dan típicamente donde los tributarios convergen a un drenaje principal, sino que, en cambio, se forman ciénagas y/o cuerpos de agua lénticos los cuales gracias a la pendiente con tendencia a cero en la mayoría de subcuencas, concentran en épocas del año específicas la escorrentía que capta la cuenca. Por lo anterior y como se relacionó en el apartado de *Longitud axial* el ejercicio tiene en cuenta la tendencia del flujo y los cuerpos lóticos que generan la mayor entrada de agua a la cuenca como lo son el Río Magdalena y el Río Fundación.

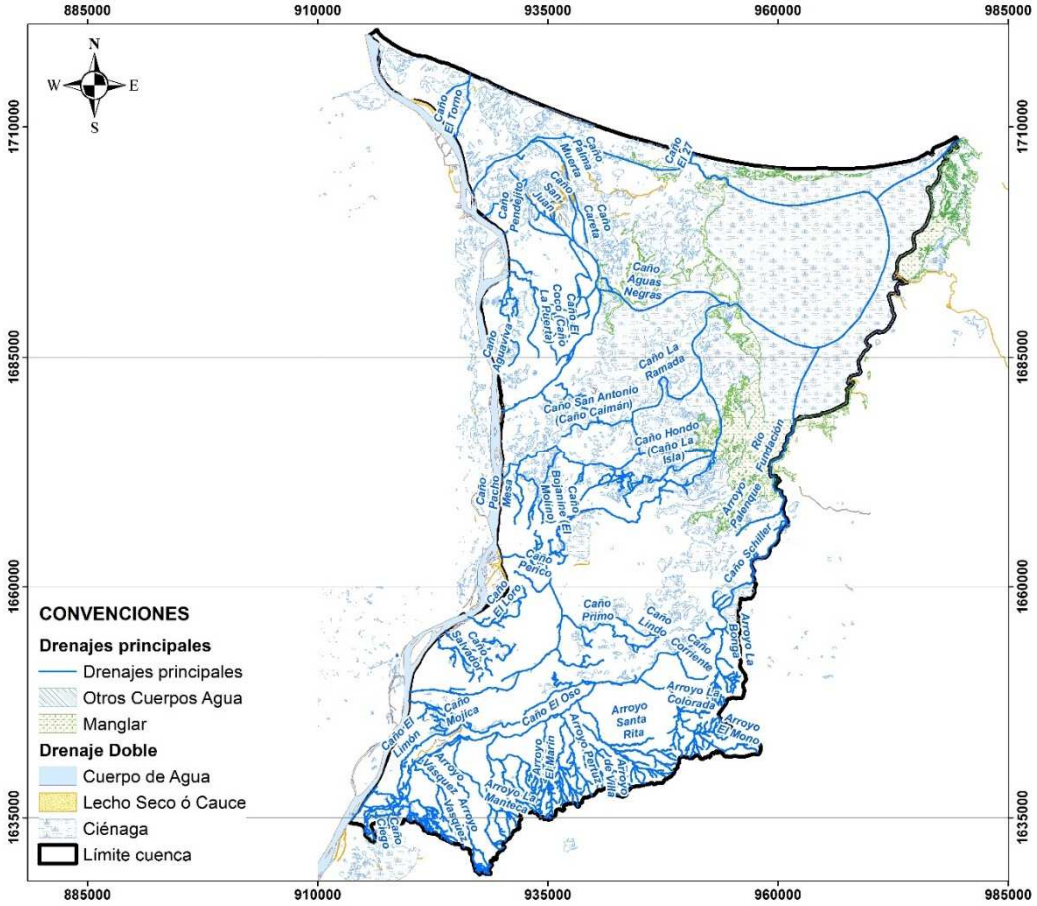
Las longitudes de cauce principal varian entre 7.7 para el Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca y 97.8 para el Complejo Lagunar Cienaga Grande, unidades de tercer nivel subsiguiente. Obsérvese la Figura 6.2, donde se ilustran los cauces tenidos en cuenta para la construcción de la morfometría. En la Tabla 6.11 se puede observar la longitud del cauce principal para cada una de las unidades de tercer nivel.

Longitud del cauce principal para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	Longitud (Km)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	18,19
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	8,89
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	15,86
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	34,36
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	21,97
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	11,32
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	27,62
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	24,01
2906-010400	Complejo Caño El Salado	19,89

2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	17,34
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	7,73
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	29,38
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	11,76
2906-010503	Caño Los Micos	16,61
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	97,75

Figura 6.2. Determinación de drenajes principales



6.1.1.8. *Desnivel altitudinal (DA)*

El desnivel altitudinal es el cambio absoluto de altitud de la cuenca, se establece como la diferencia entre las cotas límite del cauce principal; es decir, la cota más alta y la más baja.

$$DA = Cota_{max} - Cota_{min} \qquad (3)$$

El desnivel altitudinal en la cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, es junto con la pendiente uno de los parámetros más característicos de la misma, al presentar en 2784,23 Km^2 una caída altitudinal de tan solo 72 msnm, lo que corrobora a grandes rasgos la tendencia de la

cuenca a presentar relieves planos y de acuerdo a su dinámica hidrológica no procedería como una cuenca de gran capacidad de descarga, sino por el contrario, se presenta como una zona extensa de inundación que favorecería la concentración de la escorrentía en cuerpos lénticos con formación escasa de una red de drenaje lineal de tipo permanente. En la Tabla 6.12 se presenta el desnivel altitudinal para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Desnivel altitudinal de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

Código	Nombre	DA (m)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	6,30
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	6,75
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	70,50
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	17,70
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	72,00
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	9,30
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	7,15
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	13,55
2906-010400	Complejo Caño El Salado	17,10
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	6,10
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	10,55
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	68,15
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	16,05
2906-010503	Caño Los Micos	4,80
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	32,45

6.1.2. 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.

6.1.3. 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. La elevación, la altura máxima y la altura mínima para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente se encuentran relacionadas en la Tabla 6.13.

Altura y elevación para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Unidades abastecedoras		Altura (msnm)			Elevación (m)
Código	Nombre	Media	Máxima	Mínima	
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	0,04	6,30	0	6,30
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	0,05	6,75	0	6,75
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	8,74	70,50	0	70,50
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,19	17,70	0	17,70

2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	20,14	72,00	0	72,00
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	0,37	9,30	0	9,30
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	0,10	7,15	0	7,15
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	0,19	13,55	0	13,55
2906-010400	Complejo Caño El Salado	0,13	17,10	0	17,10
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,02	6,10	0	6,10
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	0,90	10,55	0	10,55
Demás unidades					
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	12,98	68,15	0	68,15
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	0,08	16,05	0	16,05
2906-010503	Caño Los Micos	0,06	4,80	0	4,80
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	0,22	32,45	0	32,45

6.1.4. 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:

$$s = \frac{cota\ \max(\mathrm{m}) - cota\ \min(m)}{longitud\ (m)} \quad \textbf{(32)}$$

En la Tabla 6.14 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.

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)

Los valores para la pendiente delas unidades de tercer nivel oscilan entre 0,05% a 1,7%, donde el mayor gradiente se observa en la cuenca “Caño Schiller 2906-0101” seguida de “Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 2906-0106”. Es decir, que todas las unidades se integrarán a la clasificación de relieve “Accidentado”. Esta clasificación se ha tomado de la categorización del índice morfométrico del IDEAM. La pendiente para cada una de las unidades hidrográficas de tercer nivel subsiguiente se encuentra la Tabla 6.15.

Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Código	Nombre	Pendiente Media De La Cuenca (%)	Clasificación De La Pendiente
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	0,14	Accidentado
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	0,17	Accidentado
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	1,49	Accidentado
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,46	Accidentado
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	2,64	Accidentado
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	0,84	Accidentado
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	0,31	Accidentado
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	0,45	Accidentado
2906-010400	Complejo Caño El Salado	0,33	Accidentado
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,06	Accidentado
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	1,08	Accidentado
Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	2,33	Accidentado
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	0,19	Accidentado
2906-010503	Caño Los Micos	0,22	Accidentado
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	0,32	Accidentado

Cabe señalar que gracias a esta característica del relieve se favorece la aparición de interconexiones de carácter intermitente entre ciénagas y subcuencas, fluctuando en su dirección de drenaje y orden de corrientes y dando unidad y conectividad al amplio complejo de humedales que se ven alimentados por aportes tanto de agua salada como agua dulce. Lo anterior se traduce en la gran riqueza ecosistémica de la zona.

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. Parámetros de cauce principal

6.2.1.1. *Pendiente cauce principal*

Como lo indica la FAO (1996) la pendiente es un factor primordial en la determinación de la escorrentía, la erosión, el uso de la tierra y el transporte. La pendiente absoluta del cauce se estima como la caída altitudinal del cauce principal con respecto a la longitud del mismo, y su valor se calcula bajo la siguiente expresión:

$$m\ (\%) = \frac{Cota_{mayor} - Cota_{menor}}{Longitud\ cauce} * 100 \qquad (4)$$

Como resultado para la cuenca Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se tiene que ninguno de los cauces supera el 0,2%, por lo tanto, la tendencia en la cuenca es la misma que para todas las cuencas con 0% de pendiente, característica de hoyas hidrográficas constituidas en

su mayoría por Ciénagas y cuerpos de agua lénticos. La pendiente del cauce principal para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente se encuentra la Tabla 6.16.

Pendiente para las unidades de segundo nivel Subsiguiente

Código	Nombre	Cota Mayor (m.s.n.m)	Cota Menor (m.s.n.m)	Pendiente del Cauce (%)
Unidades abastecedoras				
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	1,60	0	0,009
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	1,85	0	0,021
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	1,24	0	0,008
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	4,20	0	0,012
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	40,60	0	0,185
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	5,55	0	0,049
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	1,95	0	0,007
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	5,65	0	0,024
2906-010400	Complejo Caño El Salado	3,70	0	0,019
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,82	0	0,003
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	6,95	0	0,090
Demás unidades				
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	61,50	0	0,209
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	0,00	0	0,000
2906-010503	Caño Los Micos	0,95	0	0,006
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	4,70	0	0,005

6.2.1.2. *Perfil de cauce principal*

Como se ha mencionado anteriormente y debido al relieve plano generalizado de la cuenca, no procede la determinación de los perfiles de los cauces. Gracias a una mínima diferencia altitudinal entre los nacimientos de los drenajes, sus desembocaduras y sus amplias zonas de inundación, todo esto da lugar a una tasa de cambio no considerable.

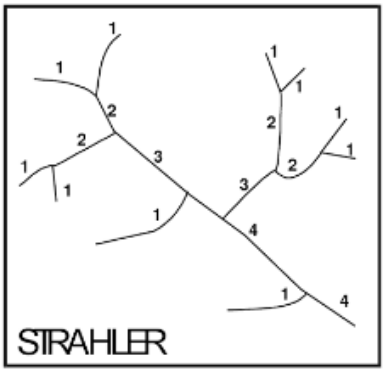
6.2.2. Parámetros de la red de drenaje

En esta categoría se encuentran aquellos parámetros descriptivos que hacen referencia a la ordenación y densidad de los tributarios de cada unidad hidrográfica que alimentan a su cauce principal.

6.2.2.1. *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 6.3

Figura 6.3. Esquema orden de drenajes.

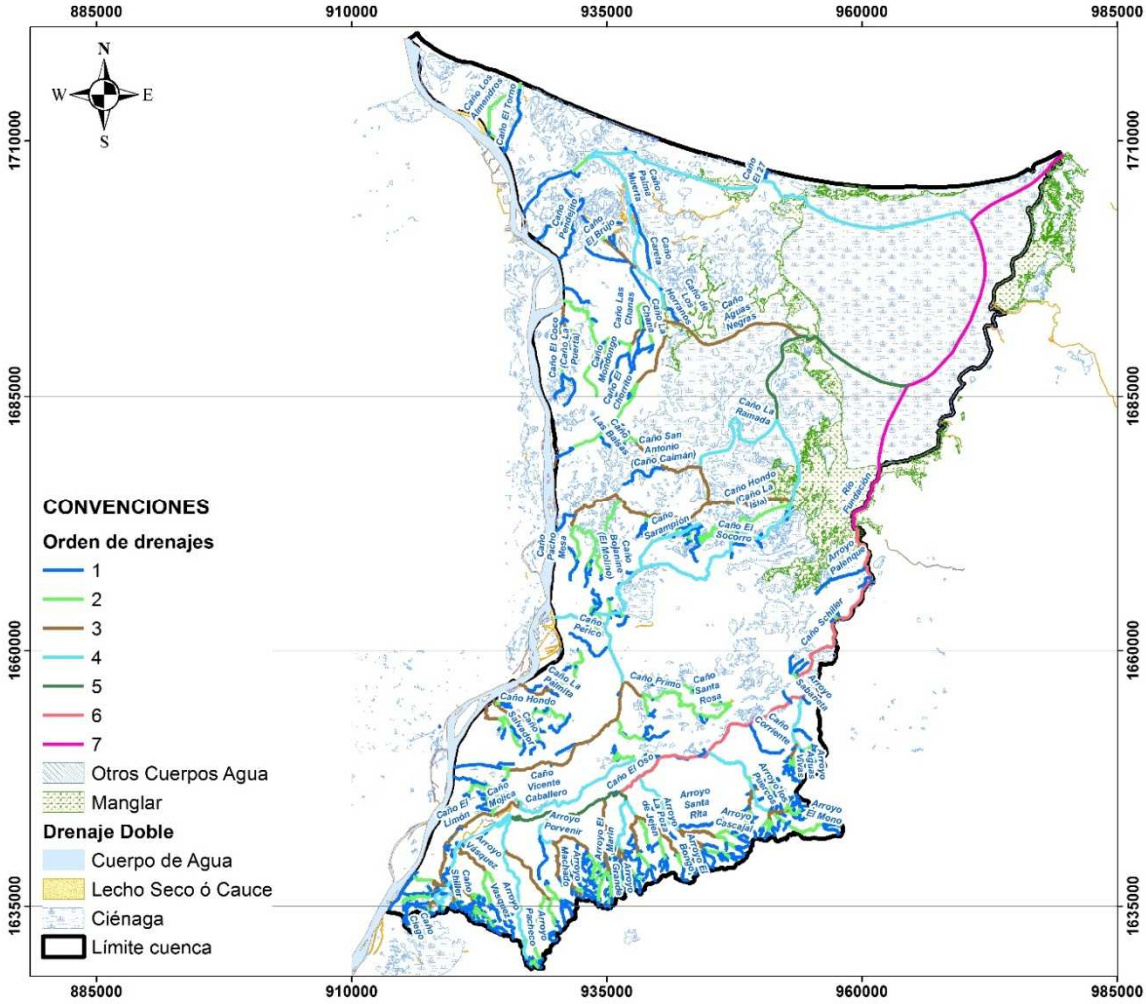


Fuente: (Gisbert, S.F)

Aunque la bifurcación de la red de drenajes puede estar determinada por factores geológicos y propios de las unidades de suelo, para la cuenca “2906-01” el relieve plano es el determinante a la hora del análisis morfométrico, dada la influencia de la zona costera y la dinámica de la cuenca baja del Río Magdalena.

En la Figura 6.4 se encuentra discriminada la red de drenajes analizada para la jerarquización de los cauces, como era de esperarce la cuenca no presenta un gran número de cauces de primer orden, lo que ratifica su tendencia a eventos de inundación y su baja probabilidad a eventos torrenciales. Cabe señalar que para la realización del análisis se ha integrado el Río Fundación, presente al costado derecho de la cuenca, con una estimación en el orden 7, a pesar de no pertenecer a la cuenca de análisis, esto en aras de darle continuidad a la conexión entre el Caño Schiller-Arroyo Palenque-Río fundación que finalmente alimentan a la Ciénaga Grande de Santa Marta y le dan el orden 7 a la cuenca.

Figura 6.4. Orden de drenajes


885000
910000
935000
960000
985000
1710000
1685000
1660000
1635000
N
W
E
S
CONVENCIONES
Orden de drenajes
1
2
3
4
5
6
7
Otros Cuerpos Agua
Manglar
Drenaje Doble
Cuerpo de Agua
Lecho Seco ó Cauce
Ciénaga
Límite cuenca

Cabe resaltar, los drenajes de orden 1 que se concentran al Sur de la cuenca, en zonas donde se presenta el mayor desnivel altitudinal, por ende, el área de mayor potencial erosivo, no obstante, la vulnerabilidad a erosión fluvial -por corrientes de orden 1 cauces torrenciales- es ligera. En la Tabla 6.17, se recopilan el número de entidades presentes en la cuenca, discriminadas según su orden, por lo anterior se establece en 7 el orden de la cuenca, los valores recopilados a continuación obedecen a las corrientes segmentadas de acuerdo a los cruces entre la red de drenaje.

Orden de drenajes

Orden de drenajes	Número de drenajes
1	560
2	600
3	429
4	352
5	50
6	108
7	21

6.2.2.2. *Longitud de drenajes*

Este parámetro se estima como variable para conocer la densidad de drenajes de la cuenca y se determina como la sumatoria de la longitud de las corrientes (Km) por unidades de tercer nivel subsiguiente.

Al igual que los parámetros anteriores, la estimación directa tiene lugar para todas aquellas cuencas que no se contemplan como complejos cenagosos; para estas últimas el resultado solo expresa un orden de magnitud obtenido donde se tiene en cuenta la dirección predominante de flujo como se ve en la Figura 6.4, se define un vector que atraviesa por los cuerpos lenticos.

De conformidad con los parámetros previamente analizados, las mayores longitudes de drenaje se presentan para las cuencas de tercer nivel “2906-010105” y “2906-010106” ubicadas en el extremo sur de la cuenca, como lo muestra la Figura 6.4. En la la Tabla 6.18 se puede observar la longitud total de los drenajes por microcuenca.

Categorización según densidad de drenaje.

Código	Nombre	Longitud De Drenaje (Km)
Unidades abastecedoras		
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	8,92
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	2,42
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	30,75
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	123,69
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	22,46
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	28,65
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	32,25
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	25,66
2906-010400	Complejo Caño El Salado	28,19
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	50,01
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	16,21

Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	118,74
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	19,49
2906-010503	Caño Los Micos	26,51
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	18,37

6.2.2.3. *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.

$$(Dd) = \frac{\sum L}{A} \qquad (5)$$

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 la Figura 6.4, es correcto esperar una baja densidad para las unidades de segundo y tercer nivel subsiguiente, con un valor máximo de 0.7 para la unidad Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma. Lo anterior procede para una cuenca de naturaleza cenagosa, dónde el potencial de erosión es bajo, las zonas de inundación son extensas y las conexiones entre los cuerpos lénticos fluctúan de acuerdo a la estacionalidad

La anterior información puede detallarse en la Tabla 6.20 para cada una de las unidades de tercer nivel subsiguiente.

densidad de drenaje para las unidades de tercer nivel subsiguiente

Código	Nombre	Densidad De Drenajes Orden 1 (Km/Km2)	Clasificación Por Densidad De Drenaje
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	0,34	Baja
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	0,04	Baja
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	0,36	Baja
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,67	Baja
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	0,22	Baja

Código	Nombre	Densidad De Drenajes Orden 1 (Km/Km2)	Clasificación Por Densidad De Drenaje
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	0,31	Baja
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	0,20	Baja
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	0,24	Baja
2906-010400	Complejo Caño El Salado	0,17	Baja
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	0,38	Baja
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	0,12	Baja
Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	0,61	Baja
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	0,21	Baja
2906-010503	Caño Los Micos	0,48	Baja
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	0,02	Baja

6.2.2.4. *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 y como se ha mostrado anteriormente, la respuesta del "Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta" frente a la evacuación de las aguas es lenta y tiende a concentrarse al interior de la cuenca, sin embargo, los C_t son estimados para reafirmar que la cuenca no es propensa a presentar eventos torrenciales, donde el valor máximo calculado es de 1.06 y el minimo 0.01, de cuerdo a esto, se esperarían altos tiempos de concentración en las unidades presentes en la cuenca.

Los coeficientes de torrencialidad de la microcuencas abastecedoras se pueden observar en la Tabla 6.21.

Coeficiente de torrencialidad a nivel de microcuenca.

Código	Nombre	Número De Drenajes Orden 1	Coeficiente De Torrencialidad (Ct)
Unidades abastecedoras			
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	8	0,31
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	2	0,03
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	37	0,43
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	197	1,06
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	31	0,30
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	28	0,31
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	40	0,25
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	20	0,18
2906-010400	Complejo Caño El Salado	19	0,12
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	16	0,12
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	6	0,04
Demás unidades			
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	109	0,56
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	15	0,16
2906-010503	Caño Los Micos	16	0,29
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	16	0,01

6.2.2.5. *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

$$Tc = 0{,}97k^{0.385} siendo\ K = \frac{L_c^3}{H} \quad (33$$

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

$$Tc = 0{,}87\frac{L_c^3}{H} \quad (34$$

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

$$Tc = 0{,}066(\frac{L}{\sqrt{S}}) \quad (35$$

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**

$$Tc = 0{,}3\left\lfloor\frac{L}{S^{0{,}25}}\right\rfloor^{0{,}76} \quad (36$$

En donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).
L: Longitud del cauce principal (km).
So: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje

- Giandotti

$$T = \frac{4\sqrt{s} + 1{,}5\,L}{0{,}8\,\sqrt{H}}, siempre\ que\ \frac{L}{3600} \geq Tc \geq \frac{L}{3600 + 1{,}5} \quad (37$$

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

$$Tc = 0{,}8773\left(\frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{CMc - Cm_e}}\right)^{0.64} \quad (38$$

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

$$Tc = 0.335\left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593} \quad (39$$

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

$$Tc = a\left(\frac{S^{0.5}}{i}\right) \quad Siendo\ 0.05 \leq a \leq 0.5 \quad (40$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (41$$

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

$$Tc = a\left(\frac{SL}{i^{0.5}}\right)^{\frac{1}{3}} Siendo\ 0.04 \leq a \leq 0.13 \quad (42$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (43$$

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

Como se se puede observar en la Tabla 6.22, y de acuerdo a los resultados obtenidos con las formulas previamente descritas, se estima un *Tc* promedio para cada unidad hidrográfica de segundo y tercer nivel. Nótese que, los mayores tiempos se tienen para las cuencas "Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo 2906-010502" y "Complejo Lagunar Ciénaga Grande 2906-010700" con valores aproximados de 114,9 y 54,7 horas, respectivamente. Naturalmente, los *Tc* son relativamente altos en comparación con cuencas exorreicas, no obstante, para las cuencas de tercer nivel subsiguiente "Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca 2906-010600" y "Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena 2906-010200" recaen en valores que van de los 3,71 a las 6 horas, respectivamente, debido a la relación entre el desnivel altitudinal del cauce principal y la longitud del mismo (pendiente).

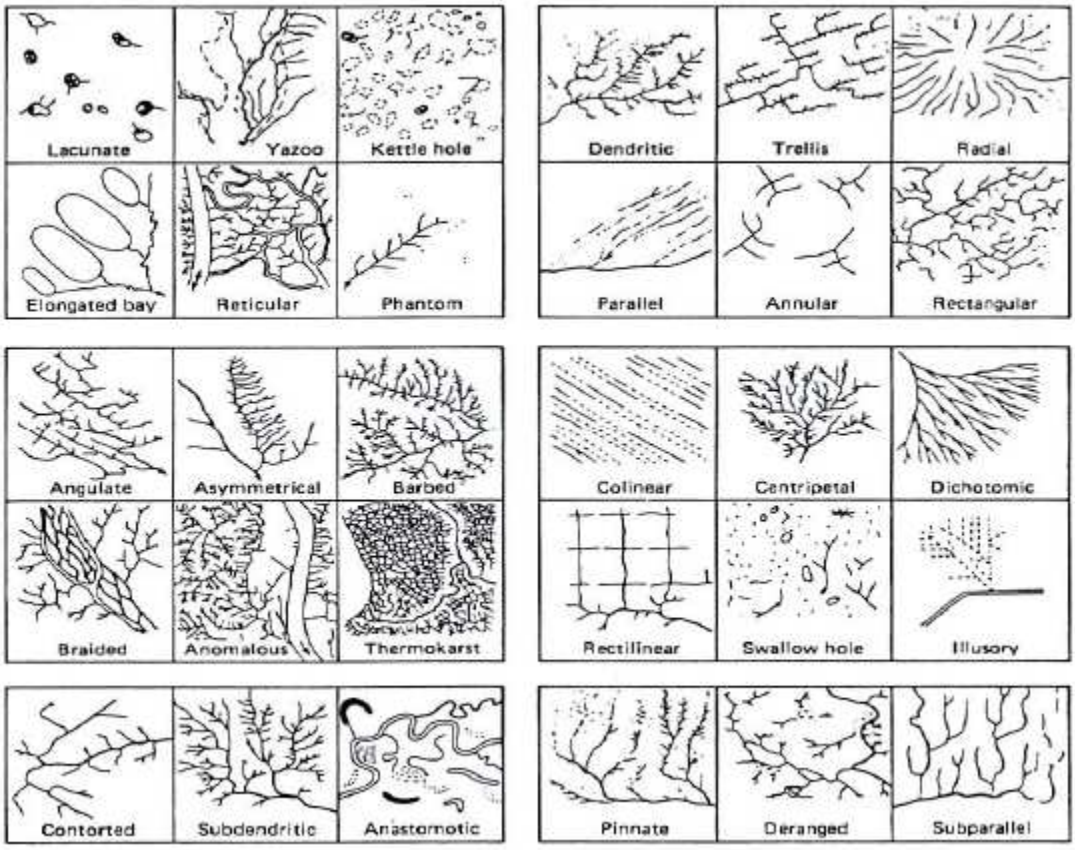
Cálculos por las metodologías mencionadas.

Código	Nombre	Tiempos de concentración					
Unidades abastecedoras		SCS-Ranser (h)	California Culvert Practice (h)	Kirpich (h)	Temez (h)	V.T Chow (h)	Tc Promedio (h)
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	13,61	13,30	22,44	6,68	12,22	13,65
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	5,80	5,67	9,28	3,29	5,87	5,98
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	4,59	4,48	21,17	6,17	11,65	9,61
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	9,47	9,25	9,58	5,27	6,03	7,92
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	19,07	18,63	32,26	10,18	16,53	19,34
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	6,78	6,62	8,04	3,36	5,21	6,00
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	21,01	20,53	33,69	9,58	17,13	20,39
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	13,97	13,65	19,03	6,85	10,66	12,83
2906-010400	Complejo Caño El Salado	10,28	10,04	18,01	6,21	10,18	10,95
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	13,04	12,75	27,48	7,25	14,47	15,00
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	4,16	4,06	4,74	2,24	3,36	3,71
Demás unidades							
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	6,63	6,48	8,04	4,33	5,21	6,13
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	5,74	5,61	404,67	23,60	135,28	114,98
2906-010503	Caño Los Micos	13,61	13,30	24,69	6,77	13,23	14,32
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	50,53	49,37	103,37	26,92	43,51	54,74

6.2.2.6. *Patrones de drenaje*

En este aparte se caracteriza la red de drenaje de acuerdo con la ordenación de flujo que presentan al interior de la cuenca. Como se observa en Alfonso (2014) los patrones de drenaje pueden consolidarse en tres grandes grupos.

Figura 6.5. Patrones de drenaje más comunes.



Fuente: Alfonso (2014)

- Patrones de drenaje erosionales entre los cuales encontramos el *dendrítico, pinnado, enrejado, 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 -ver Figura 6.5-.
- Patrones de drenaje deposicionales que, como lo cita Alfonso (2014), se ven dominados 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,* estos se detallan para cada unidad hidrográfica en el Capítulo de Hidrografía.

De acuerdo con esta organización de la red de drenaje, pueden relacionarse factores como el estado de la cuenca; según Breña y Jacobo (2006) una "*Corriente senil"* está en continuo ensanchamiento de la planicie de inundación, lo que es acorde al estado de la cuenca en estudio. Sin embargo, como se establece en el apartado de "Parámetros de relieve" las conexiones de la red de drenaje sufren fluctuaciones importantes a través del tiempo, lo que hace que los patrones de drenaje soporten alteraciones y por ello no se pueda estimar con certeza la influencia de factores como los suelos y la geología de la cuenca en la actividad hidrológica de la misma.

De acuerdo a los patrones de drenaje obtenidos para las unidades hidrográficas relacionados en el Anexo 1 y analizados en el Capítulo de Hidrografía, predominan el tipo Reticular y Paralelo, en gran parte debidas a intervenciones antrópicas como la canalización de las corrientes y la apertura de nuevas entradas desde el Magdalena como se da en las unidades hidrográficas ubicadas al costado Oeste de la cuenca.

La unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente "Caño Schiller 2906-0101" presenta uno de los patrones de drenaje más claramente determinados por el relieve, como se observa en la Figura 6.4 al Sur de la misma, descienden hasta el Caño Schiller o Caño Ciego, corrientes dendríticas que alimentan su cauce principal y que difiere en un patrón de flujo Paralelo, esta fluctuación ha sido determinada por la canalización del Caño en aras de favorecer la entrada de agua dulce desde el Río Magdalena hacia la Ciénaga Grande, que anteriormente se componía de cortos hilos de agua intermitentes con algunos tramos sin conexión -por eso su nombre Caño Ciego-. De ahí que, la red de drenaje haya sido artificializada en mayor parte para ayudar a la alimentación desde el Río Magdalena; concerniente a los patrones de drenaje de las demás unidades hidrográficas han sido igualmente alterados, como el Caño Aguas Negras en la unidad 2906-0105 y el Caño Renegado en 2906-0103 regulados por compuertas que limitan el flujo como lo describe Múnera et al., (2003). Intervención en gran parte es debida a la colmatación de los cauces por el arrastre de sedimentos que taponan las entradas desde el Río Magdalena y por la construcción de carreteras que hacen las veces de diques impermeables que impiden la conexión entre los sistemas cenagosos Múnera et al., (2003).

"*Actualmente los desbordamientos periódicos del Magdalena están siendo controlados por la carretera Palermo - Sitionuevo - El Piñón; por la construcción de trinchos como protección para la agricultura y la desecación de suelos entre otros*". Prociénaga (1994) citado por Bernal y Betancur (1996).

En conclusión, los patrones de drenaje del "Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta" presentan un alto grado de intervención antrópica que alteran el régimen hidrológico del sistema y este a su vez altera equilibrio de sales y otros nutrientes que sustentan la biodiversidad.
En la Tabla 6.23 se puede observar el patrón de drenaje para cada una de las microcuencas abastecedoras.

Patrón de drenaje

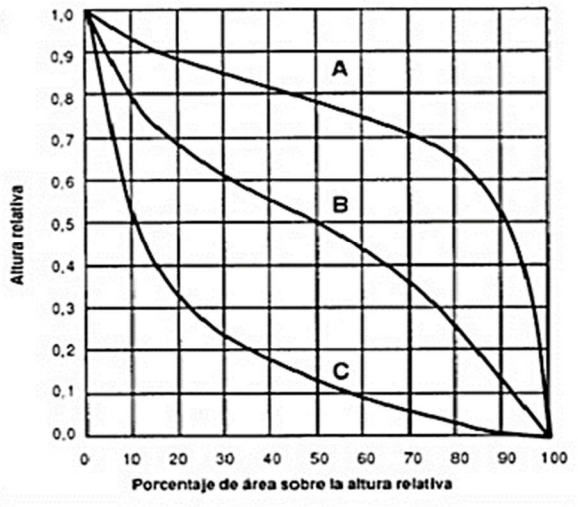
Código	Nombre	Patrones De Drenaje
Unidades abastecedoras		

2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	No aplica
2906-010102	Complejo Cienaga Playazo	No aplica
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	Paralelo
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	Paralelo
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	Paralelo
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	Rectangular
2906-010301	Complejo Cienaga de Buenavista	No aplica
2906-010302	Complejo Cienaga El Diluvio	Paralelo
2906-010400	Complejo Caño El Salado	No aplica
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	Reticular
2906-010600	Complejo de Cienagas Via Parque Isla Salamanca	No aplica
Demás unidades		
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	Paralelo
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	Paralelo
2906-010503	Caño Los Micos	Paralelo
2906-010700	Complejo Lagunar Cienaga Grande	No aplica

6.2.2.7. *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 esta determinado por el % de área acumulada en las diferentes alturas de la cuenca como se puede observar en la Figura 6.6.

Figura 6.6. Tipos de curva hipsométrica.



Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).

Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

Fuente: Domínguez (2015)

La función que describe la curva hipsométrica es:

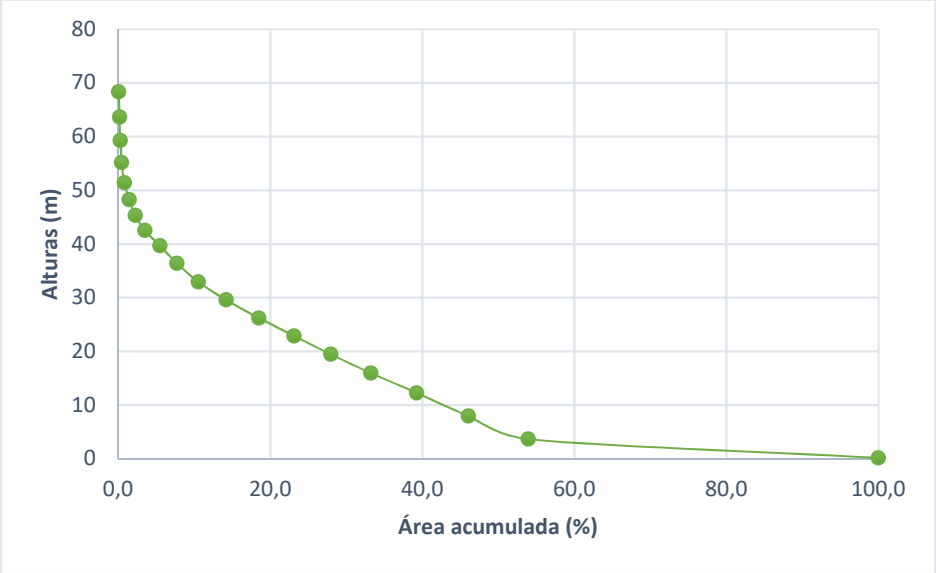
$$H = \frac{\sum c_i * a_i}{A} \qquad (7)$$

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

Para el caso de estudio, se estima la relación altitudinal para la cuenca "Caño Schiller 2906-0101", en concordancia con el "Desnivel altitudinal" *DA* es la única que presenta un cambio considerable en altura con respecto a su área acumulada. En contraste, no se logra estimar un perfil para el cauce principal de la misma, puesto que este último se ubica en la cuenca media-baja dónde el relieve va de lomerío bajo a plano. Obsérvese en la Tabla 6.24 como cerca del 53,9% del área se ubica en una caída altitudinal de tan solo 70 msnm y posteriormente el 46,1% cae tan solo 2 msnm aproximadamente.

Contrastando la Figura 6.7, la tendencia de la red de drenaje en la cuenca 2906-0101 presentaría una edad avanzada siendo una cuenca sedimentaria, no obstante, como se aclara en "*Patrones de drenaje"* esto debe entrar a discusión incluyendo factores geológicos, suelos y geomorfológicos.

Figura 6.7. Curva hipsométrica. Cuenca "Caño Schiller 2906-0101"



Datos para la construcción de la curva hipsométrica. Cuenca "Caño Schiller 2906-0101"

Nº	Min	Max	Altura Promedio (m)	Área entre curvas (Km²)	Acumulado	Área Acumulada (%)	Área entre curvas %
1	0	2	0	301,33	654	100,0	46,1
2	2	6	4	51,54	353	53,9	7,9
3	6	10	8	44,36	301	46,0	6,8
4	10	14	12	39,47	257	39,3	6,0
5	14	18	16	34,39	217	33,2	5,3
6	18	21	19	31,79	183	28,0	4,9
7	21	25	23	30,28	151	23,1	4,6
8	25	28	26	28,08	121	18,5	4,3
9	28	31	30	23,86	93	14,2	3,6
10	31	35	33	18,45	69	10,5	2,8
11	35	38	36	14,72	50	7,7	2,3
12	38	41	40	12,80	36	5,5	2,0
13	41	44	43	8,39	23	3,5	1,3
14	44	47	45	5,26	15	2,2	0,8
15	47	50	48	4,09	9	1,4	0,6
16	50	53	51	2,30	5	0,8	0,4
17	53	57	55	1,16	3	0,4	0,2
18	57	62	59	0,72	2	0,3	0,1
19	62	66	64	0,66	1	0,2	0,1
20	66	72	68	0,37	0	0,1	0,1

7. PENDIENTES.

El relieve tiene varias características, entre ellas se encuentra la pendiente, la cual está compuesta por la forma, orientación[38] (aspecto) y el gradiente (inclinación); el objeto de este trabajo es identificar este último componente. Resulta importante porque favorece la estabilidad y potencialidad de los suelos de la cuenca, pues según las propiedades del suelo a una inclinación dada, se produce el momento de la escorrentía y sus efectos erosivos; por consiguiente, relieves planos no favorecen la escorrentía del agua, lo cual da posibilidad a mayor tiempo de contacto entre el agua y el suelo, beneficiando la infiltración y disminuyendo la energía cinética del agua que produce la erosividad

A mayor inclinación del terreno, se presenta mayor concentración de flujos y por consiguiente mayor desestabilización de laderas, etc. En la metodología de la USLE, el valor crítico de la pendiente que activa los procesos erosivos se encuentra en un 9%, por lo que valores superiores de gradiente o inclinación activan los procesos erosivos significativamente.

Dentro de este capítulo se analizan dos formas de clasificar las pendientes, las cuales obedecen a necesidades distintas; la primera es la utilizada por el Servicio Geológico Colombiano[39], que agrupa gradientes específicos para determinar riesgos, la segunda clasificación es la empleada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi[40], que identifica los gradientes que afectan considerablemente la calidad del recurso suelo y sus efectos en la producción. A continuación, se presenta una breve explicación de las clasificaciones.

7.1.1. Clasificación de la pendiente según el SGC

Esta clasificación presenta siete clases identificadas con números, los valores se incrementan gradualmente en 5° para las cuatro primeras clases, 10° para la clase cinco y 15° para la clase seis, los restantes 45° para la última clase (ver Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Clases, intervalos en porcentaje y grados e interpretación, utilizados por el SGC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase	Intervalo		Interpretación
	%	°	
	>= 8.74887	0 - 5	Plana a suave
	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
	57.73503 - 100	30 - 45	Escarpada
	> 100	> 45	Muy Escarpada

[38] Se refiere a la orientación de la pendiente o la dirección hacia los puntos cardinales de la perpendicular trazada respecto al plano de la pendiente. También es conocida como aspecto de la pendiente.
[39] SGC: Servicio Geológico Colombiano
[40] IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Los productos obtenidos de esta clasificación son utilizados en la identificación de la remoción en masa y en los riesgos por incendios.

7.1.2. Clasificación de la pendiente según el IGAC

El IGAC utiliza al igual que SGC una clasificación de las pendientes con siete clases, que representan de forma técnica el impacto que la pendiente puede tener sobre el suelo. La Tabla 7.2 muestra las diferentes clases con sus respectivo nombre, símbolo, color e intervalo en porcentaje y grado; estos intervalos representan gradualmente la incidencia, que tiene la pendiente sobre el suelo, afectando por consiguiente la productividad del cultivo y su manejo; a medida que vaya aumentando la pendiente será necesario ir incrementando las medidas de manejo o ir disminuyendo la intensidad de uso sobre el suelo.

Tabla 7.2. Clases e intervalos en porcentaje y grados, utilizados por el IGAC para clasificar las pendientes del terreno.

Clase	Intervalo		
	%	Nombre	°
	0 - 3	Plano a ligeramente plana	0 - 1.718
	3 - 7	Ligeramente inclinada	1.718 - 4.004
c	7 - 12	Moderadamente inclinada	4.004 - 6.843
d	12 - 25	Fuertemente inclinada	6.843 - 14.036
e	25 - 50	Ligeramente escarpada	14.036 - 26.565
	50 - 75	Moderadamente escarpada	26.565 - 36.870
	>75	Fuertemente escarpada	> 36.870

Fuente: POMCA del CHCGSM, 2016

7.2. Metodología.

Existen varios procesos metodológicos para la construcción del mapa de pendientes, estos pueden ir desde la fotointerpretación estereoscópica, pasando por el uso de solo curvas de nivel en la base cartográfica hasta el uso de radar, cada uno de ellos brinda una aproximación a la realidad del terreno que va incrementando con las nuevas tecnologías. En este ejercicio se partió del DEM[41] elaborado para el proyecto y utilizando los programas ArcGIS 10.4, extensión Dem Surface Tools de la empresa Jenness Enterprises[42] y Excel 2016, se procedió a seguir el Geo proceso Pendiente del terreno (ver Anexo cartográfico).

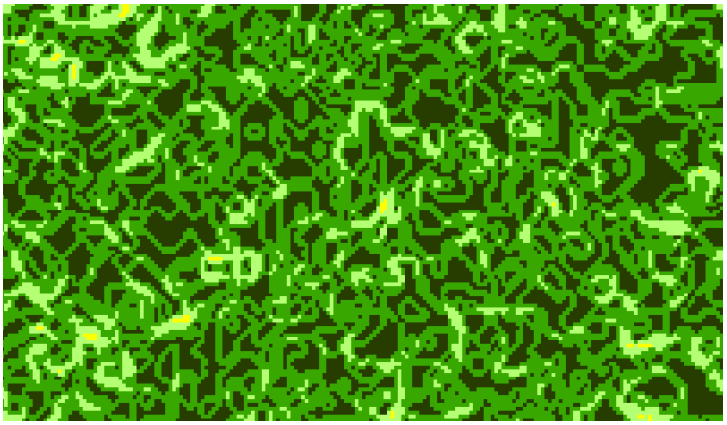
Es importante aclarar que sobre este tema se derivan tres productos, el primero es un raster con información sobre el gradiente de la pendiente en grados (producto intermedio usado en remoción en masa), el segundo producto corresponde a un raster reclasificado en clases según la clasificación del Servicio Geológico Colombiano (producto intermedio), el tercer y último producto es la capa de clases de pendientes en polígonos (producto final) que utiliza la clasificación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

[41] DEM: Modelo de elevación digital
[42] http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm

Al igual que en otros productos cartográficos, la capa de polígonos generada para la cuenca fue verificada en las rutas veredales y ajustada posteriormente; 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.

A continuación, se presenta una muestra del proceso seguido para la generación de la capa de pendientes en formato vector (polígonos). En la Figura 7.1 se observa una parte de la capa de pendientes localizada entre las veredas Playón de Orozco y Chinoblas (municipio de Pivijay); esta información fue producto del cálculo de la pendiente a partir del DEM elaborado para el proyecto, nótese la diversidad en los pixeles, los colores representan los rangos de pendiente según clasificación del IGAC, color verde oscuro pendientes entre 0 a 3%, color verde fuerte pendientes entre 3 a 7%, color verde claro pendientes entre 7 a 12% y color amarillo pendientes entre 12 a 25%.

Figura 7.1. Proceso de generación de la capa de pendientes según clasificación IGAC, capa raster sin ningún proceso 2016.



Paso seguido, en la Figura 7.2 podemos observar con un solo filtrado se eliminan pixeles sueltos dentro de la capa; en las Figura 7.3 y Figura 7.4 se han aplicado varios filtros de tipo zonal y focal que van depurando la capa, de forma tal que los pixeles individuales o que se encuentran agrupados en muy poca cantidad van siendo eliminados progresivamente.

Figura 7.2. Generación de la capa de pendientes capa raster con un filtrado, 2016.

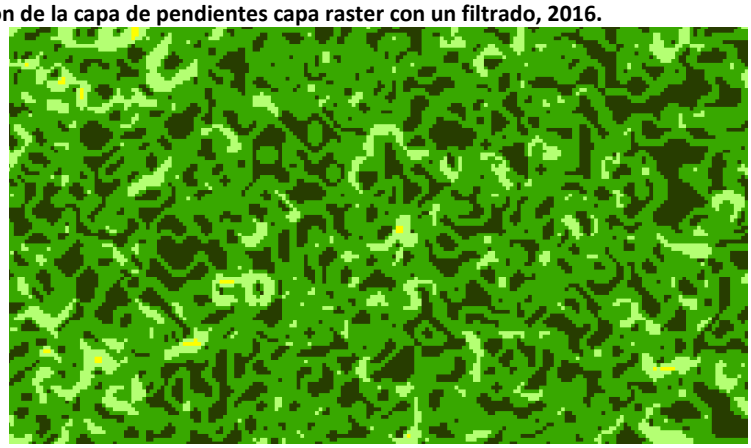


Figura 7.3. Generación de la capa de pendientes con varios filtros (mayoritarios tipos zonales o focales), 2016.

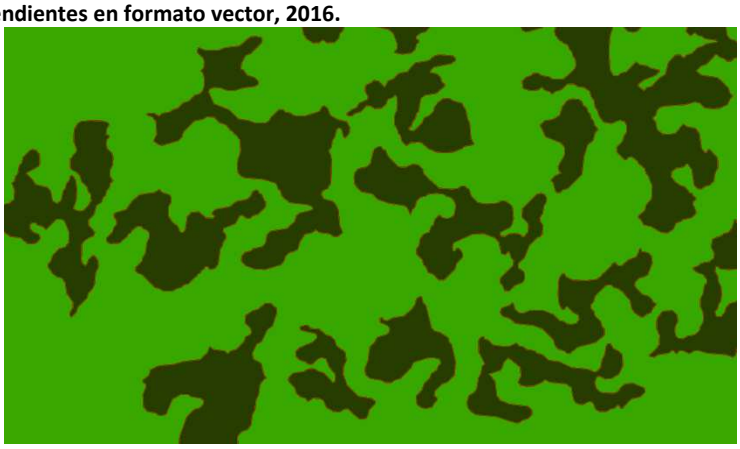


Figura 7.4. Generación de la capa de pendientes con varios filtros (mayoritarios tipos zonales o focales), 2016.



Finalmente, en la Figura 7.5 se presenta la capa de pendientes en formato vectorial lista para ser revisada en la salida de campo.

Figura 7.5. Capa de pendientes en formato vector, 2016.



7.3. Análisis de Pendientes según clasificación IGAC.

En esta clasificación se separan tres clases que representan el 68.51% de la cuenca, mientras que el restante 31.49% está representado por los diferentes tipos de cuerpos de agua y los centros poblados.

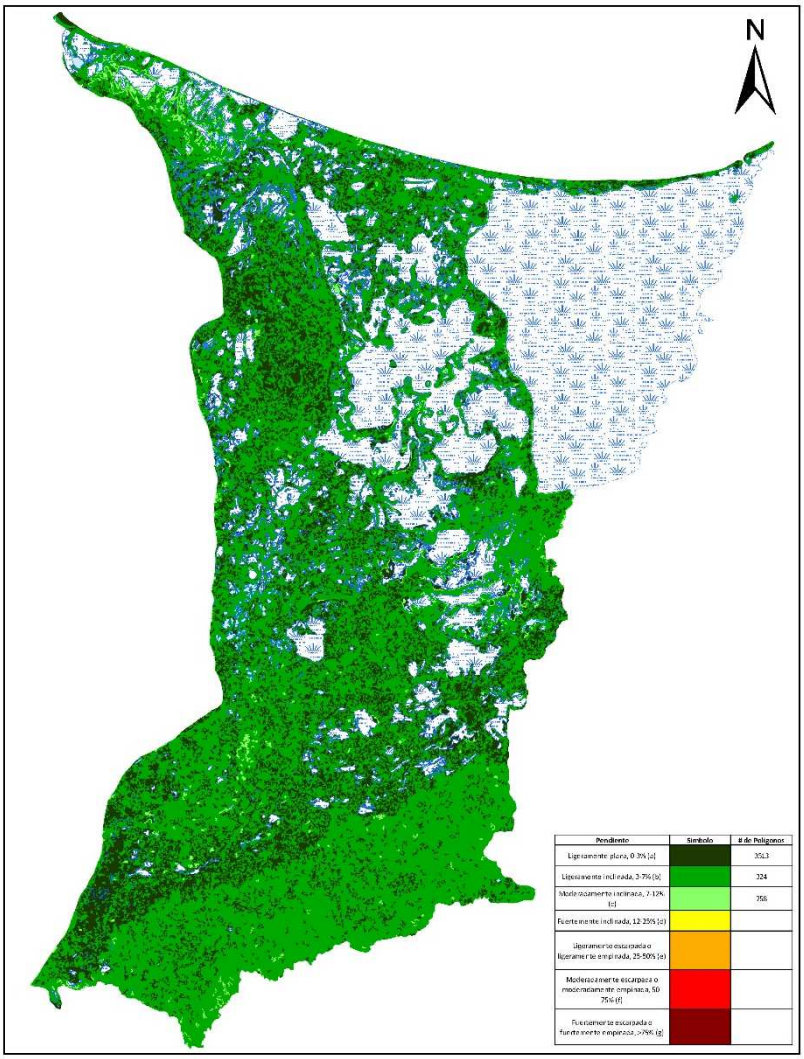
Según esta clasificación, la clase de mayor ocurrencia corresponde a ligeramente inclinada (3 a 7%) presente en un 49.05% de la cuenca, seguida por la clase plana a ligeramente plana (0 a 3%) que ocurre con mayor frecuencia en zonas de encharcamiento o inundables; la clase ligeramente inclinada (7 a 12%) está en un 1.58% de la cuenca y su localización está relacionada con barras y cordones de playa, playas y playones, frecuentemente sus polígonos se encuentran asociados. En la Figura 7.6 se presenta la capa de pendientes y se observa de forma general su distribución.

Tabla 7.3. Resultados de las clases por pendiente y su correspondiente área en hectáreas y porcentaje.

			AREA		
Símbolo	**Intervalo %**	**Clase**	**m²**	**Ha**	**%**
a	0 - 3	plana a ligeramente plana	497821100	49782.11	17.88
b	3 - 7	Ligeramente inclinada	1365666900	136566.69	49.05
c	7 - 12	Moderadamente inclinada	43990900	4399.09	1.58
ND		No determinada	876755400	87675.54	31.49
			2784234300	278423..43	100.00

Fuente: POMCA del CHCGSM, 2016

Figura 7.6. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno según SGC, 2016.



7.4. Análisis de Pendientes según clasificación SGC.

De acuerdo con los resultados expresados en la Tabla 7.4, esta metodología clasifica el 99.78% de la cuenca en la categoría plana a suave (pendientes entre 0 a 5°), lo cual expresado en términos de amenaza resulta poco a nada impactante; el restante 0.22% para las clases inclinada (pendientes entre 5° a 10°), muy inclinada (pendientes entre 10° a 15°), abrupta (pendientes entre 15° a 20°) y muy abrupta (pendientes entre 20° a 30°); dada la exigua presencia de estas clases en la cuenca, ellas no representan en términos reales áreas determinadas que puedan ser cartografiables a la escala 1:25000.

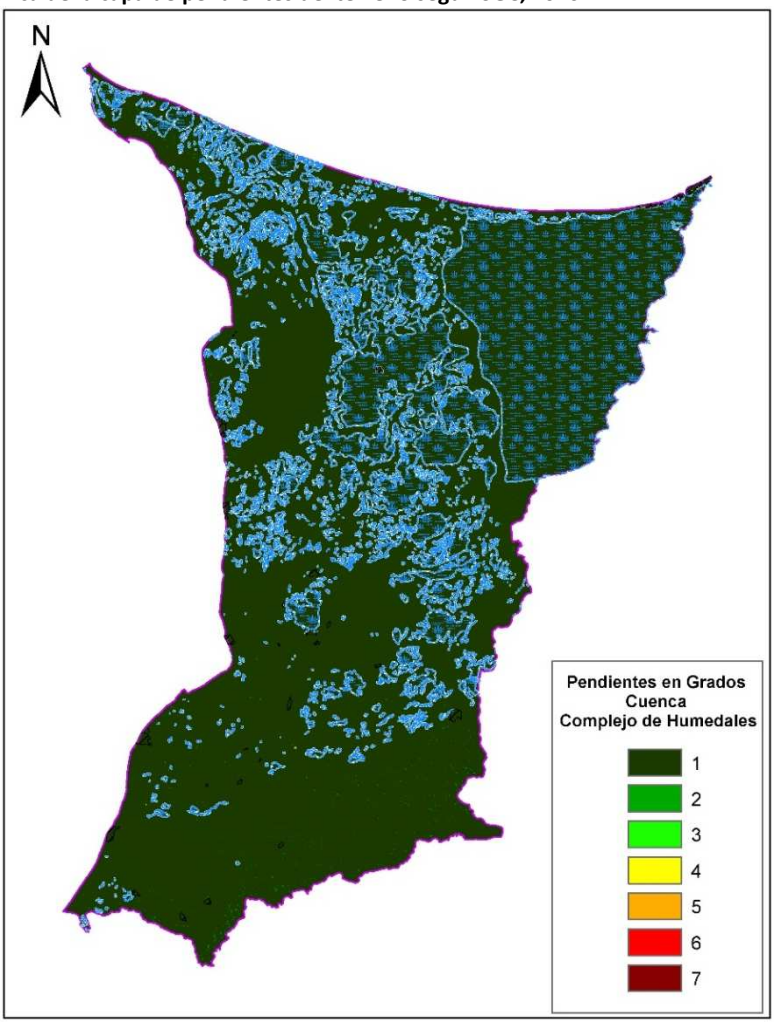
En la Figura 7.7 se puede observar como la pendiente de la clase plana a suave se encuentra en toda la cuenca del CHCGSM, aun cuando existen otras clases, estas se presentan de forma dispersa lo que impide su mapeo.

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	2778015000	277801.500	99.777
2	Inclinada	5 - 10	6041800	604.180	0.217
3	Muy inclinada	10 - 15	111400	11.140	0.004
4 15 - 20	Abrupta	15 - 20	40400	4.040	0.001
5	Muy abrupta	20 - 30	23900	2.390	0.001
6	Escarpada	30 - 45	1800	0.180	0.000

Fuente: POMCA de la CHCGSM, 2016

Figura 7.7. Salida gráfica de la capa de pendientes del terreno según SGC, 2016.



7.5. Conclusiones.

Abordar el análisis de las pendientes de la cuenca del Complejo humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, pareciera un trabajo muy simple dada la homogeneidad de su territorio; sin embargo este ejercicio resultó un tanto complicado, para lo que concierne con la clasificación del IGAC, en la medida que la base cartográfica no aportó información adecuada para su estudio.

El modelo de elevación generado para el proyecto, resultó ser un indicativo de carácter general puesto se tuvo que recurrir al trabajo realizado desde la geomorfología y un fuerte trabajo de campo que permitiera acercarse a la realidad de la topografía reinante en la cuenca.

Lo mismo no sucedió para la clasificación del SGC, puesto que con solo la primera clase (intervalo de pendientes entre 0 a 5°), se incluyó prácticamente toda la cuenca, lo que facilitó la generación del producto sin generar dudas al respecto de sus cifras.

8. HIDROLOGÍA

Para lograr la gestión Integral del Recurso Hídrico, la unidad adecuada para lograr el manejo idóneo del territorio es la cuenca hidrográfica, siendo el componente hidrológico una de las bases de la ordenación del territorio debido a que el recurso hídrico es un aspecto determinante no sólo de los ecosistemas, sino de cualquier actividad socioeconómica.

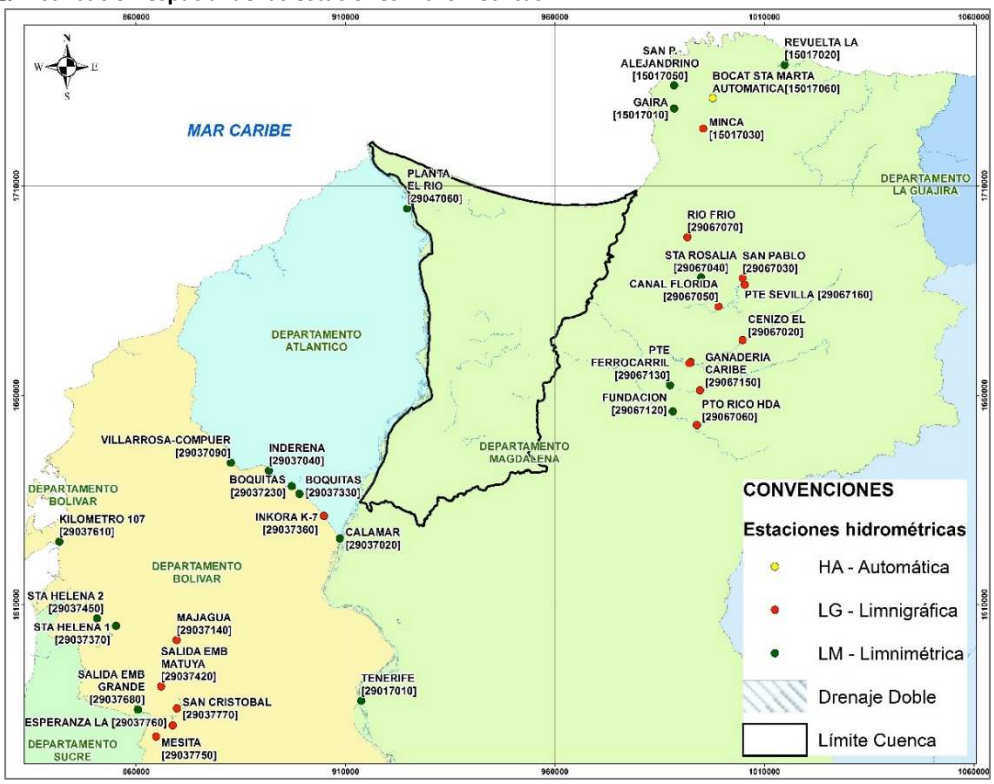
Los Planes de Manejo y Ordenación de Cuencas Hidrográficas (POMCA), tienen como objetivo lograr la caracterización, diagnóstico, manejo y uso sostenible de los recursos que posee la zona inmersa en la cuenca hidrográfica, estableciendo una zonificación y un posterior componente programático que busca 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 desarrollo del componente hidrológico del presente POMCA, se recolectó y analizó la información de las estaciones hidrométricas disponibles en la zona de la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (2906-01) y sus áreas aledañas. Para el análisis de caudales, se partió del análisis de 33 estaciones que cuentan con series a nivel diario, entre las cuales se tiene 1 Hidrométrica automática (HA), 16 Limnimétricas (LM) y 16 Limnigráficas (LG), todas pertenecientes a la red de monitoreo del IDEAM, como se muestra en la Figura 8.1. Sin embargo, ninguna de las estaciones se encuentra al interior de la cuenca en estudio, lo que dificultó la determinación del régimen hidrológico de la cuenca, haciendo necesario analizar todas las estaciones disponibles de la zona y evaluar la metodología más apropiada para lograr la caracterización de una zona de suma importancia a nivel nacional.

Figura 8.1. Distribución espacial de las estaciones hidrométricas



La calidad de la información de cada estación, así como su localización, fue tenida en cuenta a la hora de determinar las que fueran útiles para el desarrollo del proyecto, partiendo de los datos suministrados por el IDEAM. Con la información de los caudales medios, máximos, mínimos y los niveles mensuales registrados por las estaciones, se realizó el correspondiente un control de calidad de los datos analizando la información de acuerdo a las características de las corrientes, así como el análisis de consistencia y homogeneidad de los datos, siguiendo los protocolos de la Organización Meteorológica Mundial y los determinados por la Guía Técnica para la Formulación de POMCAS (2014). En la Tabla 8.1 se enlistan las 33 estaciones disponibles en el área aledaña de la cuenca para el análisis del régimen hidrológico de la misma.

Tabla 8.1. Estaciones disponibles para el análisis del régimen hidrológico de la cuenca

Código	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud	Fecha Instalación	Fecha Suspensión
29017010	Tenerife [29017010]	Lm	Act	Magdalena	13,025	15/03/1973	
29037040	Inderena [29037040]	Lm	Sus	Canal Del Dique	6	15/12/1984	15/02/1985
29037330	Boquitas [29037330]	Lm	Sus	Canal Aducción	7	15/12/1984	15/02/2001
29037370	Sta Helena 1 [29037370]	Lm	Act	Canal Del Dique	3	15/06/1978	
29037420	Salida Emb Matuya [29037420]	Lg	Sus	Canal Matuya	37	15/01/1978	15/05/2002
29037450	Sta Helena 2 [29037450]	Lm	Act	Canal Del Dique	3	15/06/1978	
29037610	Kilómetro 107 [29037610]	Lm	Act	Canal Del Dique	2	15/04/1981	
29037680	Salida Emb Grande [29037680]	Lm	Sus	Canal Principal	25	15/12/1981	15/08/2003
29037750	Mesita [29037750]	Lg	Act	Ay Mesa	90	15/06/1983	

Código	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud	Fecha Instalación	Fecha Suspensión
29037760	Esperanza La [29037760]	Lg	Act	Ay Guamanga	90	15/06/1983	
29037770	San Cristóbal [29037770]	Lg	Act	Ay Matuya	35	15/06/1983	
29037090	Villarrosa-Compuer [29037090]	Lm	Sus	Canal Del Dique	4	15/05/1963	15/02/1985
29037140	Majagua [29037140]	Lg	Sus	Ay Hondo	25	15/08/1964	15/09/1986
29037230	Boquitas [29037230]	Lm	Sus	Canal Del Dique	7	15/12/1984	15/04/1986
29037360	Inkora K-7 [29037360]	Lg	Act	Canal Del Dique	8,49	15/08/1972	01/11/2011
15017010	Gaira [15017010]	Lm	Sus	Gaira	10	15/09/1964	15/02/1981
15017030	Minca [15017030]	Lg	Act	Gaira	650	15/05/1965	
15017060	Bocat Sta Marta Automática [15017060]	Ha	Act	Manzanares	60	15/10/1973	
15017020	Revuelta La [15017020]	Lm	Act	Piedras	50	15/05/1965	
15017050	San P. Alejandrino [15017050]	Lm	Sus	Manzanares	20	15/10/1972	15/07/1987
29067030	San Pablo [29067030]	Lg	Sus	Sevilla	900	15/08/1960	15/04/1975
29047060	Planta El Rio [29047060]	Lm	Sus	Magdalena	4	15/06/1978	15/01/1988
29067140	Manizales [29067140]	Lg	Sus	Tucurinca	34	15/03/1958	15/10/1981
29037020	Calamar [29037020]	Lm	Act	Magdalena	8,006	15/07/1940	
29067010	Trébol El [29067010]	Lg	Act	Tucurinca	60	15/03/1958	
29067040	Sta Rosalia [29067040]	Lm	Act	Orihueca	55	15/05/1965	
29067060	Pto Rico Hda [29067060]	Lg	Act	Fundación	55	15/06/1967	
29067130	Pte. Ferrocarril [29067130]	Lm	Act	Aracataca	37	15/05/1965	
29067150	Ganadería Caribe [29067150]	Lg	Act	Aracataca	67	15/05/1965	
29067160	Pte. Sevilla [29067160]	Lg	Act	Sevilla	1000	15/07/1982	
29067020	Cenizo El [29067020]	Lg	Sus	Tucurinca	450	15/01/1959	15/04/1975
29067050	Canal Florida [29067050]	Lg	Act	Sevilla	60	15/05/1965	
29067070	Rio Frio [29067070]	Lg	Act	Frio	30	15/07/1978	
29067120	Fundación [29067120]	Lm	Act	Fundación	55	15/04/1958	

Teniendo en cuenta que las condiciones de la cuenca hidrográfica son sumamente especiales y que la misma no posee un comportamiento fácilmente comparable con el presentado por otras cuencas hidrográficas aledañas, un proceso de regionalización no se considera apropiado, ya que a nivel regional, no hay un área que tenga condiciones similares. Por eso, se decidió hacer uso de las estaciones CALAMAR (29037020) y, a pesar de no cumplir con el tiempo de registro mínimo que requieren los alcances técnicos del presente proyecto, se decidió hacer uso de la información registrada por la estación PLANTA EL RIO (29047060) para apoyar el desarrollo del modelo hidrológico implementado para el desarrollo del componente hidrológico de la presente cuenca, como podrá verse en detalle en el numeral 8.4 del presente documento.
En el Anexo 8.1 de presenta la información proveniente de las estaciones del IDEAM.

8.2. Análisis de calidad, validez, consistencia y tendencia de la información.

En la Figura 8.2 y la Figura 8.3 se presentan la series de caudales medios diarios de las estaciones CALAMAR (29037020) y PLANTA EL RIO (29047060). 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 CALAMAR (29037020).

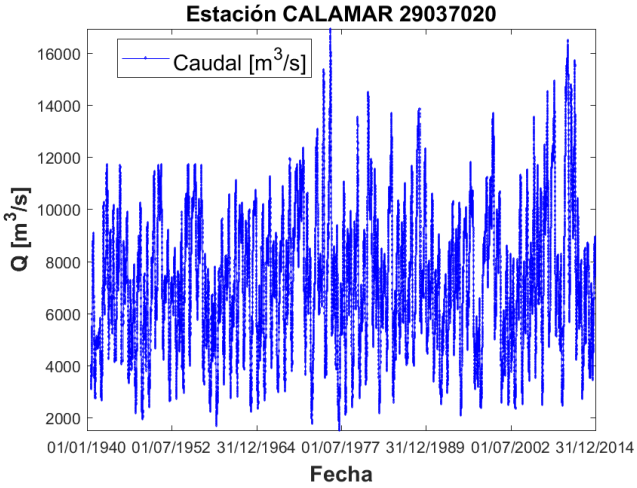
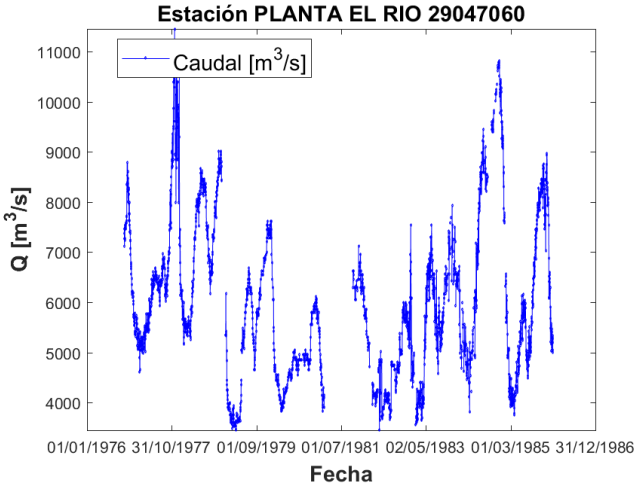


Figura 8.3. Series de caudales medios diarios estación PLANTA EL RIO (29047060).



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 curvas 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 CALAMAR (29037020) y PLANTA EL RIO (29047060).

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 (Hamed, 2009). 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 (Yue, Pilon, Phinney, & Cavadias, 2002) 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 y los datos atípicos parecieran ser los valores extremos para épocas de caudales altos (ver Figura 8.4 y Figura 8.6). Lo mismo se puede asegurar para los diagramas a escala mensual multianual (ver Figura 8.5 y Figura 8.7). 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 la estación CALAMAR (29037020) se seleccionó el periodo del 1 de enero de 1983 hasta el 31 de diciembre del 2013 (ver Figura 8.8). Por su parte, para la estación del PLANTA EL RIO (29047060)

se seleccionó el periodo disponible del 21 de octubre de 1976 hasta el 31 de enero de 1986 (ver Figura 8.9).

Figura 8.4. Diagrama de cajas y bigotes datos estación CALAMAR (29037020).

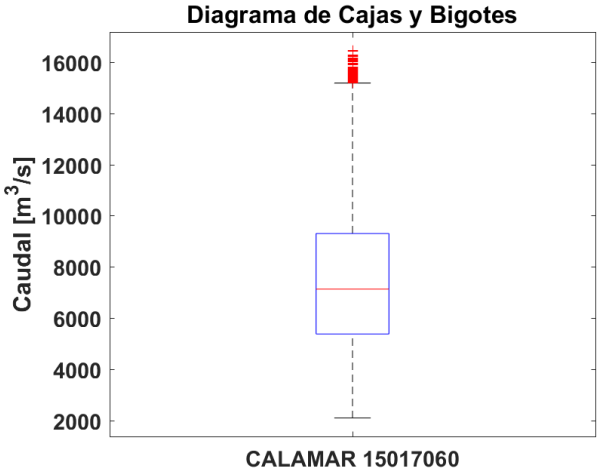


Figura 8.5. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación CALAMAR (29037020).

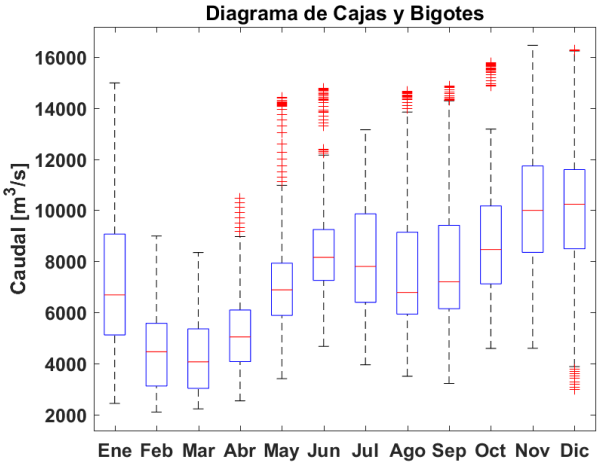


Figura 8.6. Diagrama de cajas y bigotes datos estación PLANTA EL RIO (29047060).

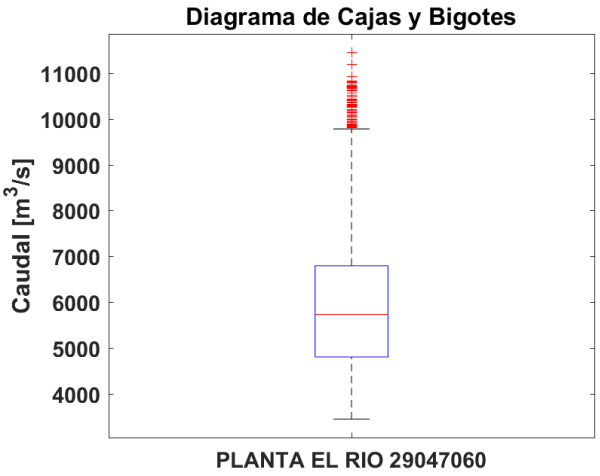


Figura 8.7. Diagrama de cajas y bigotes datos mensuales multianuales estación PLANTA EL RIO (29047060).

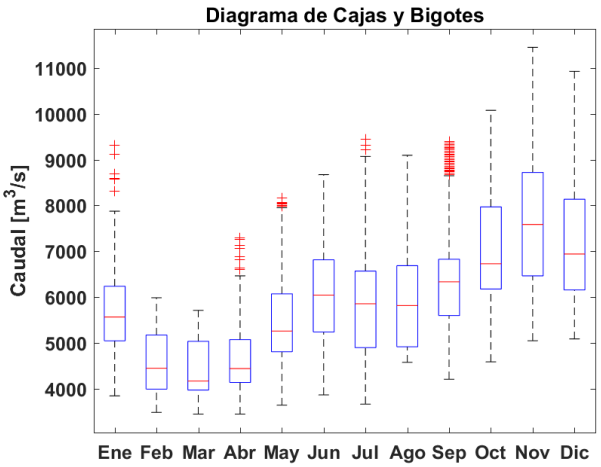


Figura 8.8. Series de datos completados y periodo seleccionado estación CALAMAR (29037020).

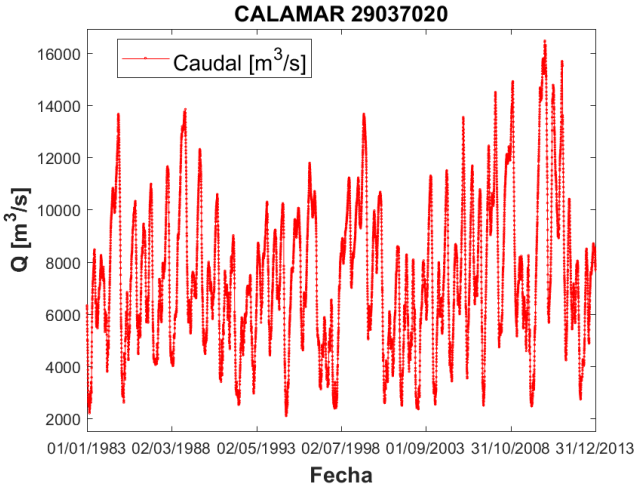
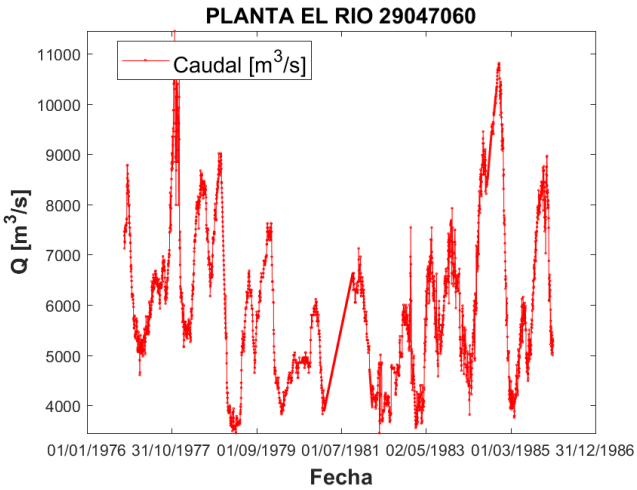


Figura 8.9. Series de datos completados y periodo seleccionado estación PLANTA EL RIO (29047060).



En la Figura 8.10 y la Figura 8.11 se presentan las curvas de masa para las estaciones CALAMAR (29037020) y PLANTA EL RIO (29047060), 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 8.12 y Figura 8.13 se presentan la pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos de las estaciones CALAMAR (29037020) y PLANTA EL RIO (29047060), 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 la estación CALAMAR (29037020). De la misma manera la prueba de M-K con un nivel de significancia del 5% no muestra una tendencia significativa para los datos de caudales diarios de la estación PLANTA EL RIO (29047060).

En la Figura 8.12 se puede apreciar que el parámetro b, que es la pendiente de la línea de tendencia de la prueba Theil-Sen, muestra una gran dispersión en el rango de valores (-200,150) del histograma de ocurrencias. A pesar de que existen más de 60.000 valores que están en el rango de (-30,50) su valor medio es de $b = 0.1065$, que indica una leve tendencia de aumento 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 8.13, por su parte, se puede apreciar que el parámetro b está en el rango de valores (-100,80) del histograma de ocurrencias con más de 4.000 ocurrencias en el rango (-30,10) y un valor medio de $b = -0.0752$, 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 8.10. Curva de masa datos estación CALAMAR (29037020).

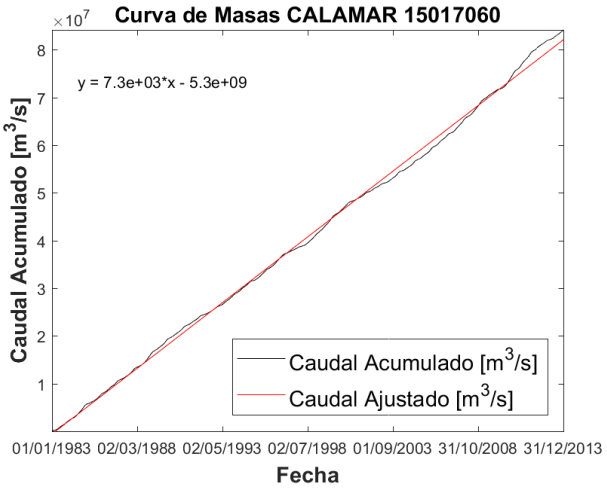


Figura 8.11. Curva de masa datos estación PLANTA EL RIO (29047060).

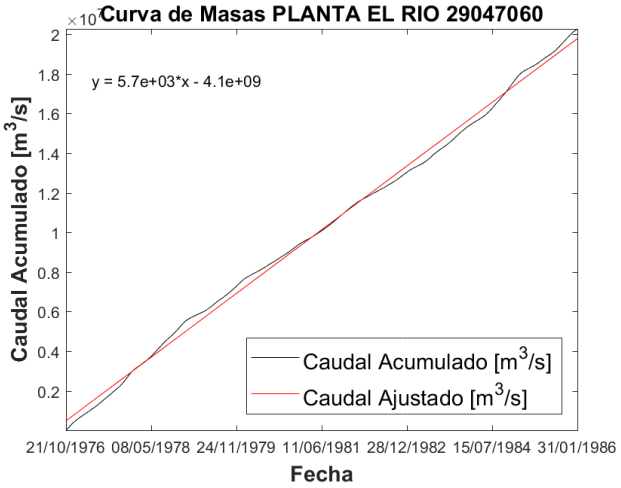


Figura 8.12. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación CALAMAR (29037020).

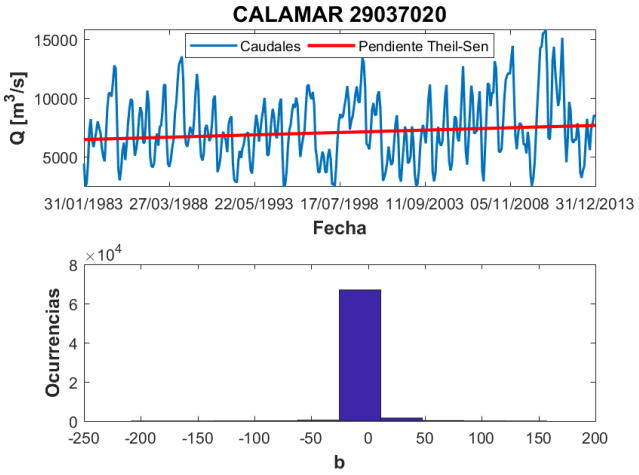
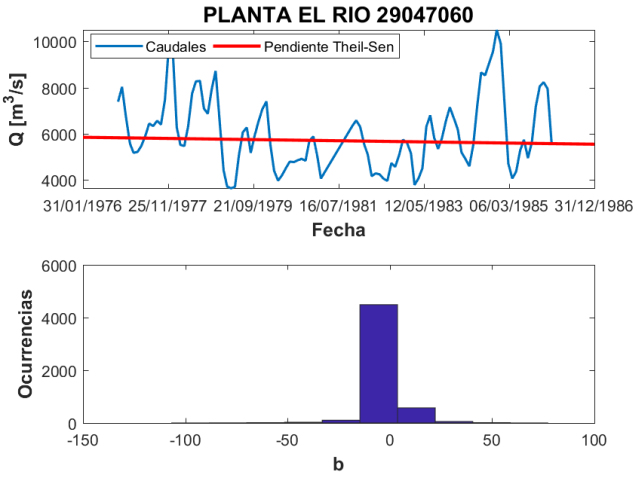


Figura 8.13. Pendiente de tendencia por método Theil-Sen para los datos estación PLANTA EL RIO (29047060).



8.3. Inventario De Infraestructuras Hidráulicas Que Afectan La Oferta Hídrica.

8.3.1. Cabeceras municipales

Las condiciones de abastecimiento de agua de los municipios que abarca la cuenca, tienen ciertas deficiencias en términos de su calidad y cobertura. A continuación se presenta una relación de cada entidad territorial que tiene su casco urbano dentro de la cuenca y su respectiva cobertura:

Tabla 8.2. Cobertura del acueducto de municipios en la cuenca

Municipio	Cobertura de Acueducto (%)
Sitionuevo	95,00
Remolino	97,59
Pivijay	86,43
El Piñón	90,39
Salamina	88,85

Fuente: Elaboración propia a partir de planes de manejo ambiental de los humedales Buenavista, Caño Schiller y Zapayán, CORPOAMAG y Aguas del Magdalena.

Durante el desarrollo de la ruta veredal del agua fase dos se hizo posible identificar ciertas características de los acueductos en cabeceras municipales, como se muestra a continuación en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable de los municipios en la Cuenca

Municipio	Fuente	Usuarios	Cobert. %	Calidad	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Coordenada Y bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
Sitio Nuevo	Río Magdalena	13500	90	Malo	929.584,0	929.584,0	Bocatoma, desarenador, floculadores y sedimentadores, filtros, dos tanques subterráneos de desinfección, tanque de almacenamiento	Directamente del río	Planta de tratamiento fuera de funcionamiento, Mala calidad del agua
Remolino	Río Magdalena	52000	81	Bueno	929.957,8	1.674.567	Bocatoma, desarenador, floculador en concreto, sedimentadores, filtros de concreto, tanques de almacenamiento	Lluvia, directamente del Río	No reportada
Pivijay	Caño Ciego	252000	75	Regular	940.188,1	1.649.476	Bocatoma, sedimentador, floculación y tanque de almacenamiento	Pozo profundo y lluvia	Mala calidad del agua, Servicio intermitente
El Piñón	Río Magdalena	62000	88	Bueno	917.737,6	1.641.871	Bocatoma, planta de tratamiento, fibra de vidrio, 3 floculadores, 3 sedimentadores, 6 filtros auto lavables, desarenador de concreto	No existe	Mala ubicación de la bocatoma
Salamina	Río Magdalena	65000	97,4	Bueno	920.871,8	1.651.571	Captación, desarenado, floculación, sedimentación, filtros y tanques de almacenamiento	Lluvia	No se reporta

Como es de notar, Sitio Nuevo tiene una cobertura aproximada del 95%. (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., 2013) Cuenta con un total de 13500 usuarios, y un servicio irregular e insuficiente. El agua distribuida no es apta para el consumo humano. La red de distribución está compuesta por una bocatoma situada en el Río Magdalena, procesos de desarenado, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución, ubicada en las coordenadas X: 929.584 y Y: 929.584.

Por su parte Remolino, con el 97,59% de la población cubierto por el servicio, y 5200 usuarios, cuenta con una planta de tratamiento convencional, en funcionamiento, con un caudal aproximado de 33 Lt/seg de agua apta para el consumo humano (Alcaldía Municipal de Remolino, 2012 - 2015) No es continuo, por el contrario tiene franjas de frecuencia para prestación del servicio. La fuente de abastecimiento es el Río Magdalena y su estructura básica cuenta con una bocatoma, un desarenador, un floculador en concreto, un par de sedimentadores, filtros de concreto y tanques de almacenamiento, localizada en las coordenadas X: 929.957,8 y Y: 1.674.567, corregimiento El Salado.

Pivijay, tiene una cobertura de aproximadamente el 87% (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P,, 2013)en el área urbana, distribuyendo a aproximadamente 25200 usuarios. La fuente de abastecimiento es el Caño Schiller – Caño Ciego. El sistema de acueducto está compuesto por un planta de tratamiento convencional con sedimentación y floculación que usa sulfato de aluminio e hipoclorito y dos tanques de almacenamiento de agua (500m^3 y 100m^3, respectivamente), el caudal de bombeo está cerca a los 50 Lt/seg (Alcaldía Municipal de Pivijay, 2000), sus condiciones no son las más optimas y el servicio no es continuo. Se encuentra en las coordenadas X: 940.188,1 y Y: 1.649.476.

El acueducto del municipio El Piñón goza de una cobertura aproximada del 91%. (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P,, 2013) Cuenta con un total de 6200 usuarios, y su principal problemática se relaciona con hecho de que la bocatoma de captación se encuentra aguas debajo de vertimientos de importancia. La red de distribución está compuesta por una bocatoma situada en el Río Magdalena, una plata de tratamiento convencional con desarenadores, floculadores, filtros y sedimentadores, ubicada en las coordenadas X: 917.737,6 y Y: 1.641.871.

Salamina cuenta con un acueducto cuya cobertura es de cerca del 90%, (CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., 2013). Con aproximadamente 6500 usuarios, ubicado en las coordenadas X: 920.871,8 y Y: 1.651.571. La fuente de abastecimiento también es Río Magdalena de donde se desprende una red de distribución compuesta por procesos de desarenado, floculación, sedimentación, filtración y almacenamiento. No se reporta una problemática específica y además la calidad del agua distribuida es buena.

8.3.2. Áreas rurales y centros poblados

El abastecimiento de agua para el consumo humano en las áreas rurales de los municipios de la cuenca en su mayoría está a cargo de acueductos veredales constituidos. La información al respecto fue obtenida directamente en campo por medio del desarrollo de la ruta veredal del agua en su segunda fase.

A continuación se presenta una serie de tablas, en donde se resumen los resultados de la ruta para cada municipio en términos del abastecimiento de agua potable:

Tabla 8.4. . Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Remolino

Vereda	Existencia acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Coordenada Y bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
San José de las Casitas	Si	Caño Renegado - Caño Condazo	400	80	938.674	1.668.361	NA	Ciénaga y lluvia	Mala calidad del agua
Santa Rita	Si		500	100			Bocatoma, turbina, floculador, sedimentador, tanque de almacenamiento	Directamente del Caño, lluvias	Filtros fuera de funcionamiento, mal estado de los tanques de almacenamiento
San Rafael	Si	Caño el Salao	540	77	935.120,2	1.661.684	Bocatoma, bomba de captación, sedimentador, floculación y tanque de almacenamiento	Ciénaga de Buenavista, pozos, lluvia	Mala calidad del agua, Servicio intermitente
Villa de Praga	Si		280	80			Bocatoma, bomba de captación, sedimentador, floculación y tanque de almacenamiento	Ciénaga de Buenavista	Cantidad bombeada insuficiente
El Salado	Si		300	100			Bocatoma, bomba de captación, sedimentador, floculación y tanque de almacenamiento	Directamente del Caño El Salao	Mala calidad del agua
Dividivi	Si		400	88			Bocatoma, bomba de captación, sedimentador, floculación y tanque de almacenamiento	Jagüey el Mamon y Caño Rabón	Servicio intermitente
Aserradero	Si	Caño el Salao	80	100	935.166,7	1.660.541	Bocatoma, turbina, floculador, sedimentador, tanque de almacenamiento	Directamente del Caño El Salao	Servicio intermitente

En Remolino la totalidad de centros poblados de interés para la ruta cuentan con un sistema de captación y distribución de agua apta para el consumo humano, la principal problemática se refiere a la calidad y frecuencia del líquido. Se evidenciaron 2 puntos principales de captación, en el Caño Salado y en el Caño Renegado - Caño Condazo. En general fue posible analizar que las condiciones de abastecimiento son buenas en la medida en que hay distribución en áreas rurales, sin embargo será de consideración su calidad y frecuencia, además es de mencionar la importancia de tener en cuenta el caudal extraído de estos dos cuerpos hídricos y su capacidad de retorno.

Tabla 8.5. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Pivijay

Vereda	Existencia acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Coordenada Y bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
La Retirada	Si	Caño Julepe	220	100	NA	NA	Bocatoma, tubería	Lluvia	No hay planta de tratamiento
Las Casitas	No	Pozos cercanos	NA	NA	NA	NA	NA	Pozo profundo y lluvia	No hay servicio de acueducto
Carmen	Si	Caño el Salado, Paraco	1600	72	936.579,1	1.656.544	Bocatoma, bomba de captación, tubería y planta de tratamiento	Lluvia, Directamente del Caño	La planta de tratamiento no funciona
Corregimiento Medialuna	Si	No hay captación	0	0	953.090,1	1.654.815	Bocatoma, planta de tratamiento, sedimentadores, floculación, filtros, tanque de almacenamiento	Pozos	La infraestructura existe pero no funciona

En el municipio de Pivijay la situación es diferente ya que uno de sus puntos de interés no tiene acueducto y los demás tienen problemas con el funcionamiento de la infraestructura existente. Se Identificaron 2 puntos principales de captación, en el Caño Salado - Paraco y el Caño Julepe. Es de mencionar que una infraestructura ineficiente o en mal estado representa una amenaza para la calidad del agua distribuida e incluso para el cuerpo de agua fuente.

Tabla 8.6. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de El Piñón

Vereda	Existencia acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Coordenada Y bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
Tiogallo	Si	Río Magdalena	2900	96	916.862,1	1.639.538	Albercas, turbina, tanque elevado	Jagüey	Mal estado del acueducto
Cantagallar	Si	Estación de bombeo del Piñón Magdalena	2500	89	916.862,1	1.639.538	Albercas, tanque elevado	Aljibes, lluvia, Caño Ciego	Servicio intermitente, no continuo
Sabanas	Si	Río Magdalena	456	90	916.862,1	1.639.538	NA	Ciénaga, aljibes, lluvia, pozos	Mala calidad del agua, Servicio intermitente
San Basilio	Si	Río Magdalena	750	75	916.862,1	1.639.538	NA	Jagüey, lluvia	Servicio intermitente
Los Patos	No	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Pozo profundo y lluvia	No hay servicio de acueducto
Campo Alegre	No	Caño Matías	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Cada familia trata el agua tomada del Caño, con cloro

En El Piñón dos de los centros poblados de interés para la ruta no cuentan con un sistema de captación y distribución de agua apta para el consumo humano, otros cuatro si, la principal problemática se refiere a la calidad y frecuencia del líquido. Todos tomando como fuente el Río Magdalena. Dado que hay distribución en áreas rurales se puede decir que las condiciones de abastecimiento son buenas, sin embargo será de consideración su calidad y frecuencia.

Tabla 8.7. Descripción del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Salamina

Vereda	Existencia acueducto	Fuente de abastecimiento.	Usuarios	Cobert. %	Coordenada X bocatoma o estructura principal	Coordenada Y bocatoma o estructura principal	Componentes del sistema	Otras fuentes de abastecimiento.	Problemática
Tiogallo	Si	Río Magdalena	2900	96	916.862,1	1.639.538	Albercas, turbina, tanque elevado	Jagüey	Mal estado del acueducto
Guáimaro	Si	Río Magdalena	300	94	929.863,9	1.663.235	Captación, desarenado, floculación, sedimentación, filtros, tuberías y tanques de almacenamiento	Directamente del Rio Magdalena	Exceso de cloro, mala calidad del agua
Julepe	Si	Caño Julepe	36	100	934.396,5	1.652.074	Captación, torre de aireación, floculación, sedimentación, filtros y tanques de almacenamiento	Lluvia y Directamente del Caño	Mala calidad del agua
El Salao	Si		100	100					Servicio intermitente
La Lomita	Si		130	82					Servicio intermitente
La Loma	Si	Caño Julepe	160	89	NA	NA	Floculación, sedimentación, filtros, tanques de almacenamiento y bodega	Pozo profundo y lluvia	No reportada
Vainilla	Si	Caño el Salao	17	100	935.166,7	1.660.541	Captación, torre de aireación, floculación, sedimentación, filtros y tanques de almacenamiento	Jagüey, lluvia	El servicio se toma de otra vereda, no es continuo

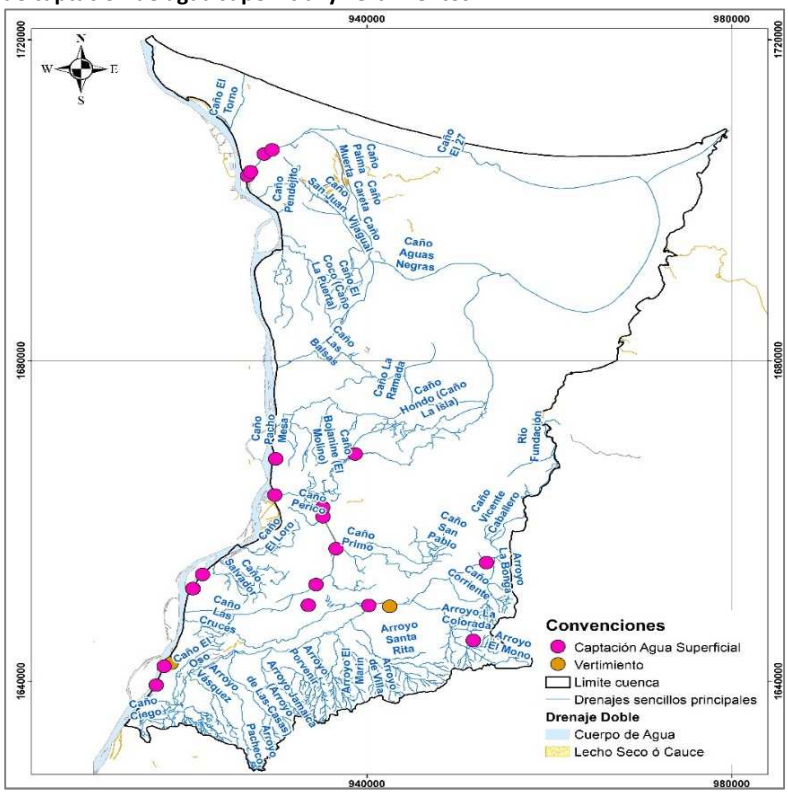
Para el caso del municipio de Salamina, la totalidad de centros poblados de interés para la ruta cuentan con un sistema de captación y distribución de agua apta para el consumo humano, la principal problemática se refiere a la calidad y frecuencia del líquido. Se evidenciaron 3 puntos principales de captación, el Caño Salado, Caño Julepe y el Río Magdalena. Las condiciones de abastecimiento son buenas en la medida en que hay distribución en áreas rurales, no obstante, hay necesidades de mejora en su calidad y frecuencia, además es de mencionar la importancia de tener en cuenta el caudal extraído de estos dos cuerpos hídricos y su capacidad de retorno.

8.3.3. Concesiones de agua superficial para actividades productivas.

Las concesiones de agua superficial que se encuentran al interior de esta cuenca se evaluaron a partir de la información referida por CORPAMAG, como los expedientes de concesiones en los municipios de su jurisdicción; no obstante no se reporta una descripción detallada de cada una, ni los documentos de soporte que permitan construirla.

Al interior de la cuenca se identifican 30 captaciones de agua superficial, 22 obedecen a concesiones de acueductos veredales y 8 hacen uso del agua para el desarrollo de actividades agropecuarias e industriales. En la Figura 8.14 se puede observar cómo estas se concentran al sur de la cuenca en cercanías al Río Magdalena y sobre la cuenca del "Caño Schiller 2906-0101", cabe señalar que sobre el Caño El Clarín recaen 4 captaciones en menos de 4,72 Km desde su nacimiento en el Río Magdalena.

Figura 8.14. Puntos de captación de agua superficial y vertimientos



En "Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 2906-01" se localizan 2 vertimientos que corresponden a la descarga de sistemas de alcantarillado como se describe en el capítulo de calidad de agua. A continuación, en la Tabla 8.8 se presenta una relación con dichas concesiones, todas usando como fuente el Río Magdalena, con un corte a Noviembre del año 2015:

Tabla 8.8. Descripción de concesiones de agua en la cuenca

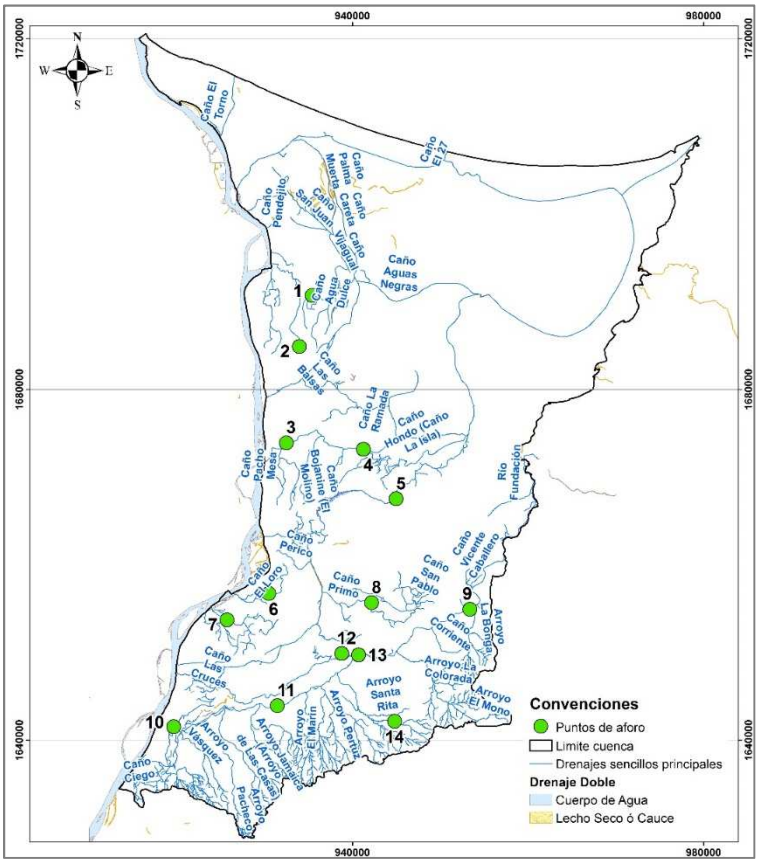
Nombre del Concesionado	Ubicación	Uso del agua	Caudal (Lt/seg)	Fecha de expiración	Coordenadas de la Captación
Empresa de servicios públicos de Pivijay "emserpi"	Pivijay	Consumo humano	61	1/11/2021	Sin coordenada
Emporio E.S.P. - empresa de servicios públicos del Río, Salamina	Cabecera Municipal, Salamina	Consumo Humano	17	27/08/2022	X; 920.905 Y: 1.651.562
Emporio E.S.P. - empresa de servicios públicos del Río, Salamina	Corregimiento de Guáimaro, Salamina	Consumo Humano	11	27/08/2022	Sin coordenada
Emporio E.S.P. - empresa de servicios públicos del Río, Salamina	Vereda Loma Soledad, Salamina	Consumo Humano	0,7	27/08/2017	Sin coordenada
Proveedora de alimentos palma Dorada S.A.S.	Corregimiento de Palermo Cauce Caño Clarín Nuevo, Sitio Nuevo	Proyecto Piscícola	5,25	20/12/2016	Sin coordenada
Agrifuels de Colombia S.A.S.	Corregimiento de Medialuna, Pivijay	Riego Cultivo de Caña de Azúcar	453,6	7/02/2016	X: 951.633 Y: 1.654.136
Ruta del sol II S.A.	Corregimiento de Palermo Cauce Caño Clarín Nuevo, Sitio Nuevo	Riego	0,09	30/10/2017	X: 928.709 Y: 1.705.778
Noemí Martínez de Daza	Corregimiento de Palermo, Sitio Nuevo	Piscicultura	1	19/03/2019	X: 929.571 Y: 1.706.292
Inversiones pego y CIA S.C.A.	Vereda La Loma, El Piñón	Riego cultivo palma	49	12/03/2019	X: 933.537 Y: 1.649.511
Tilapia roja el Piñón 1 S.A.S.	Municipio El Piñón	Explotación Piscícola	2	14/03/2019	Sin coordenada
Yasser Quintero Carrascal	Corregimiento de Palermo, Sitio Nuevo	Doméstico, riego piscícola	1,44	9/04/2019	X: 927.213 Y: 1.703.545
Palermo Sociedad Portuaria S.A.	Corregimiento de Palermo, Sitio Nuevo	Riego de carbón Coque	38,8	26/12/3000	Sin coordenada
Empresa ABE & CIA S.C.A.	Salamina	Riego Palma africana	202	29/07/2019	X: 921.948 Y: 1.653.334
Nélida Gutiérrez Carreño	Corregimiento de Palermo, Sitio Nuevo	Proyecto Piscícola	2,5	24/11/2024	X: 926.886 Y: 1.703.061
Zoocriadero Zoosel S.A.S.	Zona rural del municipio de Remolino	Lavado y llenado de piletas	5	5/03/2020	X: 929.970 Y: 1.667.744
Consorcio Ribera Este	Palermo, Guáimaro, Remolino	Desconocido	2	13/08/2018	X: 928.604 Y: 1.685.419
Arquitectura y Decoraciones Haydar S.A.S.	Zona Rural del municipio de Salamina	Riego de Maíz	10	9/10/2020	Sin coordenada

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. Es de mencionar además, que las actividades agropecuarias concentran el uso del recurso en gran medida, como se evidencio anteriormente; no obstante es importante considerar el caudal de captación para el consumo humano.

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 para esta cuenca no se reporta ninguna concesión.

Finalmente, en aras de evaluar la cantidad y calidad del recurso hídrico al interior de la cuenca se dispusieron 14 puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos y aforos de caudal como se muestra en la Figura 8.15, los cuales se ubican sobre corrientes permanentes. No obstante, a pesar de realizar dos campañas de muestreo para época seca y en condiciones normales no se presenta una corriente lo suficientemente caudalosa para realizar aforos en ninguno de los puntos previamente establecidos, como se detalla en la Tabla 8.9.

Figura 8.15. Puntos de aforo



A continuación, se presenta la información de registro de campo en los puntos en donde no fue posible realizar los aforos de caudales.

Tabla 8.9. Recopilación de resultados puntos de aforo

Id	Coord. X, Y	Descripción	Municipio	Vereda	Caudal	Observaciones
1	(935394,73, 1690720,85)	Caño El Salado	Sitionuevo	Aguadulce	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección 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.
2	(933925,221, 1684916,2)	Caño El Coco (Caño la Puerta)	Sitionuevo	Palmichal	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección 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.
3	(932444,86, 1673918,68)	Caño Salado (Salida de Remolino, vía Remolino - Las Casitas)	Remolino	Cabecera municipal	No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, debido a la sequía, el caño no presenta entrada de agua. Presencia de avifauna, especies como: *Columbina squamata*, *Icterus nigrogularis*, *Saltator coerulescens*, *Pintangus sulfuratus*.
4	(941226,47, 1673195,55)	Caño Salado (Entrada a complejo Ciénaga Grande)	Remolino		No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, debido a la sequía, el caño no presenta entrada de agua. Presencia de avifauna, especies como: *Furnarius leucopus, Pintangus sulfuratus, Saltator coerulescens*.
5	(944955,36, 1667535,54)	Caño El Condazo (Entrada a complejo Ciénaga Grande)	Remolino	Vía entre Santa Rita y Suárez	No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, el cuerpo de agua presenta abundante vegetación hidrófila (buchón de agua) a lado y lado. Adicionalmente, la profundidad del fango no permite el acceso. Según la comunidad que realizó el acompañamiento el agua se encuentra estancada.
6	(930434,37, 1656746,12)	Caño El Loro	Salamina	Salida de la Vía principal hacia Corregimiento Campoalegre	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección 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.
7	(925684,49, 1653744,79)	Caño Hondo	Salamina		No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo debido a que el caño no presenta entrada de agua.
8	(942169,31, 1655710,35)	Caño Primo	Pivijay	Forruco (Salida desde Paraco hacia Caño Schiller)	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección 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.
9	(953357,81, 1654955,9)	Caño Schiller	Pivijay	Corregimiento Medialuna	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección en un radio de 500mts alrededor y no se encuentran fuentes hídricas, por lo tanto, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.

Id	Coord. X, Y	Descripción	Municipio	Vereda	Caudal	Observaciones
10	(919604,7, 1641559,54)	Caño El Limón	El Piñón	Entre Todosnovan y Palotal de Afuera	No fue posible aforar	Se evidencia que el punto de muestreo se encuentra seco, se realiza inspección 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.
11	(931412,362, 1643961,67)	Caño del Oso	El Piñón	sobre la vía Campoalegre - Sabanas	No fue posible aforar	Se observa que el punto a muestrear se encuentra seco, se realiza inspección en un radio de 500 metros alrededor y no se encuentran cuerpos de agua, no es posible realizar aforo ni toma de muestra.
12	(938753,45, 1649908,91)	Salida de Caño Primo hacia complejo de ciénagas	El Piñón	Sobre la vía Campoalegre - Pivijay	No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, debido a la sequía, el caño no presenta entrada de agua.
13	(940669,12, 1649751,93)	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	El Piñón	Sobre la vía Campoalegre - Pivijay	No fue posible aforar	Se realiza toma de muestra. No es posible realizar aforo, debido a la sequía, el caño no presenta entrada de agua.
14	(944793,07, 1642186,39)	Arroyo Cascajal	El Piñón	Entre La Floresta, El Engaño y Los Hachitos	No fue posible aforar	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.

8.4. Análisis De Sistemas Lénticos Naturales

La cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta está constituida por un intrincado sistema de ciénagas las cuales se encuentran conectadas superficial y subsuperficialmente por una enrevesada red de caños y arroyos que han sido ampliamente intervenidos, alimentadas en gran parte por agua dulce de los ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta y por el cauce del Río Magdalena.

En la Tabla 8.10 se presentan los valores promedio que ocupan al interior de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente las ciénagas que determinan la dinámica hidrológica de la cuenca. Las subcuencas denominadas Caños Hondo, El Loro y otros directos al Río Magdalena, con código 2906-0102 y Caño Schiller, con código 2906-0101 presentan la menor participación de cuerpos lénticos en toda el área, siendo esta última la única al interior del Complejo de Humedales que gracias a una pendiente levemente inclinada favorece las corrientes dendríticas.

En la Tabla 8.11 se presentan dos unidades hidrográficas sin participación de ciénagas, como son las denominadas “Arroyos Palma de Vino, Pertúz y Los Puercos”, con código 2906-010106 y ubicada al costado Sureste de la subcuenca denominada “Caño Schiller”, con código 2906-0101 y “Caño Los Micos”, codificada como 2906-010503, la cual colinda con el Complejo de Pajarales, en donde predominan los drenajes en paralelo.

Tabla 8.10. Superficie promedio del espejo de agua para las ciénagas de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente

Código	Nombre	Área ocupada Ciénagas (Km²)	Área de la Cuenca (Km²)	Participación (%)
2906-0101	Caño Schiller	24,46	654,60	3,74
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al río Magdalena	1,08	91,07	1,18
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	18,38	271,50	6,77
2906-0104	Complejo Caño El Salado	25,69	162,21	15,84
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	30,79	280,33	10,98
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	35,75	134,34	26,61
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	720,03	1190,20	60,50

Tabla 8.11. Superficie promedio del espejo de agua para las ciénagas de las unidades hidrográficas de tercer nivel subsiguiente

Código	Nombre	Área ocupada ciénagas (km²)	Área de la cuenca (km²)	Participación (%)
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	4,809	26,03	18,48
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	10,644	58,28	18,26
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	5,454	85,13	6,41
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	2,541	104,01	2,44
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	1,013	185,38	0,55
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertúz y Los Puercos	0,0	195,769	0,0
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	1,076	91,07	1,18
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	10,618	163,01	6,51
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	7,764	108,48	7,16
2906-010400	Complejo Caño El Salado	25,687	162,21	15,84
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	18,640	130,34	14,30
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	12,152	94,43	12,87
2906-010503	Caño Los Micos	0,0	55,564	0,0
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	35,749	134,34	26,61
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	720,029	1190,20	60,50

Finalmente, como es de esperarse, la unidad hidrográfica denominada como “Complejo Lagunar Ciénaga Grande”, codificada como 2906-0700, se constituye en más del 60% por cuerpos cenagosos los cuales determinan sus complejas dinámicas hidrológicas, al igual que la subcuenca denominada como “Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca”, con código 2906-010600, que posee 35,8749 Km^2 de ciénagas. A continuación, se caracterizan los principales sistemas cenagosos que integran el Complejo de Humedales.

8.4.1. Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca-NSS (Cód. 2906-0106).

Este Complejo cenagoso se encuentra rodeado por el Caño El Clarín de Suroeste a Noreste, y corresponde a un sistema lagunar principalmente influenciado por el Delta del Río Magdalena. El espejo de agua tiene un área aproximada de 35,7 Km^2. Como se detalla en el Capítulo de Hidrografía del presente diagnóstico, se presentan intercambios directos al Mar Caribe por las Ciénagas Cuatro Bocas, La Atascosa y El Torno. No obstante, al interior de la subcuenca “Complejo de Humedales”

se cuenta con una red de estaciones de monitoreo de la calidad del agua desde el año 1993. A continuación, en la Tabla 8.12 se recopila la ubicación para cada una de estas.

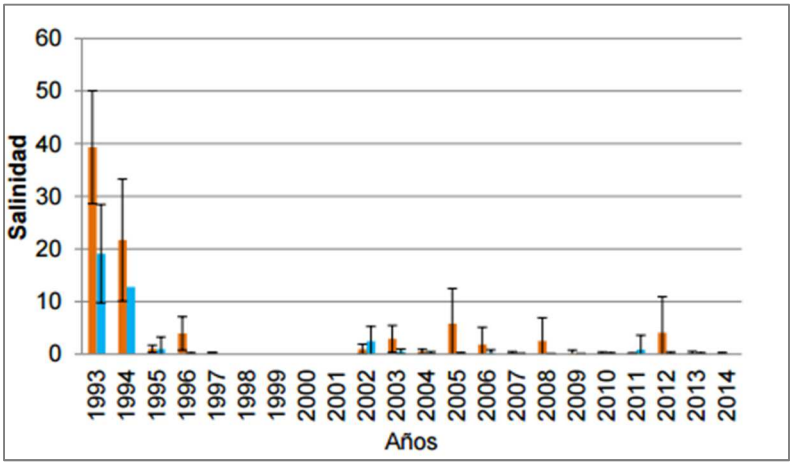
Tabla 8.12. Estaciones de monitoreo al interior del Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca

Estación	Latitud	Longitud
Ciénaga Las Piedras	11°3'18,47"	74°44'8,25"
Ciénaga El Loro	11°0'30,31"	74°43'47,63"
Ciénaga El Torno	11°3'34,34"	74°45'27,3"
Ciénaga Poza Verde	11°3°7,49"	74°47'13,79"
Caño El Torno	10°59'10,8"	74°17'48,3"

Fuente: Adaptado de INVEMAR, CORPAMAG, MinAmbiente (2014)

En la Figura 8.16 puede observarse como este complejo presentó una concentración de sales baja para el año 2014, en concordancia con la tendencia desde 1994, como lo señala INVEMAR, CORPAMAG y MinAmbiente (2014) debido a las obras hidráulicas que dieron como resultado la reapertura del Caño El Clarín para 1996 y el fenómeno "La Niña" que tuvo influencia en la región los años 2000, 2001, 2006, 2008 y 2011. Es así como la salinidad cayó a casi 0 ‰ en las ciénagas monitoreadas, demostrando el estado en el que el intercambio de agua dulce y salada se encuentra en la actualidad. Para mayor detalle al respecto, dirigirse al capítulo de calidad de agua del presente tomo.

Figura 8.16. Valores históricos de la salinidad (‰) del agua superficial para Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca



Fuente: INVEMAR, CORPAMAG, MinAmbiente (2014)

8.4.2. Complejo Lagunar Ciénaga Grande-NSS (Cód. 2906-0107).

Este complejo se ubica al costado Noreste de la cuenca y esta conformado por la cienga Grande de Santa Marta y las ciénagas y cuerpos que conforman el Complejo de Pajarales; este último se conecta directamente a la Ciénaga Grande. A continuación se realiza una descripción de los dos sectores.

8.4.2.1. *Ciénaga Grande.*

La Ciénaga Grande de Santa Marta posee un área estimada de 442,09 Km^2 y es la laguna costera más grande del país, como lo señalan MinAmbiente, CORPAMAG e INVEMAR (2004). La subcuenca se ubica al costado Noreste de la cuenca, en la unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente "Complejo Lagunar Ciénaga Grande", con código 2906-0107 y se constituye como el cuerpo de agua más importante del "Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta" con código 2906-01 debido a la superficie del espejo de agua. El complejo cuenta con un volumen aproximado de 722'000.000 m^3 según MinAmbiente, CORPAMAG e INVEMAR (2004), y representa la mayor oferta hídrica de cuerpos lénticos de la zona.

Se encuentra rodeada al Noreste por los centros poblados de Nueva Frontera, Puebloviejo, Isla del Rosario, Palmira y Tasajera pertenecientes al municipio de Puebloviejo. Esta se encuentra separada del Mar Caribe por una playa barrera llamada "Isla Salamanca", la cual presenta una única salida al mar al extremo NE conocida como "Boca de la Barra" con un ancho aproximado de 200 a 300 m y una profundidad que alcanza los 10 m según lo determinado por Wiedemann (1973). Sin embargo, MinAmbiente, CORPAMAG e INVEMAR (2004) señalan que la Boca presenta una profundidad promedio de 6 m y según pobladores este canal de comunicación tiende a cerrarse, como también lo da conocer Bernal (1996).

Esta boquilla ha presentado grandes cambios a raíz de las intervenciones antrópicas; una de las más importantes tuvo lugar con la construcción de la vía que comunica a Barranquilla y el municipio de Ciénaga, ruta que atraviesa longitudinalmente Isla Salamanca, construída entre los años 1956 y 1965 según Wiedemann (1973). Sin embargo, esta fue modificada, ya que anteriormente se ubicaba al oriente de Puebloviejo y alcanzaba a tener una abertura de casi 2 Km como ha señalado INVEMAR (2004). Esta entrada de sales es uno de los aportes más importantes que permiten la regulación de la Ciénaga como lo determinan MinAmbiente, CORPAMAG e INVEMAR (2004), al expresar que el volumen involucrado durante un evento de marea es del orden de 10'000.000 de m^3, que comparado con el volumen de la Ciénaga no es muy significativo, lo es en términos acumulativos.

El flujo de agua salobre y agua dulce de manera permanente sostienen la biodiversidad de la laguna y a su vez, le da una importancia al ecosistema de suma relevancia en el desarrollo de las poblaciones aledañas que adelantan actividades pesqueras y agropecuarias a partir de la oferta hídrica de la Ciénaga. A pesar de que el Mar Caribe en Santa Marta presenta un patrón de marea que oscila entre los 20 a 30 cm diurno y semi-diurno, según lo determinado por Wiedemann (1973), debido al desequilibrio ocasionado por el cierre, desviación y/o colmatación de los caños que enriquecen de agua dulce el sistema, se han presentado fenómenos de salinización que se dan por un efecto de estancamiento. La degradación del ecosistema y sus principales efectos comenzaron en la década del 70 con la muerte masiva de los manglares, la disminución de especies de peces, aves y organismos bentónicos, la Ciénaga Grande para los años 80's ya se encontraba completamente aislada del Río Magdalena, como señala INVEMAR (2004). Wiedemann (1973, p. 86) enuncia también que La hidrografía de la mayor parte de la laguna no está influenciada por las débiles mareas del Caribe pero sį gobernada por un régimen de baja salinidad, sujeto a cambios

estacionales. La laguna está formada por casi agua dulce en diciembre mientras que en mayo la distribución de la salinidad muestra valores entre 15 y 30 ‰ en diferentes partes.

Al presentar mayor densidad que el agua dulce, las sales se sedimentan en el lecho de la Ciénaga mientras que las leves corrientes superficiales circulan en contra de las manecillas del reloj, arrastrando los sólidos de menor densidad o por efectos de evapotranspiración estas ascienden, lo que la precipitación o la escasa entrada de agua dulce no es capaz de regular, como enuncian MinAmbiente, CORPAMAG e INVEMAR (2004). A esto, se suma la carga orgánica proveniente de los vertimientos de los asentaminetos palafíticos que finalmenten favorecen la reproducción de algas tóxicas y vegetación acuática que disminuye la concentración de oxígeno disuelto en el agua, generando ambientes tóxicos para las especies que habitan el ecosistema como ha sido explicado por INVEMAR (2004), presentando eventos como la mortandad de peces en el año 1995 y evidenciada nuevamente durante el año 2016, siendo ese primer evento el precedente para intervenir la Ciénaga Grande en aras de su recuperación como lo presume Torres, Schlüter y López (2016) que dio lugar a la iniciativa intergubemamental Colombia-Alemania desarrollada por PROCIÉNAGA.

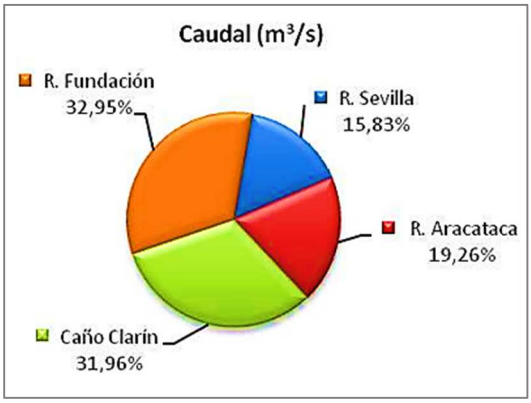
Mucha de la biodiversidad de la Ciénaga Grande se da gracias a la cobertrua de manglar que acompaña y protege el sistema -que rodea al Sur y al Noreste el espejo de agua, especialmente presta sus servicios ecosistémicos en mayor parte de regulación y abastecimiento como lo representa Vilardy et al., (2011). El estado del manglar en la Ciénaga Grande fue determinado por Serrano et al., (1995), quien estableció que se desempeñan importantes funciones ecológicas, tanto por sus aportes de materia orgánica y nutrientes a los estuarios y al mar, como por servir de áreas de refugio y cría a diferentes grupos de organismos, principalmente peces, crustáceos y moluscos de gran importancia comercial.

No obstante, para el año de 1993 el pantano de manglar ya presentaba una pérdida de 21778 ha del bosque original que en 1965 alcanzaba las 52000 ha, en gran medida por la hipersalinización de los suelos a raíz de la construcción de la vía anteriormente mencionada -Barranquilla-Ciénaga- según Serrano et al., (1995) que actúa como dique interfiriendo en el intercambio energético del sistema. Esta deforestación fue una de las consecuencias de mayor relevancia por la alteración en las dinámicas hidrológicas que sufrió la laguna para la década de los 90's. Cabe señalar que, con la implementación de las medidas de mitigación y recuperación por parte de PROCIÉNAGA, se dio la reapertura del Caño El Clarín para finales de 1995 con una entrada esperada de 20 m^3/s, seguido de el Caño Renegado y Aguasnegras en 1996 y 1997 que aportarían para ese tiempo 60 m^3/s, respectivamente desde el Río Magdalena, según lo estimaba PROCIÉNAGA (1994) y dado a conocer por Serrano et al., (1995). Estas reaperturas coincidieron con el fenómeno La Niña entre los años 1995 – 1999 a lo que se atribuyó la diminución de la concentración de sales en los suelos y una regeneración de las plántulas de Mangle. Rivera-Monroy et al., (2006), determinaron que a partir del 2001, el mantenimiento extensivo de las obras hidráulicas (dragado de los caños) ha sido irregular especialmente en 2002 debido a la falta de recursos económicos. Similarmente, no existe un plan aprobado para el manejo de compuertas de control de flujo y por lo tanto no hay registro de caudales de los caños ni una evaluación de la entrada de sedimentos. Como consecuencia la

salinidad ha empezado a aumentar en suelos y aguas, impactando la vegetación recuperada, aun en áreas seleccionadas como referencia. El rendimiento pesquero bajó después del 2000 a niveles similares a los que existían antes de la apertura de los canales" (Rivera-Monroy et al., (2006)).

La Ciénaga Grande es de naturaleza de agua dulce y como lo estimó INVEMAR, CORPAMAG, y MinAmbiente en (2008) los mayores aportes se dieron desde el Río Fundación para ese año como se detalla en la Figura 8.17. Cabe señalar que los aportes del Río Fundación incluyen las aguas de la unidad hidrográfica que recoje del Caño Schiller al Sur de la cuenca, como ha sido discriminado en el Capítulo de Hidrográfia; seguido del Caño El Clarín que para el periodo comprendido de 2001 a 2008 sus entradas alcanzaron un valor medio de descarga de 23 m^3/s. (INVEMAR, CORPAMAG, y MinAmbiente (2008)).

Figura 8.17. Contribuciones de agua dulce a la Ciénaga Grande de Santa Marta para un periodo de 2001-2008



Fuente: INVEMAR, CORPAMAG, y MinAmbiente (2008, p.31)

Dado lo anterior, se ratifica la alta sensibilidad del la Ciénaga a la alteración de las dinámicas hidrológicas dadas por las actividades antrópicas en conflicto con la importancia ambiental que representa la Ciénaga Grande de Santa Marta a nivel mundial, ratificado por sus reconocimientos como "Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta" en 1977, zona RAMSAR para la protección de humedales en 1998 y Reserva de la Biosfera por la UNESCO el año 2000, gracias a las interacciones únicas al interior del ecosistema y la comunidad, como lo enmarca Vilardy et al., (2012).

En conclusión, gracias a las demandas socioeconómicas que recaen sobre la Ciénaga Grande por la extracción de recursos naturales del ecosistema, la tendencia del cuerpo de agua está dirigiendose al deterioro, y se evidencia la manera en que el mantenimiento y mejoramiento de las obras hidráulicas que buscan mejorar el régimen hidrológico de la zona se quedan cortas al no ser integradas con medidas de ordenación de las cuencas que convergen al sistema. Por ejemplo, el arrastre de sedimentos desde el Río Magdalena que colmata y deteriora los caños de entrada es producto de un conflicto de uso de la tierra a lo largo de su cauce que se traduce en la erosión de los suelos y degradan la calidad del agua para el sostenimiento de la vida en la Ciénaga; toda la problemática ambiental de la laguna se ve enmarcada en un detrimento de la calidad de vida de los

pobladores, como consecuencia de la disminución de la oferta pesquera -base de la economía regional-.

8.4.2.2. *Complejo de Pajarales.*

Este Complejo se ubica al Norte de la cuenca, y su espejo de agua se extiende aproximadamente 250,7 Km^2, pero puede fluctuar de acuerdo a la época del año. Este complejo se conecta directamente a la Ciénaga Grande y es el canal de comunicación entre esta y los caños al costado Oeste que la alimentan con agua dulce desde el Río Magdalena. El Complejo no se conecta directamente al Mar Caribe, mas sin embargo, si se ve influenciado por la intrusión salina en las ciénagas del Norte y la Ciénaga Grande. Se compone de las ciénagas enlistadas a continuación, así como de otros cuerpos lénticos menores y manglares,

- Caño Los Venados
- Palotal De Caño Hondo
- Playón Los Negros
- Playones Las Penas
- Playón Me Gustaste
- Rincón Grande
- Los Callejones
- De Los Negros
- Don Miguel
- La Montaña
- Alfandoque
- Majagualito
- Machetico
- Del Tigre
- Mendegua
- de Conchal
- Ahuyama
- Del Placer
- Caño Saco
- Fermeria
- De Pajaral
- De Quiroz
- De Rincón
- Las Piedras
- La Cruz
- Saco
- La Luna
- Juncal
- Pájaro
- Patoco
- Solano
- Hachita
- Pajaral
- San Juan
- El Limón
- El Patoco
- Auyama
- Cherle
- Hachita
- La Aguja
- La Caláta
- Tamacal
- La Luna
- La Mata
- Zaragozal
- La Tigrera
- Las Trojas

Al interior de Pajarales existe una enrevesada red de caños y arroyos que conecta superficialmente los cuerpos lénticos, siendo la conexión principal entre este y la Ciénaga Grande el Caño Grande, ubicado al costado Este de la Ciénaga de Pajaral y tiene una profundidad media que alcanza los 6 m según Bernal y Betancur (1996). No obstante, Caño Grande interrumpe su paso en épocas de sequías como lo determina Wiedemann (1973), y puede llegar a invertir su flujo hacia el Complejo de Pajarales. Bernal y Betancur (1996) determinaron para la Ciénaga de Pajaral una profundiad que variaba entre 0,2 y 1,3 m según la época del año, ciénaga que presenta la mayor extensión de espejo de agua del complejo de Pajarales, con un área estimada de 161,5 Km^2

El Complejo de Pajarales recibía directamente agua dulce como efecto del desbordamiento del Río Magdalena en épocas de lluvia, paso que se vio restringido con la construcción de la vía Palermo – Sitionuevo que interrumpió el flujo presentado a través de la llanura de inundación y limitó las entradas al sistema, así como a la construcción de trinchos como protección para la agricultura y la desecación de suelos entre otros (PROCIÉNAGA (1994) citado por Bernal y Betancur (1996)). No obstante, en 1998 comenzó a recibir las aguas desde el Caño Aguasnegras y Renegado -reconectados por PROCIÉNAGA- según INVEMAR (2004).

Al interior del Complejo de Pajarales se presentan dos asentamientos, que son Buenavista y Nueva Venecia, pertenecientes al municipio de Sitionuevo, lo que aumenta el impacto sobre los recursos naturales de la ciénaga y aumentando la producción de cargas orgánicas originadas por el vertimiento directo de aguas residuales domesticas a la Ciénaga de Pajaral. A su vez, la población se ve sumamente afectada en sus condiciones de vida y socioeconómicas por el deterioro de la condición ambiental de la ciénaga. INVEMAR (2004) enuncia que estas comunidades, junto con otras que se encuentran dispersas a lo largo del caño Clarín y el sector occidental de la Isla de Salamanca, derivan su sustento económico de los recursos naturales ofrecidos por el ecosistema. Las comunidades en mención carecen de servicios básicos como agua potable, alcantarillado, salud y educación.

Para mayor información del flujo de las aguas dentro de los complejos cenagosos, dirigirse al capítulo de Hidrografía del presente tomo.

8.5. Caracterización Del Régimen Hidrológico

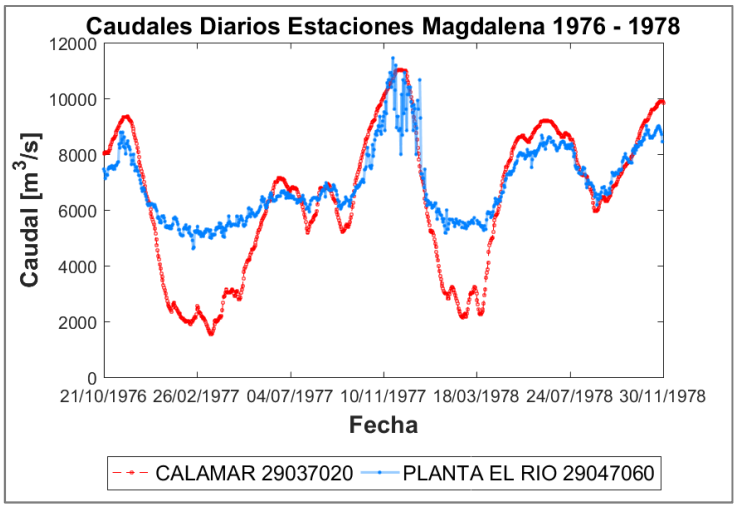
Como se mencionó anteriormente, para la estimación de la oferta hídrica a nivel de subcuencas, se utilizó la información disponible del IDEAM que se mencionó en la Sección 8.1. Sin embargo, la información hidrológica disponible no se encuentra dentro de ninguna de las subcuencas del área de estudio, ni se cuenta con información disponible de otras entidades, por lo que se hizo necesario para la determinación de la oferta hídrica realizar en primer lugar un análisis del comportamiento hidrológico de este complejo de caños, humedales y ciénagas interconectados.

Siguiendo a MinAmbiente et al, (2001), es posible decir que la cuenca de estudio se encuentra en el último tramo del río Magdalena entre la población de Calamar y su desembocadura, con una longitud de 110 km. En este tramo se tiene información disponible de dos estaciones del IDEAM, que son CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060].

Desde el punto de vista hidrográfico, la formación de los caños que hacen parte de la cuenca de estudio son antiguos brazos del río Magdalena, pues el río desde hace millones de años ha tenido como depósito aluvial de sedimentos esta zona de ciénagas y humedales. Por esta condición hidrográfica en este tramo de estudio el agua que fluye por los caños al margen derecho del río Magdalena es la misma del río y depende de su dinámica hidrológica. En época de caudales bajos, los caños permanecen secos, mientras que en época de caudales medios comienza el aporte por desbordamiento y en caudales altos finalmente se conecta todo el sistema de caños que alimenta todo el complejo con las aguas desbordadas por la margen derecha del río Magdalena.

La dinámica hidrológica de los caños, descrita anteriormente, se puede evidenciar si se comparan las series de caudales diarios de las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1976-1986, esto teniendo en cuenta que la información hidrológica disponible en la estación PLANTA EL RIO [29047060], razón por la cual se utilizó como periodo de análisis para la generación de información. A continuación, en la Figura 8.18, la Figura 8.19 y la Figura 8.20 se comparan en tres subperiodos los datos de ambas estaciones dada la fragmentación de la información disponible en la estación PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo mencionado.

Figura 8.18. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1976-1978.



En la Figura 8.18 se observa que en el periodo 1976-1978 existen meses en los que en la estación CALAMAR [29037020] se registran menores caudales que en la estación PLANTA EL RIO [29047060]. Por su parte, en la Figura 8.19 y la Figura 8.20 se observa lo contrario: meses en los que en la estación CALAMAR [29037020] se registran mayores caudales que en la estación PLANTA EL RIO [29047060].

Figura 8.19. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1979-1981.

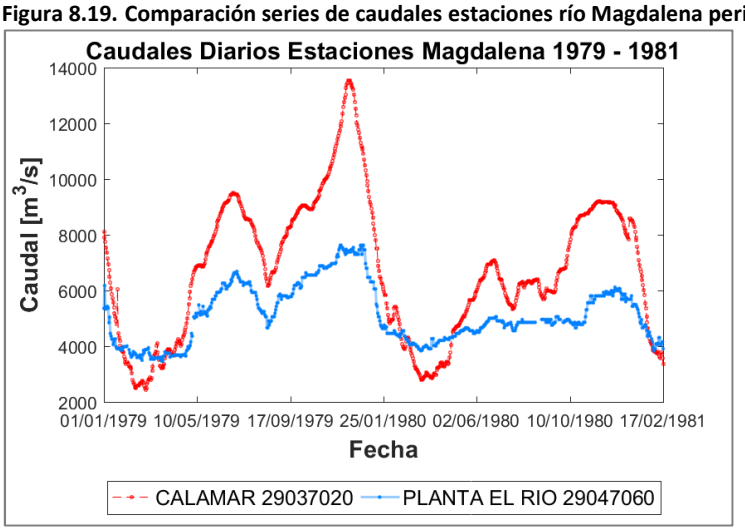
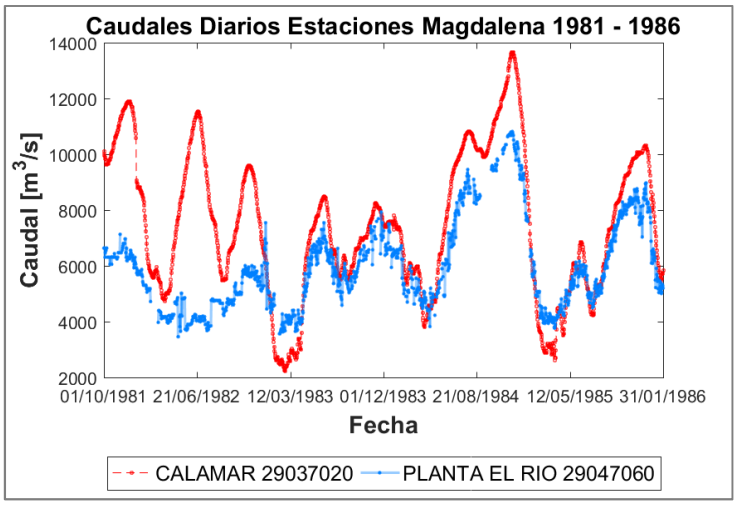


Figura 8.20. Comparación series de caudales estaciones río Magdalena periodo 1981-1986.



Estas diferencias de registro entre ambas estaciones claramente evidencian que el río Magdalena desborda por su margen derecho al Complejo en época húmeda y que el Complejo se vacía hacia el Magdalena cerca de su desembocadura en época seca. De igual manera, la información en ambas estaciones permite definir tres periodos: de febrero a abril con caudales bajos; de mayo a agosto con caudales medios, y de septiembre a enero con caudales altos.

El trabajo de MinAmbiente et al., (2001), describe este intercambio de agua en dos etapas: la primera, en la que entra agua dulce a través del delta del río durante el periodo de aguas altas dependiendo del volumen aportado, de su nivel y de la duración del mismo y que constituye el cargue de la zona hidrológica del Complejo. La segunda, en la que las ciénagas y humedales drenan hacia el río una parte del agua recargada en invierno, pues un porcentaje de ésta se pierde por evapotranspiración.

Uno de los aspectos más importantes a destacar de la dinámica hidrológica descrita anteriormente es que en la actualidad, los factores antrópicos han alterado la recarga y drenaje de agua dulce del Complejo. En el reconocimiento de campo desarrollado durante el proyecto, se pudo evidenciar que prácticamente todos los pasos o vertederos del margen derecho del río están controlados con compuertas de paso que, sumado a la gran sedimentación de los caños, han disminuido notablemente el ingreso de agua dulce al Complejo. No obstante, debido a que la información disponible para hacer un análisis con la información de las dos estaciones del río Magdalena está limitada por el periodo de registro de la estación PLANTA EL RIO [29047060], en el presente estudio se asume que las condiciones actuales en términos hidrológicos se han mantenido desde entonces. En la Figura 8.21 y en la Figura 8.22 se presentan las diferencias de caudal en las quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el período 1976-1978, en la Figura 8.23 y en la Figura 8.24 en el periodo 1979-1981 y finalmente en las Figura 8.25 y en la Figura 8.26 en el periodo 1981-1986.

Figura 8.21. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1976-1978.

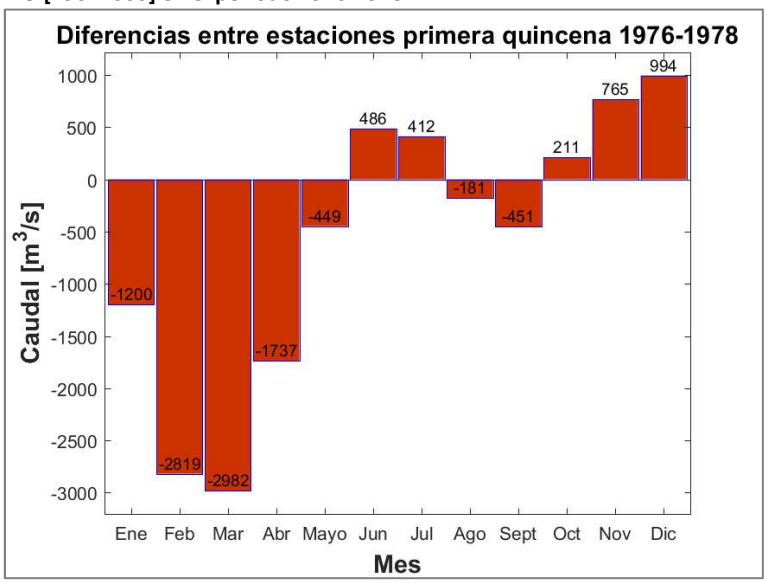


Figura 8.22. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1976-1978.

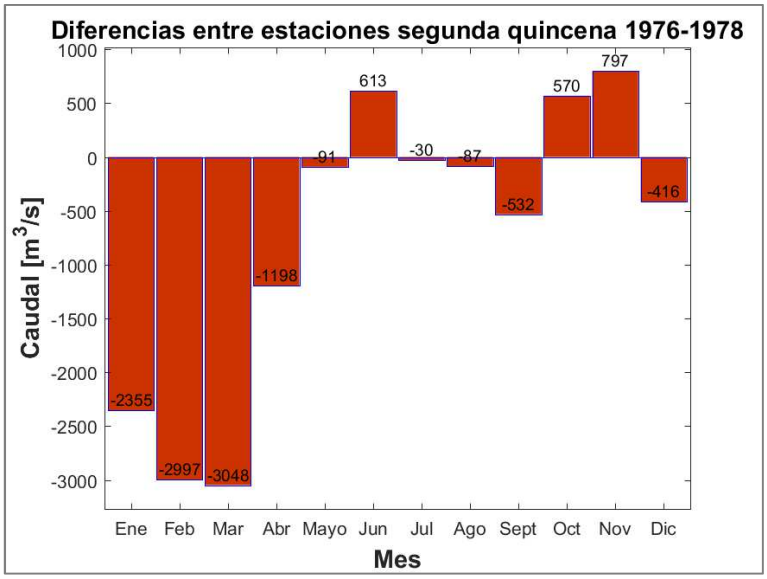


Figura 8.23. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1979-1981.

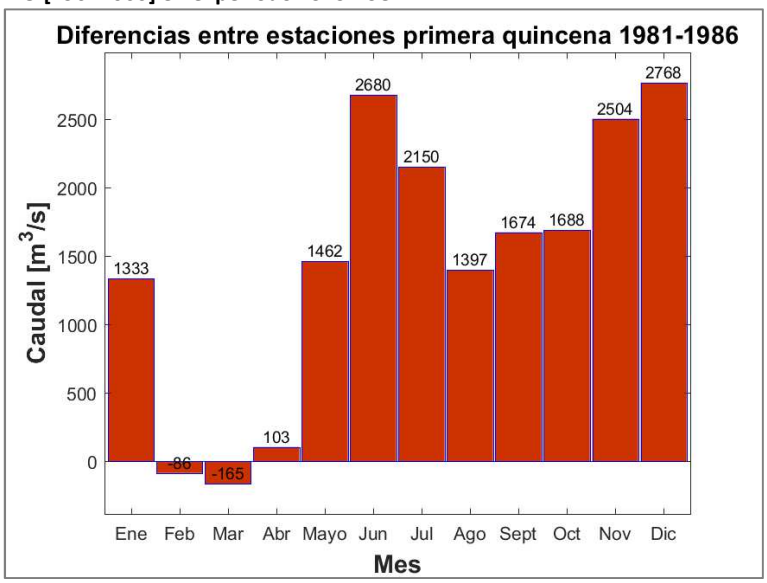


Figura 8.24. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1979-1981.

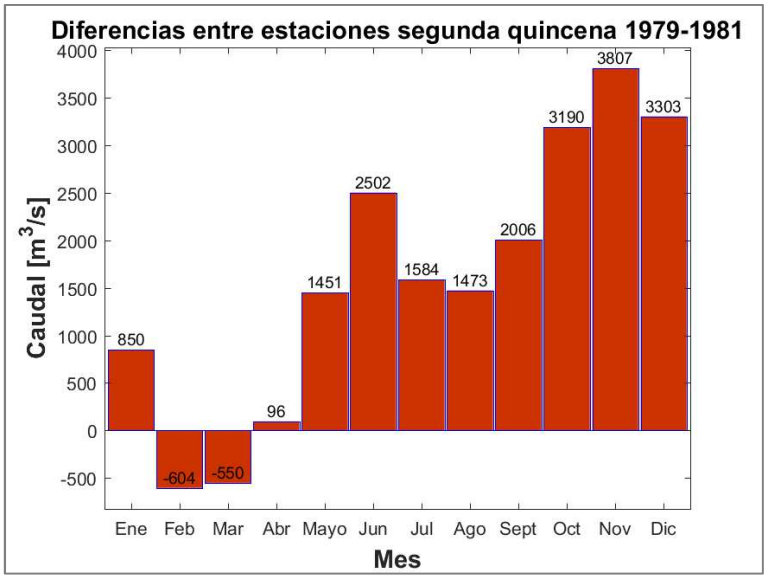


Figura 8.25. Diferencias de caudal en las primeras quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1981-1986.

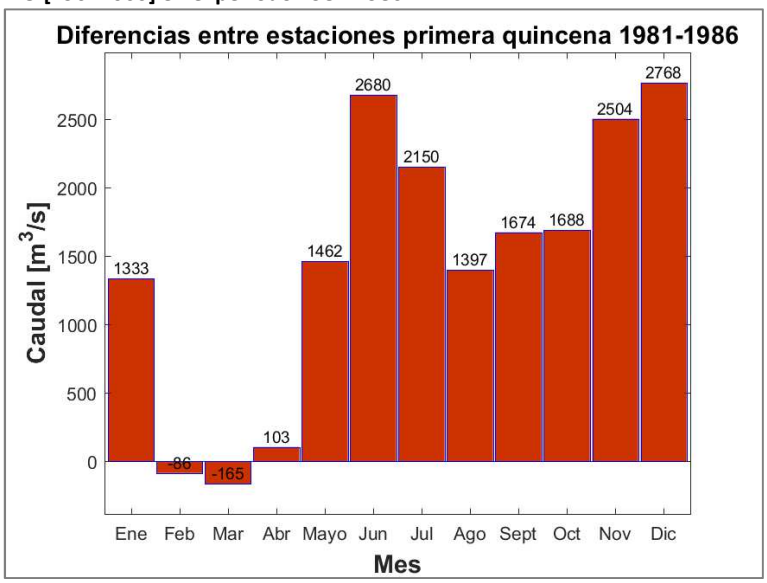
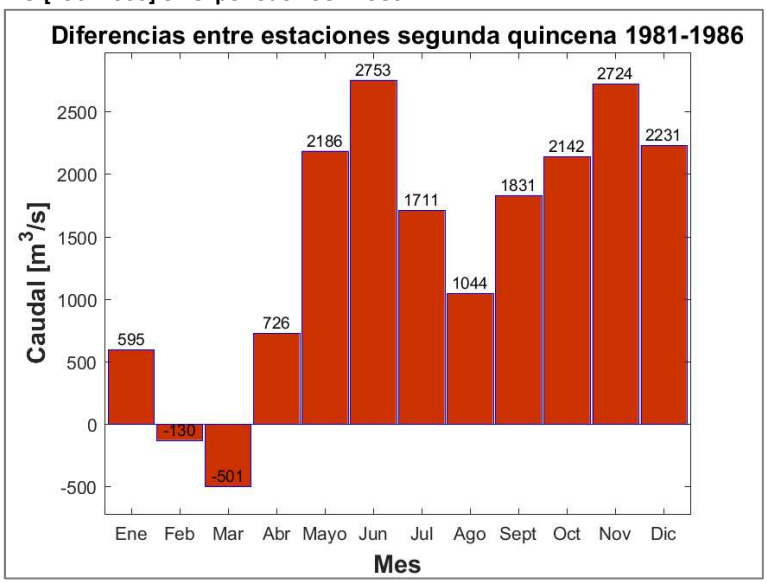


Figura 8.26. Diferencias de caudal en las segundas quincenas entre las estaciones CALAMAR [29037020] y PLANTA EL RIO [29047060] en el periodo 1981-1986.



Entonces, para determinar cuándo se produce la recarga y el drenaje de agua hacia el Complejo, se desarrolló un análisis de las diferencias de caudales quincenales entre ambas estaciones del río Magdalena. El periodo quincenal se definió por las transiciones que hay entre la época seca y la época húmeda; por ejemplo, en abril la época seca se puede extender hasta mediados de mes. Para ilustrar lo anterior, si comparamos la Figura 8.23 y la Figura 8.24 se ve que para el mes de abril la

diferencia mensual multianual para la primera quincena del mes es negativa; en cambio, para la segunda quincena es positiva.

Utilizando el promedio de las diferencias quincenales multianuales se reconstruyó la serie de caudales de la estación PLANTA EL RIO [29047060]. En la Figura 8.27 se muestran los resultados de la serie de caudales generados a partir de la diferencia entre los caudales de la estación CALAMAR [29037020] y el promedio de las diferencias quincenales multianuales obtenidas para 1979-1986. Como se puede observar la serie generada con estas diferencias representa muy bien la mayoría de los registros de la estación PLANTA EL RIO [29047060], excepto para los años definidos como Niño (Montealegre J. E., 2014), por ejemplo, el año 1976.

Por esta razón, se definieron dos periodos de diferencias: uno para 1979-1986 y otro para 1976-1978. Utilizando las diferencias para el periodo 1976-1978, en la Figura 8.28 puede verse que la serie generada representa mucho mejor, como es de esperarse, los caudales registrados en la PLANTA EL RIO [29047060] en los años Niño como 1976-1977. Lo anterior nos permite entonces generar la serie de caudales para el periodo 1983-2013 diferenciando entre años Niño y años normales (ver Figura 8.29)

Figura 8.27. Serie generada a partir de la diferencia entre los caudales de la estación CALAMAR [9037020] y el promedio de las diferencias quincenales multianuales obtenidas para 1979-1986.

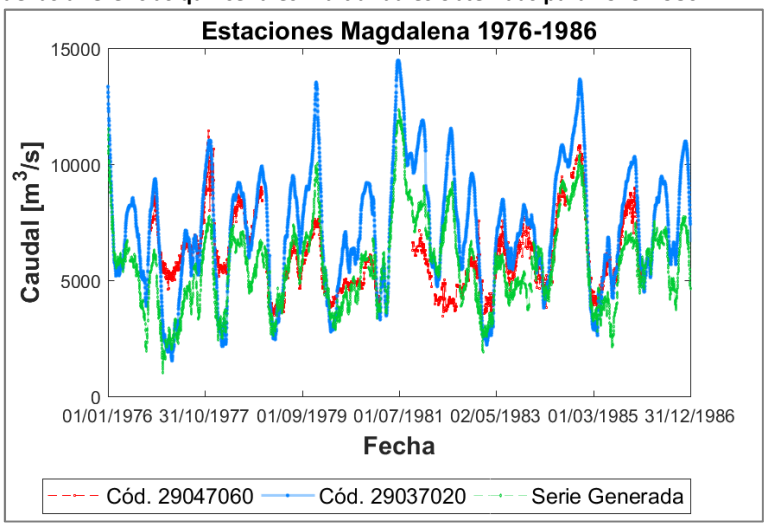


Figura 8.28. Serie generada a partir de la diferencia entre los caudales de la estación CALAMAR [29037020] y el promedio de las diferencias quincenales multianuales obtenidas para 1976-1978.

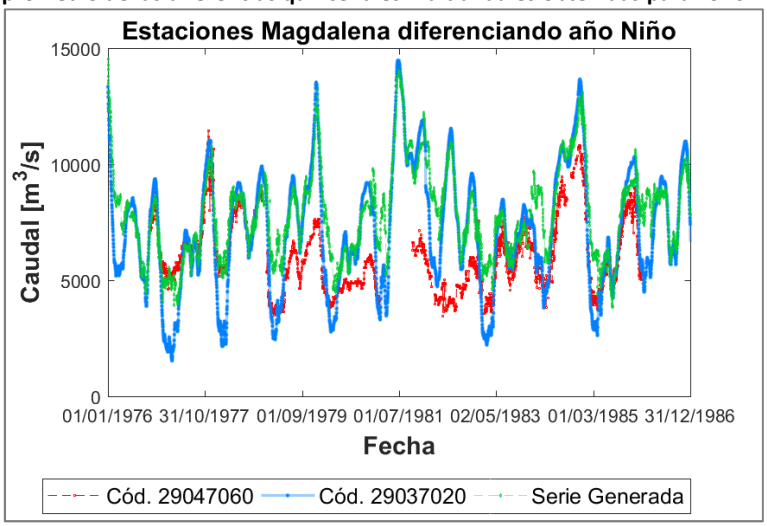
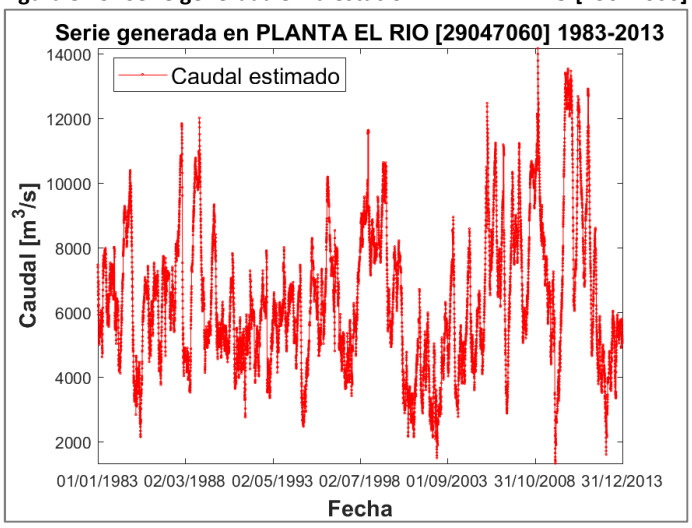


Figura 8.29. Serie generada en la estación PLANTA EL RIO [29047060] para el periodo 1983-2013.



A continuación, se presenta la estimación de la oferta hídrica para las subcuencas del margen derecho del río Magdalena localizadas desde la población de Calamar y hasta su desembocadura, según el análisis mencionado anteriormente, es decir estimando la diferencia entre los datos de la estación CALAMAR [29037020] y la serie generada de caudales en la estación PLANTA EL RIO [29047060] para el periodo 1983-2013, lo que produce unas diferencias cíclicas que reproducen la dinámica de recargue y drenaje de agua hacia el Complejo según la época del año.

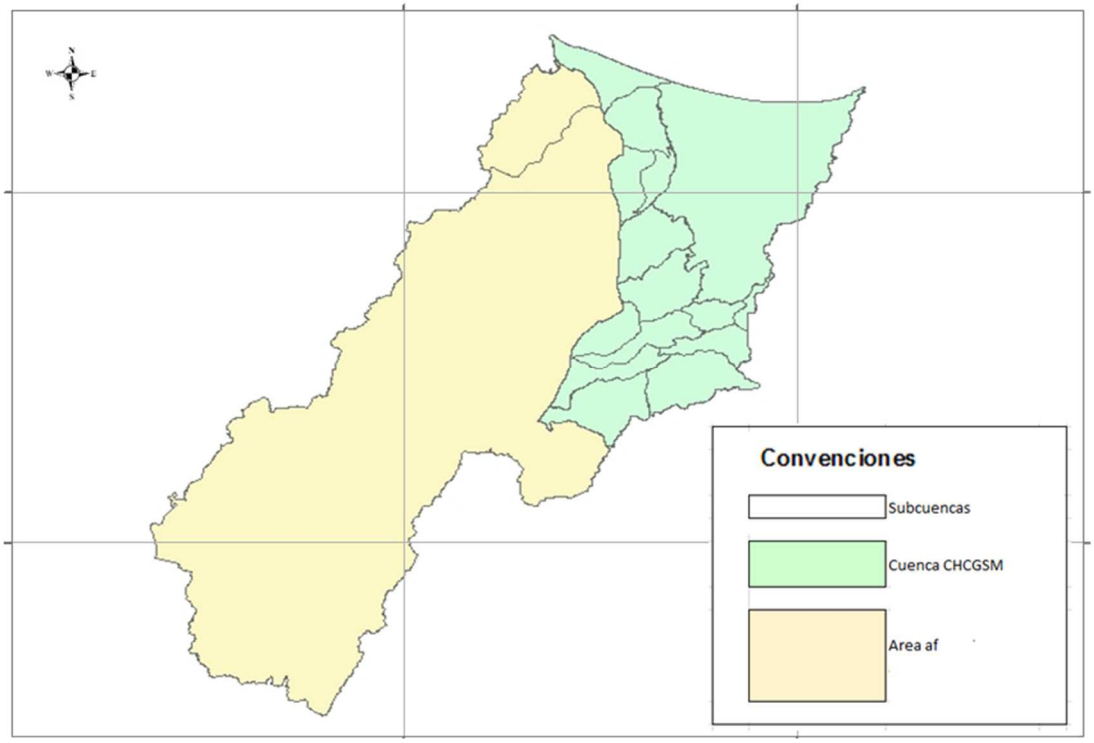
8.5.1. Estimación oferta subcuencas del margen derecho del río Magdalena.

Para estimar la oferta de las subcuencas del primer nivel subsiguiente, se utilizó la metodología de transferencia hidrológica, la cual 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 densidad de drenaje mediante la siguiente relación:

$$Q_{sc} = \left(\frac{A_{sc}}{A_c}\right)\left(\frac{Dd_{o1}}{Dd_c}\right)Q_c \qquad \textit{(44)}$$

Donde Q_{sc}, A_{sc}, Dd_{o1}, Dd_c son el caudal, el área de la subcuenca, la densidad de drenaje de las corrientes de primer orden y la densidad de drenaje de todas las corrientes; Q_c y A_c (7036.87 km^2) corresponden al caudal y el área de la cuenca que va desde Calamar y hasta su desembocadura. En la Figura 8.30 se muestra la cuenca aferente aguas arriba al punto de cierre de la estación PLANTA EL RIO [29047060] y cuya área es A_c.

Figura 8.30. Cuenca aferente aguas arriba al punto de cierre de la estación PLANTA EL RIO [29047060].



El parámetro adimensional que relaciona la densidad de drenaje de todas las corrientes de la subcuenca con la densidad de drenaje de las corrientes de primer orden de la misma subcuenca se propone para ponderar el aporte de caudal según el número de corrientes que drenan a la corriente principal de cada subcuenca, es decir las de orden 1. Los caudales obtenidos mediante la Ecuación 1 para cada subcuenca están de acuerdo a los caudales medios reportados por MinAmbiente et al., (2001).

Por otra parte, el coeficiente $(A_{sc}/A_c)(Dd_{o1}/Dd_c)$ 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.

Para estimar la oferta de las subcuencas de segundo nivel subsiguiente se utilizó también la metodología de transferencia hidrológica con relaciones de área y lluvia en los centroides de las subcuencas mediante la siguiente relación:

$$Q_{ssc} = \left(\frac{A_{ssc}}{A_{sc}}\right)\left(\frac{P_{ssc}}{P_{sc}}\right) Q_{sc} \qquad \textit{(45)}$$

Donde Q_{ssc}, A_{ssc} y P_{ssc} son el caudal, el área y la lluvia de la subcuenca de segundo nivel subsiguiente y, Q_{sc}, A_{sc} y P_{sc} son el caudal, el área y la lluvia de la subcuenca de primer nivel subsiguiente.

8.5.2. Estimación oferta subcuenca Complejo Lagunar Ciénaga Grande.

La estimación de la oferta de la subcuenca Complejo Lagunar Ciénaga Grande es más compleja por los dos cuerpos de agua lenticos que hacen parte de esta subcuenca: Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y Ciénaga de Pajarales. Como se ha mencionado anteriormente, esta subcuenca recibe los aportes de agua del río Magdalena a través de los caños que drenan por la margen derecha. Por su parte, la CGSM recibe aportes de cuatro ríos que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta y desembocan en esta ciénaga: río Fundación, río Aracataca, río Sevilla y río Frio. Adicionalmente, la CGSM tiene un intercambio de agua con el mar Caribe a través del punto conocido como La Boca de la Barra.

Múnera (2003), propuso un modelo de balance hidrológico para evaluar el comportamiento hidrológico del Complejo Lagunar Ciénaga Grande. El modelo simula los niveles, salinidades, sedimentos en suspensión y sustancias disueltas con un paso de tiempo de media hora en un período de 1971-2000. Todo lo anterior, teniendo en cuenca la interconexión entre las Ciénagas a traves de los caños y para el caso de CGSM con el mar Caribe a través de La Boca de la Barra.

Los resultados de los niveles y simulaciones en el trabajo de Múnera(2003) se utilizaron en este estudio para estimar la oferta de la CGSM y la Ciénaga de Pajaral. Para esto, los niveles simulados se utilizaron para estimar los volúmenes y caudales diarios de cada ciénaga mediante las topologías de las ciénagas presentadas también en el trabajo de Múnera, (2003). Las topologías de las ciénagas son relaciones entre la profundidad del espejo de agua relativa a la cota del fondo de la ciénaga y el volumen almacenado con respecto a esa cota del nivel del agua. En la Figura 8.31 y la Figura 8.32 se presentan las topologías para CGSM y Ciénaga de Pajaral, respectivamente.

Figura 8.31. Relación volumen almacenado – nivel para CGSM.

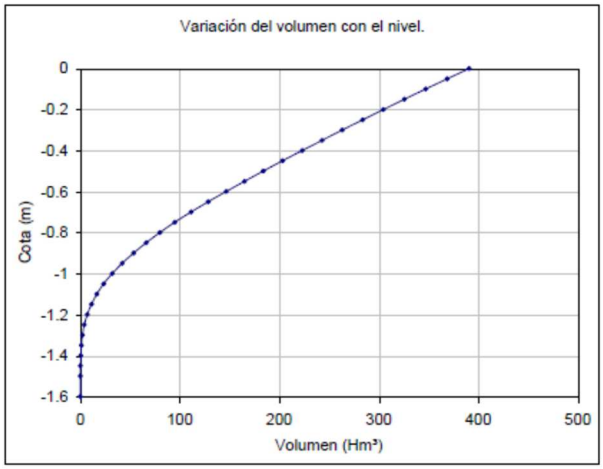
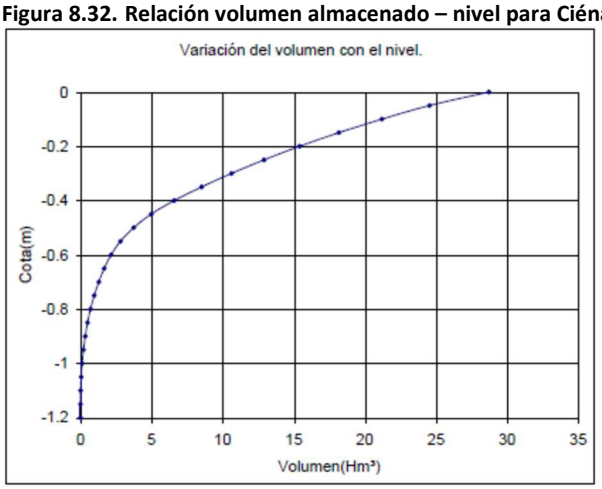


Figura 8.32. Relación volumen almacenado – nivel para Ciénaga de Pajaral.



Por su parte, en la Figura 8.33, la Figura 8.34 y la Figura 8.35 se presentan los niveles, volumenes y caduales simulados para Ciénaga Grande de Santa Marta respectivamente y en la Figura 8.36, la Figura 8.37 y la Figura 8.38 para la Ciénaga de Pajaral, según los resultados obtenidos por Múnera, (2003). Finalmente, la oferta del Complejo Lagunar Ciénaga Grande es la suma del caudal disponible para ambas ciéngas.

Figura 8.33. Nivel simulado CGSM.

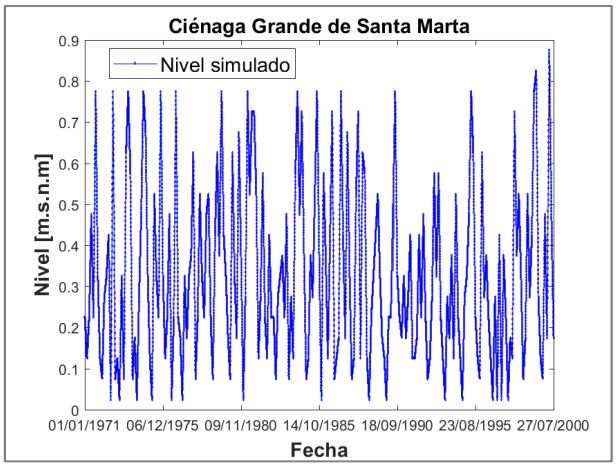


Figura 8.34. Volumen simulado CGSM.

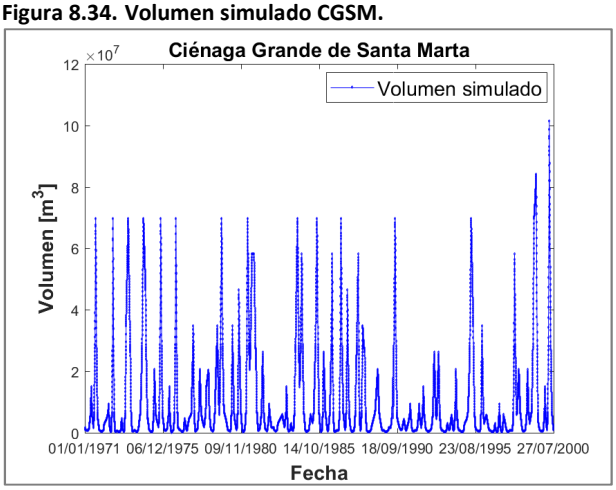


Figura 8.35. Caudal simulado CGSM.

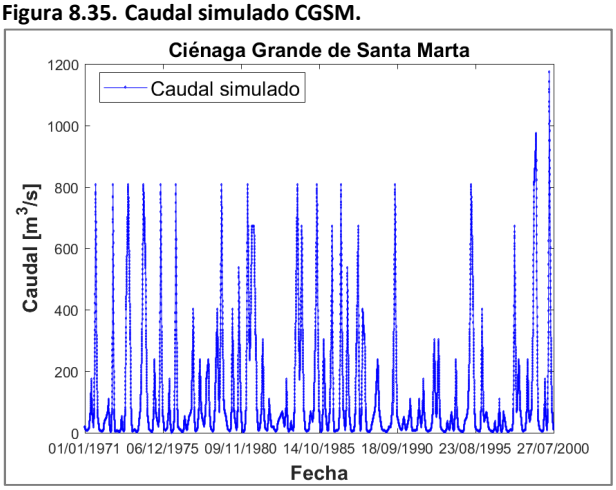


Figura 8.36. Nivel simulado Ciénaga de Pajaral.

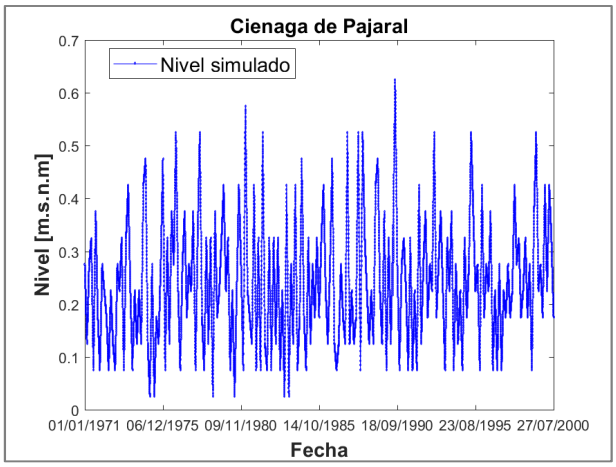


Figura 8.37. Volumen simulado Ciénaga de Pajaral.

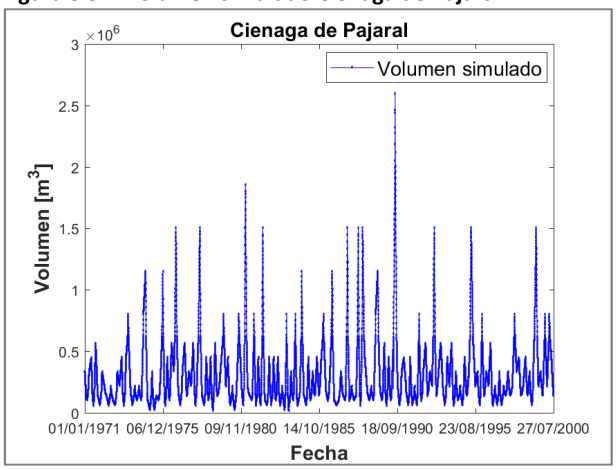
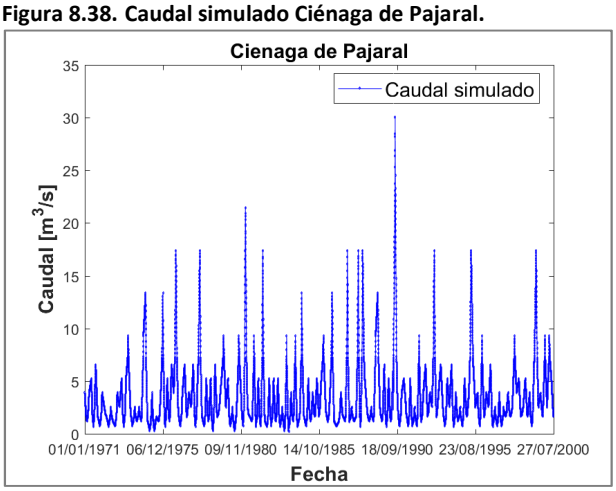


Figura 8.38. Caudal simulado Ciénaga de Pajaral.



La caracterización del régimen hidrológico se realizó a partir de las series de datos de caudal diarios, estimando los caudales característicos de acuerdo a las curvas de duración de caudal, la distribución

temporal según los valores de caudal medio mensual y por último, las probabilidades de ocurrencia para diferentes períodos de retorno haciendo los análisis de frecuencia con base a los caudales máximos y mínimos mensuales.

8.5.3. Régimen hidrológico.

Las figuras de los histogramas con los valores de caudales mensuales multianuales para cada una de las unidades hidrográficas de primer y segundo nivel subsiguiente se encuentran compiladas en el Anexo 8.3; de acuerdo a los histogramas obtenidos, se puede concluir que el régimen hidrológico presenta una distribución de tipo bimodal con un periodo de lluvias de octubre a diciembre más marcado en cuanto a magnitud que las lluvias del periodo de junio y julio. También se puede establecer que las unidades con períodos de lluvias más fuertes son el Complejo Lagunar Ciénaga Grande y el Caño Schiller, mientras que las zonas más secas son Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM y el Complejo ciénaga Playazo.

8.5.4. Curvas de duración de caudales.

Para determinar un evento a lo largo de la serie histórica y obtener información de los gastos que se han presentado a lo largo del tiempo para las estaciones seleccionadas se utilizan las curvas de duración de caudales. Según López y Casali (2000), la clasificación en orden creciente de los valores permite determinar el número de días del año que un cierto valor de caudal es igualado o excedido. La utilización de las curvas de duración de caudales conduce al establecimiento de una terminología para definir los caudales característicos del río.

A partir de los caudales generados a nivel diario para la estación PLANTA EL RIO [29047060] (ver Figura 8.29) y las diferencias de caudal con los datos de la estación CALAMAR [29037020], se estimaron los caudales de recargue y drenaje hacia y desde el Complejo según la época del año como se mencionó al comienzo de la Sección.

Posteriormente, utilizando las Ecuaciones 1 y 2 se distribuyeron los caudales de recargue y drenaje para las subcuencas localizadas sobre la margen derecha del río Magdalena. De esta manera se estimaron las curvas de duración de caudales diarios para estas subcuencas.

En la Tabla 8.13 se presentan los caudales característicos máximos, medios y mínimos diferenciando entre año Normal y año seco (Año Niño) para cada una de las unidades hidrográficas tanto de primer, como de segundo nivel subsiguiente. Los caudales característicos para año seco se calcularon separando los años según se haya presentado el fenómeno del Niño con base en la información suministrada por Montealegre (2014). La unidad Complejo Lagunar Ciénaga Grande, se dividió en Ciénaga grande y Ciénaga de Pajaral, dadas las características de la zona, pero no se consideraron como unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente. Adicionalmente, se puede observar que el caudal mínimo obtenido para ambas temporadas es cero.

Tabla 8.13. Caudales característicos máximos, medio y mínimos (m3/s)

Código	Unidad Hidrográfica	Normal			Niño		
		Q máx.	Q min	Q medio	Q máx.	Q min	Q medio
2906-0101	Caño Schiller	141,78	0	62,75	38,76	0	7,82
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	5,22	0	2,31	1,43	0	0,29
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	11,54	0	5,11	3,15	0	0,64
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	17,92	0	7,93	4,90	0	0,99

Código	Unidad Hidrográfica	Normal			Niño		
		Q máx.	Q min	Q medio	Q máx.	Q min	Q medio
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	21,55	0	9,54	5,89	0	1,19
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	43,54	0	19,27	11,90	0	2,40
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	43,96	0	19,46	12,02	0	2,43
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	21,67	0	9,59	5,92	0	1,20
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	52,17	0	23,09	14,26	0	2,88
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	29,15	0	12,90	7,97	0	1,61
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	37,78	0	16,72	10,33	0	2,08
2906-0104	Complejo Caño El Salado	30,04	0	13,29	8,21	0	1,66
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	74,56	0	33,00	20,39	0	4,11
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	35,93	0	15,90	9,82	0	1,98
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	26,24	0	11,61	7,17	0	1,45
2906-010503	Caño Los Micos	16,77	0	7,42	4,59	0	0,93
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	36,84	0	16,30	10,07	0	2,03
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	1182,88	2,14	119,67	811,31	2,14	80,55
	Ciénaga de Pajaral	30,05	0,69	3,80	17,40	0,23	3,03
	Ciénaga Grande de Santa	1173,61	1,45	115,87	807,44	1,45	77,52

En la Tabla 8.14 se relacionan los caudales característicos para año Normal y año seco (Año Niño) para cada una de las unidades hidrográficas tanto de primer, como de segundo nivel subsiguiente. Según esta información, el complejo lagunar Ciénaga Grande y Caño Schiller presenta los caudales máximos más altos de la cuenca, en cuanto al año seco (Año Niño) los caudales que presentan el 50%, el 75% y el 85% de probabilidad de ser excedidos o igualados en todas las unidades a excepción del Complejo Lagunar Ciénaga Grande, es igual a cero.

Tabla 8.14. Caudales característicos para año normal y año seco (m3/s)

Código	Unidad Hidrográfica	Normal				Niño			
		Q25	Q50	Q75	Q85	Q25	Q50	Q75	Q85
2906-0101	Caño Schiller	93,24	69,65	24,36	6,13	14,08	0	0	0
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	3,43	2,57	0,90	0,23	0,52	0	0	0
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	7,59	5,67	1,98	0,50	1,15	0	0	0
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	11,79	8,80	3,08	0,77	1,78	0	0	0
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	14,17	10,58	3,70	0,93	2,14	0	0	0
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	28,64	21,39	7,48	1,88	4,32	0	0	0
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	28,91	21,60	7,55	1,90	4,37	0	0	0
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	14,25	10,65	3,72	0,94	2,15	0	0	0
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	34,31	25,63	8,96	2,26	5,18	0	0	0
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	19,17	14,32	5,01	1,26	2,89	0	0	0
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	24,85	18,56	6,49	1,63	3,75	0	0	0
2906-0104	Complejo Caño El Salado	19,75	14,75	5,16	1,30	2,98	0	0	0
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	49,04	36,63	12,81	3,22	7,40	0	0	0
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	23,63	17,65	6,17	1,55	3,57	0	0	0
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	17,26	12,89	4,51	1,13	2,61	0	0	0
2906-010503	Caño Los Micos	11,03	8,24	2,88	0,73	1,67	0	0	0
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	24,23	18,10	6,33	1,59	3,66	0	0	0
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	138,08	42,30	12,85	9,74	77,60	41,30	11,28	8,97
	Ciénaga de Pajaral	4,84	2,90	1,60	1,29	3,92	2,35	1,64	1,34
	Ciénaga Grande de Santa	134,46	39,12	10,13	7,47	73,55	38,47	9,14	6,83

En el Anexo 8.3 se muestran las curvas de duración de caudales para las subcuencas de primer y segundo nivel subsiguiente.

8.5.5. Caudales máximos.

El análisis de caudales máximos se realizó para los datos obtenidos de las estaciones anteriormente mencionadas, y para el caso del Complejo Lagunar, la información obtenida del estudio de Múnera (2003). El análisis de frecuencia de caudales máximos se llevó a cabo con ayuda del programa HEC-SSP 2.1. Este programa realiza el análisis de frecuencias en varios pasos que el usuario puede 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:

$$P = \frac{(m - A)}{(n + 1 - A - B)} \qquad \textbf{(46)}$$

Donde

m = rango de valores de caudales máximos con el mayor igual 1,

n = número de caudales pico en el conjunto de datos,

A y *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. Estos análisis muestran la probabilidad de que un determinado evento, pueda ocurrir en un lapso establecido, que puede variar de 2 a miles de años. Para el estudio, se tomaron períodos de retorno de 2 a 500 años, que permiten la toma de decisiones para proyectos de abastecimiento de agua para acueductos, riego, industria, etc.

8.5.5.1. *Calamar (29037020).*

En la Figura 8.39 se presenta el análisis grafico de frecuencia de los caudales máximos y en la Tabla 8.15 el caudal máximo para los diferentes periodos de retorno de los datos registrados por la estación Calamar.

Figura 8.39. Análisis de frecuencia caudales máximos

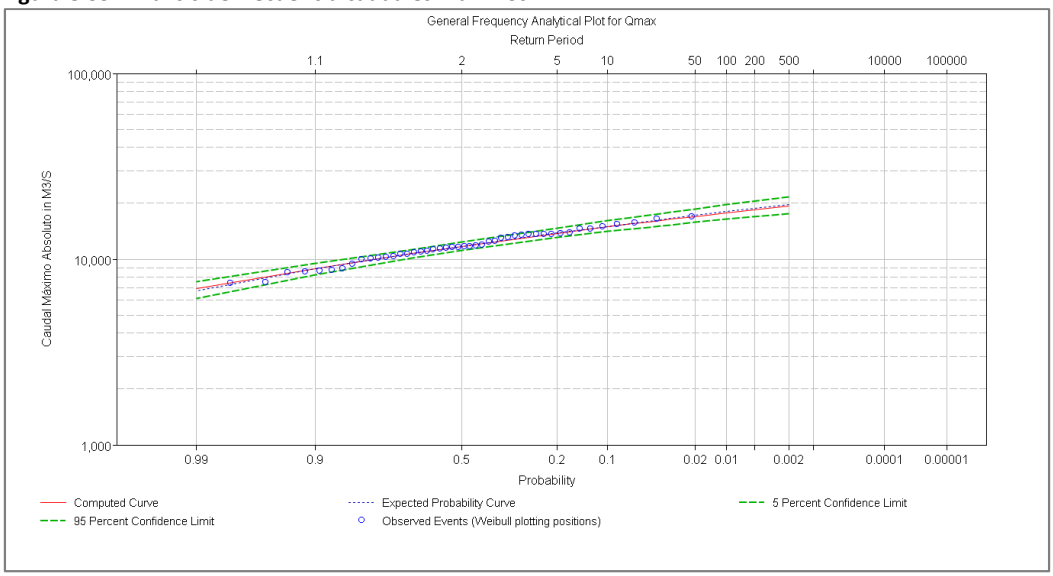


Tabla 8.15. Caudales máximos

Período 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	19232,4	21655	17624
100	1,0	17716,7	19649	16398
50	2,0	16976,5	18686	15791

Período 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
30	3,3	16395,3	17938	15310
25	4,0	16162,5	17640	15115
20	5,0	15880,7	17282	14879
15	6,7	15488,7	16787	14548
10	10,0	14925,3	16084	14067
5	20,0	13795,8	14705	13082
2	50,0	11736,3	12339	11170
1,5	66,7	10738	11280	10173
1,1105	90,0	8912,2	9467	8253
1,01	99,0	6930,9	7575	6142

8.5.5.2. *Planta el Rio (29047060)*

En la Figura 8.40 se presenta el análisis grafico de frecuencia de los caudales máximos y en la Tabla 8.16 el caudal máximo para los diferentes periodos de retorno.

Figura 8.40. Análisis de frecuencia caudales máximos

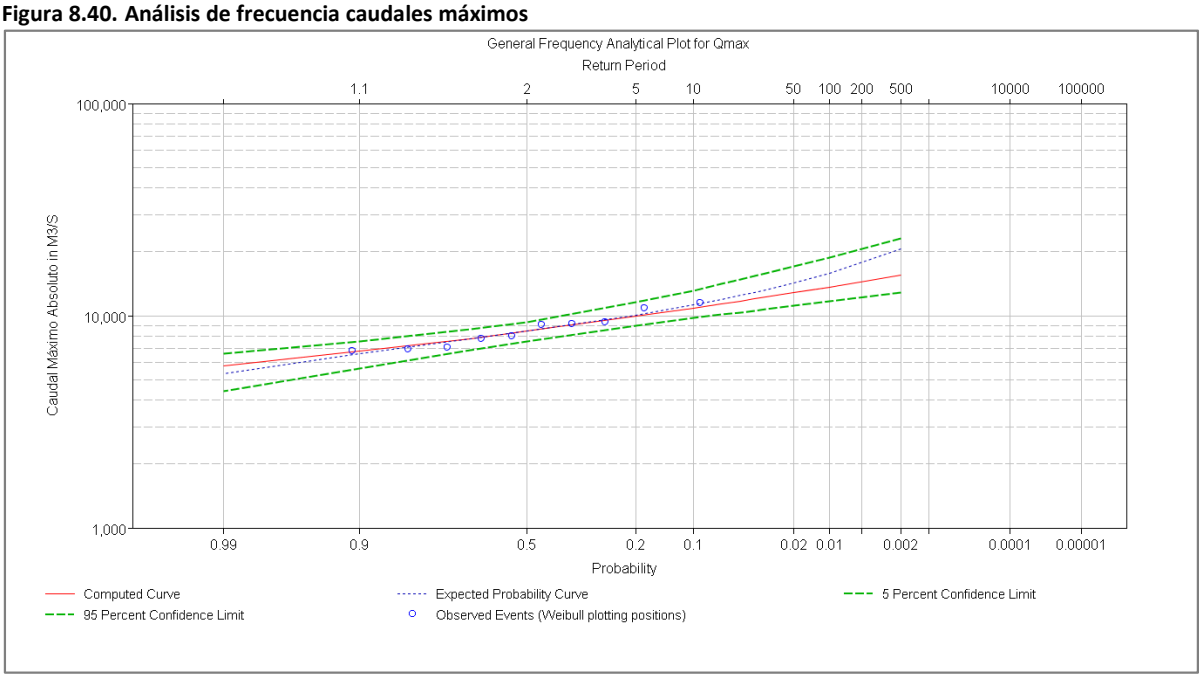


Tabla 8.16. Caudales máximos

Período 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	15511,1	23100	12874
100	1,0	13621,9	18775	11668
50	2,0	12805,6	17026	11124
30	3,3	12210,1	15800	10716
25	4,0	11976,9	15332	10554
20	5,0	11705,6	14796	10362

Período 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
15	6,7	11348,4	14106	10104
10	10,0	10838,8	13153	9725
5	20,0	9910,1	11527	8987
2	50,0	8438,9	9345	7595
1,5	66,7	7814	8598	6888
1,1105	90,0	6781,7	7544	5623
1,01	99,0	5802,1	6645	4422

8.5.6. 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 8.5.5. 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 períodos 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. Acto seguido, el programa hace un análisis de frecuencia de volúmenes mínimos anuales 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.

8.5.6.1. *Calamar (29037020)*

En la Figura 8.41 se presenta el análisis grafico de frecuencia de los caudales mínimos y en la Tabla 8.17 el caudal mínimo para los diferentes periodos de retorno.

Figura 8.41. Análisis de frecuencia caudales mínimos.

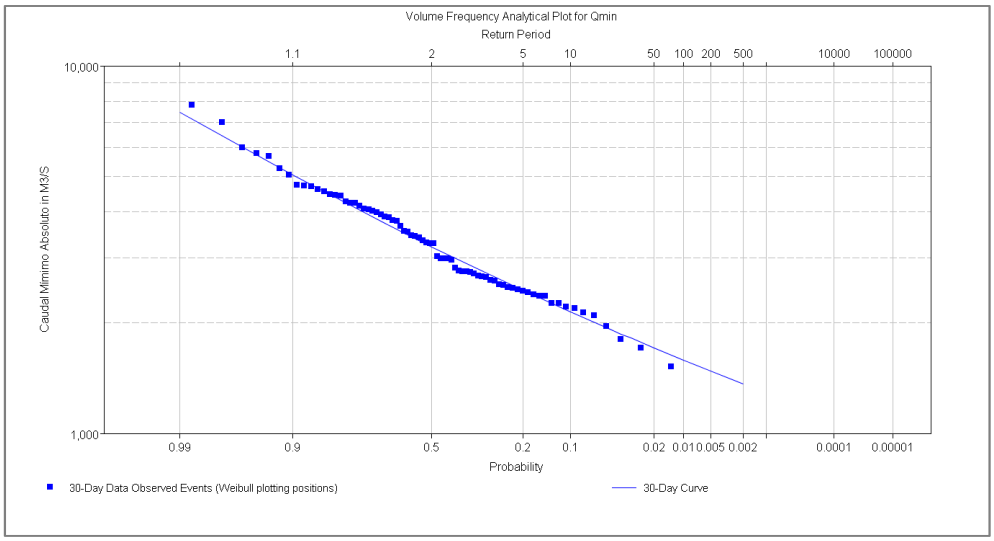


Tabla 8.17. Caudales mínimos

Período de retorno	**Probabilidad de excedencia (%).**	**Volumen de curvas de frecuencia. (30-day, m³/seg).**
500	0,2	1362,6
100	1,0	1582,7
50	2,0	1708,6
30	3,3	1817,5
25	4,0	1864,1
20	5,0	1922,7
15	6,7	2008,3
10	10,0	2142,4
5	20,0	2452,7
2	50,0	3219
1,5	66,7	3726,7
1,1105	90,0	5038,1
1,01	99,0	7489,4

8.5.6.2. *Planta el Rio (29047060).*

En la Figura 8.42 se presenta el análisis grafico de frecuencia de los caudales mínimos y en la Tabla 8.18 el caudal mínimo para los diferentes periodos de retorno.

Figura 8.42. Análisis de frecuencia caudales mínimos.

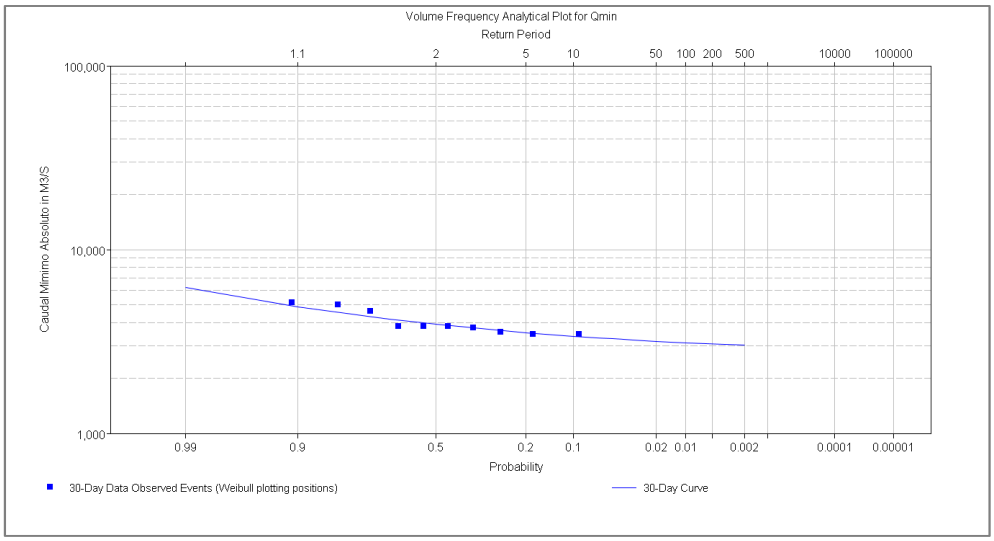


Tabla 8.18. Caudales mínimos

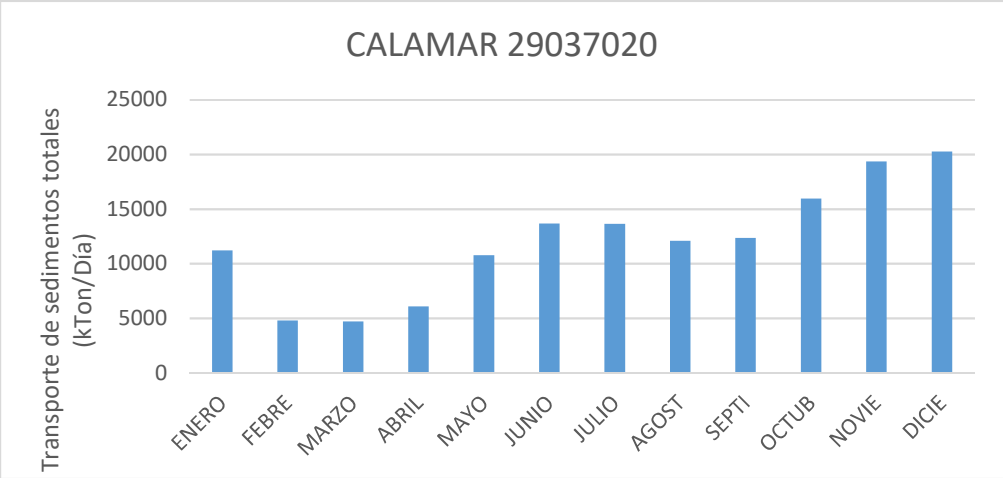
Período de retorno	Probabilidad de excedencia (%).	Volumen de curvas de frecuencia. (30-day, m³/seg).
500	0,2	3028,4
100	1,0	3114,9
50	2,0	3168,4
30	3,3	3217,1
25	4,0	3237,7
20	5,0	3264,6
15	6,7	3306
10	10,0	3368,4
5	20,0	3521,1
2	50,0	3916,3
1,5	66,7	4186,9
1,1105	90,0	4893
1,01	99,0	6228,5

8.5.7. Dinámica de sedimentos

El Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, presenta grandes alteraciones en su régimen hidrológico debido a la carga de sedimentos provenientes del Río Magdalena que colmatan los cauces e interrumpen la alimentación de agua dulce de las ciénagas. A pesar de lo anterior no se ubican estaciones hidrométricas para la caracterización de los sedimentos de las unidades hidrográficas dentro del área de la cuenca.

No obstante, se cuenta con información de transporte de sedimentos totales y concentración de sedimentos para las corrientes que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta y alimentan por el costado Este a la Ciénaga Grande y para el Río Magdalena. En el Anexo 7 se recopilan las series mensuales para las estaciones disponibles.

Figura 8.43. . Valores totales de transporte de sedimentos para la estación CALAMAR [29037020]

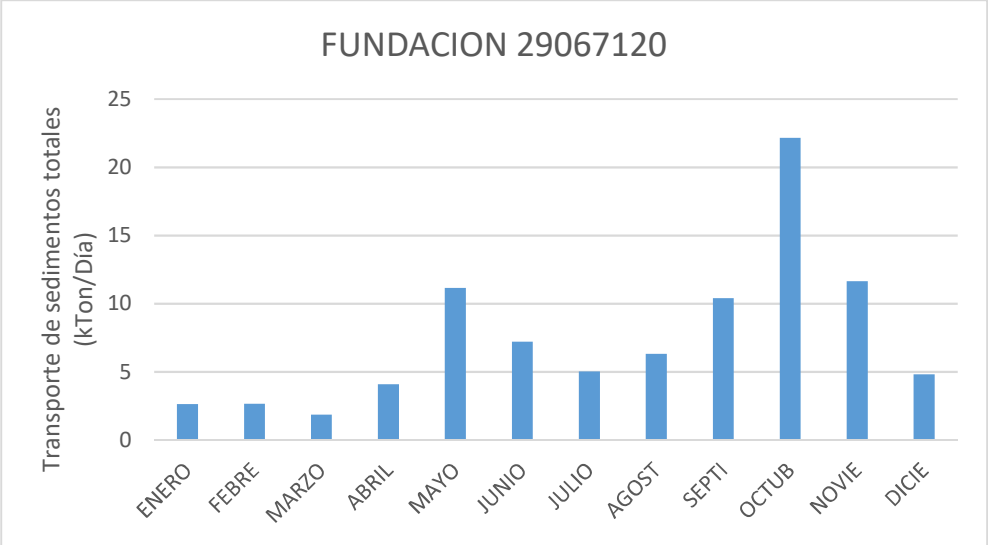


La Figura 8.43, hace referencia a los valores medios mensuales del transporte de sedimentos para la estación sobre el Río Magdalena previo a la llegada a la cuenca "Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 2906-01", obsérvese que para el mes de diciembre la corriente supera los 20000 kTon/Día. Posteriormente este será el mayor flujo de sólidos sedimentables que ingresarán a la cuenca en ordenación inicialmente por el Caño Ciego que conecta en sentido SW-NE inicialmente a la unidad hidrográfica "Caño Schiller".

Al costado Noreste de la cuenca sobre la corriente del Río Fundación -afluente directo a la Ciénaga Grande de Santa Marta- se ubica la estación FUNDACION [29067120], presenta una dinámica de transporte de sedimentos que fluctúa hacia el mes de octubre superando valores medios por encima de 22 kTon/Día como se ve en la Figura 8.44, mientras que para los meses de enero a abril la carga de sedimentos no supera las 5 kTon/Día.

Cabe señalar que, estos aportes de sedimentos son una variable crítica en el equilibrio del régimen hidrológico de la cuenca en ordenación debido a su relieve plano y su naturaleza cenagosa que favorece la acumulación de los mismos, alterando las dinámicas de las conexiones entre los cuerpos de agua.

Figura 8.44. Valores totales de transporte de sedimentos para la estación FUNDACION [29067120]



8.6. Estimación de la oferta hídrica.

En la Tabla 8.19 se relaciona la oferta hídrica para condiciones hidrológicas de año seco y año normal, para cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel Subsiguiente y su respectivo rendimiento. De acuerdo a esta información, es posible comparar ambos escenarios donde la oferta hídrica disminuye un 87% de año Normal a año seco. En cuanto al rendimiento, todas las unidades presentan un valor superior a los 0.04 m^3/s clasificado como Medio de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Tabla 8.19. Oferta hídrica anual (m^3/s)

Código	Unidad Hidrográfica	Oferta hídrica anual		Área (Km2)	Caudal medio (m3/s)	Rendimiento (m3/s*km2)
		Año normal	Año seco			
2906-0101	Caño Schiller	56,62	7,23	654,60	62,75	0,10
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	2,09	0,27	26,03	2,31	0,09
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	4,61	0,59	58,28	5,11	0,09
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	7,16	0,91	85,13	7,93	0,09
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	8,61	1,10	104,01	9,54	0,09
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	17,39	2,22	185,38	19,27	0,10
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	17,56	2,24	195,77	19,46	0,10
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	8,65	1,10	91,07	9,59	0,11
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	20,84	2,66	271,50	23,09	0,09

Código	Unidad Hidrográfica	Oferta hídrica anual		Área (Km2)	Caudal medio (m3/s)	Rendimiento (m3/s*km2)
		Año normal	Año seco			
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	11,64	1,49	163,01	12,90	0,08
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	15,09	1,93	108,48	16,72	0,15
2906-0104	Complejo Caño El Salado	12,00	1,53	162,21	13,29	0,08
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	29,78	3,80	280,33	33,00	0,12
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	14,35	1,83	130,34	15,90	0,12
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	10,48	1,34	94,43	11,61	0,12
2906-010503	Caño Los Micos	6,70	0,85	55,56	7,42	0,13
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	14,71	1,88	134,34	16,30	0,12
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	109,93	79,75	1190,20	119,67	0,10

8.7. 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 8.20 los resultados obtenidos.

Tabla 8.20. Validación de los caudales obtenido en el régimen hidrológico de la cuenca.

Código	Unidad Hidrográfica	Oferta hídrica anual año normal	Oferta hídrica annual año seco	Caudal Balance hídrico (m3/s)
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	2,09	7,23	0,442
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	4,61	0,27	1,618
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	7,16	0,59	3,273
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	8,61	0,91	2,333
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	17,39	1,10	9,606
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	17,56	2,22	6,652
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	8,65	2,24	4,462
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	11,64	1,10	4,491
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	15,09	2,66	1,730
2906-0104	Complejo Caño El Salado	12	1,49	2,907

Código	Unidad Hidrográfica	Oferta hídrica anual año normal	Oferta hídrica annual año seco	Caudal Balance hídrico (m3/s)
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	14,35	1,93	2,544
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	10,48	1,53	0,482
2906-010503	Caño Los Micos	6,7	3,80	1,659
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	14,71	1,83	6,811
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	109,93	1,34	30,915

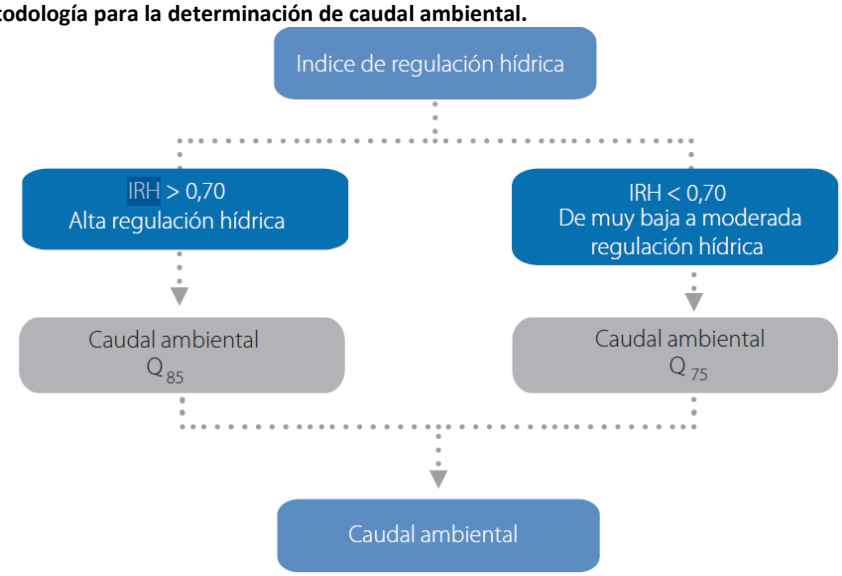
Las diferencias entre los caudales calculados por medio del balance hídrico a largo plazo y los determinados por la modelación hidrológica explican una vez mas la dependencia del complejo de humedales de la ciénaga grande de santa marta aa los flujos de entrada y salida tanto del río Magdalena como los intercambios con aguas marinas, mostrando las diferencias que el caudal base genera en la determinación de su oferta hídrica.

8.8. Caudales Ambientales.

El caudal ambiental corresponde al volumen de agua necesario para el sostenimiento de los ecosistemas, el cual 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 8.45, para cuencas que presenten una capacidad para retener y regular el recurso hídrico alta o muy alta, se tomará como caudal ambiental 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 8.45. 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.

En la Tabla 8.21 se relacionan los caudales ambientales por cada una de las unidades hidrográficas, tanto de primer como de segundo nivel subsiguiente, para año normal y año seco. Cabe resaltar que la unidad Complejo Lagunar Ciénaga Grande presenta un índice de retención y regulación hídrico muy bajo y por lo tanto, el valor del caudal ambiental será el correspondiente al Q_{75}, mientras que para el resto de la cuenca se entenderá como el Q_{85}.

Tabla 8.21. Caudal ambiental por Unidad hidrográfica (m3/s)

PRIMER NIVEL SUBSIGUIENTE		SEGUNDO NIVEL SUBSIGUIENTE		Caudal Ambiental	
CODIGO	Nombre	CODIGO	Nombre	Año Normal	Año Seco
2906-0101	Caño Schiller	2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	0,226	0,022
		2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	0,499	0,049
		2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	0,775	0,076
		2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	0,932	0,091
		2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	1,883	0,184
		2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	1,901	0,186
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	0,937	0,092
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	1,260	0,123
		2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	1,633	0,160
2906-0104	Complejo Caño El Salado	2906-010400	Complejo Caño El Salado	1,299	0,127

2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	1,553	0,152
		2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	1,134	0,111
		2906-010503	Caño Los Micos	0,725	0,071
2906-0106	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	1,593	0,156
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	12,846	0,793

8.9. Estimación De Demanda Hídrica

La demanda hídrica, según el Estudio Nacional del Agua (2014), corresponde al consumo de agua realizado por las diferentes actividades económicas y por la población para su propio abastecimiento, considerando 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 Pag 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:

$$DT = DUD + DUA + DUAV + DUP + DUI + DUM + DUH + DUE + DUS \quad \textbf{(47)}$$

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, se hizo uso de la información proveniente del análisis de la información base de los componentes económico y funcional del presente POMCA, presentando a continuación las características y consideraciones metodológicas para cada uno de los sectores estudiados.

8.9.1. 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, 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 8.22.

Tabla 8.22. 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 8.23 se presentan las dotaciones netas máximas según el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 8.23. 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 8.24 la demanda calculada según la población rural y urbana para cada una de las subcuencas.

Tabla 8.24. Demanda doméstica

Nivel Subsiguiente	Población		Demanda (m^3/año)	Nivel Subsiguiente	Población		Demanda (m^3/año)
	Rural	Urbana			Rural	Urbana	
2906-010101	33		1505,625	2906-010302	2216		101105
2906-010102	320		14600	2906-010400	225	5459	10265,625
2906-010103	3688		168265	2906-010501	2515		114746,875
2906-010104	502	6166	22903,75	2906-010502	1281	15696	58445,625
2906-010105	6008		274115	2906-010503	409		18660,625
2906-010106	1437	19068	1262979,84	2906-010600	7434		339176,25
2906-010200	283	4347	12911,875	2906-010700	26831	11985	1224164,38
2906-010301	4560		208050				

8.9.2. 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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 8.25 se relacionan las áreas por cultivo en cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente.

Tabla 8.25. Área por cultivo

Unidad hidrográfica	Arroz	Guayaba	Hortalizas	Mango	Mosaico cultivos	Otros cultivos transitorio	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos	Plantación latifoliada	Cultivos perman. arbóreos	Plantación forestal
2906-010104						0,03		24,57		51,29	
2906-010105										71,63	9,04
2906-010106						98,58		12,31	29,34	118,40	3,87
2906-010200					21,44	141,64				38,49	
2906-010301	194,43	6,28								70,06	
2906-010302	12,50									71,26	
2906-010400					8,81	18,09				14,21	
2906-010501	501,97				15,41						
2906-010502	338,85		25,77	9,12				136,03		72,22	
2906-010503											
2906-010600							3,44				
2906-010700										72,79	

Unidad hidrográfica	Pastos limpios	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	Mosaico de pastos y cultivos	Palma de aceite
2906-010101	335,32					
2906-010102	541,95					
2906-010103	2338,81	19,07		114,35	834,77	29,09
2906-010104	3662,91	19,11		18,62	106,14	261,44
2906-010105	6900,41		5,80	57,43		
2906-010106	7676,89	31,40		80,98	1046,03	
2906-010200	4616,89	9,82		15,45	448,32	69,81
2906-010301	6507,61	2,04		17,36	44,15	26,05
2906-010302	5150,01	26,14		6,76		
2906-010400	5166,10	49,83		24,98	0,00	
2906-010501	955,33	1,65		69,44	7,22	
2906-010502	3866,74	114,31		83,69	282,67	
2906-010503	1041,44	33,65		16,35	28,30	
2906-010600	184,63	17,39	4,83	43,60	3,37	
2906-010700	896,16	103,55	17,61			

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 5:

$$K_{c\,med} = K_{c\,med\,cua} + [0.04\,(U_2 - 2) - 0.004\,(HR_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad \textit{(48)}$$

Donde
$K_{c\ med\ (Cua)}$ = Valor de $K_{c\ med}$[43].
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.

A continuación, en la Tabla 8.26 se presentan las variables determinadas para cada uno de los cultivos, y el correspondiente factor de corrección del Kc.

Tabla 8.26. Variables por cultivo.

ÁREA AGRÍCOLA	Kc	h	Kc,cor
Arroz	1,10	1,00	1,01
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1,00		1,00
Cultivos permanentes arbóreos	1,00		1,00
Guayaba	0,79		0,79
Hortalizas	1,05	0,30	0,98
Mango	0,79		0,79
Mosaico de cultivos	1,00		1,00
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos	1,00		1,00
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	1,00		1,00
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	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 transitorios	1,00		1,00
Palma de aceite	1,00	8,00	0,82
Pastos limpios	0,75		0,75
Plantación de latifoliadas	1,00	10,00	0,81
Plantación forestal	0,88		0,88

[43] 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.

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:

$$Demanda\ de\ agua\ por\ cultivo = \frac{Area\ del\ cultivo}{0.75} 10(K_c * ET_{O\ corregido} * P * C_e \quad \textbf{(49)}$$

Si el valor de (K_c* ET_0 corregido - Ce * P) es negativo no existe demanda, en la cuenca complejo de humedales ciénaga grande de Santa Marta todas las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente presentan demanda por uso agrícola. A continuación en la Tabla 8.27 se establecen las demandas totales agrícolas por unidad hidrográfica de segundo nivel.

Tabla 8.27. Demanda de agua uso agrícola (m3/año)

Unidad hidrográfica	Demanda Agrícola total
2906-010101	3492451,42
2906-010102	6455925,45
2906-010103	47673126,6
2906-010104	45859878,4
2906-010105	95351721,9
2906-010106	124733337
2906-010200	75528025,2
2906-010301	91788792,9
2906-010302	67411569
2906-010400	59131941,4
2906-010501	22839811,6
2906-010502	66394166,5
2906-010503	13905310,8
2906-010600	3615228,84
2906-010700	13714897,4

8.9.3. 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 8.28, 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 8.28. Cabezas por nivel subsiguiente y consumo por cabeza

Tipo	2906-010101	2906-010102	2906-010103	2906-010104	2906-010105	2906-010106	2906-010200
Ganado vacuno	751	799	7279	8417	12601	19913	10592
Ganado porcino	6	70	227	219	1353	1118	1440
Ganado bufalino	13	89	133	166	1006	817	723
Ganado caprino	11	1	109	37	125	448	180
Ganado equino	29	34	297	197	1084	1450	359
Ganado ovino	29	8	290	167	806	1359	146
Aves	0	0	0	1970	0	1200	1900

Tipo	2906-010301	2906-010302	2906-010400	2906-010501	2906-010502	2906-010503	2906-010600	2906-010700
Vacuno	10795	11144	7023	654	2819	727	128	905
Porcino	1431	855	1227	175	1637	195	491	183
bufalino	1048	556	1107	301	1226	545	130	105
caprino	57	175	12	2	8	4	1	1
Equino	443	420	384	45	185	81	19	39
Ovino	132	277	103	35	142	63	15	9
Aves	0	0	1380	0	2000	0	0	800

Una vez determinados los consumos por cabeza, se calcula la demanda multiplicando la cantidad de especímenes con el consumo promedio; en la Tabla 8.29 se presenta la demanda total de uso pecuario por cada nivel subsiguiente analizado:

Tabla 8.29. Demanda uso agrícola (m3/año)

Unidad hidrográfica	Ganado vacuno	Ganado porcino	Ganado bufalino	Ganado caprino	Ganado equino	Ganado ovino	Aves	Total Cría (m3/año)	Total (m3/año)
2906-010101	30639,66	40,84	531,11	132,50	688,03	166,18	0,00	32198,31	32198,31
2906-010102	32597,98	476,51	3636,05	12,05	806,65	45,84	0,00	37575,08	37575,08
2906-010103	296972,11	1545,25	5433,64	1312,91	7046,33	1661,85	0,00	313972,08	313972,08
2906-010104	343400,78	1490,79	6781,84	445,67	4673,83	956,99	14632,67	372382,56	372382,56
2906-010105	514101,61	9210,21	41099,58	1505,63	25717,90	4618,78	0,00	596253,70	596253,70
2906-010106	812420,07	7610,51	33378,09	5396,16	34401,25	7787,75	8913,30	909907,12	909907,12
2906-010200	432137,47	9802,44	29537,77	2168,10	8517,28	836,65	14112,73	497112,43	497112,43
2906-010301	440419,56	9741,17	42815,46	686,57	10510,18	756,43	0,00	504929,36	504929,36
2906-010302	454658,23	5820,20	22715,07	2107,88	9964,50	1587,35	0,00	496853,22	496853,22
2906-010400	286527,70	8352,50	45225,88	144,54	9110,40	590,24	10250,30	360201,55	360201,55
2906-010501	26682,20	1191,27	12297,19	24,09	1067,63	200,57	0,00	41462,94	41462,94
2906-010502	115010,91	11143,47	50087,56	96,36	4389,13	813,73	14855,50	196396,65	196396,65
2906-010503	29660,49	1327,41	22265,68	48,18	1921,73	361,02	0,00	55584,51	55584,51
2906-010600	5222,21	3342,36	5311,08	12,05	450,78	85,96	0,00	14424,42	14424,42
2906-010700	36922,62	1245,73	4289,72	12,05	925,28	51,57	5942,20	49389,16	49389,16

8.9.4. 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 8.30, sin embargo el agua que se consume en estos sectores proviene del río Magdalena y por tanto no suma a la demanda del recurso en la cuenca.

Tabla 8.30. Demanda de agua sector Industrial, comercial e institucional. (m3/año)

Sector	Nivel subsiguiente		
	2906-010104	2906-010106	2906-010502
Comercial	1326,97	300,00	11298,36
Industrial	887818,90	21621,89	1838,96
Institucional	137838,20	6454,10	1848,06
Total (m3/año)	1026984,07	28375,99	14985,38

8.9.5. 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 8.31 se discriminan los caudales totales para año seco y para año normal por cada unidad hidrográfica dentro de la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

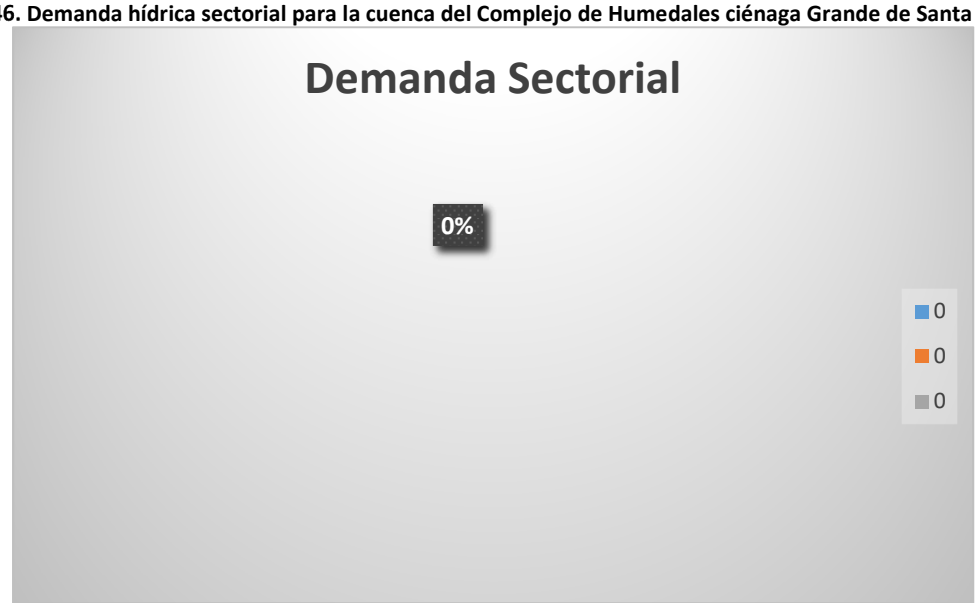
Tabla 8.31. Demanda de agua total año normal y año seco (m3/año)

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)
2906-010101	3526155,4	28290007,8	0,0	31816163,15	3526155,36
2906-010102	6508100,5	62508725,6	0,0	69016826,15	6508100,53
2906-010103	48155363,7	97090459,7	0,0	145245823,42	48155363,68
2906-010104	46255164,7	116727278,4	0,0	162982443,07	46255164,67
2906-010105	96222090,6	235901284,2	0,0	332123374,77	96222090,59
2906-010106	126906224,1	238154172,4	0,0	365060396,51	126906224,09
2906-010200	76038049,5	117403748,6	0,0	193441798,16	76038049,54
2906-010301	92501772,3	157920185,7	0,0	250421957,95	92501772,27
2906-010302	68009527,3	204664870,7	0,0	272674398,00	68009527,27
2906-010400	59502408,6	162719372,7	0,0	222221781,27	59502408,58
2906-010501	22996021,5	194660423,7	0,0	217656445,19	22996021,47

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)
2906-010502	66649008,8	142148942,9	0,0	208797951,68	66649008,80
2906-010503	13979555,9	90854685,0	0,0	104834240,95	13979555,95
2906-010600	3968829,5	199556354,4	0,0	203525183,94	3968829,51
2906-010700	14988451,0	405099812,5	355875000,0	420088263,48	370863450,98

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 99%, seguido por el sector pecuario y el agrícola, como puede verse en la . Figura 8.46.

Figura 8.46. Demanda hídrica sectorial para la cuenca del Complejo de Humedales ciénaga Grande de Santa Marta.



8.10. 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.

8.10.1. 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:

$$IRH = \frac{V_{50}}{V_T} \qquad (50)$$

Donde:

V_{50} = Volumen correspondiente al Q_{50}
V_T = Volumen total bajo la curva

En la Tabla 8.32, se presentan los rangos de los valores definidos por el IDEAM, para calificar el indicador, entre regulación muy alta a regulación muy baja.

Tabla 8.32. Calificación del indicador

Rango	Categoría	Significado
> 0,85	Muy alta	Muy alta capacidad de retener y regular el agua.
0,75 - 0,85	Alta	Alta capacidad de retener y regular el agua.
0,65 - 0,75	Moderada	Moderada capacidad de retener y regular el agua.
0,5 - 0,65	Baja	Baja capacidad de retener y regular el agua.
< 0,5	Muy baja	Muy baja capacidad de retener y regular el agua.

Fuente: IDEAM (2014).

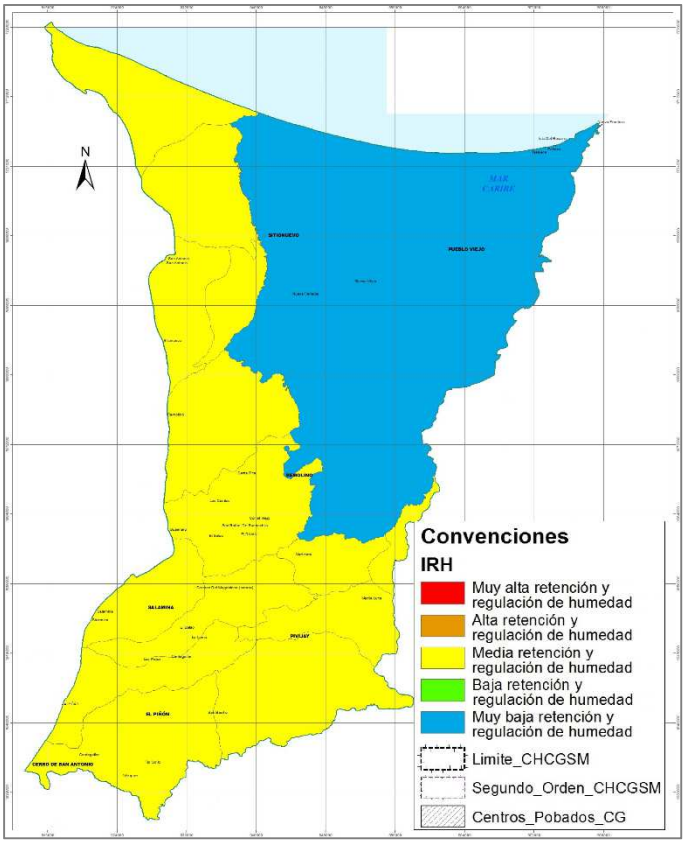
En la Tabla 8.33 se relaciona el valor del índice de retención y regulación hídrica con cada una de las unidades hidrográficas de primer y segundo nivel subsiguiente de la cuenca y se muestra la clasificación de acuerdo a lo anteriormente mencionado

Tabla 8.33. Índice de retención y regulación hídrica

Código	Unidad Hidrográfica	Normal			
		V_{50}	V_T	IRH	Clasificación
2906-0101	Caño Schiller	4459,51	6273,30	0,71	Moderada
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	164,25	231,06	0,71	Moderada
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	362,93	510,54	0,71	Moderada
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	563,71	792,99	0,71	Moderada
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	677,73	953,37	0,71	Moderada
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	1369,66	1926,73	0,71	Moderada
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	1382,74	1945,13	0,71	Moderada
2906-0102	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	681,65	958,90	0,71	Moderada
2906-0103	Complejo Humedal Buenavista	1640,97	2308,39	0,71	Moderada
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	916,89	1289,82	0,71	Moderada
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	1188,30	1671,61	0,71	Moderada
2906-0104	Complejo Caño El Salado	944,76	1329,02	0,71	Moderada
2906-0105	Complejo Cenagoso del Magdalena en Sitionuevo	2345,34	3299,25	0,71	Moderada
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	1130,21	1589,89	0,71	Moderada
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	825,33	1161,01	0,71	Moderada
2906-010503	Caño Los Micos	527,51	742,06	0,71	Moderada
2906-0106	Complejo de Ciénaga s Vía Parque Isla Salamanca	1158,64	1629,88	0,71	Moderada
2906-0107	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	5521,34	11948,74	0,46	Muy baja

De acuerdo con la Figura 8.47, y teniendo en cuenta la información hidrológica generada a nivel de subcuenca, se puede observar que el índice de retención y regulación hídrica dentro de la cuenca del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, a pesar de ser 0.46 en una sola de las unidades, es muy bajo para el 42% del área total de la cuenca la cual corresponde a la unidad Complejo Lagunar Ciénaga Grande, mientras que el área restante posee una alta capacidad de regular y retener el agua.

Figura 8.47. Índice de retención y regulación hídrica para la cuenca.



8.10.2. 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:

$$IUA = (\frac{D_h}{O_h}) * 100 \quad \textbf{(51)}$$

Dónde:

D_h *Demanda hídrica sectorial*, que corresponde a la sumatoria del volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado.
O_h *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 8.34, se presentan los rangos de fluctuación del indicador y la calificación correspondiente, que varía de crítico a muy bajo.

Tabla 8.34. 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 8.35 se establecen los valores del índice de uso del agua, así como la clasificación, por cada una de las unidades hidrográficas de segundo nivel subsiguiente para año normal y para año seco.

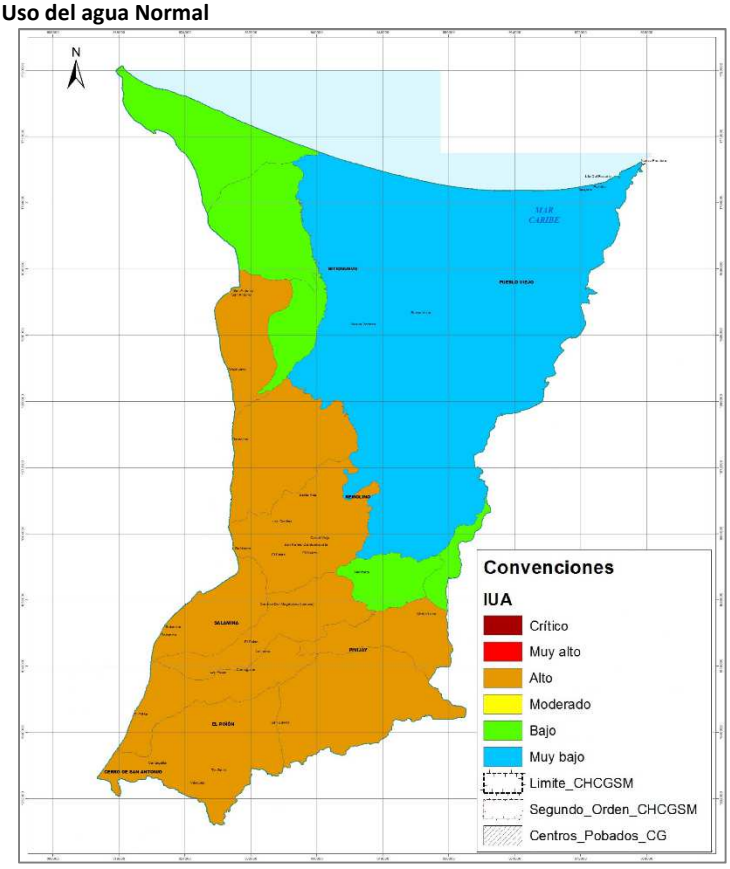
Tabla 8.35. Índice de Uso del agua

Código	Nombre	Valor IUA normal	Valor IUA seco	IUA año normal	IUA año seco
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	4,84	38,80	Bajo	Alto
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	6,60	32,41	Bajo	Alto
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	31,46	154,39	Alto	Crítico
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	25,14	123,35	Alto	Crítico
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	25,87	126,97	Alto	Crítico
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	33,80	165,88	Alto	Crítico
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	41,08	201,61	Alto	Crítico
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	37,16	182,34	Alto	Crítico
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	21,08	103,44	Alto	Crítico
2906-010400	Complejo Caño El Salado	23,20	113,83	Alto	Crítico
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	7,49	36,77	Bajo	Alto
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	29,74	145,95	Alto	Crítico
2906-010503	Caño Los Micos	9,76	47,90	Bajo	Alto
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	1,26	6,19	Bajo	Bajo

Código	Nombre	Valor IUA normal	Valor IUA seco	IUA año normal	IUA año seco
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	0,44	0,69	Muy bajo	Muy bajo

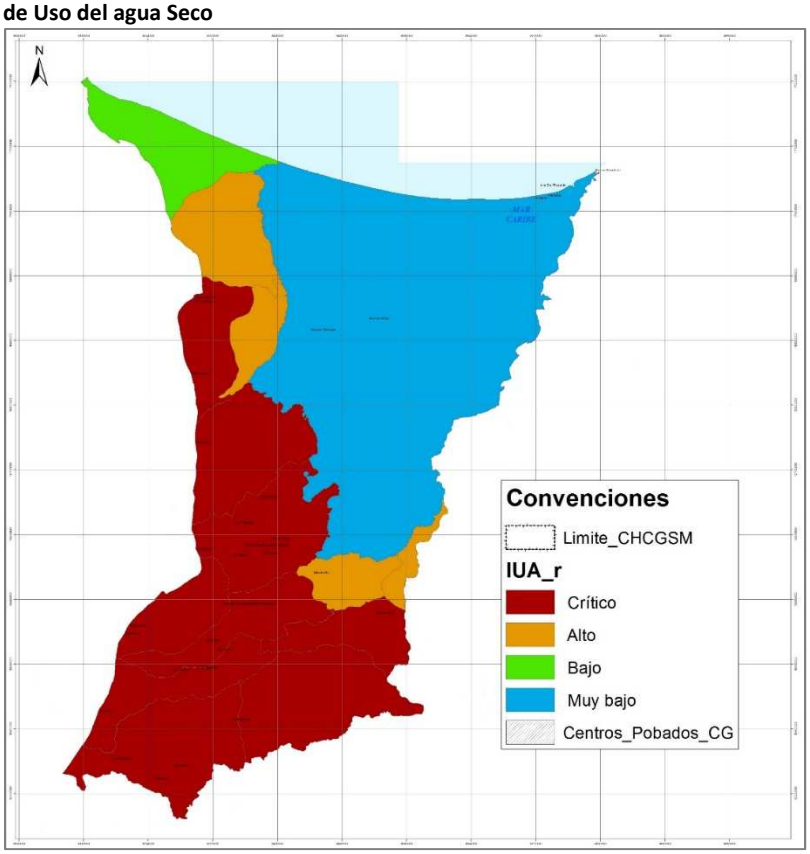
En la Figura 8.48 se representan las áreas con los rangos del IUA para año Normal y se puede observar que una de las unidades con el 42.7% del área total de la cuenca tiene una muy baja presión de la demanda con respecto a la oferta disponible, mientras que cinco unidades con el 14.5% tienen una presión baja y el 42.8% restante, correspondiente a 9 unidades hidrográficas, tienen un índice de uso del agua alto.

Figura 8.48. Índice de Uso del agua Normal



En la Figura 8.49 se representa el índice de uso del agua para año seco, donde el Complejo Lagunar Ciénaga Grande ejerce una presión muy baja al igual que en año normal, el Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca también se mantiene en el rango bajo, mientras que las otras cuatro unidades que estaban presentes en este rango, pasan a una clasificación alta, sumando el 9.7% del área total. El 42.7% del área restante pasa de una presión de la demanda muy alta con respecto a la oferta disponible a un nivel crítico donde la presión supera las condiciones de la oferta.

Figura 8.49. Índice de Uso del agua Seco



8.10.3. 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 8.36.

Tabla 8.36. . 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: Estudio Nacional del Agua ENA (2014).

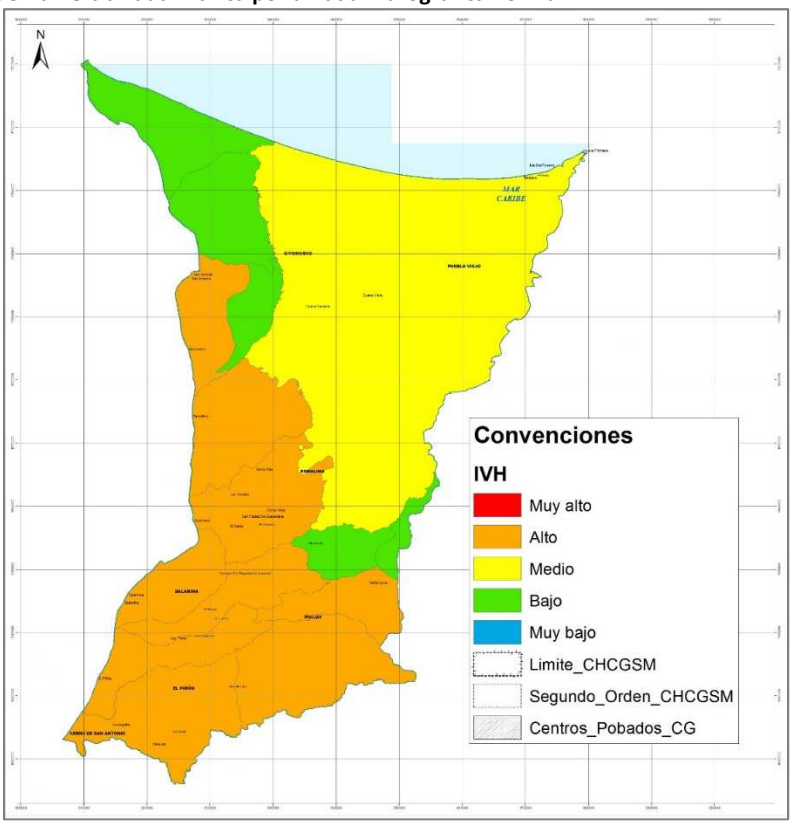
De acuerdo con el IDEAM, el IVH permite determinar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como períodos largos de estiaje, podría generar riesgos de abastecimiento. En la Tabla 8.37 se relaciona e IVH por unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente, el IRH y e IUA, tanto para año seco, como para año normal.

Tabla 8.37. Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico por Unidad hidrográfica de II nivel subsiguiente.

CODIGO	NOMBRE	IRH	IUA Año normal	IUA Año seco	IVH Año normal	IVH Año seco
2906-010101	Caño Schiller entre El Jagüey y SFF CGSM	Media	Bajo	Alto	Baja	Alta
2906-010102	Complejo Ciénaga Playazo	Media	Bajo	Alto	Baja	Alta
2906-010103	Caño Schiller entre La Loma y El Jagüey	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010104	Caño Schiller entre el rio Magdalena y La Loma	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010105	Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010106	Arroyos Palma de Vino, Pertuz y Los Puercos	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010200	Caños Hondo, El Loro y otros directos al rio Magdalena	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010301	Complejo Ciénaga de Buenavista	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010302	Complejo Ciénaga El Diluvio	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010400	Complejo Caño El Salado	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010501	Complejo Cenagoso-Sector Palermo	Media	Bajo	Alto	Baja	Alta
2906-010502	Complejo Cenagoso-Sector Sitionuevo	Media	Alto	Crítico	Alta	Muy alta
2906-010503	Caño Los Micos	Media	Bajo	Alto	Baja	Alta
2906-010600	Complejo de Ciénagas Vía Parque Isla Salamanca	Media	Bajo	Bajo	Baja	Baja
2906-010700	Complejo Lagunar Ciénaga Grande	Muy baja	Muy bajo	Muy bajo	Media	Media

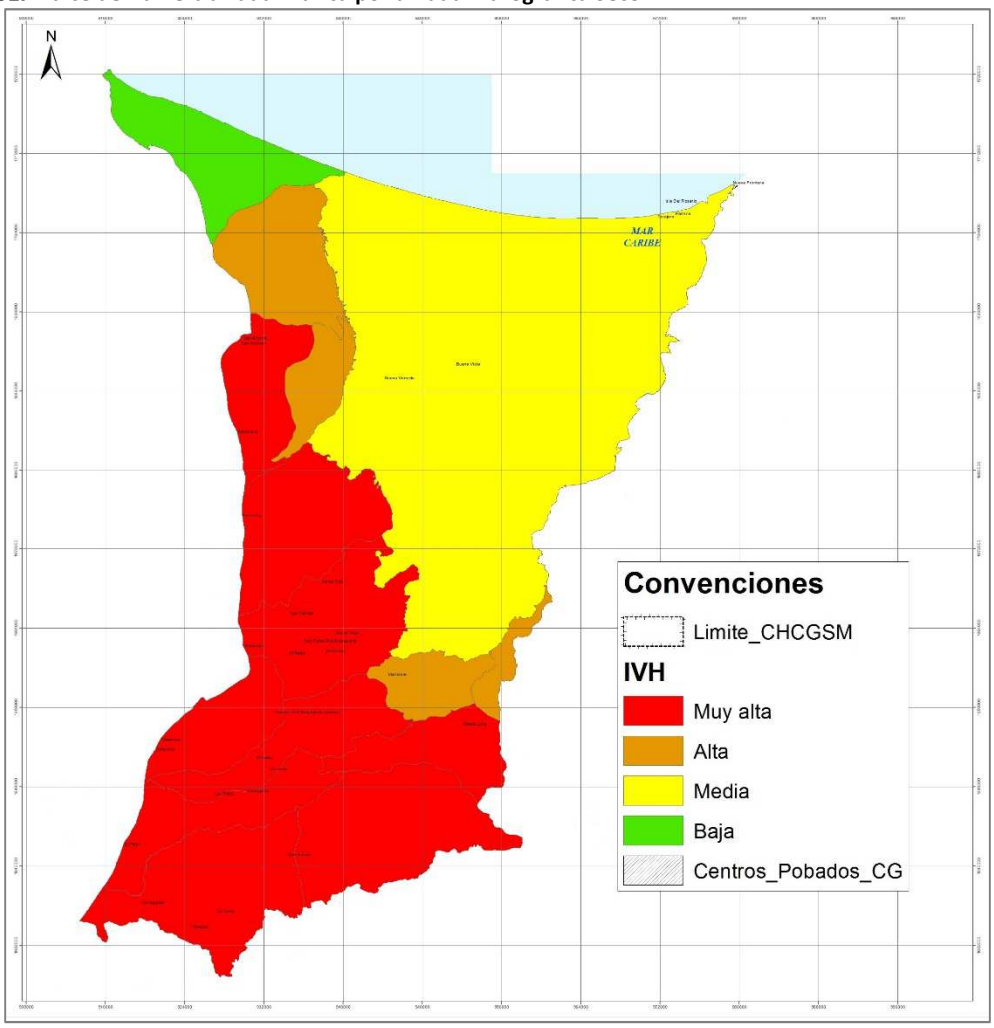
En la Figura 8.50 se muestran el IVH por unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente en año normal, en donde se puede observar que el área perteneciente a un rango bajo es la menor con un 14.5% del área, mientras que para los otros dos rangos las áreas se distribuyen con un 42.8% para Bajo y 42.7% para alto.

Figura 8.50. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica normal



En la Figura 8.51 se muestra el IVH por unidad hidrográfica en condiciones de año seco, donde el porcentaje de área se mantiene para el rango Medio, mientras que el área que presentaba una alta fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, pasa a una calificación muy alta, y de las unidades que tenían un IVH bajo en año normal, solo una se mantiene en un rango bajo mientras que las demás pasan a una condición de alta vulnerabilidad al desabastecimiento.

Figura 8.51. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por unidad hidrográfica Seco



8.11. Necesidades De Información Y Conocimiento.

Para la cuenca hidrográfica del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, la mayor necesidad en términos hidrológicos está dada por la obtención permanente de registros de niveles, caudales y condiciones del estado del recurso hídrico en la cuenca a una escala temporal y espacial que permita obtener el detalle que la zona, al ser de alta fragilidad, merece.

Para esto, se hace necesario que se instalen estaciones hidrométricas en áreas estratégicas de la cuenca, como son los caños de interconexión del Complejo Cenagoso de la Ciénaga, el sitio de entrada y entrega al río Magdalena, y demás puntos de interés dentro de la cuenca. Así mismo, para lograr una verdadera caracterización de los cuerpos lénticos, se hace necesario el levantamiento de la batimetría de las ciénagas, y de esta manera, lograr una caracterización hidrológica mucho más acertada con las condiciones de la realidad.

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.

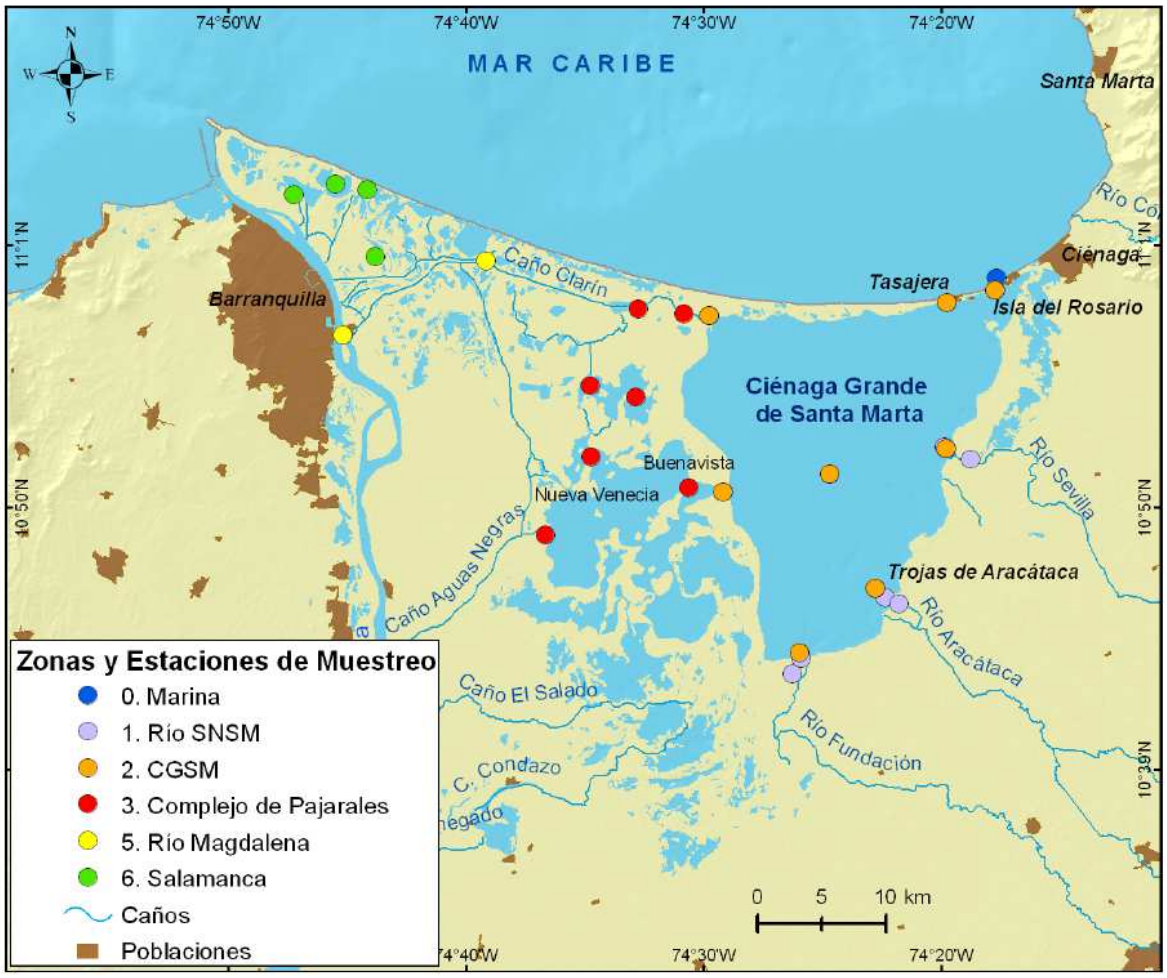
9.1. Evaluación De Redes De Monitoreo Existentes En La Cuenca

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 proyecto de Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, realizado en cooperación con CORPAMAG entre el año 2005 al 2014, cuenta con registros de 30 estaciones de monitoreo, las cuales se muestran en la Figura 9.1 y la Tabla 9.1. En la actualidad solo se encuentran activas 10 de esas estaciones, como se muestra en la Tabla 9.2.

Figura 9.1. Estaciones de monitoreo de INVEMAR con registros existentes



Fuente: INVEMAR (2015)

Tabla 9.1. Listado de estaciones INVEMAR con registros de monitoreo

N°	Estación	Abreviatura	Zona	Influencia	Latitud	Longitud
1	Boca de la Barra	LBA	0	Marina	10°59´38,47"	74°17´39,63"
2	Río Sevilla	RSE	1	Ríos de la SNSM	10°52´0,95"	74°18´45,49"
3	Trojas de Aracataca	TRO	1		10°46´13,4"	74°22´20,87"
4	Río Aracataca	RAR	1		10°45´57,82"	74°21´47,51"
5	Río Fundación	RFU	1		10°43´1,81"	74°26´16,48"
6	Boca del río Sevilla	BRS	1		10°52´31,5"	74°19´50,7"
7	Boca del río Aracataca	BRA	1		10°46´11,7"	74°22´38,1"
8	Boca del río Fundación	BRF	1		10°43´39,5"	74°25´53,7"
9	Frente a río Sevilla	FRS	2	Espejo de agua principal	10°52´28,24"	74°19´47,73"
10	Frente a río Aracataca	FRA	2		10°46´37,31"	74°22´47,22"
11	Frente a río Fundación	FRF	2		10°43´54,05"	74°25´56,46"
12	Centro CGSM	CEN	2		10°51´25,06"	74°24´40,71"
13	Boca del Caño Grande	BCG	2		10° 50´38,94"	74°29´9,38"
14	Rinconada	RIN	2		10°58´2,24"	74°29´44,37"
15	Tasajera	TAS	2		10°58´34,9"	74°19´45,62"
16	Islas del Rosario	ROS	2		11°0´23,11"	74°45´48,18"
17	Ciénaga la Luna	CLU	3	Complejo de Pajarales	10°55´7,31"	74°34´45,56"
18	Ciénaga La Auyama	AUY	3		10°54´36,75"	74°32´50,4"
19	Ciénaga La Redonda	CLR	3		10°58´19,49"	74°32´43,59"
20	La Y	LYE	3		10°58´7,61"	74°30´49,82"
21	Buenavista	BVA	3		10°50´50,32"	74°30´36,83"
22	Nueva Venecia	NVE	3		10°52´7,07"	74°34´43,04"
23	Boca del Caño Aguas Negras	CAN	3		10°48´51,3"	74°36´37,76"
24	Caño Clarín Km 15	CLA	5	Río Magdalena	11°0´21,46"	74°39´7,86"
25	Boca del Caño Clarín	BCC	5		10°57´12,84"	74°45´10,05"
26	Ciénaga Las Piedras	CLP	6	Isla Salamanca (Río Magdalena)	11°3¨18,47"	74°44¨8,25"
27	Ciénaga EL Loro	CLO	6		11°0´30,31"	74°43´47,63"
28	Ciénaga el Torno	CET	6		11°3´34,34"	74°45´27,3"
29	Ciénaga Poza Verde	CPV	6		11°3´ 7,49"	74°47´13,79"
30	Caño el Torno	TOR	6		10°59´10,8"	74°17´48,3"

Fuente: INVEMAR (2015)

Tabla 9.2. Estaciones de INVEMAR activas para monitoreo de calidad del agua

ESTACION	LUGAR	LATITUD	LONGITUD
C47004003	Frente a la Barra	10° 59' 53.1" N	74° 17' 41.6" W
C47005025	Boca de la Barra	10° 59' 23.3" N	74° 17' 26.9" W
C47005026	Frente a Río Aracataca - ESTOCA104	10° 46' 37.3" N	74° 22' 47.2" W
C47005027	Frente a Río Fundación	10° 43' 55.4" N	74° 25' 39.2" W
C47005028	Frente a Río Sevilla - ESTOCA70	10° 52' 20.8" N	74° 19' 48.7" W
C47005029	Río Aracataca	10° 45' 57.8" N	74° 21' 47.5" W
C47005030	Río Fundación	10° 42' 59" N	74° 25' 44.2" W
C47005031	Río Sevilla	10° 51' 48.7" N	74° 18' 48.6" W
C47005032	Boca del Caño Grande	10° 50' 29.4" N	74° 29' 1.2" W
C47005033	Centro Cienága Grande de Santa Marta	10° 51' 25" N	74° 24' 40.7" W

Fuente: INVEMAR

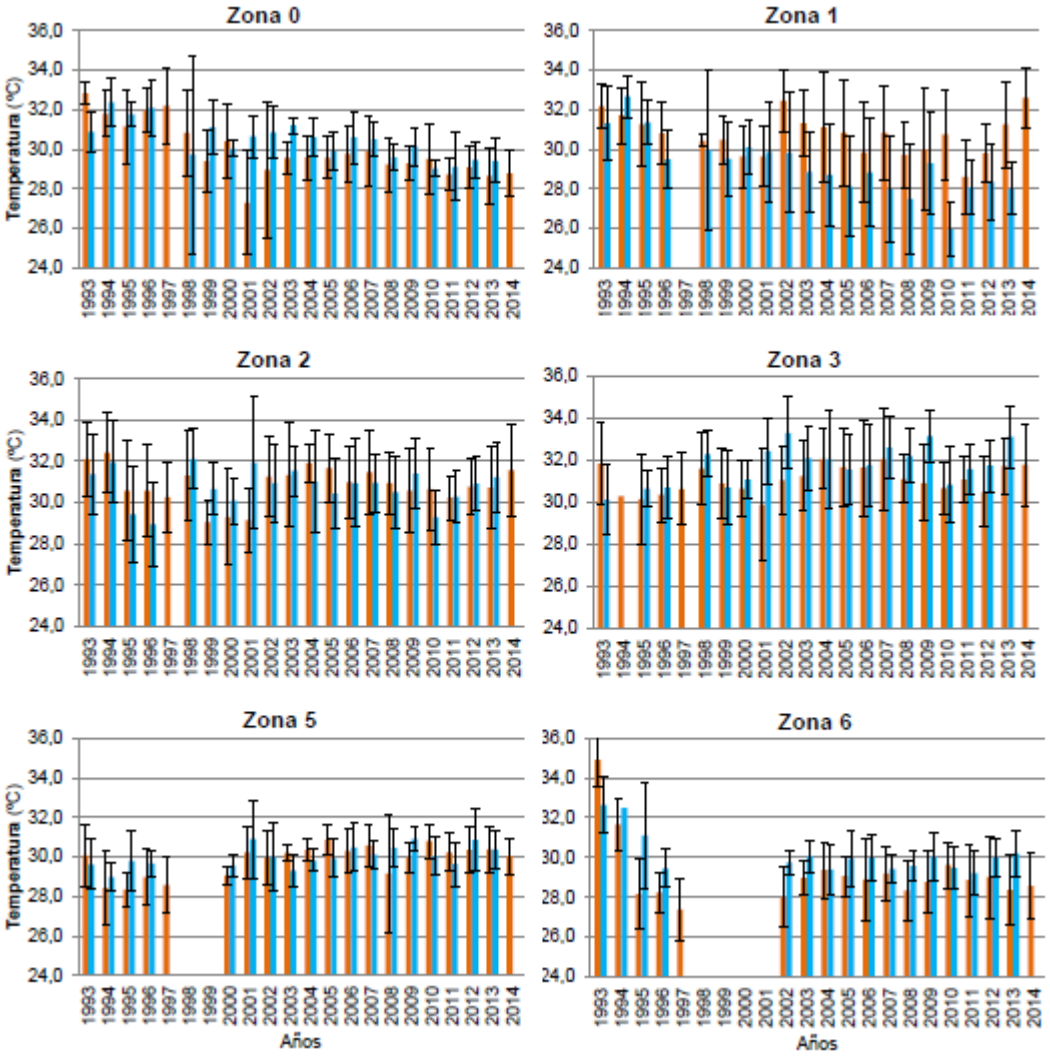
9.1.2. Resultados de monitoreo para las redes existentes

De acuerdo con los Informes Técnicos 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, para un período comprendido entre 1993 y 2014, las temperaturas más bajas monitoreadas en el área de la Cuenca corresponden a los ríos provenientes de la Sierra Nevada y en la zona de Salamanca, mientras que las mayores se registraron en el Complejo Lagunar de Pajarales (INVEMAR, 2015), notándose los efectos de las oscilaciones ENSO y la variabilidad climática entre épocas lluviosas y secas en el valor medio de la temperatura.

Figura 9.2. Distribución espacial de temperatura en estaciones INVEMAR (1993-2014)

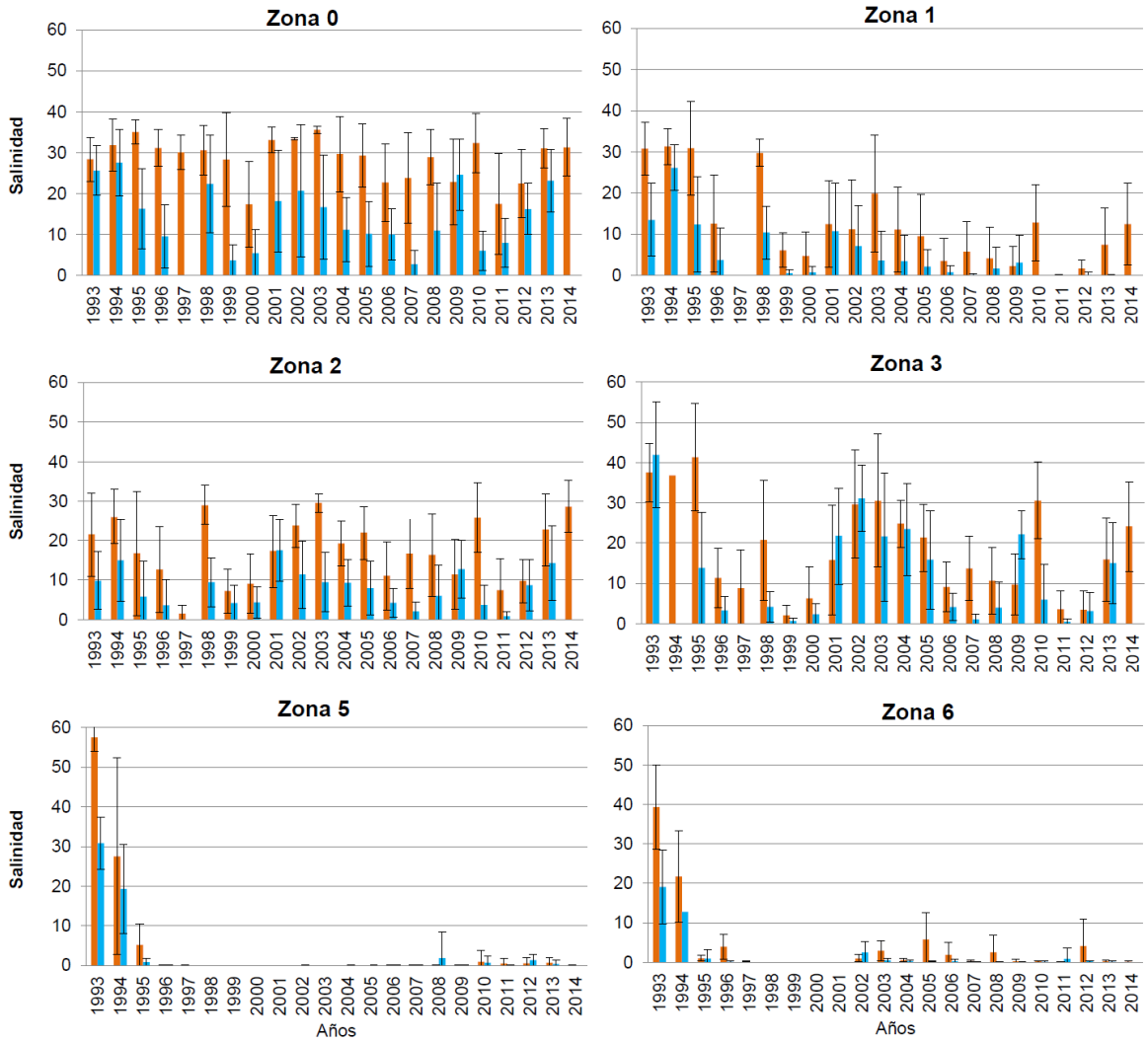


Las barras color naranja corresponden a épocas secas, y las azules a épocas lluviosas.
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.2.2. *Salinidad*

Luego de la intervención hidráulica de los caños que provienen del Magdalena entre el año 1996 y 1998, específicamente los caños Clarín nuevo, Aguas Negras y Renegado, se vio favorecida la reducción en la salinidad del Complejo de humedales, aunque los valores medios para este parámetro en cada año se han visto influenciados por el régimen de mareas y las descargas de los cuerpos de agua dulce, y por tanto afectados por las condiciones hidrometeorológicas y de forma muy particular por las oscilaciones ENSO. Así se observa que los valores de salinidad tendieron a ser menores durante los años con eventos de “La Niña” y mayores durante los de “El Niño” (Figura 9.3)

Figura 9.3. Distribución espacial de salinidad para estaciones INVEMAR (1993-2014)

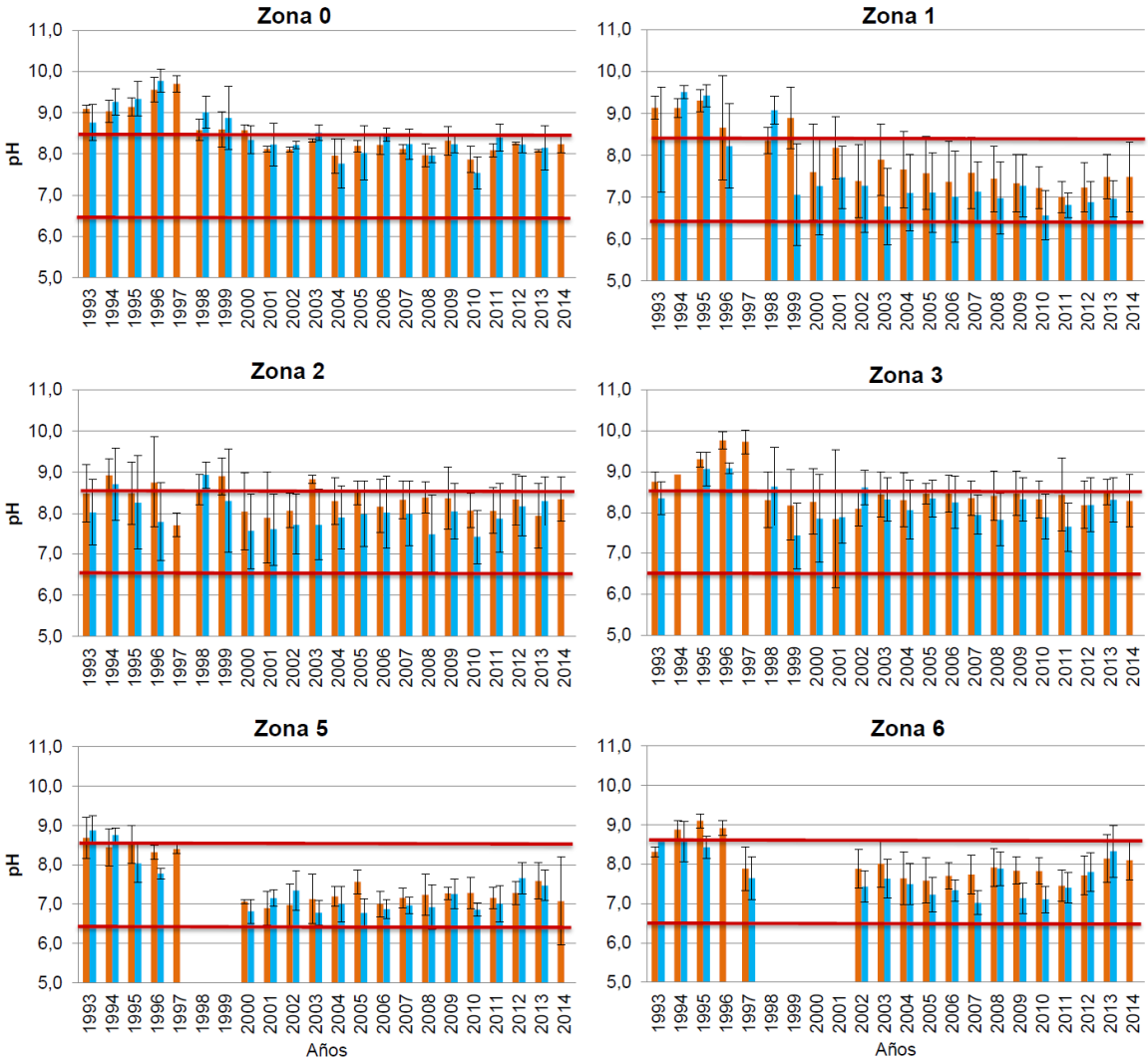


Las barras color naranja corresponden a épocas secas y las azules a épocas lluviosas
Fuente: INVEMAR (2014)

9.1.2.3. *Potencial de hidrógeno (pH)*

Desde que se realizó la apertura de los caños Renegado y Aguas negras en el año 1998, comenzó a reducirse el nivel de pH en el Complejo lagunar de la CGSM, que en años anteriores había estado en valores altos poniendo en riesgo la estabilidad del ecosistema estuarino. Se observa entonces que a partir del año 2000 el rango de variación en casi la totalidad del Complejo se ha mantenido dentro de los límites recomendables para la conservación de la flora y la fauna (entre 6,5 y 8,5) y los esperables para aguas naturales (entre 6 y 9)

Figura 9.4. Distribución espacial de pH en estaciones INVEMAR (1993-2014)

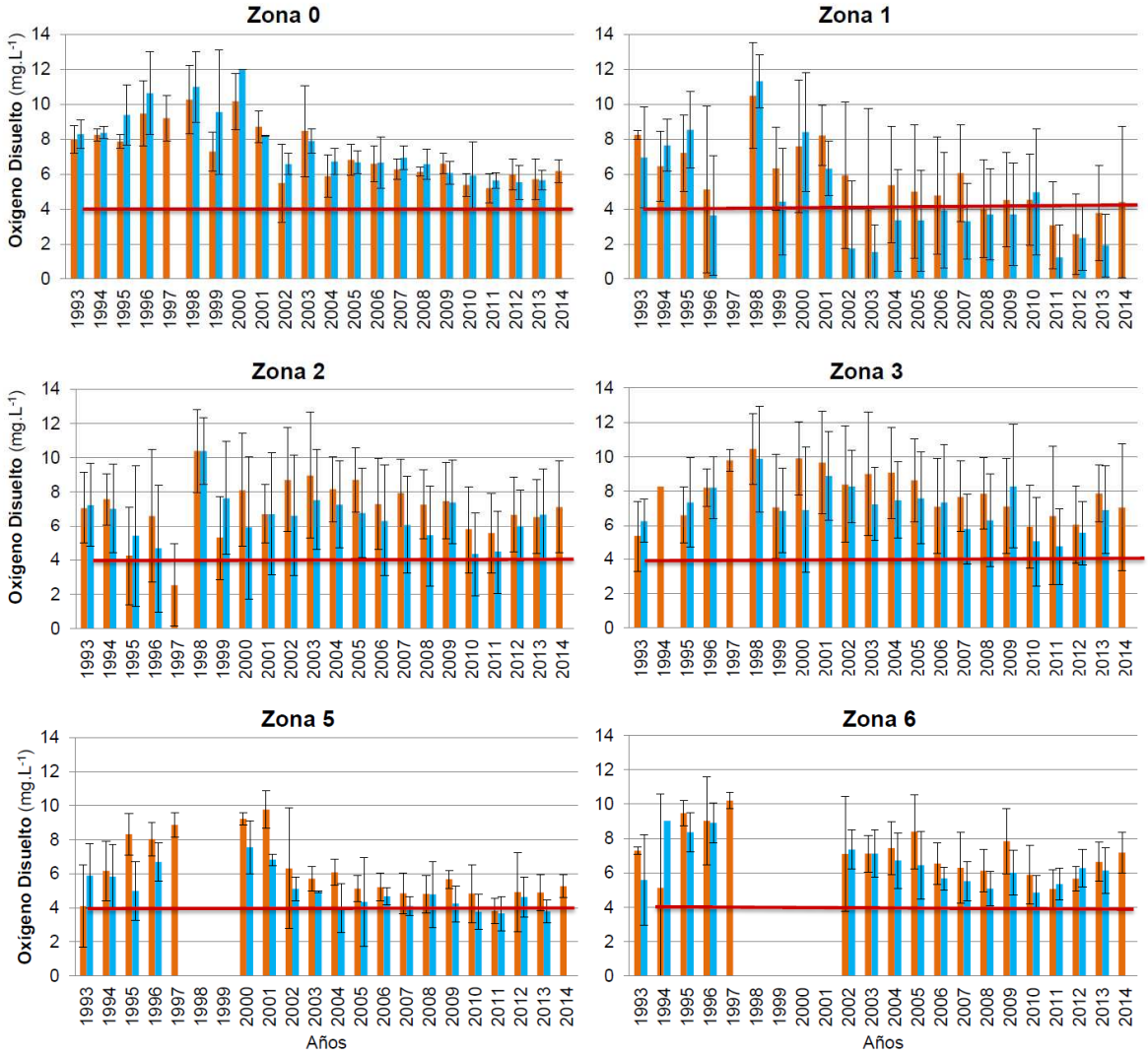


Las barras color naranja representan condiciones secas y las azules condiciones de lluvia
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.2.4. *Oxígeno disuelto*

Históricamente, en el período 1993-2014, la zona que más ha exhibido cambios en el comportamiento del oxígeno disuelto es la de la Boca de la Barra que comunica a la Ciénaga Grande con el Mar Caribe. Después del año 2001, los valores de este parámetro en la zona indicada han llegado a estar por debajo del nivel de referencia deseable (4 mg/L) atribuible al aporte de carga orgánica desde el río Magdalena a través de los caños Clarín, Aguas Negras y Renegado (INVEMAR, 2015)

Figura 9.5. Distribución espacial de oxígeno disuelto para estaciones INVEMAR (1993-2014)



Las barras color naranja representan condiciones en época seca, y las azules en época lluviosa
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.2.5. *Sólidos suspendidos totales*

A partir del año 2002, los registros de las estaciones muestran una reducción progresiva en la concentración de sólidos en suspensión en la zona de los complejos lagunares de Pajaral y la Ciénaga Grande, así como en la Boca de la Barra y el Mar Caribe en el área inmediata a la Boca. Los valores más altos registrados corresponden al Caño Clarín en su comunicación con Caño Hondo por la influencia directa del río Magdalena el cual transporta un volumen muy alto de sedimentos. En las épocas con condiciones hidrometeorológicas secas, como se esperaría, los valores de SST tienden a aumentar por la resuspensión del material del fondo del lecho al bajar los niveles de los cauces.

Figura 9.6. Distribución espacial de SST para estaciones INVEMAR (1993-2014)



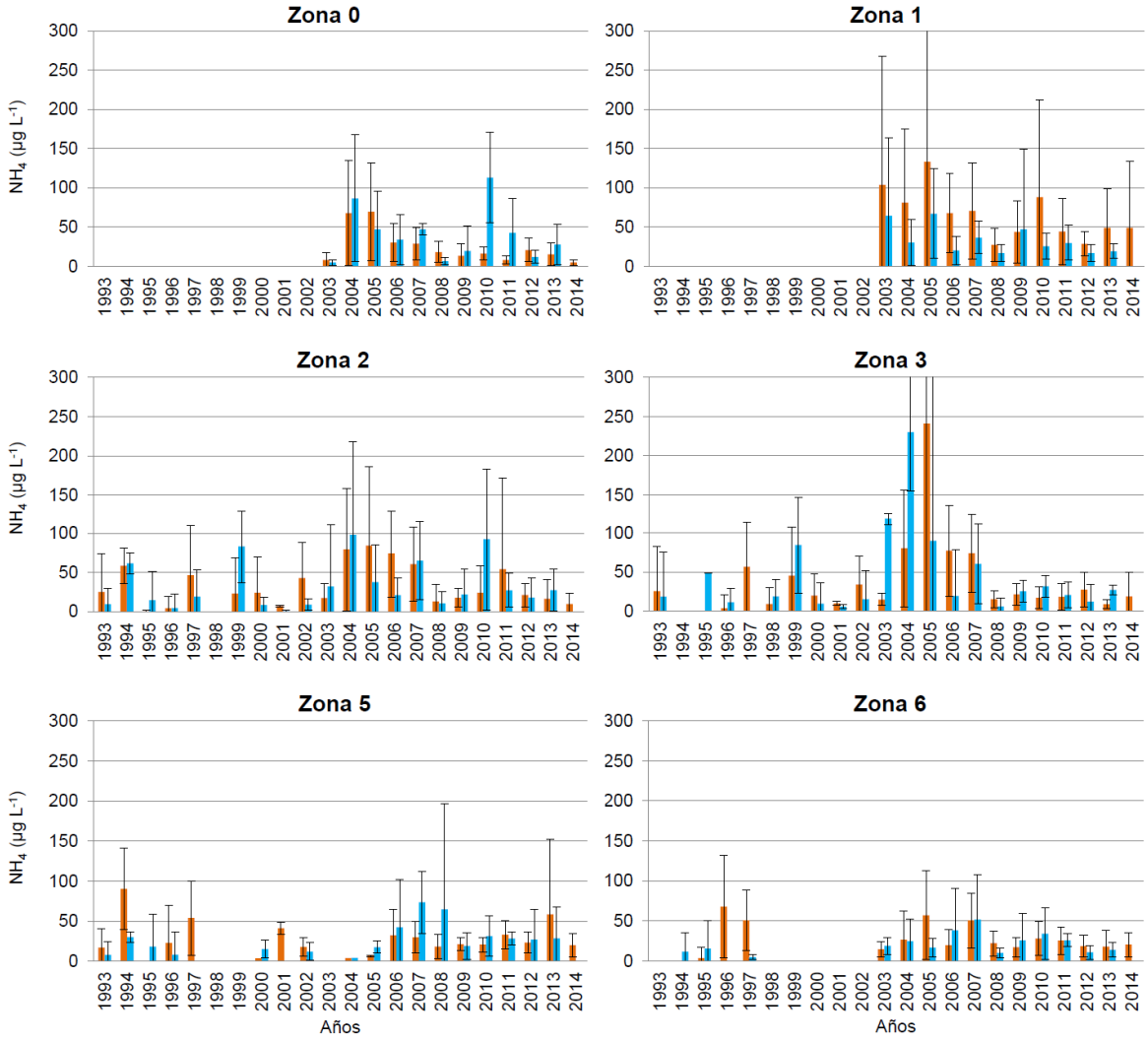
Las barras color naranja representan condiciones secas, y las azules condiciones lluviosas
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.2.6. *Nutrientes*

El comportamiento de las especies nitrogenadas, especialmente nitrógeno amoniacal y nitratos, muestran una considerable influencia del régimen hidráulico, con los valores más bajos en la Boca de la Barra y el Mar Caribe, y en la zona de influencia del río Magdalena. El nitrógeno amoniacal presenta históricamente los valores más altos en la Ciénaga de Pajaral, presumiblemente por las variaciones drásticas de velocidad de agua al entrar al Complejo, así como descargas de asentamientos humanos en el área. Por su parte, los fosfatos han tenido una mayor concentración histórica en la Boca de la Barra como producto de la combinación de las descargas de los ríos de la Sierra Nevada -que transportan cierto nivel de contaminación doméstica, incluyendo detergentes,

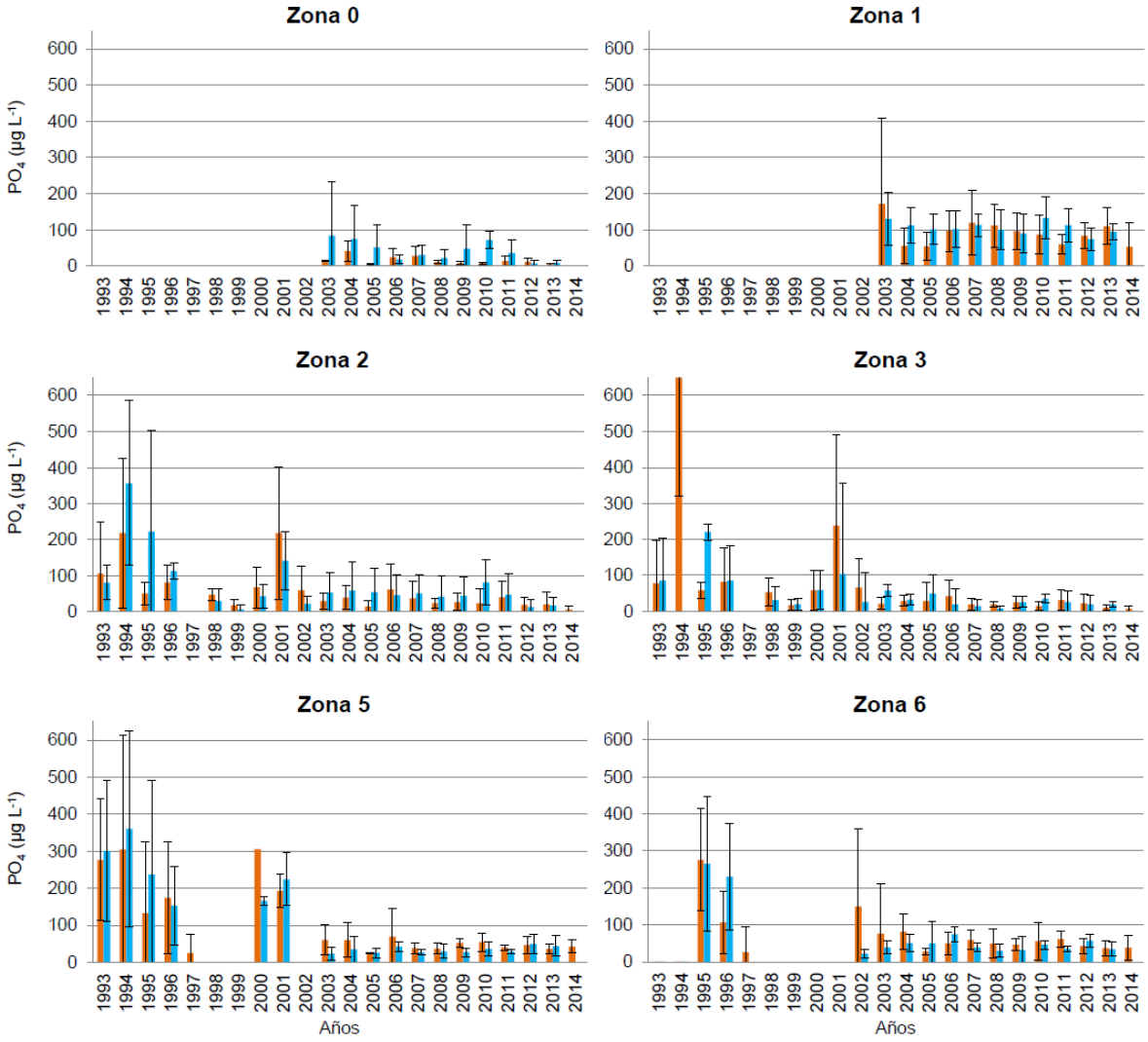
y el uso de fertilizantes en actividades agrícolas tanto al interior como hacia el oriente de la Cuenca, como se observa en las Figura 9.7 y Figura 9.8

Figura 9.7. Distribución espacial de nitrógeno amoniacal en estaciones INVEMAR (1993-2014)



Las barras color naranja representan condiciones secas, y las azules condiciones lluviosas
Fuente: INVEMAR (2015)

Figura 9.8. Distribución espacial de fosfatos para estaciones INVEMAR (1993-2014)



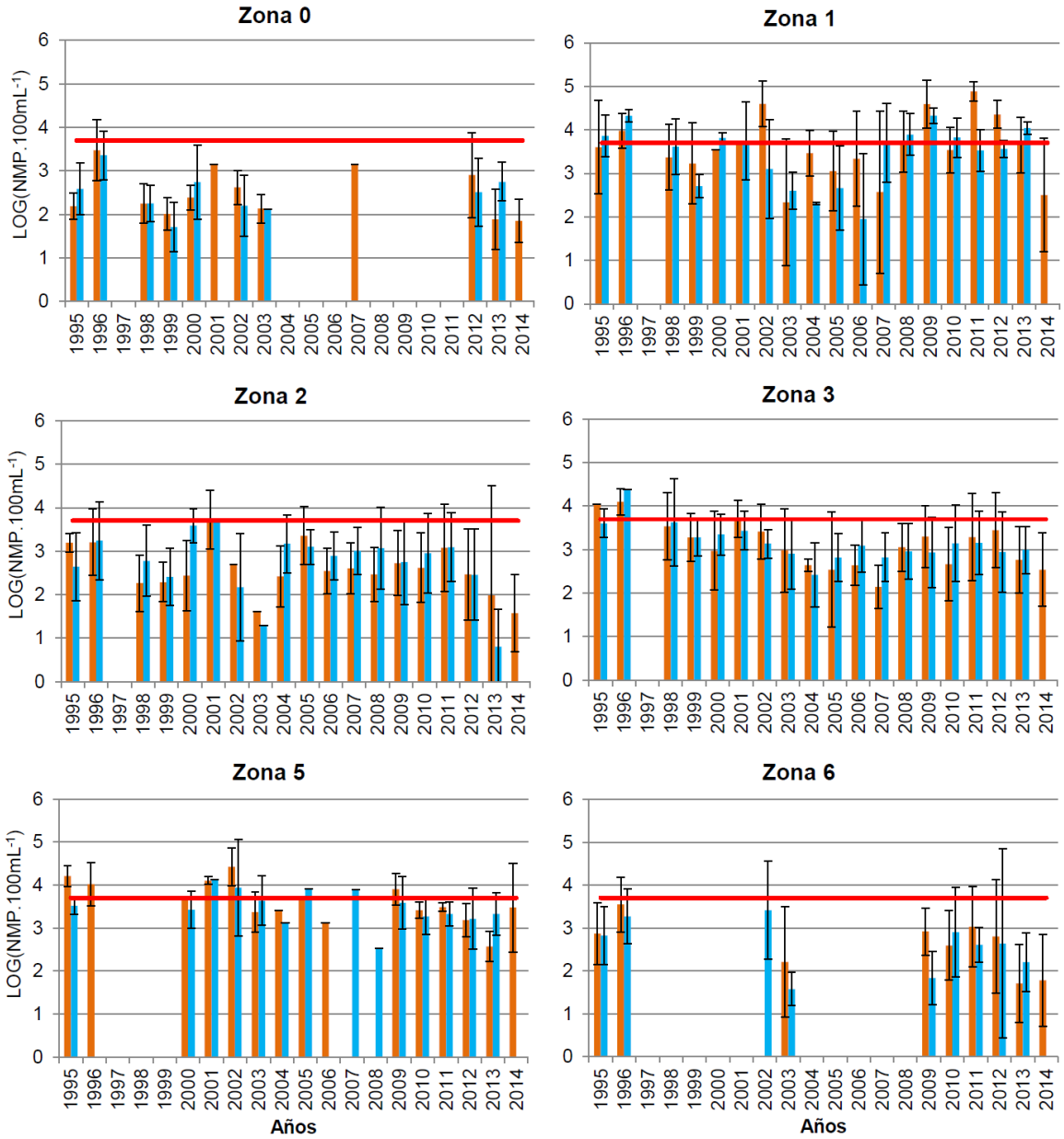
Las barras color naranja representan condiciones secas, y las azules condiciones lluviosas
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.2.7. *Coliformes totales*

Los resultados históricos de este indicador de contaminación fecal muestran que tanto para la Boca de la Barra como para la zona del Río Magdalena es donde se ha presentado el mayor número de casos con concentraciones de coliformes superiores a 5000 NMP/100 mL, el cual es el límite para contacto secundario con cuerpos de agua, y riego de frutas y hortalizas. Sin embargo, para toda la Cuenca es importante notar que por las condiciones de saneamiento básico este parámetro puede elevarse considerablemente, especialmente en condiciones secas, comprometiendo la disponibilidad de recurso hídrico para las actividades de la población.

Adicionalmente, durante los recorridos de campo, se verificó que hay asentamientos que toman directamente el agua de los cuerpos del Complejo, traduciéndose en un riesgo de salud pública por la moderada concentración de coliformes.

Figura 9.9. Distribución espacial de coliformes totales para estaciones INVEMAR (1993-2014)

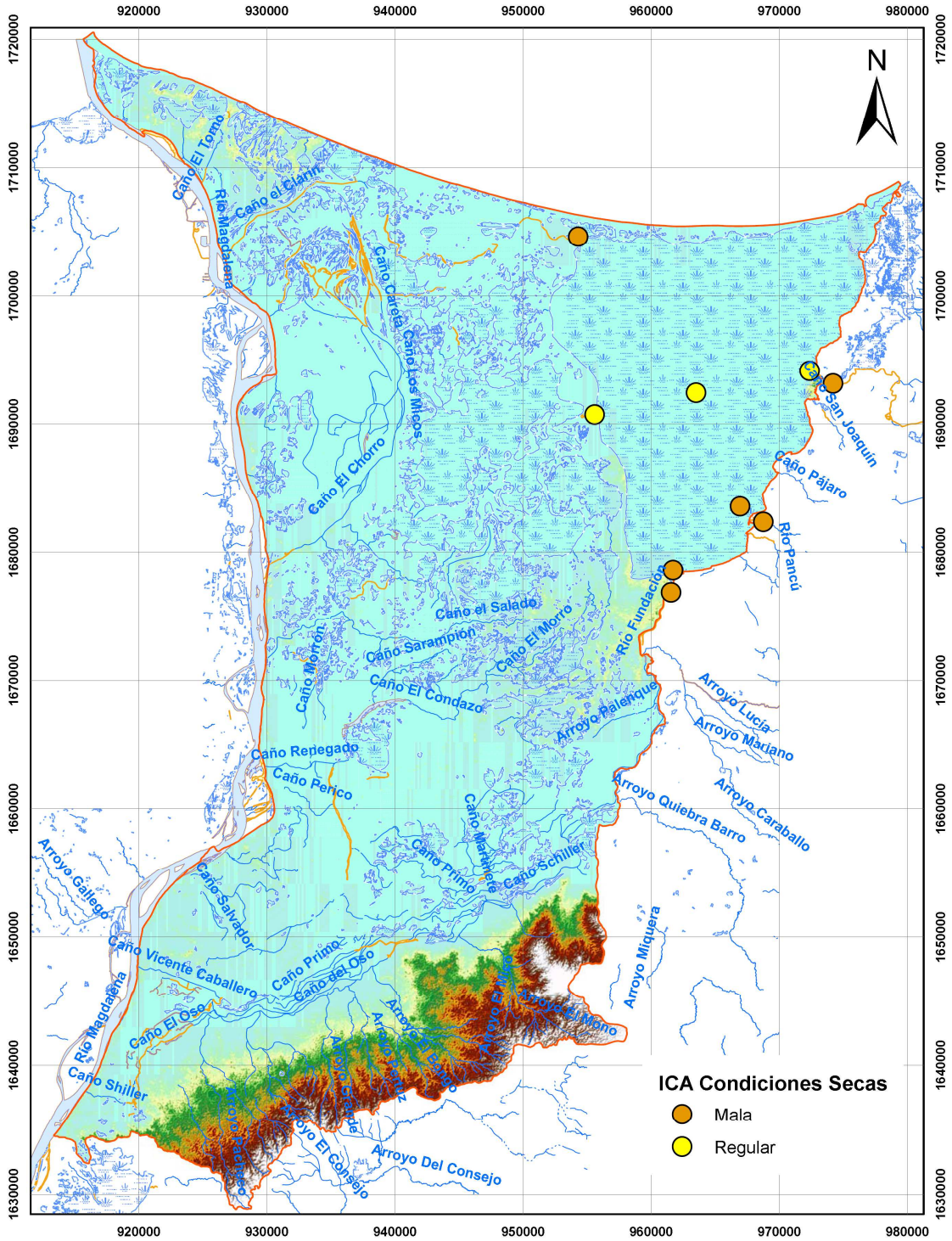


Las barras color naranja representan condiciones secas, y las azules condiciones lluviosas
Fuente: INVEMAR (2015)

9.1.3. Evaluación del Índice de Calidad del Agua para las redes de monitoreo existentes

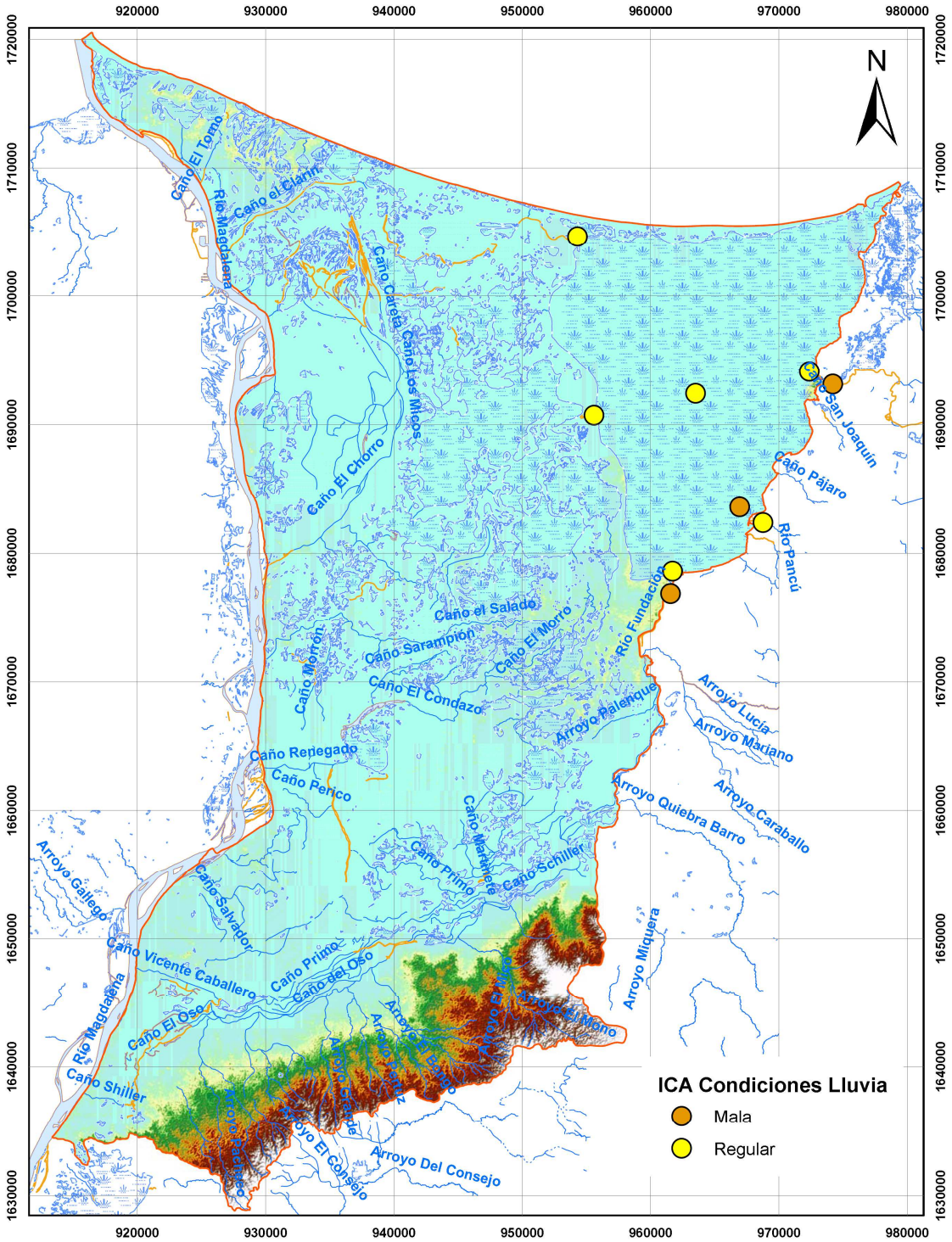
A efectos de contar con el antecedente de la calidad del agua en los puntos de monitoreo de la red de INVEMAR, se procedió al cálculo del ICA para aquellas estaciones pertenecientes a dicho grupo y que contaran con información suficiente para todas las variables del Índice en la base estadística disponible en la entidad. Debido al alcance del estudio cuyos resultados se presentaron en la sección anterior, los muestreos solo incluyeron la medición de materia orgánica en la zona de la CGSM, razón por la cual el cálculo se limitó a esas estaciones. Los resultados se incluyen en el Anexo 01 en formato Excel y se representan espacialmente en la Figura 9.10 y Figura 9.11

Figura 9.10. ICA para condiciones secas en estaciones continentales de monitoreo de calidad del agua - INVEMAR



Fuente: Elaboración propia a partir de datos INVEMAR

Figura 9.11. ICA para condiciones de lluvia en estaciones continentales de monitoreo de calidad de agua - INVEMAR



Fuente: Elaboración propia a partir de datos INVEMAR

En las anteriores figuras se encuentra que las condiciones de calidad de agua en las estaciones seleccionadas permanece entre regular a mala tanto para condiciones secas como para condiciones de lluvia, lo cual es debido a las precarias condiciones de saneamiento básico de los asentamientos que hacen sus descargas a los cuerpos de agua que alimentan la Ciénaga, sumado a las cargas contaminantes aportadas por las actividades económicas concentradas en las cuencas de los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla. Asimismo, puede verificarse que, bajo condiciones de lluvia, el aporte de agua dulce proveniente de los caños desde el río Magdalena hasta la Ciénaga contribuye a reducir un poco las afectaciones a la calidad del agua en la Ciénaga, especialmente en su margen occidental.

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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, se acordaron con la Corporación catorce (14) puntos de monitoreo. Estos valores se complementaron con registros actuales de seis (6) estaciones activas de INVEMAR. No obstante, durante las campañas de monitoreo se evidenció que, para tres de las estaciones definidas, 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. Por esta razón, el número final de estaciones para el análisis quedó en diecisiete (17), las cuales se indican en la Figura 9.12 y la Tabla 9.3 -las estaciones 12 a 17 corresponden a las de INVEMAR-

Figura 9.12. Ubicación de estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca

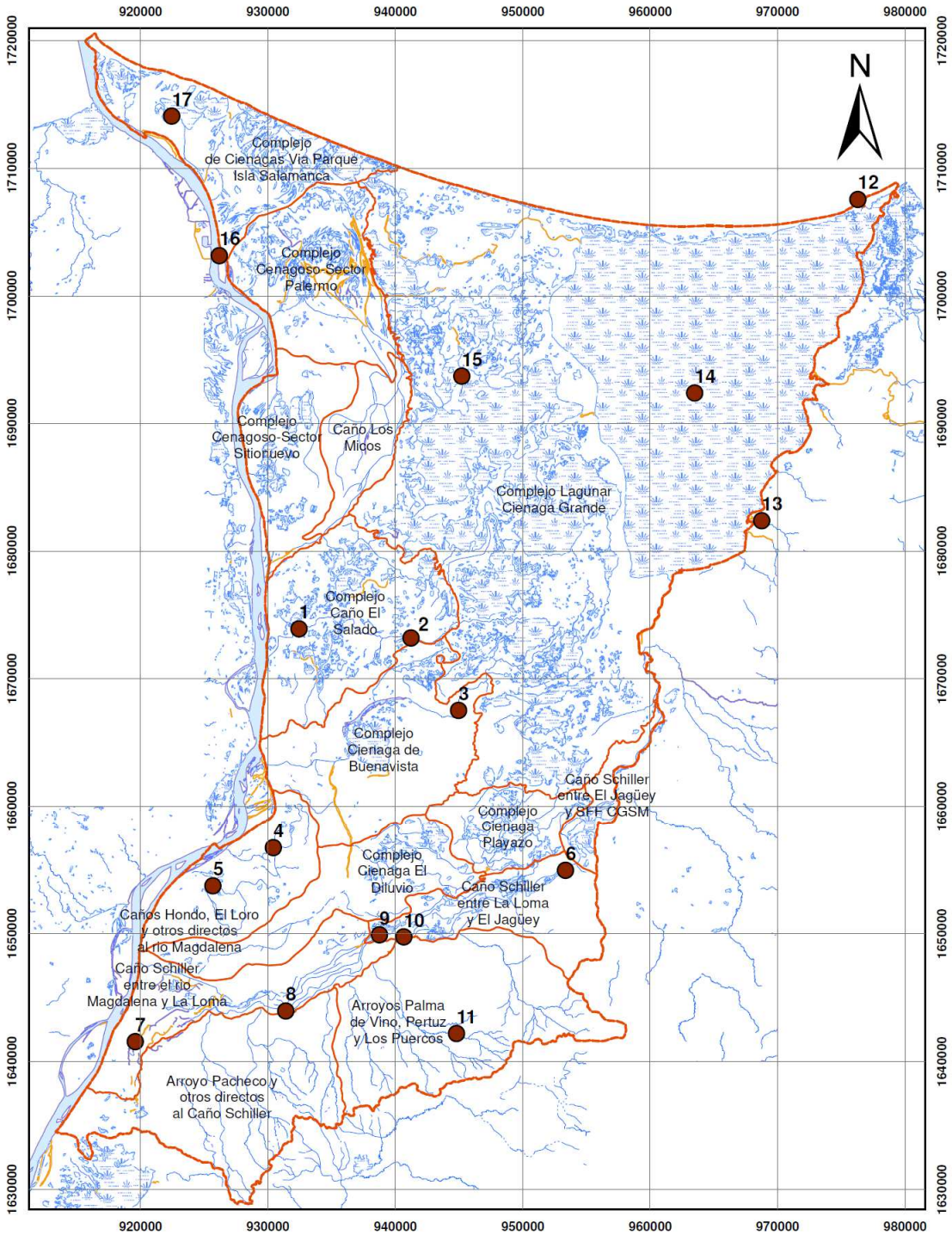


Tabla 9.3. Descripción de las estaciones de monitoreo de agua superficial para la Cuenca

ID	COORD_X	COORD_Y	NOMBRE	COTA
1	932444,86	1673918,68	Caño Salado (Salida de Remolino, via Remolino - Las Casitas)	49
2	941226,47	1673195,55	Caño Salado (Entrada a complejo Cienaga Grande)	49
3	944955,36	1667535,54	Caño El Condazo (Entrada a complejo Cienaga Grande)	49
4	930434,37	1656746,12	Caño El Loro	52
5	925684,48	1653744,79	Caño Hondo	55
6	953357,81	1654955,90	Caño Schiller	50
7	919604,70	1641559,54	Caño El Limon	52
8	931412,36	1643961,67	Caño del Oso	52
9	938753,45	1649908,91	Salida de Caño Primo hacia complejo de cienagas	52
10	940669,12	1649751,93	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	51
11	944793,06	1642186,39	Arroyo Cascajal	70
12	976302,42	1707580,52	Boca de la Barra	48
13	968752,93	1682371,21	Rio Aracataca	54
14	963501,92	1692431,44	Centro CGSM	47
15	945209,92	1693747,45	Nueva Venecia	47
16	926186,95	1703180,04	Boca del Caño Clarin	43
17	922455,65	1714086,55	Cienaga Poza Verde	45

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 la Tabla 9.4 y Tabla 9.5.

Tabla 9.4. Resultados de monitoreo en condiciones secas

ID	NOMBRE	T	PH	OD	COND	SST	DBO	DQO	NT	PT	COL FEC	COL TOT
1	Caño Salado (Salida de Remolino, via Remolino - Las Casitas)	30,8	7,16	6,06	266,2	51,1	3,1	15	0,5	0,19	20	330
2	Caño Salado (Entrada a complejo Cienaga Grande)	31,2	7,6	18,09	421	45	40,6	101	3,42	0,26	130	1400
3	Caño El Condazo (Entrada a complejo Cienaga Grande)	31,3	8,09	14,28	254,4	10	9,4	29,8	1,51	0,05	23000	130000
5	Caño Hondo	35,1	7,25	11,62	326	55,4	9,2	28,7	1,62	0,13	680	13000
9	Salida de Caño Primo hacia complejo de cienagas	33,7	7,55	8,43	464	190	64,2	106	4,26	0,15	27	350
10	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	34,6	7,03	8,33	473	63	71,7	118	4,06	0,06	40	140
12	Boca de la Barra	29,5	7,5	6,1	12000	120	98,1	179	0,033	0,015	55	80
13	Rio Aracataca	29,7	7,2	4	5000	90	61	124,2	0,05	0,09	300	1000
14	Centro CGSM	30	8	6,2	6000	100	26,4	59,9	0,038	0,04	100	200
15	Nueva Venecia	30,5	9	7,4	8000	100	32,7	106,1	0,03	0,035	150	350
16	Boca del Caño Clarin	29,5	7,1	5	250	240	173,6	340,1	0,03	0,04	350	1600
17	Cienaga Poza Verde	28,2	7,7	6,3	900	75	45,6	210	0,025	0,05	50	160

Tabla 9.5. Resultados de monitoreo en condiciones normales

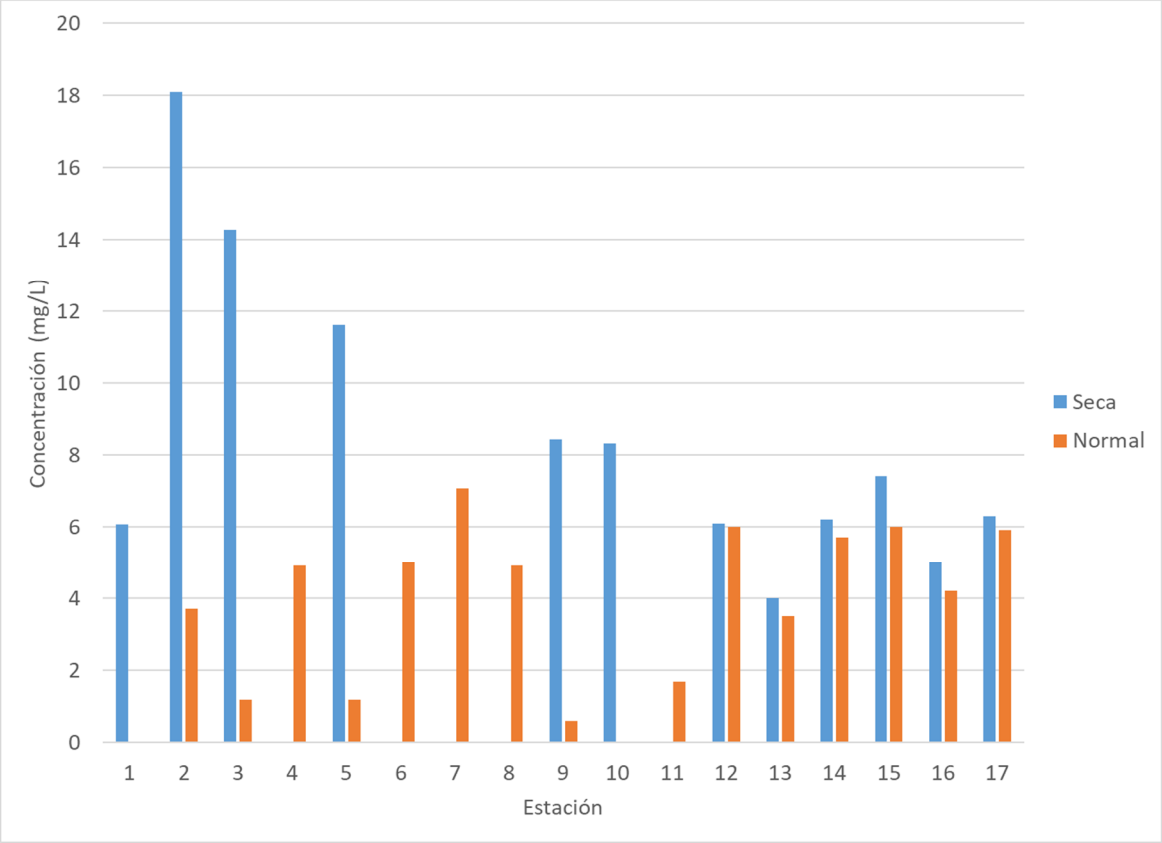
ID	NOMBRE	T	PH	OD	COND	SST	DBO	DQO	NT	PT	COL FEC	COL TOT
1	Caño Salado (Salida de Remolino, via Remolino - Las Casitas)	31,5	6,93	0	927	123	4,8	22,9	1	0,05	7900	160000
2	Caño Salado (Entrada a complejo Cienaga Grande)	28,4	6,47	3,7	625	33	7,3	30,3	1	0,39	450	160000
3	Caño El Condazo (Entrada a complejo Cienaga Grande)	31,3	6,55	1,18	176,8	53	5,1	15	2,13	0,39	450	160000
4	Caño El Loro	32,5	7,28	4,9	194,8	63,7	4,8	41,8	1,12	0,32	200	35000
5	Caño Hondo	27	7,01	1,18	521	324	27,9	68,8	4,09	0,67	2100	160000
6	Caño Schiller	34,4	7,06	5	475	160	3,5	81	2,02	0,05	180	1100
7	Caño El Limon	33,6	7,12	7,06	186	41,7	2,2	38,3	1	0,05	180	2400
8	Caño del Oso	29,5	6,96	4,9	163,6	199	35,5	112	3,08	0,16	920	160000
9	Salida de Caño Primo hacia complejo de cienagas	28,2	6,62	0,59	236	33	3,2	53,4	1,4	0,05	180	6300
10	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	31	6,62	0	218	840	75,4	190	3,98	0,73	400	160000
11	Arroyo Cascajal	26,8	6,98	1,67	248	118	5,7	78,5	1,57	0,12	180	22000
12	Boca de la Barra	29,5	7,5	6	5000	80	5,3	19,1	0,045	0,02	50	71
13	Rio Aracataca	28,7	6,9	3,5	1500	40	10,4	43,9	0,035	0,1	200	750
14	Centro CGSM	29,3	7,7	5,7	3500	45	8,2	53,7	0,038	0,05	200	500
15	Nueva Venecia	31,5	8	6	5000	50	14,7	76	0,024	0,025	100	650
16	Boca del Caño Clarin	29,5	7	4,2	150	180	29,1	289,8	0,03	0,025	300	1000
17	Cienaga Poza Verde	29,5	7,4	5,9	500	60	25,1	63,6	0,023	0,05	30	100

Los certificados de laboratorio para ambas campañas de monitoreo se recogen en el Anexo 03 del presente Capítulo.

9.2.1. Oxígeno disuelto (OD)

Se observa que, para las condiciones secas el oxígeno disuelto presenta concentraciones buenas en la Cuenca, aptas para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos (OD > 4 mg/L). Los valores tienden a ser mayores hacia el centro de la Cuenca (municipios de Salamina y Remolino) debido a que los caudales son muy bajos, de manera que el estancamiento del agua y una mayor penetración de la luz combinada con los vientos, aumentan la producción de oxígeno por parte de las algas presentes y su incorporación 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.

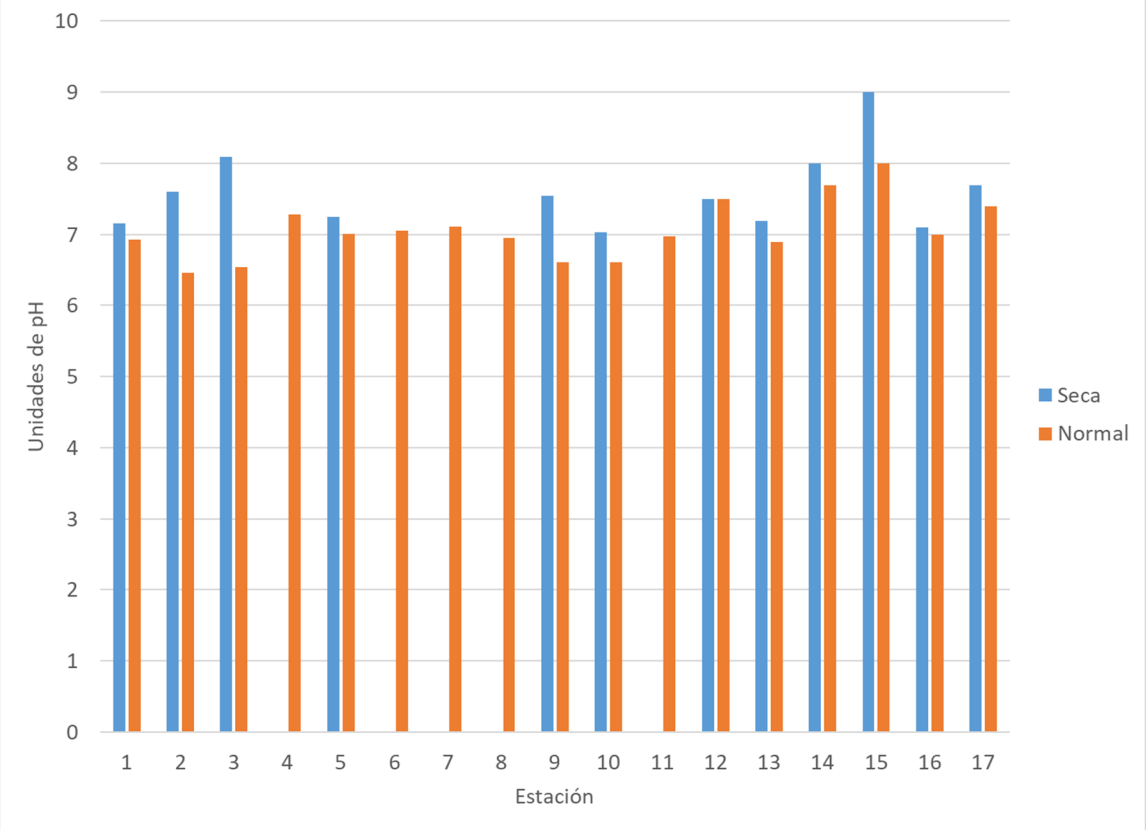
Figura 9.13. Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto para la Cuenca



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 debido a la disolución de carbonatos aportados en los sedimentos que tienden a concentrarse en esta área. Sin embargo, se mantiene en rangos adecuados para el desarrollo de la vida en el ecosistema (6 < pH < 8,5)

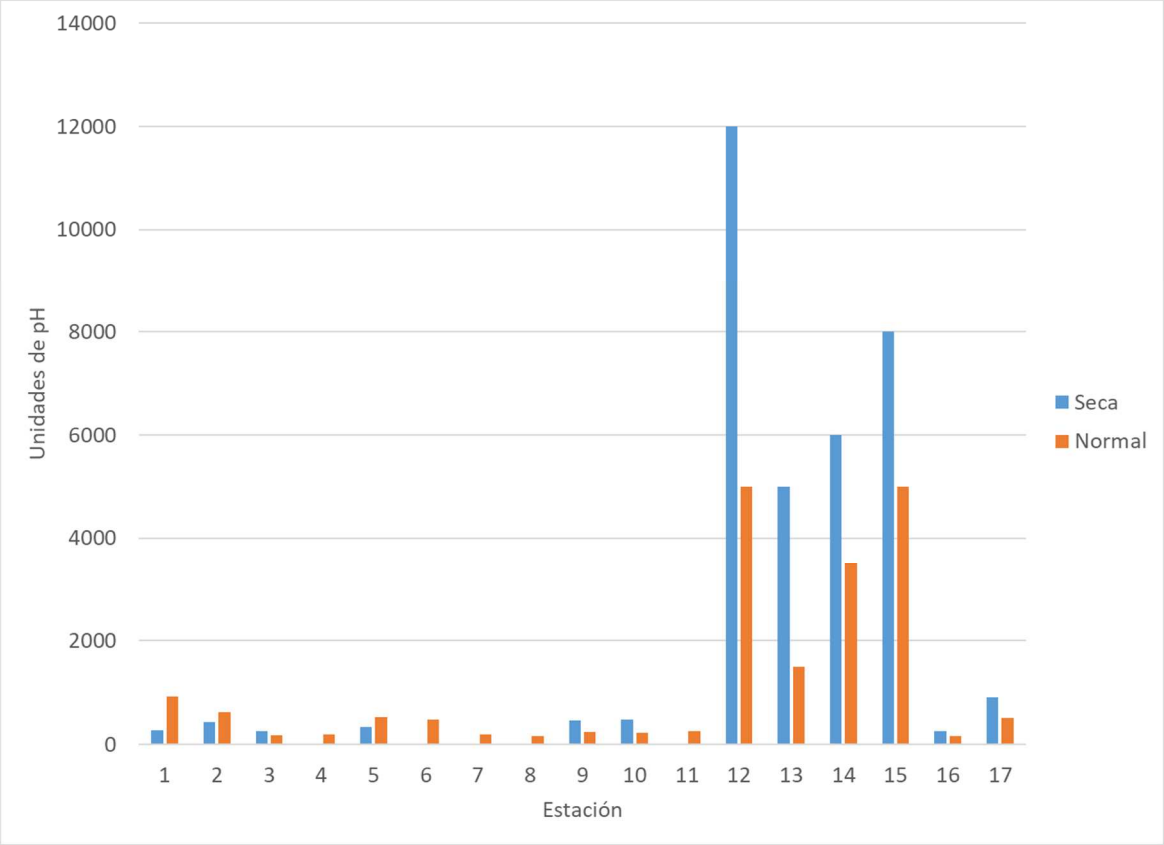
Figura 9.14. Resultados de monitoreo de pH para la Cuenca



9.2.3. Conductividad eléctrica

El comportamiento de la conductividad eléctrica, y por ende de la salinidad, está influenciado como es de esperarse por el intercambio de agua con el Mar Caribe a través de la Barra costera en el municipio de Pueblo Viejo. Este efecto se mantiene todo el año y hace que la intrusión salina llegue hasta más allá del espejo de agua principal, en cercanías del municipio de Remolino (detrás del Santuario de Flora y Fauna). Si bien los niveles de salinidad son necesarios para mantener las condiciones estuarinas, en la época seca es tan alta que imposibilita el uso del agua por parte de los habitantes de las áreas cercanas.

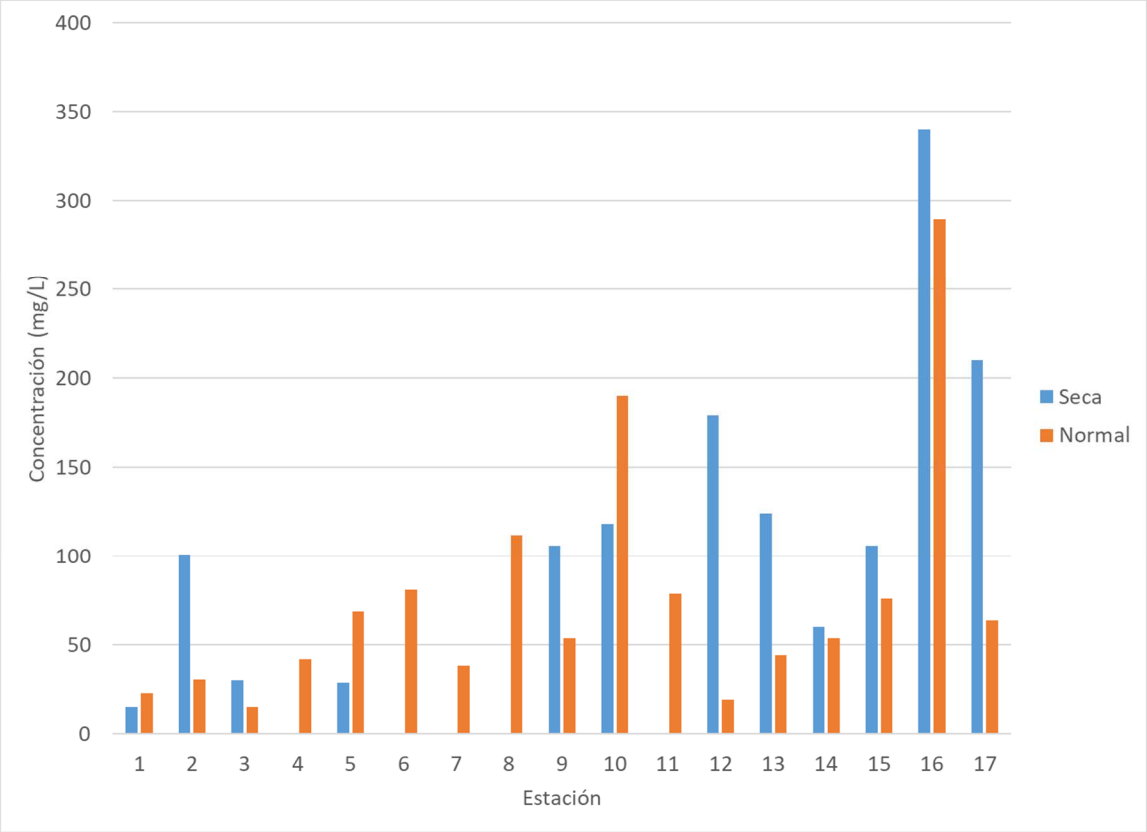
Figura 9.15. Resultados de monitoreo de Conductividad eléctrica para la Cuenca



9.2.4. Materia Orgánica (DBO_5 y DQO)

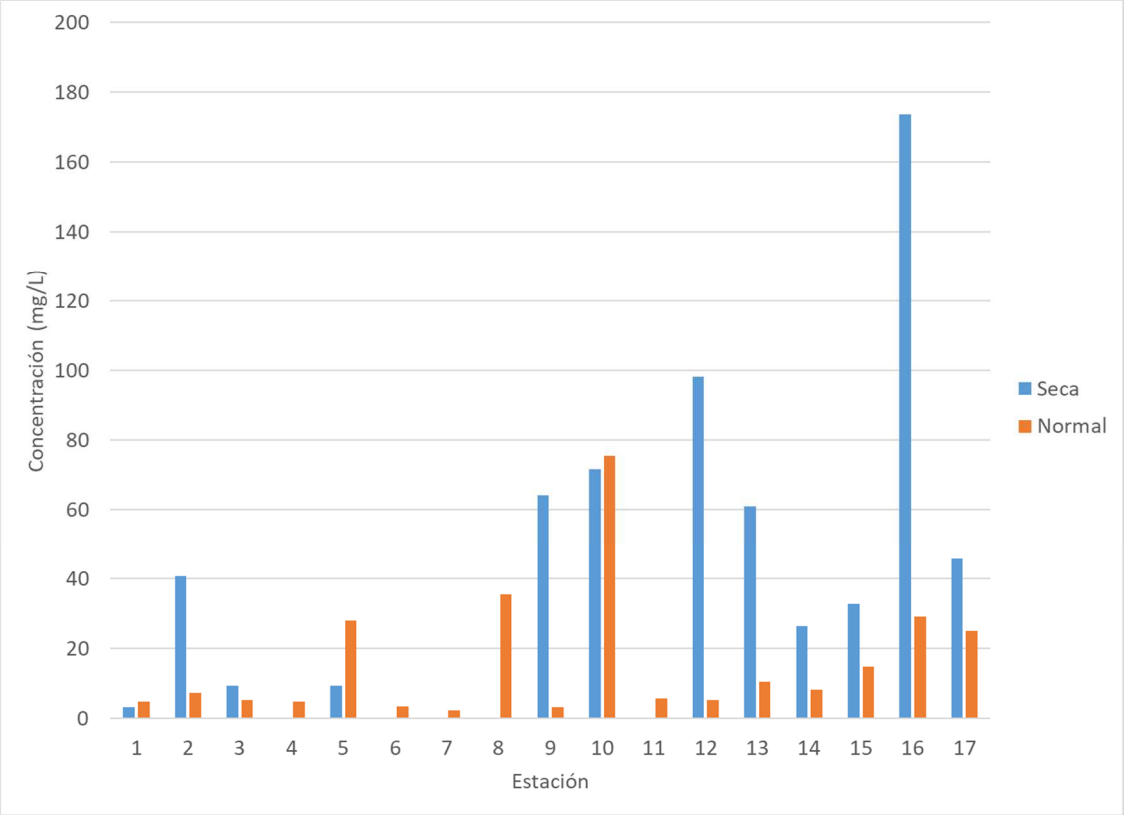
En lo que respecta a la materia orgánica total presente en la Cuenca, se observan patrones estables entre las condiciones secas y normales. Los principales aportes de materia orgánica en la Cuenca provienen del ingreso de las aguas del río Magdalena a través del Caño Clarín (municipio de Sitionuevo) y las descargas de las cabeceras municipales de Pivijay al sur de la Cuenca y, en menor medida, de Ciénaga.

Figura 9.16. 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, en el área de influencia del Caño Schiller, los valores muestran aportes de materia orgánica fresca, relacionados con descargas domésticas (DBO5/DQO >= 0,6), mientras que en el resto de la Cuenca se observa la incidencia de la menor presencia de sustancias biodegradables que puede deberse al uso de agroquímicos. 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.

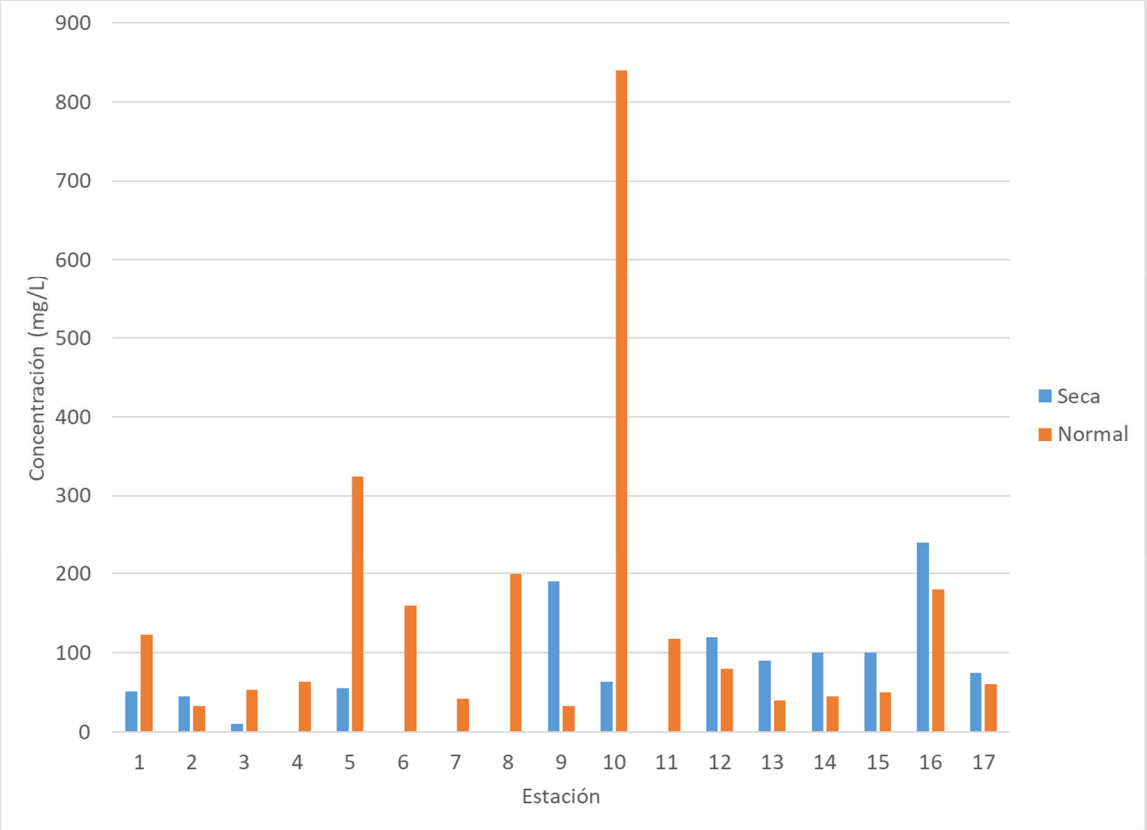
Figura 9.17. Resultados de monitoreo de Demanda bioquímica de oxígeno para la Cuenca



9.2.5. Sólidos suspendidos totales

En lo que respecta a los sólidos en suspensión, las principales incidencias se observan para la época seca en los aportes del río Magdalena, el mar Caribe, y la sedimentación por bajo flujo en el caño Schiller antes de llegar al municipio de Pivijay. En la época normal, cambia el régimen y se observa un mayor aporte debido a las descargas domésticas del municipio de Pivijay.

Figura 9.18. 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 al centro y sur de la Cuenca. Los valores altos de nitrógeno y valor bajos de fósforo al sur de la Cuenca indican una mayor presencia de actividades de ganadería, 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 son indicativo del uso de agroquímicos que, como ya se había mencionado, luego son lavados y transportados por las aguas hacia el nororiente del Complejo.

Figura 9.19. Resultados de monitoreo de Nitrógeno Total para la Cuenca

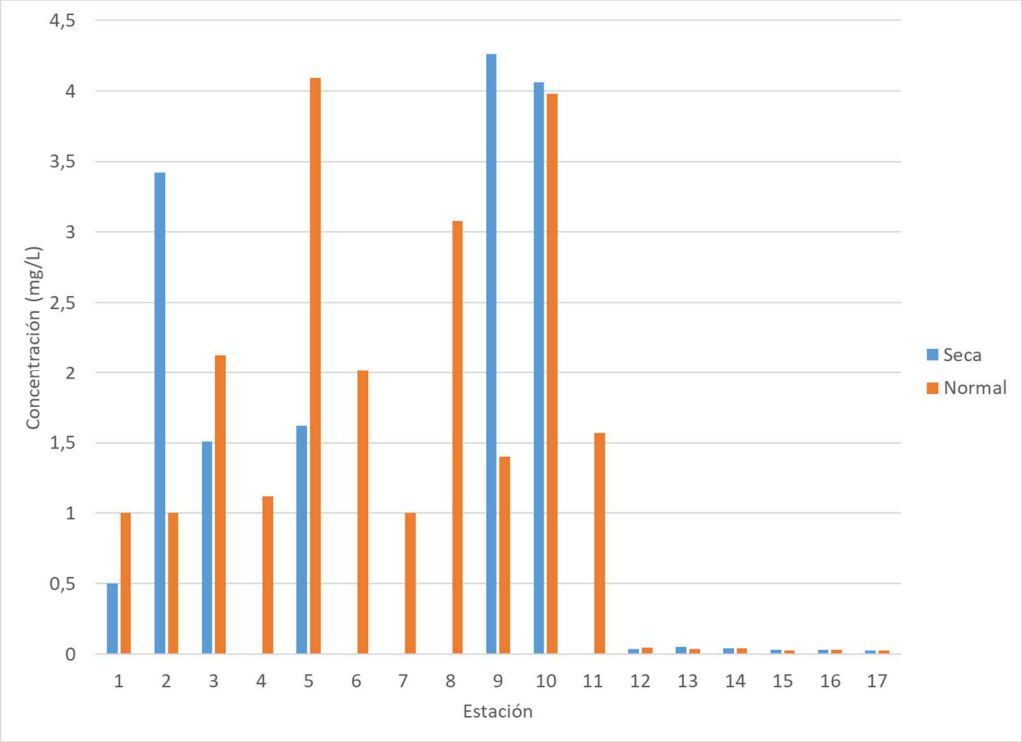
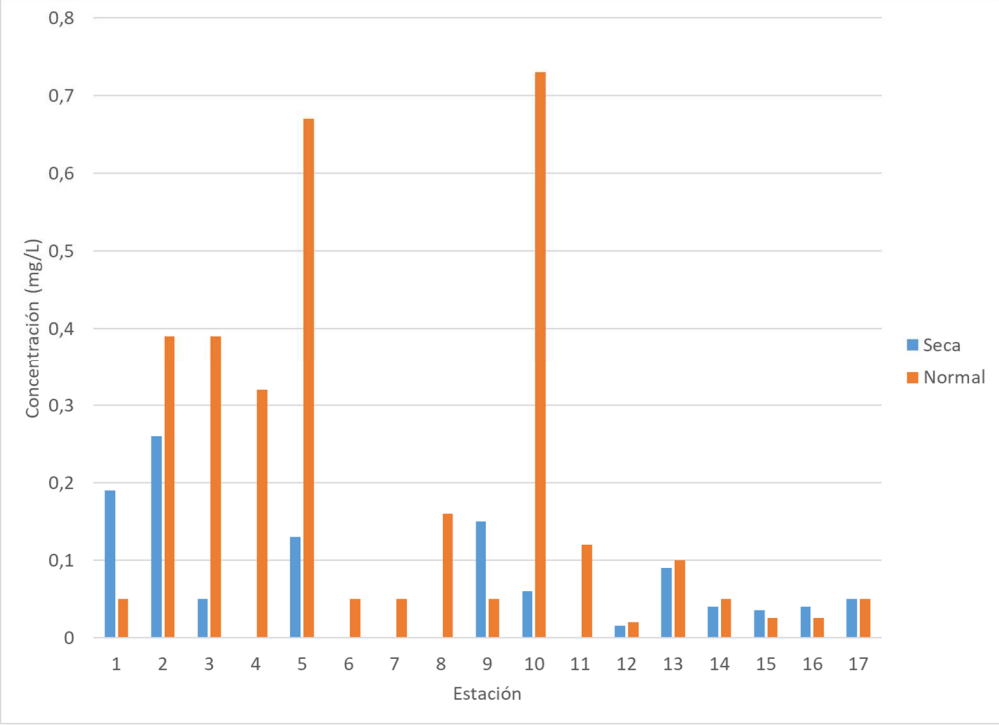


Figura 9.20. Resultados de monitoreo de Fósforo Total para la Cuenca



9.2.7. Coliformes

En el caso de las coliformes se puede apreciar el aporte significativo que tienen las descargas domésticas directas en las áreas rurales de los municipios de Sitionuevo, Remolino, Salamina y El Piñón. 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 interior del complejo y se retiene en las áreas cenagosas, aumentando el riesgo de enfermedades gastroentéricas por contacto secundario.

Figura 9.21. Resultados de monitoreo de Coliformes fecales para la Cuenca

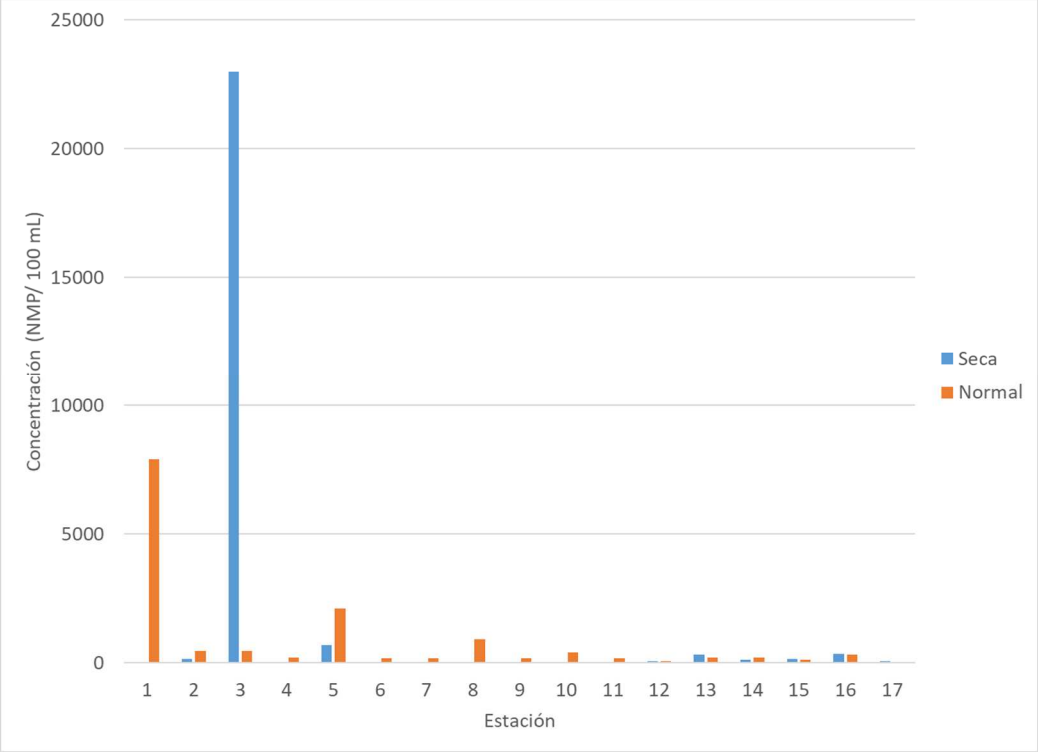
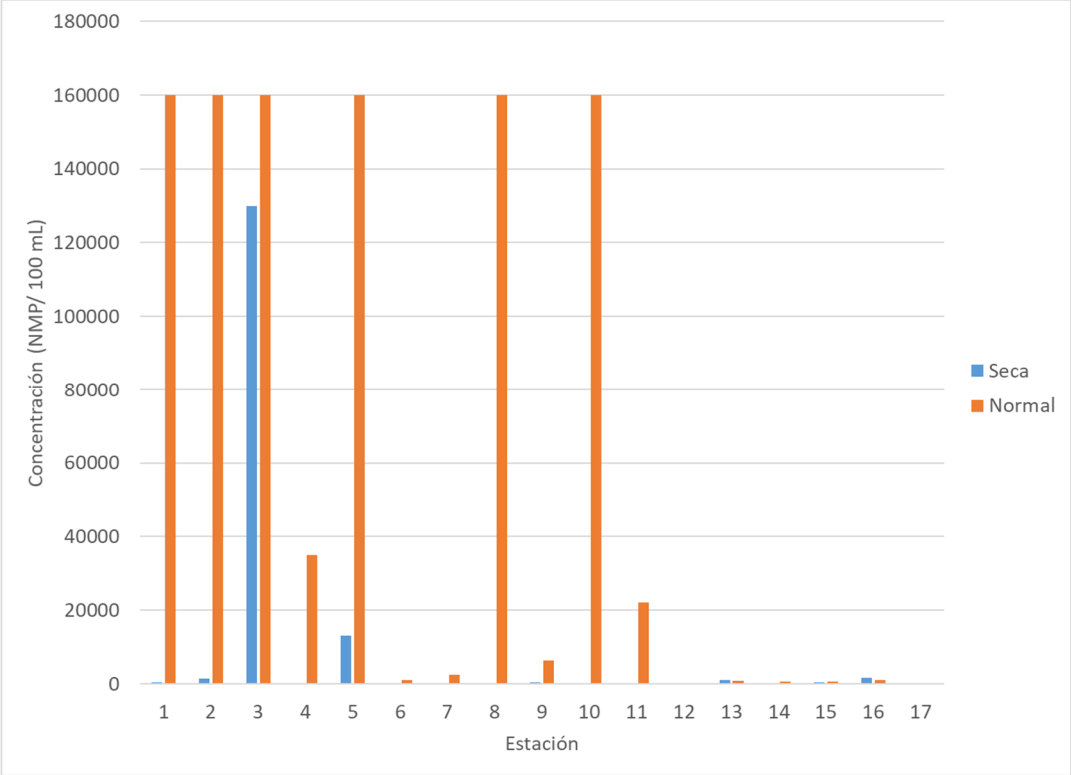


Figura 9.22. Resultados de monitoreo de Coliformes Totales para la Cuenca



9.3. Generación De Vertimientos

9.3.1. Descripción general de actividades generadoras de vertimiento en la Cuenca

Esta cuenca abarca los municipios de Pueblo viejo, Sitionuevo, Remolino, Pivijay, El Piñón, y Salamina, principalmente. Durante el proceso de identificación de las 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 una descripción más realista de los factores incidentes sobre la calidad de agua en los puntos espaciales de interés y con las consideraciones adecuadas que permitan un análisis acertado de esta variable en 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 Complejo de humedales Ciénaga Grande de Santa Marta en cada uno de los municipios que la conforman.

Tabla 9.6. Clasificación de vertimientos en la Cuenca

TIPO DE VERTIMIENTO	MUNICIPIO						DESCRIPCIÓN
	Pueblo viejo	Sitio nuevo	Remolino	Pivijay	El Piñón	Salamina	
Consumo humano y doméstico		x	x	x	x	x	Dadas las pésimas condiciones de saneamiento básico, especialmente el manejo de vertimientos, en la Cuenca, los aportes domésticos representan un factor importante a analizar. En el caso de Pivijay es de mencionar la problemática presentada por el operador de alcantarillado por las fugas de aguas grises y negras, sumado a la inexistencia de sistema de recolección en el sector rural. El municipio El Piñón presenta problemas de mantenimiento en la laguna de oxidación de la planta de tratamientos municipal, lo cual podría representar un riesgo para los cuerpos de agua receptores de aguas allí tratadas.
Agrícola	x	x	x	x	x	x	La totalidad de municipios en cuestión desarrollan actividades agrícolas, en su mayoría con cultivos de pan coger, y con esto se presenta el vertido de agroquímicos, y desechos agroindustriales que en casos como el municipio de Salamina y Remolino son notorios en términos de residuos sólidos obstaculizando el flujo normal de los cuerpos de agua.
Pecuario	x	x	x	x	x	x	El sector pecuario es un importante renglón de la economía de municipios como Pivijay, El Piñón, y Salamina, en donde el ganado vacuno, equino, porcino y mular es común. No obstante, todos los municipios registran la existencia de establos y porquerizas que afectan directamente la calidad del agua superficial. El vertido de estiércol directamente sobre los cauces es notorio en estos municipios.
Industrial		x					La industria de servicios comerciales y financieros ocasiona el vertido de aguas domésticas y residuos sólidos, en cabeceras municipales. En el caso de Sitio Nuevo, se da la producción de Plomo, que potencialmente puede ser una actividad que genera vertido al sistema de alcantarillado
Pesca, maricultura y acuicultura	x			x		x	En el caso de la pesca se ocasiona contaminación hídrica por residuos sólidos; no obstante, no se registran situaciones particulares.

Como se evidencia en la anterior matriz, todos los municipios generan o potencialmente pueden generar vertimientos relacionados con actividades económicas como la pesca, maricultura y acuicultura, industrial, y pecuario y agrícola en mayor medida, sumado a que cinco de seis cabeceras

se encuentran dentro de la cuenca, por lo que es importante considerar el sistema de alcantarillado municipal.

El análisis de estos episodios debe centrarse en las actividades agropecuarias, que en algunos casos puede ser industrializadas dado que el manejo de los residuos líquidos no tiene un protocolo claro en zonas rurales y puede considerarse una amenaza latente para la calidad del agua al interior de la cuenca.

9.3.2. Sistemas de manejo de vertimientos municipales

Los sistemas de recolección de aguas residuales de los municipios que abarca la cuenca, tienen ciertas deficiencias en términos de su calidad y cobertura y además está relacionado con el alcantarillado combinado, es decir, aguas lluvias y residuales son recolectadas y transportadas de manera simultánea. A continuación, se presenta una relación de cada entidad territorial que tiene su casco urbano dentro de la cuenca y su respectiva cobertura:

Tabla 9.7. Cobertura del sistema de alcantarillado de municipios dentro de la cuenca

Municipio	Cobertura global de Alcantarillado (%)
Sitionuevo	Sin Dato
Remolino	Sin Dato
Pivijay	35
El Piñón	37
Salamina	37

Fuente: Elaboración propia a partir de planes de manejo ambiental de los humedales Buenavista, Caño Schiller y Zapayán, CORPOAMAG y Aguas del Magdalena.

Durante el desarrollo de la ruta veredal del agua fase dos se hizo posible identificar ciertas características de los alcantarillados en cabeceras municipales, como se muestra a continuación:

Tabla 9.8. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas urbanas

Municipio	Existencia de alcantarillado	Receptor del Vertimiento	Usuarios	Cobertura %	Coordenada X del vertido	Coordenada Y del vertido	Componentes del sistema	Problemática
Sitio Nuevo	No	Pozos sépticos	ND	ND	ND	ND	ND	No hay alcantarillado
Remolino	No	ND	ND	ND	ND	ND	ND	No hay alcantarillado
Pivijay	No	ND	ND	ND	ND	ND	ND	No hay alcantarillado
El Piñón	Si	Río Magdalena	6.200	88	918.505,1	1.642.257,0	Laguna de oxidación, tuberías de conducción	Mala ubicación de la laguna de oxidación

Municipio	Existencia de alcantarillado	Receptor del Vertimiento	Usuarios	Cobertura %	Coordenada X del vertido	Coordenada Y del vertido	Componentes del sistema	Problemática
Salamina	Si	Caño el Roblal	Desc.	80	ND	ND	Laguna de oxidación, dos estaciones de bombeo	El sistema no presenta un buen funcionamiento, genera malos olores y contaminación

ND: Sin información.

Como es de notar en los municipios de Sitionuevo, Remolino y Pivijay no se reporta un sistema de alcantarillado. En el caso de Sitionuevo, se presenta una condición crítica sanitaria y ambiental dado que cerca de 2460 viviendas de la cabecera no cuentan con este servicio ocasionando que las aguas servidas sean en su totalidad vertidas, sin ningún tipo de tratamiento, al Complejo de Humedales y al Río Magdalena (Alcaldía Municipal de Sitionuevo, 2016). En el municipio de Remolino la mayor parte de la población usa el sistema de pozos sépticos artesanales; no obstante, se menciona en la información secundaria la existencia de una laguna de oxidación y una estación de bombeo conectadas a la primera fase del alcantarillado que actualmente se encuentra en construcción (Alcaldía Municipal de Remolino, 2012). Por su parte en Pivijay se usan dispositivos como las tazas sanitarias, letrinas e incluso la disposición a cielo abierto (Alcaldía Municipal de Pivijay, 2012)

Los otros dos municipios, El Piñón y Salamina aún se encuentran en proceso de formulación y publicación de sus planes de saneamiento y manejo de vertimientos por lo que sus descargas no se encuentran caracterizadas formalmente. No obstante, se evidencio que, para el primero de estos se tiene una cobertura aproximada del 88% en el casco urbano con al menos 6.200 usuarios, contando con una estructura principal compuesta por una laguna de oxidación y tuberías de conducción que vierten al Río Magdalena, ubicada en las coordenadas X: 918.505,1 y Y: 1.642.257. Su principal problemática se da puesto que dicha laguna se encuentra aguas arriba del punto de captación de agua para el acueducto municipal, además de que la falta de regulación, la baja cobertura y el mal funcionamiento de la infraestructura han ocasionado un colapso del sistema (Alcaldía Municipal de El Piñón, 2012)

Por su parte el casco urbano de Salamina vierte al Caño el Roblal con un sistema fuera de funcionamiento que actualmente está en proceso de instalación (Alcaldía Municipal de Salamina, 20102 - 2015). El sistema actual está compuesto por una laguna de oxidación y dos estaciones de bombeo que no operan correctamente. Su cobertura es de cerca del 80% en el casco urbano.

9.3.3. Manejo de vertimientos en áreas rurales y centros poblado

La totalidad del área rural de los municipios abarcados por esta cuenca no cuentan con sistema de alcantarillado; por medio de 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, como se muestra a continuación (Ver Anexo 02)

Tabla 9.9. Descripción del tratamiento a las descargas de los municipios de la Cuenca áreas rurales

Vereda	Disposición de aguas negras	Disposición de aguas grises
El Piñón		
Campo Alegre	Pozo séptico y al suelo	Suelo
Antagallar	Pozo séptico	
Los Patos	Pozo séptico y al suelo	
Sabanas	Suelo	
San Basilio	Pozo séptico y al suelo	
Tingarlo	Pozo séptico y al suelo	
Pivijay		
Carmen	Pozo séptico y al suelo	Suelo
Corregimiento Medialuna	Pozo séptico	
La Retirada	Pozo séptico y al suelo	
Las Casitas	Suelo	
Remolino		
Aserradero	Pozo séptico y al suelo	Suelo
Dividivi	Pozo séptico y al suelo	
El Salado	Suelo	
San José de las Casitas	Pozo séptico y al suelo	
San Rafael	Suelo	
Santa Rita	Pozo séptico y al suelo	
Villa de Praga	Pozo séptico y al suelo	
Salamina		
El Salado	Pozo séptico y al suelo	Suelo
Guáimaro	Pozo séptico y al suelo	
Julepe	Pozo séptico	
La Loma	Pozo séptico	
La Lomita	Pozo séptico	
Vainilla	Pozo séptico	

Como es de notar, en las áreas rurales de los municipios de interés, las aguas servidas son vertidas al suelo ya sea directamente o por medio de un pozo séptico, en este sentido el foco del análisis deberá situarse en los fenómenos de infiltración y percolación de contaminantes de este origen que puedan llegar a amenazar el equilibrio natural de la cuenca.

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 que entregó la entidad no se reporta una descripción detallada de cada una, ni los documentos de soporte que permitan construir un análisis detallado de cargas puntuales o de verificación del cumplimiento de los límites de vertimiento.

A continuación, se presenta una relación con dichos permisos.

Tabla 9.10. Descripción de permisos de vertimientos otorgados en la Cuenca

Sector Económico	Concepto	Ubicación	Fecha	Nombre de la empresa
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimientos al municipio de El Piñón, para el alcantarillado de la cabecera municipal"	Cabecera Municipal, El Piñón	9/03/2009	Alcantarillado de El Piñón EMPORIO ESP
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimientos al municipio de Salamina, para el alcantarillado de la cabecera municipal"	Cabecera Municipal, Salamina	18/05/2009	Alcantarillado de Salamina - EMPORIO ESP
Industrial	"Por medio de la cual se concede un permiso de vertimientos a la alcaldía de Salamina para beneficio del matadero del Corregimiento de Guáimaro, departamento del Magdalena"	Corregimiento El Guáimaro, Salamina	3/08/2007	ALCALDIA MUNICIPALDE SALAMINA
Pesca, Maricultura y Acuicultura	"Por medio del cual se otorga permiso de vertimiento en favor de la fundación agropecuaria y pesquera "FUNAGROPEZ" para desarrollar un proyecto piscícola, ubicado en el corregimiento de Palermo, municipio de Sitio Nuevo"	Corregimiento Palermo, Sitio Nuevo	24/06/2009	FUNAGROPEZ - FUNDACION AGROPECUARIA Y PESQUERA
Industrial	"Por medio de la cual se concede un permiso de vertimientos para beneficio de la estación de servicios siete de agosto nº 2 ubicada en la cabecera municipal de Pivijay"	Cabecera Municipal, Pivijay	12/09/2007	INVERSIONES CAMPO LOPEZ LTDA.
Industrial	"Por medio de la cual se otorga un permiso de vertimientos a beneficio de la estación de servicio EL TRIUNFO, representada legalmente por el señor ISMAEL JOSE BOLIVAR PEREZ, con domicilio en el Municipio de Pivijay, Departamento del Magdalena."	Pivijay	1/09/2008	ESTACION DE SERVICIO EL TRIUNFO
Industrial	"Por medio de la cual se otorga Permiso de Vertimiento a la compañía AGROPECURRIA EL VALLE VERACA y CIA Ltda. Para la operación del matadero ubicado en el corregimiento de Palermo, municipio de Sitio Nuevo, departamento del Magdalena"	Corregimiento Palermo, Sitio Nuevo	26/11/2007	AGROPECURRIA EL VALLE VERACA & CIA. LTDA.

Sector Económico	Concepto	Ubicación	Fecha	Nombre de la empresa
Industrial	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos a la organización TERPEL S.A., para las aguas residuales generadas en la estación de servicio Palermo, ubicada en el municipio de sitio nuevo - departamento del Magdalena.	Corregimiento Palermo, Sitio Nuevo	25/09/2015	ORGANIZACIÓN TERPEL S.A.
Consumo humano y doméstico	"Por medio de la cual se otorga permiso de vertimientos al municipio de Salamina, departamento del Magdalena, para el proyecto de sistema de alcantarillado del corregimiento de Guáimaro"	Corregimiento Guáimaro, Salamina	30/10/2015	Alcantarillado Corregimiento de Guáimaro

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, solo se cuenta con Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos aprobados para los municipios de Pivijay y Sitionuevo. Los demás municipios forman parte del grupo que CORPAMAG en asocio con la Gobernación y Aguas del Magdalena, está apoyando para la formulación de sus PSMV.

En el caso de Pivijay, el Plan fue aprobado por la Corporación mediante Resolución 1588 de 2007, y cuenta también con Permiso de Vertimiento otorgado mediante Resolución 030 de 2006. El horizonte del Plan se planteó hasta el 2017 e incluía de manera particular la ampliación de las redes de cobertura de alcantarillado hasta alcanzar mínimo el 60% del casco urbano, así como la ampliación del sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales. De acuerdo con el seguimiento realizado por CORPAMAG, las obras del PSMV sufrieron retrasos de cerca de 2 años en su implementación y una vez puesto en marcha el sistema de alcantarillado y tratamiento con la nueva configuración, no se han realizado los reportes de eficiencia de remoción para el cálculo de la carga efectivamente vertida. De acuerdo con el reconocimiento de campo efectuado por el Consorcio, hay indicios que el sistema no está operando de manera adecuada y por lo tanto la remoción actual es desconocida, pero se esperan valore muy bajos. De otra parte, el municipio aún no ha presentado la actualización del PSMV y se recomienda a la Corporación que garantice un control más estricto sobre las medidas que se planteen en ella y la ejecución de las mismas, a fin de reducir los impactos por los vertimientos domésticos, comerciales y de servicios de la cabecera más importante en el área de la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta

Para Sitionuevo, luego de requerimiento formal realizado por la Corporación, se dio aprobación al PSMV mediante Resolución 1849 de 2010. Este Plan propone como objetivos específicos relacionados al manejo de vertimientos, los siguientes:

- Construir las redes de alcantarillado, colectores e interceptores con el fin de quitar los vertimientos puntuales que se realizan en los pozos sépticos, suelos y calles.
- Efectuar mantenimiento semestral a las redes de alcantarillado y colectores del municipio y extracción anual de los desechos sólidos que puedan causar taponamientos de las estructuras hidráulicas

- Participar en la protección y conservación del río Magdalena, caños y ciénagas que circundan el casco urbano del municipio de Sitionuevo
- Construir el sistema de tratamiento de aguas residuales, con un sistema de pretratamiento antes del bombeo a la laguna de oxidación (para retener material grueso), que permita tener una eficiencia de remociones hasta del 80% (eficiencia teórica) en el proceso.
- Adelantar programas de sensibilización y capacitación con la comunidad, en temas de manejo y disposición de residuos sólidos y líquidos, con el fin de generar un cambio de actitud entre la población, en relación con la preservación y el uso racional del recurso hídrico, que favorezca el desarrollo del municipio.

De acuerdo con los registros de seguimiento que constan en el expediente entregado por la Corporación, hasta el año 2013, el municipio a través de Aguas del Magdalena como empresa prestadora del servicio, no había implementado ni desarrollado ninguna actividad de las establecidas en el Plan; situación que pudo constatarse como vigente hasta el año 2016 por las visitas a campo realizadas por el Consorcio. En este sentido, pese a transcurrir 6 años de la aprobación del Plan, no se ha controlado, mitigado ni otorgado ningún manejo adecuado a los vertimientos originados en la cabecera municipal de Sitionuevo.

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. Cabe mencionar que, como ya se explicó, sólo se ha constatado avance en la implementación del PSMV en el municipio de Pivijay y la empresa prestadora del servicio se encuentra en incumplimiento en la entrega de los reportes anuales de caracterización de los efluentes de su sistema de manejo de vertimientos.

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.

Tabla 9.11. Cargas contaminantes de origen doméstico

CARGAS CONTAMINANTES (Kg/año)		NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010101	2906-010102	2906-010103	2906-010104	2906-010105
Población	Rural	33	320	3688	502	6008
	Urbana					
DBO_5		227,70	2208,00	25447,20	3463,80	41455,20
DQO		303,60	2944,00	33929,60	4618,40	55273,60
DQO - DBO		75,90	736,00	8482,40	1154,60	13818,40
SST		528,00	5120,00	59008,00	8032,00	96128,00
NT		12,73	123,40	1422,20	193,59	2316,86
PT		1,82	17,63	203,17	27,66	330,98

CARGAS CONTAMINANTES (Kg/año)		NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010106	2906-010200	2906-010301	2906-010302	2906-010400
Población	Rural	1437	283	4560	2216	225
	Urbana	19068	4347			5459
DBO_5		355046,10	80633,40	31464,00	15290,40	100360,40
DQO		588438,40	133738,10	41952,00	20387,20	166749,83
DQO - DBO		233392,30	53104,70	10488,00	5096,80	66389,43
SST		770457,60	174930,40	72960,00	35456,00	217592,80
NT		63478,55	14454,23	1758,47	854,55	18101,47
PT		17812,40	4058,30	251,21	122,08	5089,27

CARGAS CONTAMINANTES (Kg/año)		NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010501	2906-010502	2906-010503	2906-010600	2906-010700
Poblacíón	Rural	2515	1281	409	7434	26831
	Urbana		15696			11985
DBO_5		17353,50	292936,50	2822,10	51294,60	402062,40
DQO		23138,00	485281,20	3762,80	68392,80	608392,70
DQO - DBO		5784,50	192344,70	940,70	17098,20	206330,30
SST		40240,00	635779,20	6544,00	118944,00	899108,00
NT		969,86	52290,79	157,72	2866,76	49897,30
PT		138,55	14667,85	22,53	409,54	12624,16

Fuente: Elaboración propia a partir de datos socioeconómicos

Se observa que, efectivamente, el efecto de las cargas contaminantes domésticas es mayor en las unidades hidrográficas con asentamientos importantes, como la cabecera del municipio de Pivijay o el municipio de Sitionuevo, afectando principalmente las concentraciones de nitrógeno amoniacal, y en épocas de lluvia los niveles de coliformes fecales.

9.4.2.2. *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) para las especies identificadas en el área de la Cuenca. No se identificaron en la Cuenca plantas de beneficio animal activas, por lo que solo se realizó la estimación para el proceso de cría. Es importante anotar el efecto creciente que está teniendo sobre la Cuenca la introducción de ganado bufalino, especialmente en la unidad hidrográfica del Caño Schiller, y extendiéndose hacia el norte entre los municipios de Salamina y Remolino.

Tabla 9.12. Cargas contaminantes de origen pecuario

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010101	2906-010102	2906-010103	2906-010104	2906-010105
CRÍA	Ganado vacuno	751	799	7279	8417	12601
	Ganado porcino	6	70	227	219	1353
	Ganado bufalino	13	89	133	166	1006
	Ganado caprino	11	1	109	37	125
	Ganado equino	29	34	297	197	1084
	Ganado ovino	29	8	290	167	806
	Aves	0	0	0	1970	0
DBO5 (Kg/año)		132063,4	153424,6	1289699,9	1461836,1	2488696,1
DQO (Kg/año)		176084,533	204566,133	1719599,87	1949114,8	3318261,47
DQO - DBO (Kg/año)		44021,1333	51141,5333	429899,967	487278,7	829565,367
SST (Kg/año)		931974	1084021,29	9059132,07	10438779,2	16859613,7
NT (Kg/año)		37190,7	42852,6	363783,8	415184,2	730581,7
PT (Kg/año)		9386,6	10812,4	91781,9	104095,086	180793,2

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010106	2906-010200	2906-010301	2906-010302	2906-010400
CRÍA	Ganado vacuno	19913	10592	10795	11144	7023
	Ganado porcino	1118	1440	1431	855	1227
	Ganado bufalino	817	723	1048	556	1107
	Ganado caprino	448	180	57	175	12
	Ganado equino	1450	359	443	420	384
	Ganado ovino	1359	146	132	277	103
	Aves	1200	1900	0	0	1380
DBO5 (Kg/año)		3757595	1980606,4	2065047,5	2034646,3	1440911,9
DQO (Kg/año)		5010126,67	2640808,53	2753396,67	2712861,73	1921215,87
DQO - DBO (Kg/año)		1252531,67	660202,133	688349,167	678215,433	480303,967
SST (Kg/año)		25614576,3	13871366,5	14498040,5	14305156	10001291,9
NT (Kg/año)		1104521,4	561499,7	575734,6	569123,5	414227,3
PT (Kg/año)		273760,886	141164,986	145629,8	144047,7	103167,129

Actividad Pecuaria		CABEZAS POR NIVEL SUBSIGUIENTE				
		2906-010501	2906-010502	2906-010503	2906-010600	2906-010700
CRÍA	Ganado vacuno	654	2819	727	128	905
	Ganado porcino	175	1637	195	491	183
	Ganado bufalino	301	1226	545	130	105
	Ganado caprino	2	8	4	1	1
	Ganado equino	45	185	81	19	39
	Ganado ovino	35	142	63	15	9
	Aves	0	2000	0	0	800
DBO5 (Kg/año)		171108,3	759447,3	230762,3	62174,3	180514,7
DQO (Kg/año)		228144,4	1012596,4	307683,067	82899,0667	240686,267
DQO - DBO (Kg/año)		57036,1	253149,1	76920,7667	20724,7667	60171,5667
SST (Kg/año)		1178116,42	5070072,11	1573703,09	353067,711	1247279,89
NT (Kg/año)		48246	224601,6	66397,4	17063,4	55280,6
PT (Kg/año)		12176,2	55554,7429	16592,7	4461,9	13362,3571

Fuente: Cálculos propios a partir de información socioeconómica

9.4.2.3. *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 arroz y palma especialmente en zonas inmediatas a la ribera del Magdalena y en el área del Caño Schiller, así como algunos cultivos menores transitorios entre los municipios de Remolino y Sitionuevo; 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.

Tabla 9.13. Cargas contaminantes de origen agrícola

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE				
	2906-010101	2906-010102	2906-010103	2906-010104	2906-010105
Area agrícola (Ha)	335,32	541,95	3336,09	4144,10	7044,31
Escorrentía (mm/año)	316,176347	204,5869562	133,7494928	295,0279994	90,35580805
DBO5 (Kg/año)	4240,78	4435,08	17847,99	48905,07	25459,79
DQO (Kg/año)	10601,95	11087,69	44619,98	122262,69	63649,47
DQO - DBO (Kg/año)	6361,17	6652,61	26771,99	73357,61	38189,68
SST (Kg/año)	213099,13	222862,60	896861,51	2457479,98	1279354,34
NT (Kg/año)	1653,90	1729,68	6960,72	19072,98	9929,32
PT (Kg/año)	381,67	399,16	1606,32	4401,46	2291,38

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE				
	2906-010106	2906-010200	2906-010301	2906-010302	2906-010400
Area agrícola (Ha)	9097,81	5361,87	6867,97	5266,67	5282,01
Escorrentía (mm/año)	126,9146147	88,71165457	112,1792918	146,0945855	262,8704793
DBO5 (Kg/año)	46185,81	19026,42	30817,75	30777,25	55539,39
DQO (Kg/año)	115464,52	47566,04	77044,37	76943,13	138848,48
DQO - DBO (Kg/año)	69278,71	28539,63	46226,62	46165,88	83309,09
SST (Kg/año)	2320836,90	956077,50	1548591,80	1546556,94	2790854,37
NT (Kg/año)	18012,47	7420,30	12018,92	12003,13	21660,36
PT (Kg/año)	4156,72	1712,38	2773,60	2769,95	4998,55

Cargas contaminantes	NIVEL SUBSIGUIENTE				
	2906-010501	2906-010502	2906-010503	2906-010600	2906-010700
Area agrícola (Ha)	1551,02	4929,40	1119,74	257,27	1090,11
Escorrentía (mm/año)	127,3316845	158,0535655	185,2698902	139,2308717	216,1747423
DBO5 (Kg/año)	7899,74	31164,37	8298,14	1432,81	9426,17
DQO (Kg/año)	19749,35	77910,93	20745,35	3582,03	23565,43
DQO - DBO (Kg/año)	11849,61	46746,56	12447,21	2149,22	14139,26
SST (Kg/año)	396961,95	1566009,78	416981,63	71998,73	473665,16
NT (Kg/año)	3080,90	12154,11	3236,28	558,80	3676,21
PT (Kg/año)	710,98	2804,79	746,83	128,95	848,36

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 del municipio de Sitionuevo que son enviados al río Magdalena) 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.

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
2906-010101	136,53	50,46	1145,60	38,86	9,77
2906-010102	160,07	58,53	1312,00	44,71	11,23
2906-010103	1333,00	465,15	10015,00	372,17	93,59
2906-010104	1514,20	561,79	12904,29	434,45	108,52
2906-010105	2555,61	881,57	18235,10	742,83	183,42
2906-010106	4162,67	1557,89	28713,96	1186,70	295,92
2906-010200	2080,27	741,85	15002,37	583,37	146,94
2906-010301	2127,33	745,06	16119,59	589,51	148,65
2906-010302	2080,71	729,48	15887,17	581,98	146,94
2906-010400	1596,81	630,00	13009,74	453,99	113,25
2906-010501	196,36	74,67	1615,32	52,30	13,03
2906-010502	1089,72	501,16	7276,59	289,73	73,13
2906-010503	241,88	90,31	1997,23	69,79	17,36
2906-010600	114,90	39,97	544,01	20,49	5,00
2906-010700	592,00	280,64	2620,05	108,85	26,83

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
2906-010101	Baja	Baja	Alta	Media Alta	Media Alta
2906-010102	Moderada	Baja	Alta	Media Alta	Media Alta
2906-010103	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010104	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010105	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010106	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010200	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010301	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010302	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010400	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010501	Moderada	Baja	Alta	Media Alta	Media Alta
2906-010502	Alta	Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta
2906-010503	Moderada	Baja	Alta	Alta	Alta
2906-010600	Baja	Baja	Media Alta	Moderada	Moderada
2906-010700	Alta	Media Alta	Alta	Alta	Alta

Puede observarse que las deficiencias en materia de saneamiento básico y control de vertimientos, hacen que la Cuenca se encuentre sometida a intensidades de carga contaminante muy altas en comparación con las cargas generadas en otros lugares del país, debido al avance de las actividades económicas en áreas de humedales que aún no cuentan con una categoría dentro del Sistema de Áreas protegidas; 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 que se dan en condiciones hidrometeorológicas secas, elevan la presión hasta niveles altos y muy altos de contaminación en casi todos los parámetros de calidad, coherente con los resultados históricos reportados por INVEMAR. De igual manera se observa una fuerte incidencia presión en las unidades hidrográficas del Caño Schiller, y el complejo de la Ciénaga el Playazo, asociado esencialmente a la intrusión de actividades agropecuarias en esta zona del Complejo de Humedales, alterando el equilibrio que se esperaría encontrar dado el carácter ecológico estratégico reconocido para la zona desde varias décadas atrás.

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
2906-010101	Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010102	Media Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010103	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010104	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010105	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010106	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010200	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010301	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010302	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010400	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010501	Media Alta	Moderada	Alta	Media Alta	Media Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010502	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010503	Media Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2906-010600	Moderada	Baja	Media Alta	Moderada	Moderada	Alta	Media Alta	Muy Alta	Alta	Alta
2906-010700	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Media Alta	Moderada	Moderada

9.5. Manejo De Residuos Sólidos

9.5.1. Descripción de Sistemas para el Manejo de los Residuos

En Sitionuevo, se hace la recolección de los residuos sólidos de la cabecera municipal, en un vehículo con características tipo camión con capacidad para 5 toneladas, este servicio se presta a 681 viviendas de la cabecera municipal, el resto de los pobladores emplean otras técnicas para eliminar los residuos sólidos. No se cuenta con un relleno sanitario, por lo que la disposición final es realizada en un lote en las periferias del casco urbano. (Alcaldía Municipal de Sitionuevo, 2016)

El municipio de Remolino no cuenta con un sistema integral para el manejo de los residuos sólidos. Existe una entidad encargada de prestar el servicio de recolección, La Cooperativa Coaguar, la cual lo hace a través de un volteo, un tractor, tres cajas estacionarias en los sectores con más incidencia de y un tráiler hidráulico los cuales prestan sus servicios de una forma independiente para la

recolección en cada una de las casas del sector urbano. Según el Plan de Desarrollo Municipal las cajas estacionarias son insuficientes. La disposición final se hace a cielo abierto en un predio que no cuenta con licencia ambiental y con una infraestructura en mal estado, ubicado a 1.8 km del casco urbano, en donde los residuos son compactados y enterrados. (Alcaldía Municipal de Remolino, 2012 - 2015).

En el caso de Pivijay el servicio de recolección de basuras lo presta la empresa EMSERPI. La recolección se hace 4 veces por semana, la cobertura del servicio es del 70%. El municipio cuenta con un tractor (en mal estado) realiza la recolección y hace la disposición final en un botadero a cielo abierto, ubicado a 100 metros del perímetro urbano. (Alcaldía Municipal de Pivijay, 2012 - 2015). Posteriormente se trasladan 1.5 toneladas dos veces a la semana al relleno sanitario que está ubicado en Salamina, por una vía en mal estado. Existe otro lote situado a 10.5 kilómetros donde se pretende construir unas celdas transitorias como un plan de contingencia en caso de presentarse inundación en la vía Salamina – Pivijay, acceso al botadero actual. Además del relleno existen 12 botaderos a cielo abierto, en los cuales descargan los recolectores informales los cuales transportan un volumen promedio de 1.3m^3/día (Alcaldía Municipal de Pivijay, 2014)

Los municipios de Salamina y El Piñón, de acuerdo con la información reportada a la Superintendencia de Servicios Públicos, realizan la disposición de sus residuos en el relleno regional Ciénaga Grande de Santa Marta, recolectados por un camión dos veces por semana, a una tasa promedio de 5,62 y 1,86 t/día respectivamente.

La cabecera municipal de Cerro de San Antonio se encuentra por fuera del área de la Cuenca, y para el área urbana del municipio de Puebloviejo y sus corregimientos principales, la disposición de residuos sólidos se realiza en el relleno sanitario Las Marías del municipio de Ciénaga.

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 9.17. Disposición de Residuos sólidos de los municipios de la Cuenca

Vereda	Disposición de Residuos sólidos
Remolino	
San José de las Casitas	Enterramiento y Quemas
San Rafael	Cielo abierto
Villa de Praga	Quemas
El Salado	Quemas
Dividivi	Quemas y Cielo abierto
Aserradero	Quemas
Santa Rita	Quemas
Pivijay	
La Retirada	Quemas y Cielo abierto
Las Casitas	Quemas

Carmen	Cielo abierto
Corregimiento Medialuna	Quemas y Cielo abierto
El Piñón	
Tingarlo	Quemas y Cielo abierto
Antagallar	Quemas y Cielo abierto
Sabanas	Enterramiento, Quemas y Cielo abierto
San Basilio	Quemas y Cielo abierto
Los Patos	Quemas y Cielo abierto
Campo Alegre	Quemas
Salamina	
Guáimaro	Recolección dos veces por semana
Julepe	Quemas y Cielo abierto
El Salado	Quemas
La Lomita	Quemas
La Loma	Quemas
Vainilla	Quemas y Cielo abierto

Como se puede observar, en el área rural de los municipios de la Cuenca el manejo de los residuos sólidos se da por medio de 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

De acuerdo con la información suministrada por la Corporación, los municipios contaban con plazo hasta el 20 de agosto de 2015 para realizar la actualización de sus Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. En este sentido, sólo el municipio de Pivijay presentó su PGIRS el cual aún no ha sido aprobado por CORPAMAG. Para los otros municipios, ya la Corporación ha iniciado las medidas administrativas de rigor.

El PGIRS de Pivijay en su nueva versión, plantea como objetivos específicos los siguientes:

- Mejorar la gestión institucional del servicio público de aseo
- Adecuar la generación, el almacenamiento y la presentación de residuos sólidos,
- Mejorar el barrido y limpieza de las áreas públicas
- Mejorar el servicio de corte de césped y poda de árboles,
- Mejorar el servicio de lavado de áreas públicas,
- Aumentar los niveles de aprovechamiento,
- Garantizar el acceso a sistemas de disposición final,
- Mejorar la gestión de los residuos sólidos especiales,
- Adecuar la gestión de residuos de construcción y demolición,
- Mejorar la gestión de residuos sólidos rurales,

- Gestionar adecuadamente los riesgos del sistema de aseo.

En el marco de estos objetivos resulta importante resaltar las siguientes metas definidas por el Plan y su fecha de logro:

- Reducción de 5% en residuos de recolección, transporte y/o transferencia para el área urbana (2019),
- 0,4 Kg/(hab.dia) de producción per cápita de residuos para el área urbana (2019)
- 100% de cobertura del servicio de aseo en el área urbana del municipio (2027)
- 100% de aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes del área urbana del municipio (2027)

El restante de las metas representa indicadores organizacionales principalmente. Se puede observar algunos defectos en el planteamiento de las metas del Plan. Por ejemplo, en la línea base se define que actualmente se tiene una generación per cápita diaria en el área urbana de 0,479 Kg, razón por la cual no existe coherencia con la reducción de sólo el 5% en los residuos a recolectarse y transportarse, sobre todo cuando uno de los problemas manifiestos es el mal manejo en la fuente que se le da a los residuos. De otra parte, no se plantean metas que respondan al objetivo del mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos rurales, que como ya se vio tienen una problemática con impactos potenciales sobre la calidad del ecosistema y el recurso hídrico en el {área de influencia del Caño Schiller.

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

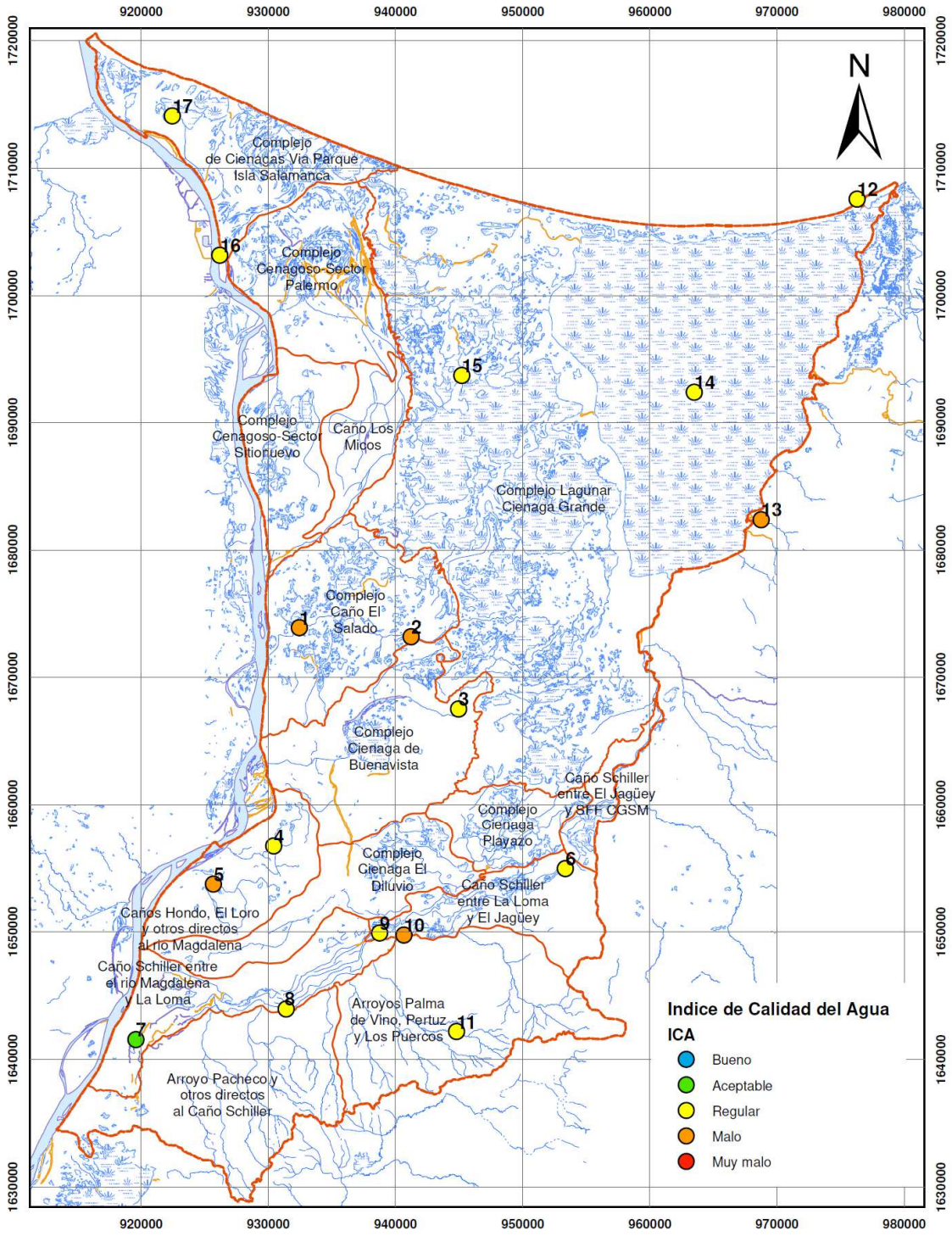
Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM (2013)

9.6.2. Resultados de evaluación del ICA

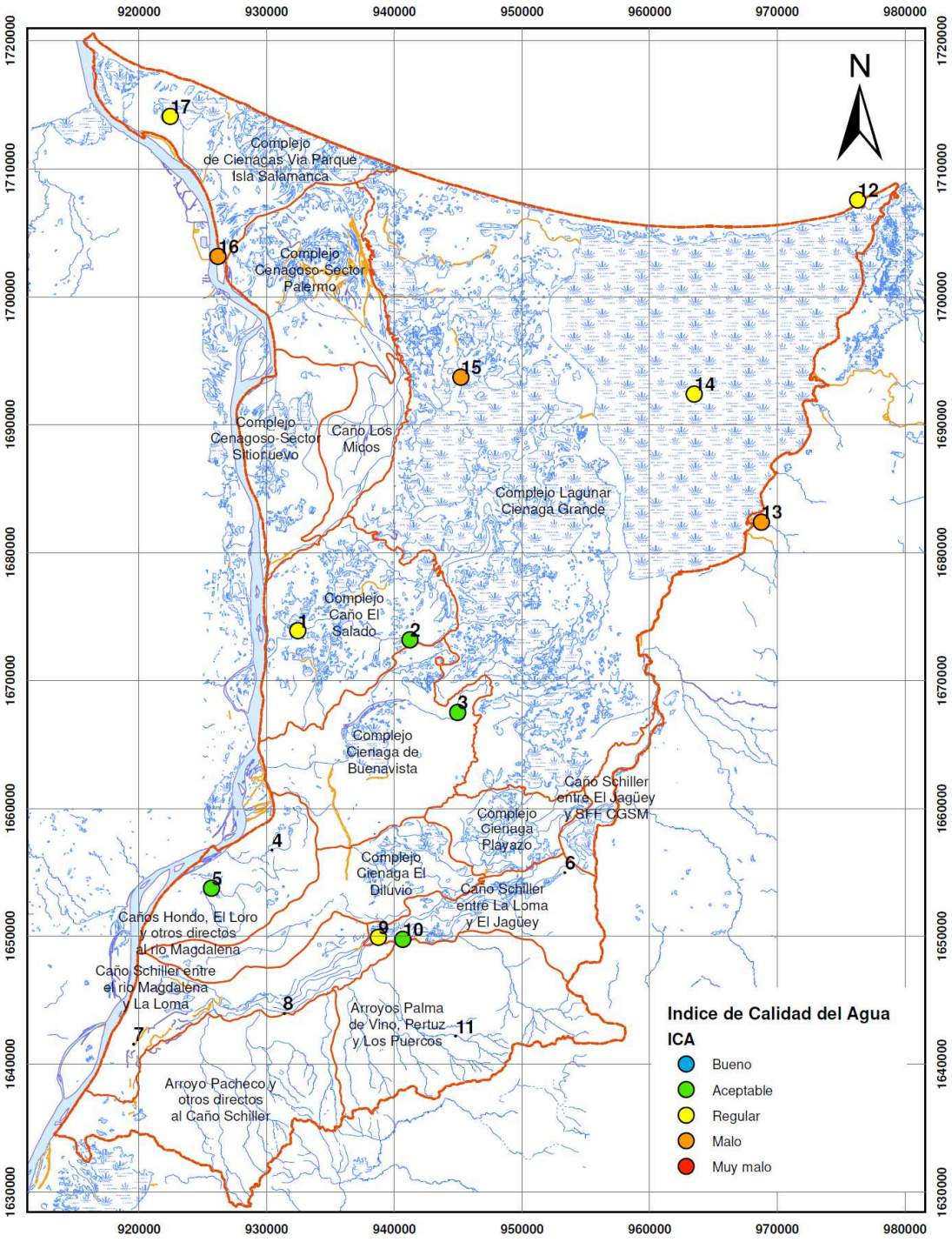
La aplicación de la metodología descrita determinó como resultado de la evaluación del Índice de calidad del agua para la Cuenca los valores que se muestran en la Figura 9.23 y la Figura 9.24.

Figura 9.23. Resultados de Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones normales



ID	COORD_X	COORD_Y	NOMBRE	ICA (Cond. Normal)	
1	932444,86	1673918,68	Caño Salado (Salida de Remolino, via Remolino - Las Casitas)	0,45	Mala
2	941226,47	1673195,55	Caño Salado (Entrada a complejo Cienaga Grande)	0,50	Mala
3	944955,36	1667535,54	Caño El Condazo (Entrada a complejo Cienaga Grande)	0,59	Regular
4	930434,37	1656746,12	Caño El Loro	0,59	Regular
5	925684,48	1653744,79	Caño Hondo	0,26	Mala
6	953357,81	1654955,90	Caño Schiller	0,58	Regular
7	919604,70	1641559,54	Caño El Limon	0,78	Aceptable
8	931412,36	1643961,67	Caño del Oso	0,56	Regular
9	938753,45	1649908,91	Salida de Caño Primo hacia complejo de cienagas	0,55	Regular
10	940669,12	1649751,93	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	0,31	Mala
11	944793,06	1642186,39	Arroyo Cascajal	0,52	Regular
12	976302,42	1707580,52	Boca de la Barra	0,66	Regular
13	968752,93	1682371,21	Rio Aracataca	0,51	Regular
14	963501,92	1692431,44	Centro CGSM	0,56	Regular
15	945209,92	1693747,45	Nueva Venecia	0,58	Regular
16	926186,95	1703180,04	Boca del Caño Clarin	0,52	Regular
17	922455,65	1714086,55	Cienaga Poza Verde	0,58	Regular

Figura 9.24. Resultados del Índice de Calidad del Agua para la Cuenca en condiciones secas



ID	COORD_X	COORD_Y	NOMBRE	ICA (Cond. Seca)	
1	932444,86	1673918,68	Caño Salado (Salida de Remolino, via Remolino - Las Casitas)	0,68	Regular
2	941226,47	1673195,55	Caño Salado (Entrada a complejo Cienaga Grande)	0,88	Aceptable
3	944955,36	1667535,54	Caño El Condazo (Entrada a complejo Cienaga Grande)	0,79	Aceptable
5	925684,48	1653744,79	Caño Hondo	0,76	Aceptable
9	938753,45	1649908,91	Salida de Caño Primo hacia complejo de cienagas	0,66	Regular
10	940669,12	1649751,93	Caño Primo aguas abajo de la descarga de Caño el Oso	0,71	Aceptable
12	976302,42	1707580,52	Boca de la Barra	0,54	Regular
13	968752,93	1682371,21	Rio Aracataca	0,48	Mala
14	963501,92	1692431,44	Centro CGSM	0,56	Regular
15	945209,92	1693747,45	Nueva Venecia	0,51	Regular
16	926186,95	1703180,04	Boca del Caño Clarin	0,44	Mala
17	922455,65	1714086,55	Cienaga Poza Verde	0,56	Regular

Del cálculo del ICA para la Cuenca, tanto en condiciones secas como normales, se podría inferir que el recurso hídrico se encuentra en condiciones regulares. Durante la época seca, son evidentes los aportes de contaminación que introducen el río Magdalena, y los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla que drenan directamente sobre el espejo de agua principal. Hacia el sur hay una zona 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 regular, con tendencia marcada al deterioro en cercanías a los asentamientos humanos de los municipios que conforman el Complejo. La única área con calidad aceptable se ubica hacia el municipio de Cerro de San Antonio, donde la presión doméstica y agropecuaria se reduce parcialmente.

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

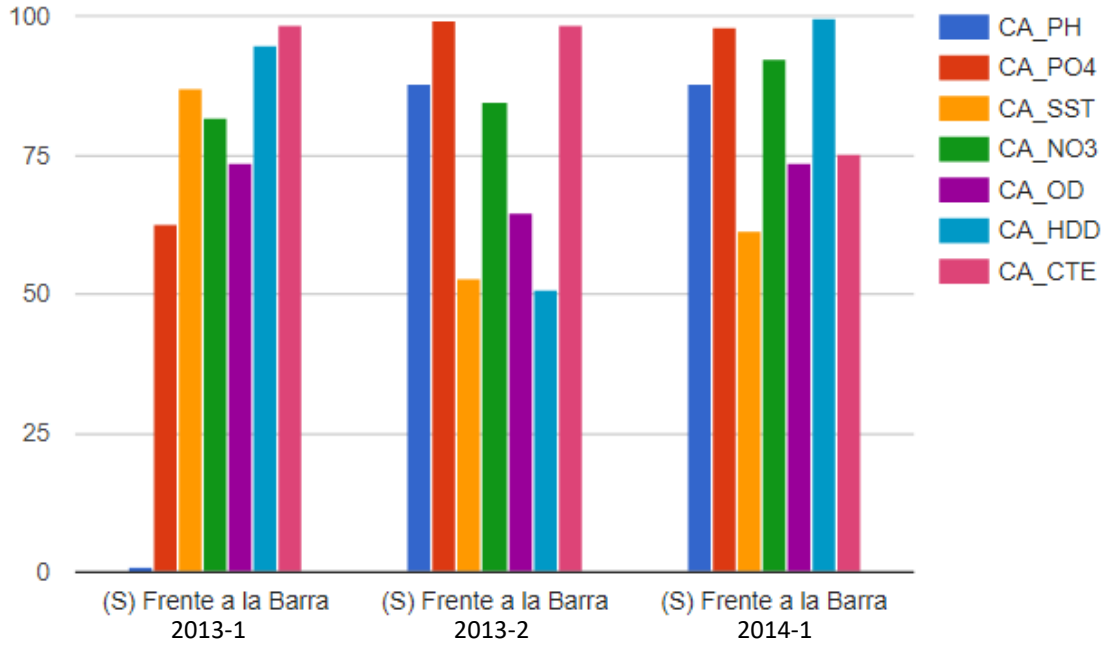
Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas 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)

En la Figura 9.25 y la Tabla 9.21 se muestran los resultados de la evaluación de este índice, realizada por INVEMAR, y disponibles a través de la página web del SIAM., en la estación Boca de la Barra (única estación INVEMAR activa para las aguas marinas en inmediaciones de la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Figura 9.25. Valores de calidad porcentual para las variables evaluadas en el cálculo del $ICAM_{PFF}$ en la estación Boca de la Barra 2013-2014



Fuente: INVEMAR

Tabla 9.21. Resultados de evaluación del $ICAM_{PFF}$ en la estación Boca de la Barra 2013-2014

MUESTREO	ICAM	CA_PH	CA_PO4	CA_SST	CA_NO3	CA_OD	CA_HDD	CA_CTE	CA_DBO
2013-1	47,73	1,00	62,61	87,15	81,91	73,70	94,91	98,27	90,30
2013-2	63,08	87,67	99,38	52,91	84,53	64,48	50,67	98,54	21,65
2014-1	82,55	87,67	98,03	61,42	92,39	73,43	99,63	75,34	86,75

Fuente: INVEMAR

Puede observarse que el comportamiento del $ICAM_{PFF}$ en la estación Boca de la Barra durante el año 2013 y la época seca 2014 no presenta una tendencia regular. Sin embargo, para los períodos

mencionados se observa una mejora en el resultado del índice, pasando de *inadecuada* en la época seca de 2013 a *adecuada* en la época seca de 2014. El parámetro que más influyó en este comportamiento fue el pH que había recibido una calificación de 1% en 2013-1, para posicionarse en 87,67% en los otros dos períodos evaluados.

Cabe mencionar que los parámetros de oxígeno disuelto, hidrocarburos aromáticos totales, DBO_5, y, en menor medida, los sólidos suspendidos totales, muestran una tendencia similar a la encontrada en el monitoreo de los cuerpos de agua continentales de la Cuenca. Es decir, se tienen mejores parámetros de calidad en las épocas secas que en las épocas lluviosas; fenómeno que se asocia al arrastre o lavado de contaminantes durante las épocas de lluvia, cargas que son originadas por las deficiencias en saneamiento básico y el uso del suelo agrícola en varias zonas de la Cuenca.

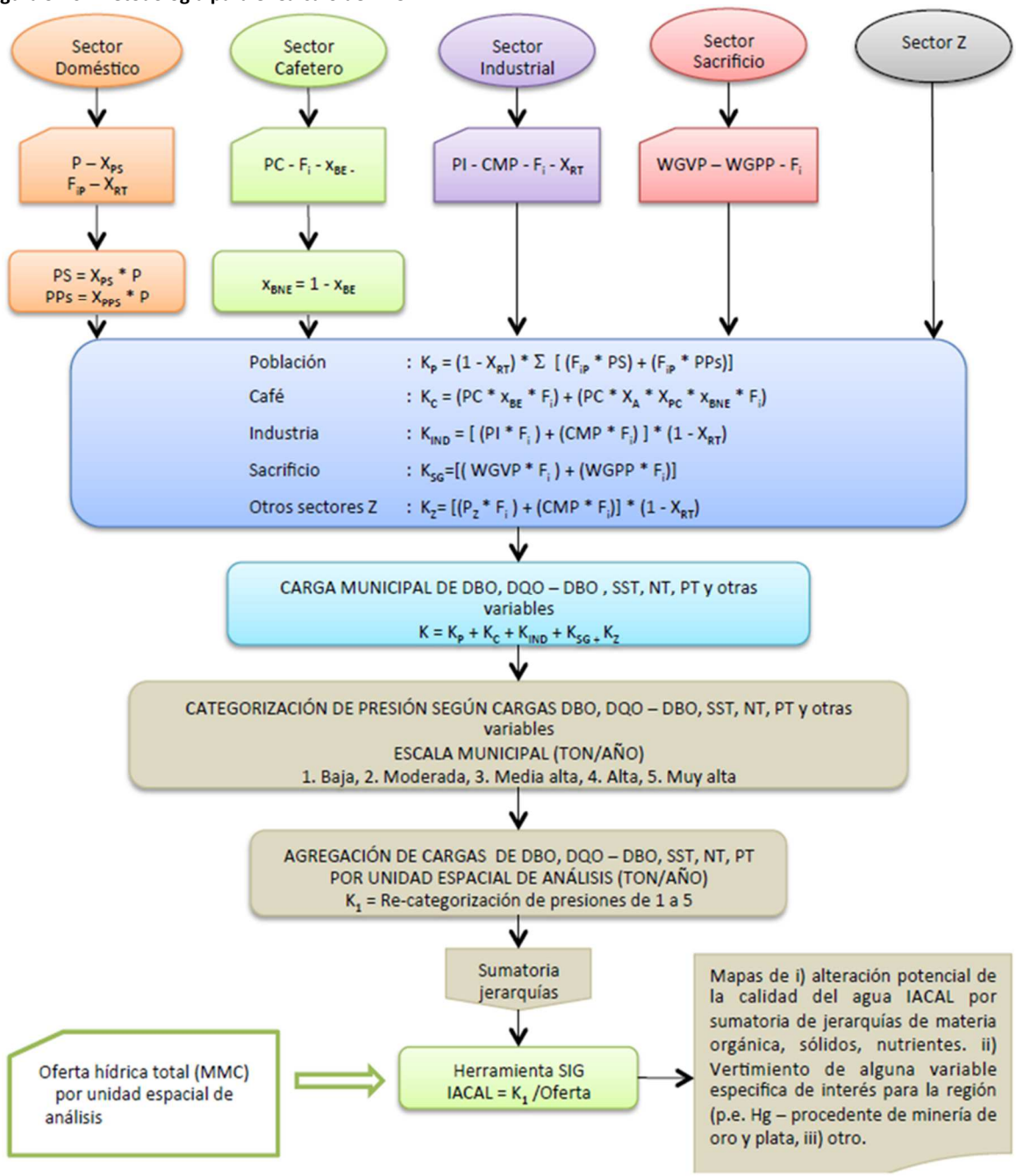
9.7. Índice De Alteración Potencial De La Calidad Del Agua -IACAL-

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 9.26., para la cual se tomaron las presiones por carga contaminante determinadas en la sección correspondiente de este capítulo.

Figura 9.26. Metodología para el Cálculo del IACAL



Fuente: IDEAM (2014)

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 9.27 y Figura 9.28, un panorama no muy positivo para la Cuenca. Se observa, tanto para condiciones hidrológicas normales como secas, una fuerte presión de las actividades económicas en las áreas que no están bajo figura de protección en el SINAP. Esta presión, localizada en los municipios de Pivijay, El Pilón, Salamina, y parte de Remolino y Sitionuevo, se encuentra relacionada con la introducción y expansión de áreas para la ganadería bovina y bufalina, así como la introducción de cultivos de arroz, palma y otros transitorios menores.

El área que presenta menor grado de intervención es el Complejo lagunar Ciénaga Grande, que comprende la Ciénaga del mismo nombre, así como el complejo cenagoso de Pajarales. En esta unidad hidrográfica se identifica una presión de tipo moderada causada por el vertido directo de aguas residuales domésticas provenientes de los asentamientos palafíticos allí ubicados. No obstante, lo anterior, se considera que, en el estado actual, la presión existente en la Cuenca es coherente en gran medida con los objetivos de protección que inspiraron las diferentes categorías de protección ambiental como la Reserva de la Biósfera, Santuario de Flora y Fauna, Sitio Ramsar y PNN Vía Parque Isla Salamanca. Aun así, es necesario que en la prospectiva del POMCA se contemple que el avance de los sectores económicos y el mejoramiento de la accesibilidad que traerían los macroproyectos previstos para esta Cuenca, elevará la presión de las cargas contaminantes y amenazará, por tanto, el equilibrio del ecosistema y la disponibilidad del recurso hídrico.

Figura 9.27. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones normales

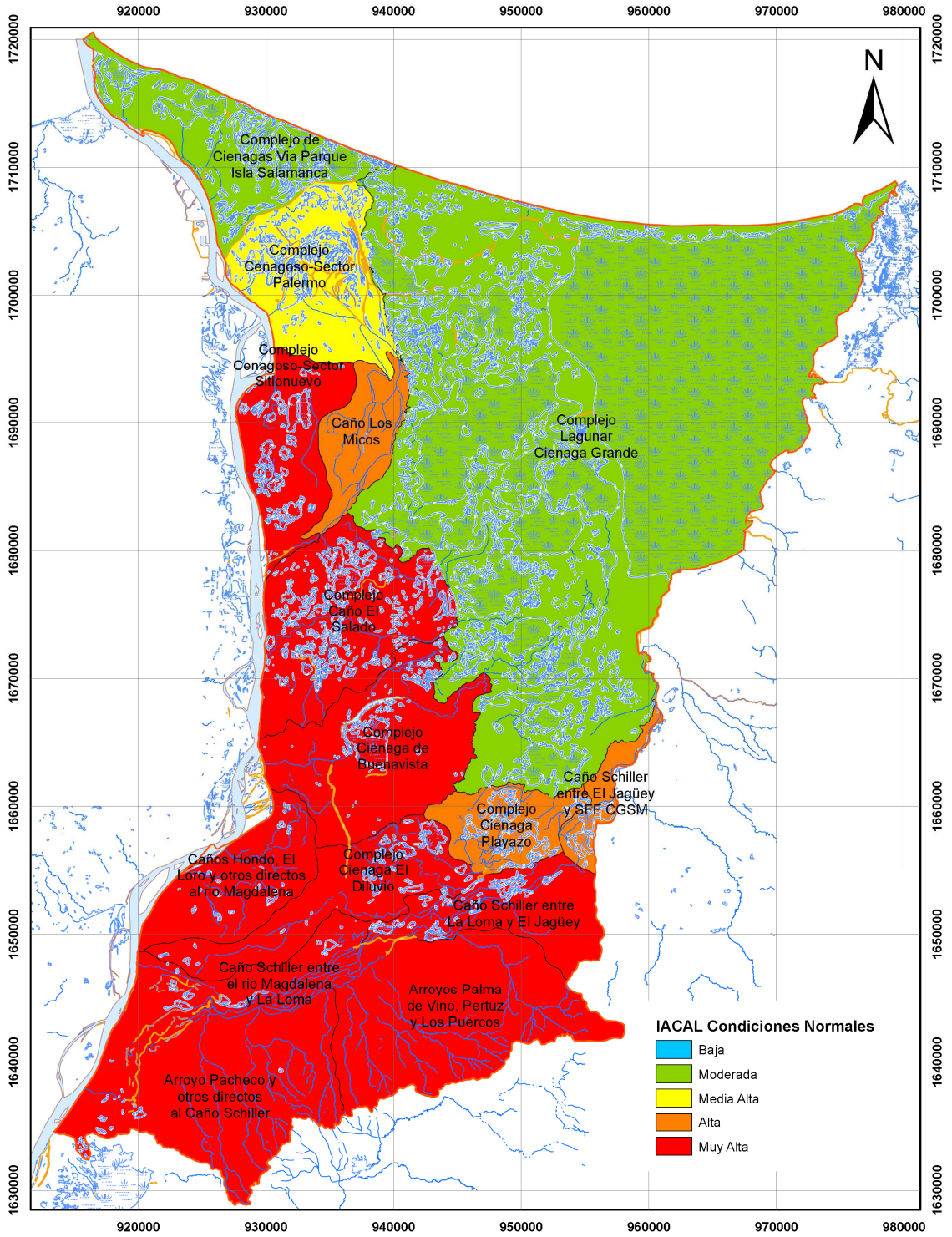
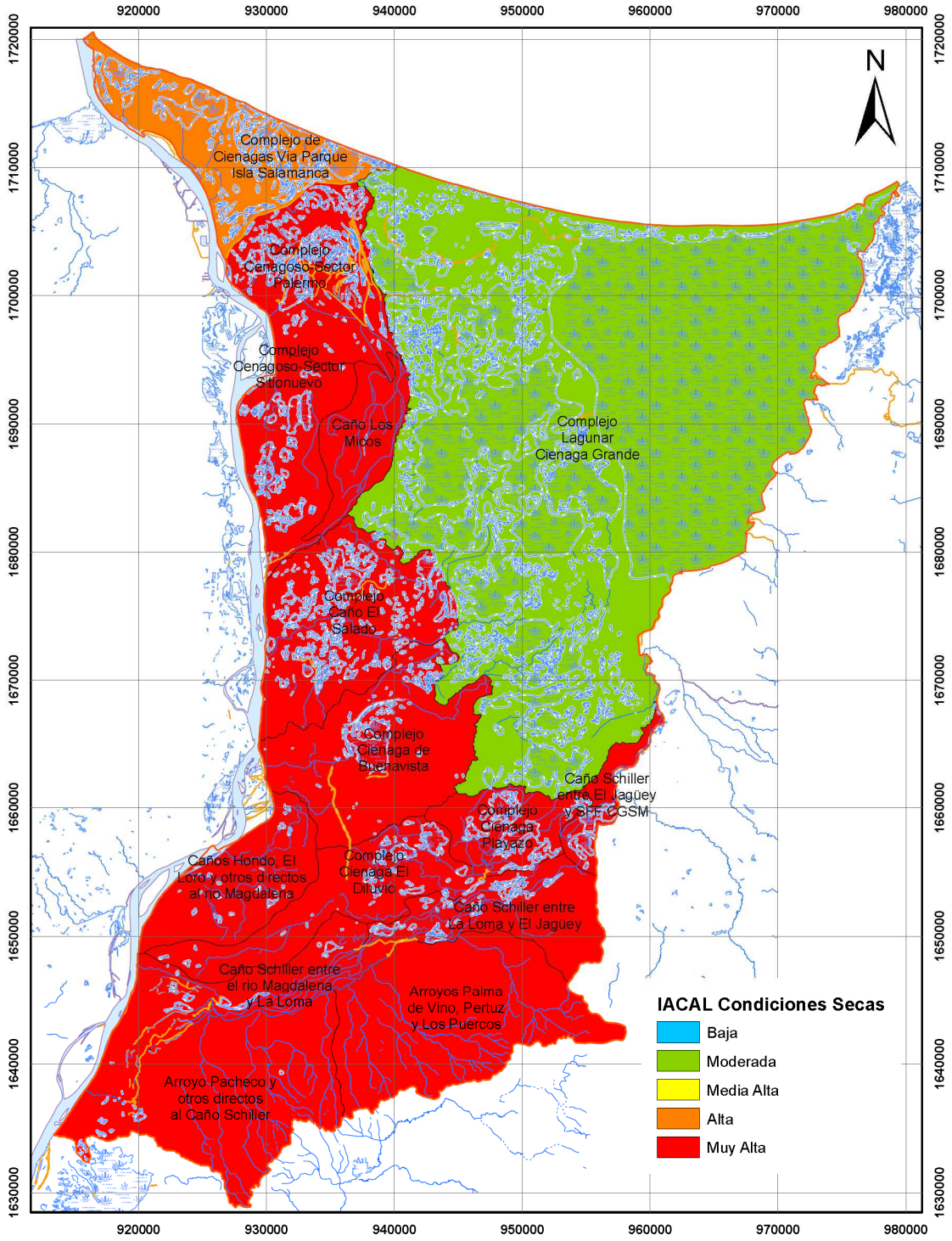


Figura 9.28. Alteración Potencial de la Calidad del Agua en condiciones secas



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_CHCGSM	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_ CHCGSM	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_ CHCGSM	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_ CHCGSM) 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_ CHCGSM) 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

Los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas, en su desarrollo plantean la caracterización de las condiciones del medio natural, con el fin de identificar aspectos que inciden en los problemas ambientales y amenazas naturales que afectan los territorios y el desarrollo de actividades productivas.

A continuación se presentan la caracterización geomorfológica, indicando los aspectos geológicos más importantes, se indica la metodología que se aplicó, la descripción de las geoformas identificadas y los procesos morfodinámicos para la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Al final del documento se sintetizan los rasgos geomorfológicos más relevantes en la Tabla 10.7.

10.1. Marco Geológico – Geomorfológico Regional.

La Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) se enmarca en dos provincias geológicas, que se encuentran limitadas por la Falla Bucaramanga-Santa Marta: la provincia de la Sierra Nevada de Santa Marta al Oriente, compuesta por materiales ígneo-metamórficos y, la provincia con sedimentos cuaternarios al Occidente que se extiende hasta los anticlinales de San Jacinto y San Jerónimo y la Serranía de San Lucas y se caracteriza por la topografía plana con presencia de ciénagas. Esta zona plana y baja es el resultado de la fase distensiva ocurrida durante el Mioceno (Hernández, 1996).

10.1.1. Secuencia estratigráfica y unidades geológicas

En la cuenca se tienen formaciones geológicas del Neógeno y depósitos del Pleistoceno y Holoceno, a continuación se menciona la composición litológica y de sedimentos, para ampliar en ello, se puede consultar el numeral 4 del presente volumen.

10.1.1.1. *Formaciones del Neógeno*

- Formación Rancho: compuesta por arcillolitas calcáreas con areniscas de grano muy fino y restos de plantas y cristales de yeso.
- Formación Zambrano: caracterizada por presentar por areniscas de grano fino a muy grueso, calcáreas con algunas intercalaciones de lodolitas y abundantes conchas y moluscos.

10.1.1.2. *Depósitos del Pleistoceno y Holoceno*

- Depósitos aluviales: originados por la dinámica del río Magdalena compuestos por materiales finos a gruesos de arenas, arcillas y gravas en menor proporción.
- Depósitos fluviolacustres: sedimentos finos a muy finos, arcillas.
- Depósitos de la llanura aluvial: originados por la sedimentación de ríos principales y caños, en inmediaciones de la Ciénaga Grande de Santa Marta se mezclan con los materiales finos.

- Depósitos de playa: arenas de playa de grano fino compuestas por cuarzo, presenta conchas y conglomerados asociados a la sedimentación aluvial.

10.1.2. Geología estructural regional (pliegues, fallas y lineamientos)

En el área de la cuenca no se identifican rasgos estructurales como fallas o pliegues, en el numeral 3 del presente volumen se menciona la identificación de algunos lineamientos locales y el de Romeral en los municipios de El Piñón y Salamina.

10.1.3. Evolución geológica regional

En el Paleógeno medio, al Oriente de la zona se presentaba una superficie elevada (Sierra Nevada de Santa Marta), al Occidente el valle del río Magdalena separados por la Falla Santa Marta-Bucaramanga. Durante el Oligoceno ocurre una transgresión marina (invasión del mar) que cubre más al sur de Plato (Magdalena), depositando sedimentos de ambientes marinos someros como areniscas calcáreas y carbonatos. En el Mioceno se inicia la depositación de la Formación Rancho y al tiempo se inicia una fase distensiva de la cuenca; se produce la apertura de los ejes principales de depositando grandes espesores de sedimentos de la Formación Rancho en algunos sectores y otros de menor espesor que reflejan la forma y el comportamiento de la cuenca, posteriormente se deposita la Formación Zambrano y continúa la subsidencia (Hernández, 2003).

El sistema lagunar de la CGSM se originó gradualmente durante el Holoceno debido a un ascenso relativo del nivel del mar. En la última gran transgresión marina, la zona estuvo cubierta por el mar, el cual penetró hasta las inmediaciones de El Banco, Magdalena. Al inicio del Holoceno ocurrió una regresión del nivel del mar y debido al aporte fluvial de sedimentos se inició la formación del amplio delta entre el cauce del Magdalena y el Caño Schiller, proceso que aún continúa (Hernández et al, 1980; Wiedemann, 1973 citados por Serrano, *et al*, 1995).

La configuración del río Magdalena se debe a la combinación de factores estructurales climáticos, es así como el levantamiento de Los Andes, de las serranías de San Lucas y San Jacinto y de la Sierra Nevada de Santa Marta, el sistema de fallas, la dirección del movimiento de las placas tectónicas y los períodos climáticos de calentamiento y enfriamiento (transgresiones y regresiones marinas) determinaron las características geomorfológicas actuales de la cuenca objeto de análisis.

El área de la cuenca hace parte del sistema fluvio-deltaico del río Magdalena, que es relativamente joven, este río no ha tenido el tiempo para acumular suficientes depósitos y construir una superficie deltaica extensa sobre la plataforma continental; en consecuencia, la influencia de las mareas es evidente en el sector Norte, donde la depresión lagunar es cerrada por barras, sin presentar la progresión de los sedimentos del río Magdalena hacia el mar.

Como los modelados se deben a la dinámica fluvial y marina, estos pueden variar en periodos cortos de tiempo, por lo tanto, son muy cambiantes, aunque la intervención antrópica y la construcción de diques controlan en gran medida los desbordes del río Magdalena.

10.1.4. Información geomorfológica a escala regional

A escala regional, se revisó información en cuatro documentos principalmente, los cuales son descritos a continuación:

- *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 25 - Fundación (Bedoya, et al., 2015)*

En este documento se indican los siguientes dos tipos de ambientes con unidades geomorfológicas especificas, ambiente fluvial y lagunar, laguna, plano anegadizo, plano o llanura de inundación; y ambiente marino-costero: laguna costera (albufera, ensenada, lagoons), planos y llanuras con vegetación halófila (pantano intermareal, marismas, pantanos de manglar, saltmarshes). No se precisa la metodología seguida. Los procesos morfodinámicos identificados corresponden a inundaciones tanto marinas como fluviales. La escala de análisis es de nivel regional.

- *Caracterización geomorfológica de llanura deltáica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia (Bernal, 1996)*

En este estudio se mencionan las siguientes unidades geomorfológicas: llanura de inundación del río Magdalena, sistema lagunar del delta actual, sistema lagunar marginal, playa e isla barrera y llanura aluvial de piedemonte. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC, con un enfoque morfogenético. Se identificó procesos de desertificación al oriente de la cuenca. La escala de análisis es de nivel regional.

- *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 (Carvajal et. al., 2010)*

En este documento se identifican unidades y sub-unidades de origen antrópico: canal artificial, unidades y sub-unidades de origen eólico: dunas transversales, unidades y sub-unidades de origen fluvial y lacustre: cuencas de decantación fluviolacustre, planos y llanuras de inundación fluvial, meandros y cauces abandonados, unidades y sub-unidades de origen denudacional: llanuras intermareales y marismas, barra espiga, llanuras y planos con manglar, playas, laguna costera. La metodología seguida corresponde a la planteada por el SGC, con un enfoque morfogenético. Los procesos morfodinámicos identificados corresponden a encharcamientos, inundaciones y colmatación de lagunas costeras. La escala de análisis es de nivel regional.

- *Sistemas morfogénicos del territorio colombiano (IDEAM, 2010)*

En este estudio se definen dos unidades macro: depresiones tectónicas y litorales, dentro de ellas se diferencian: cerros y mesas en vía de degradación, valles aluviales, llanura de desborde con ciénagas, llanura de desborde sin ciénagas, marisma y delta. Se aplicó la metodología del enfoque geosistémico. Como procesos morfodinámicos se mencionan la sedimentación, inundaciones y aluvionamiento, flujo y reflujo marino, subsidencia, escurrimiento superficial difuso y concentrado y acreción por sedimentación. La escala de análisis es de nivel nacional.

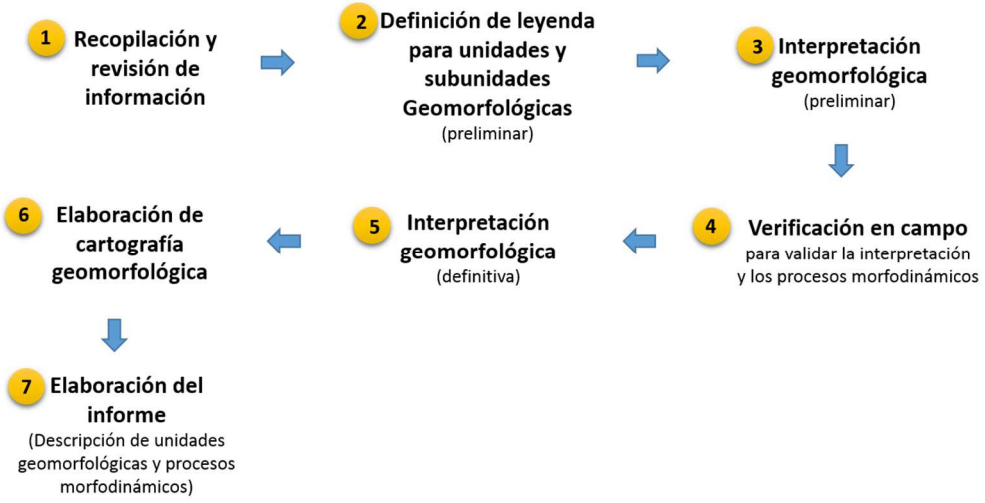
10.2. Metodología para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica.

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 Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta. 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 11.7)

Figura 10.1. Fases metodológicas para la caracterización geomorfológica

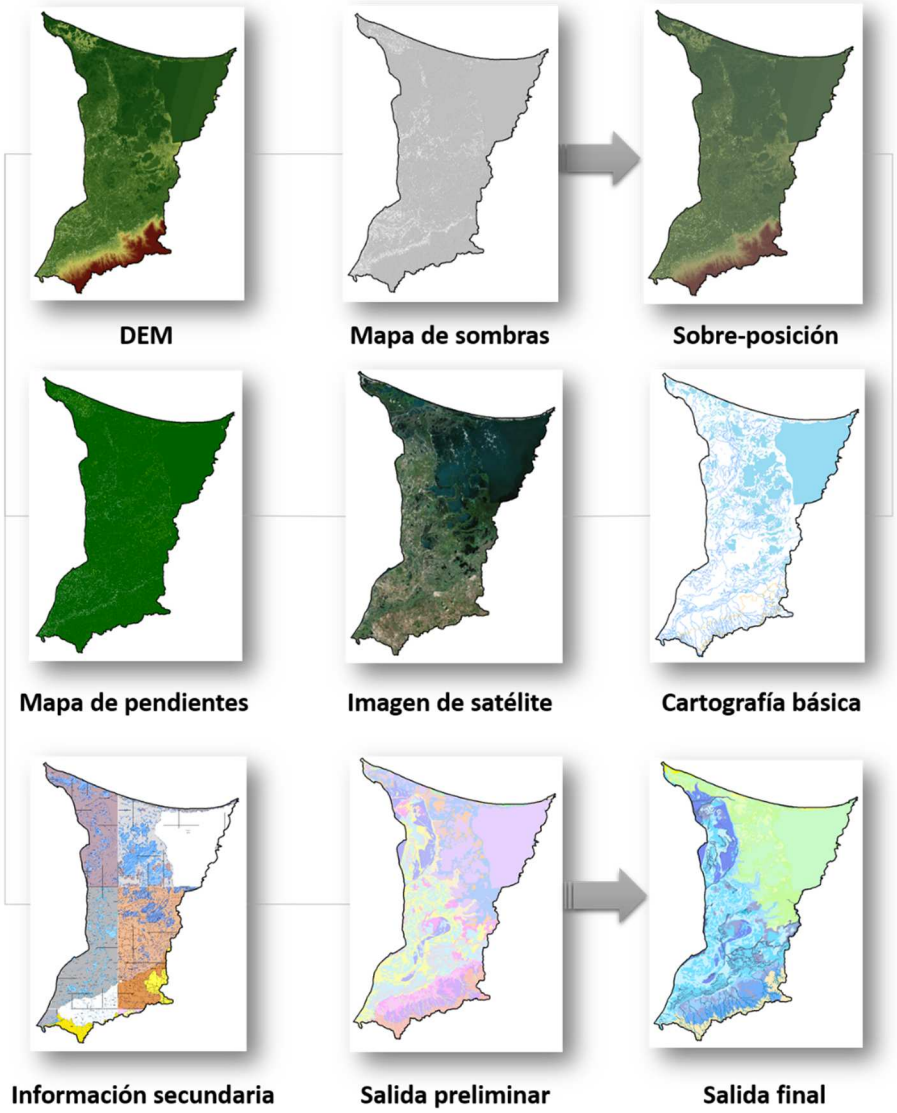


La cartografía geomorfológica constituye un insumo fundamental para el análisis de amenazas naturales, para su desarrollo se soportó tanto para la interpretación como la elaboración de los mapas en Sistemas de Información Geográfica – SIG, a continuación se explica el procedimiento cartográfico.

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 Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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 12,5m es el resultado de la integración de las siguientes imágenes PALSAR (Tabla 10.1):

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

La interpretación se realizó considerando el DEM en la zona sur de la cuenca, las imágenes de satélite RapidEye y el orto-fotomosaico suministrado por la Corporación se emplearon en toda la cuenca. En el Tabla 10.2 se presenta el listado de los mapas e imágenes de satélite que se utilizaron para el análisis geomorfológico.

Tabla 10.2. Información utilizada para el análisis geomorfológico

Material		Fuente
Cartografía básica 1:25.000	Geodatabase	IGAC
Mapas geológicos escala 1:100.000	Planchas 16-17, 18, 24, 25, 31 y 32	SGC
Imágenes de satélite RapidEye: 15474476_177385, 14775271_173606, 14772909_173606 y 13797912_168296	Tomadas: 12 de enero de 2014, 16 de noviembre de 2016, 29 de octubre de 2013 y 27 de enero de 2013	Corpamag
Ortofotomosaico 1:25.000	Planchas 17, 18, 24, 25, 31 y 32	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*

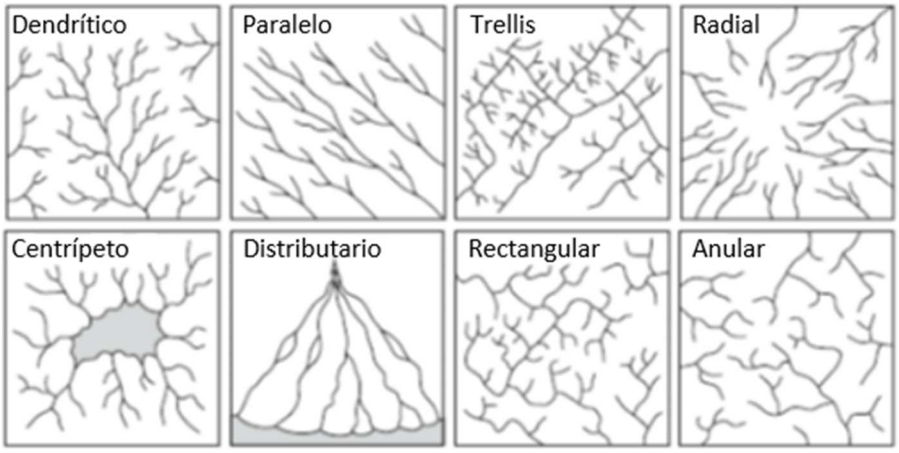
Está relacionado con los aspectos de la geometría e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.

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”.

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

10.2.3.3. *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).

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 del Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se identificó una geomorfoestructura: la megacuenca de sedimentación, configurada tanto por los sedimentos provenientes de la erosión de la Sierra Nevada de Santa Marta, la sedimentación del río Magdalena y de la sedimentación marina y costera. 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 Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta pertenece a una provincia geomorfológica: valle interandino del Magdalena.

Figura 10.4. Geomorfoestructura de la Cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



10.3.3. Regiones geomorfológicas

Para la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta se identificaron las siguientes regiones geomorfológicas:

10.3.3.1. *Ambiente denudacional*

Corresponde a 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, se encuentran afectadas frecuentemente por procesos erosivos principalmente por escurrimiento superficial y subsuperficial.

El 3,71% del área total de la cuenca presentan geoformas con características denudacionales, al sur de la cuenca desde Cerro de San Antonio, Cantallagar, Vázquez hasta el sur de Pivijay y Media Luna, las geoformas configuran elevaciones topográficas (lomas) hasta de 50 m.s.n.m., que hacen las veces de divisorias de agua con la cuenca de la quebrada Zapayán y la Ciénaga Cerro de San Antonio, están compuestas por arcillolitas alteradas, areniscas y lodolitas de las formaciones Rancho y Zambrano. El drenaje es dendrítico, presentando cauces permanentes tributarios de los arroyos Pachecho y Palma de Vino, pero en su mayoría se tienen drenajes intermitentes que se activan en momentos y períodos de lluvia. La disección del drenaje funciona retocando y suavizando la topografía.

10.3.3.2. *Ambiente marino*

Son las geoformas construidas por la interacción de los procesos marinos de oleaje y la acción de las mareas sobre los elementos continentales tales como la estructura y la litología, al igual que, los aportes fluviales deltaicos y las formaciones arrecifales. En la cuenca, representa el 40,10% del área total de la cuenca, la topografía es plana a suavemente ondulada, las zonas que no hacen parte de las lagunas costeras se encuentran muy afectadas por salares, para el caso de los planos de marea los terrenos son anegadizos motivo por el que el uso productivo es restringido, las playas y barras se ven afectadas por erosión costera e inundaciones ocasionadas por oleaje.

La Isla Salamanca y los centros poblados El Presidio, Buenavista y Nueva Venecia están ubicados en este ambiente; las ciénagas configuran un ecosistema estratégico por su oferta ambiental, oferta que ha disminuido por la contaminación y la salinización de estos cuerpos de agua.

10.3.3.3. *Ambiente eólico*

Son las geoformas originadas por la acción del viento e involucra procesos de transporte, fragmentación y depósito de partículas de diversos tamaños. Para la cuenca tan solo el 0,68% del área total pertenece a este ambiente, corresponde a franjas de arenas finas con salares que configuran llanuras y mantos en la barrera Isla Salamanca, afectadas por inundaciones ocasionadas por las mareas.

10.3.3.4. *Ambiente fluvial y lagunar*

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.

El ambiente fluvial y lagunar está asociado con el delta actual y antiguo del río Magdalena, por lo tanto se incluyen niveles de terraza aluviales, planos deltaicos, llanuras aluviales, planos de inundación, orillares, albardones, entre otros. Representa el 55,51% del área total de la cuenca con alturas que van desde los -2 hasta los 4 m.s.n.m., se tienen sedimentos arenosos finos y medios, limos y arcillas, la zona baja (presenta amenazas por inundaciones, aunque se tiene superficies plano-cóncavas encharcables por lluvia y agua de escorrentía, la salinización es un fenómeno frecuente en estos modelados, lo que limita aún más el uso de estas áreas. Por intervención antrópica: captación de agua y modificación de los cauces naturales, el ingreso de agua dulce a las lagunas costeras ha disminuido y desaparecido en algunos sectores acentuando los problemas de salinización de las ciénagas.

10.3.4. Unidades y subunidades geomorfológicas

A continuación se describen las características principales de las unidades y subunidades geomorfológicas identificadas para la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. La cartografía se presenta como anexo.

10.3.4.1. *Unidades y subunidades en ambiente denudacional*

10.3.4.1.1. *Laderas de lomas denudacionales (Dld)*
Superficie elevada y elongada. Compuesta por depósitos poco consolidados de arenitas, lodolitas y arcillolitas con diferentes grados de alteración. El relieve presenta bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales de 50 m, la pendiente es plana, suavemente inclinada e inclinada; larga y muy larga y convexo cóncava. En la unidad se presenta escurrimiento superficial difuso y la disección hídrica está suavizando la topografía (Figura 10.5).

La unidad de laderas de lomas denudacionales se encuentra en los municipios de Pivijay, El Piñón, Cerro San Antonio en las veredas Vázquez, Tío Gollo, Las Piedras, Media Luna, Puerto Niño y Concepción. Representa el 3,71% del área total de la cuenca.

Figura 10.5. Laderas de lomas denudacionales



Superficie ondulada al SurEste de Tío Gollo. Coordenadas X=929809 Y= 1634026

10.3.4.2. *Unidades y subunidades en ambiente marino*

10.3.4.2.1. *Playa (Mpy)*
Son áreas de material no consolidado presente en la interface mar-continente, formadas por la sedimentación del mar. La geoforma se encuentra dentro de la llanura marina, está compuesta por arenas transportadas por el oleaje. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; corta y recta. Se presentan como procesos morfodinámicos la erosión costera (Figura 10.6) e inundaciones por oleaje. La geoforma de playa se encuentra en el municipio de Sitio Nuevo, vereda La Playita. Representa el 0,14% del área total de la cuenca.

Figura 10.6. Playa



Vista de la playa con fuerte oleaje que la erosiona. Vía Ciénaga – Barranquilla. Coordenadas X=942109 Y= 1709443

10.3.4.2.2. *Barra espiga (Mbe)*

Corresponde a superficies elongadas de arena construidas por las olas y las corrientes litorales de poca profundidad. Separa los cuerpos de aguas salobres con el mar abierto, la Barra de Salamanca separa la Ciénaga Grande de Santa Marta con el mar. La unidad se encuentra dentro de la llanura marina, está compuesta por arenas y lodos de origen marino.

El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; corta y moderadamente larga y convexa. En la unidad se presentan inundaciones por oleaje. La barra espiga se encuentra en el municipio de Pueblo Viejo, vereda Camino a La Playa y representa el 0,20% del área total de la cuenca.

10.3.4.2.3. *Plano de marea lodoso (Mpml)*

Superficie horizontal caracterizada por la presencia de aguas salobres, se encuentra protegida por cordones litorales o barras. La geoforma se encuentra dentro de la llanura marina, está compuesta por limos y arenas de origen marino y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y; recta. Se presentan como procesos morfodinámicos los encharcamientos e inundaciones.

El plano de marea lodoso se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo y Remolino, veredas Camino a La Playa, Calle Larga, Isla Pensilvania y La Playa. Representa el 3,71% del área total de la cuenca.

10.3.4.2.4. *Laguna costera (Mlc)*

Corresponde a depresiones ocupadas parcial o totalmente por agua, separadas del mar por una barrera, zonas de manglar o cordones litorales y con comunicación a mar; en esta unidad se encuentran las ciénagas. Su origen se asocia a la combinación de procesos marinos y la sedimentación aluvial del sistema deltaico de los ríos Magdalena y Fundación.

La unidad se encuentra dentro de la llanura marina, está compuesta por arenas finas, limos y arcillas de origen marino y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y cóncava. Por sus características los terrenos permanecen inundados.

La laguna costera se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo y Remolino, veredas Camino a La Playa, La Playa y La Playita, los habitantes de Nueva Venecia (Figura 10.7) y Buenavista construyeron viviendas en palafitos, históricamente han ocupado esas zonas y basan su economía en la pesca, pero la contaminación y salinización de las ciénagas los ha afectado. Representa el 26,03% del área total de la cuenca.

10.3.4.2.5. *Plano de marea con manglar (Mpmm)*

Superficie cenagosa, con abundante materia orgánica y presencia de mangle. La geoforma se encuentra dentro de la llanura marina, está compuesta por arenas, limos con vegetación halófita y abundante materia orgánica. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y recta. En la unidad se presentan inundaciones (Figura 10.8).

El plano de marea con manglar se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo y Remolino, veredas Camino a La Playa, Calle Larga, Condazo y La Playita. Representa el 10,01% del área total de la cuenca.

Figura 10.7. Laguna Costera



Nueva Venecia, población construida sobre palafitos en la Ciénaga Grande de Santa Marta.
Coordenadas X= 945441 Y= 1689266

Figura 10.8. Plano de marea lodoso



Vista del plano de marea lodoso por la presencia de vegetación halófita. Canal Sitio Nuevo – Nueva Venecia.
Coordenadas X= 941813 Y= 1687556

10.3.4.3. *Unidades y subunidades en ambiente eólico*

10.3.4.3.1. *Llanura arenosa (Ela)*

Superficie horizontal amplia cubierta por capas arenosas. Está compuesta por arenas transportadas por el viento. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; corta y moderadamente larga y convexo cóncava. En la unidad se presentan inundaciones. La llanura arenosa se encuentra en el municipio de Sitio Nuevo, vereda La Playita. Representa el 0,26% del área total de la cuenca.

10.3.4.3.2. *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. Está compuesta por arenas finas transportadas por el viento. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga y larga y recta. En la unidad se presentan inundaciones. El manto de arena se encuentra en el municipio de Pueblo Viejo, vereda Camino a La Playa. Representa el 0,42% del área total de la cuenca.

10.3.4.4. *Unidades y subunidades en ambiente fluvial y lacustre*

10.3.4.4.1. *Delta (Fdl)*
Superficie plana y elongada formada por canales del río Magdalena en su desembocadura. Está compuesta por arenas finas y limos de origen aluvial y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga y muy larga y recta. En la unidad se presentan inundaciones.

La geoforma de delta se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Remolino, Sitio Nuevo, veredas Camino a La Playa, Condazo, Isla Pensilvania, La Playa y a Trinidad. Representa el 2,61% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.2. *Plano de terraza nivel 1 (Fpt1)*
Superficie baja y plana resultante de la anterior sedimentación de un río. Está compuesta por arenas finas y limos de origen aluvial. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; larga, muy larga y extremadamente larga y recta. En la unidad se presentan encharcamientos.

El plano de terraza nivel 1 se encuentra en los municipios de El Piñón y Pivijay, veredas Campo Alegre, San Basilio, Tío Gollo, Media Luna. Representa el 2,60% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.3. *Plano de terraza nivel 2 (Fpt2)*
Superficie elevada y plana resultante de la sedimentación anterior de un cauce. Está compuesta por arenas finas y arcillas de origen aluvial. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana y suavemente inclinada (Figura 10.9); larga, muy larga y extremadamente larga y convexo cóncava. En la unidad se presenta escurrimiento superficial difuso.

El plano de terraza nivel 2 se encuentra en los municipios de El Piñón y Pivijay, veredas Sabanas, San Basilio, Tío Gollo, Vazquez, Las Piedras, Media Luna. Representa el 4,22% del área total de la cuenca.

En San Basilio (Figura 10.10), las arcillas presentan un comportamiento expansivo y sumado al lineamiento estructural, se generan frecuentes agrietamientos que afectan las construcciones y las vías no solo en centro urbano sino en la zona rural también.

10.3.4.4.4. *Cuencas de decantación (Fcd)*

Áreas depresionales que favorecen la retención del agua de escorrentía. La geoforma se encuentra dentro de la llanura de inundación del Río Magdalena, está compuesta por limos y arenas finas de origen aluvial y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y cóncava. En la unidad se presenta encharcamientos e inundaciones (Figura 10.11).

Las cuencas de decantación se encuentran en los municipios de El Piñón, Pivijay, Remolino y Sitio Nuevo, veredas Campo Alegre, Sabanas, San Basilio, Tío Gollo, Vazquez, Media Luna, Calle Larga, Camino a La Playa, Condazo, La Yegua, Isla Pensilvania y La Playa. Representa el 5,14% del área total de la cuenca.

Figura 10.9. Plano de la terraza aluvial nivel 2



Plano ondulado de la terraza aluvial, la disección ha suavizado la topografía. Cerca del caserío San Basilio. Coordenadas X= 935731 Y= 1641115

Figura 10.10. Agrietamiento en construcciones San Basilio



Son varias las construcciones que presentan agrietamientos, los habitantes cuando tienen los recursos realizan los arreglos peroen pocos meses se repite el proceso. Coordenadas de San Basilio X=935663 Y=1641128

Figura 10.11. Cuenca de decantación



Cuenca de decantación en el centro poblado de Media Luna, alterado por la construcción del terraplén para acceder al caserío, el agua de escorrentía no drena, por lo tanto las inundaciones son frecuentes. Coordenadas X= 952619 Y= 1654405

10.3.4.4.5. *Orillares (Fo)*
Se refiere a la geoforma derivada de la sedimentación del meandro en su parte interna; formada por el río Magdalena. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas aluviales. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y convexo cóncava. En la unidad se presentan inundaciones.

Los orillares se encuentran en los municipios de El Piñón, Remolino, Salamina y Sitio Nuevo, veredas Calle Larga, Campo Alegre, Carmen del Magdalena, El Rodeo, Isla pensilvania, La Playa y La Trinidad. Representa el 5,29% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.6. *Cauce (Fc)*
Lecho de los ríos y quebradas. La geoforma se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas y limos aluviales. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y recta. En la unidad se presentan inundaciones.

Los cauces se encuentran en los municipios de Remolino, Salamina y Sitio Nuevo, veredas Calle Larga, Camino a La Playa, Condazo, Carmen del Magdalena, Isla Pensilvania y La Trinidad. Representa el 0,49% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.7. *Cauce de quebradas (Fcq)*
Geoforma estrecha y alargada formada por la incisión del drenaje en la superficie. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del Río Magdalena, está compuesta por gravilla, arenas y limos aluviales. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y recta. En la geoforma se presentan inundaciones, para controlarlas se construyen diques (Figura 10.12).

La unidad de cauce de quebradas se encuentra en los municipios de Cerro de San Antonio, El Piñón, Pivijay y Remolino, veredas Concepción, Campo Alegre, San Basilio, Tío Gollo, Vazquez, Las Piedras y Condazo. Representa el 1,39% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.8. *Albardones (Fa)*
Geoforma elongada y estrecha formado por la sedimentación constante de un cauce. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas finas aluviales. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y convexa. En la unidad se presenta escurrimiento superficial difuso y socavación lateral.

Los albardones se encuentran en los municipios de El Piñón, Pivijay, Remolino, Salamina, Sitio Nuevo, veredas Campo Alegre, Tío Gollo, Carmen del Magdalena, Media Luna, Calle Larga, Camino

a La Playa, Condazo, La Yegua, Isla Pensilvania, La Playa, La Playita y La Trinidad. Representa el 5% del área total de la cuenca.

Figura 10.12. Cauce del caño Renegado



Cauce del caño Renegado, diques artificiales para controlar las inundaciones. San Rafael - Santa Rita. Coordenadas X= 937667 Y= 1662232

10.3.4.4.9. *Planicie de inundación (Fpi)*

Superficies planas horizontales formadas por la sedimentación aluvial. La geoforma se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas muy finas de origen aluvial y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y recta (Figura 10.13). En la unidad se presentan encharcamientos y procesos de salinización que limitan su uso.

La planicie de inundación se encuentra en los municipios de Cerro de San Antonio, El Piñón, Pivijay, Remolino, Salamina y Sitio Nuevo, veredas Puerto Niño, Campo Alegre, El Peñón, San Basilio, Tío Gollo, Carmen del Magdalena, Media Luna, Calle Larga, Camino a La Playa, Condazo, La Yegua, El Rodeo, Isla Pensilvania, La Playa y La Trinidad. Representa el 12,55% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.10. *Cubeta de desborde (Fcb)*

Superficie que favorece la deposición de sedimentos aluviales en sus fases de desborde. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas muy finas y limos de origen aluvial y lacustre.

El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga y cóncava. En la unidad se presentan inundaciones (Figura 10.14).

La cubeta de desborde se encuentra en los municipios de Cerro de San Antonio, El Piñón, Pivijay, Remolino, Salamina y Sitio Nuevo, veredas Puerto Niño, Campo Alegre, El Peñón, San Basilio, Tío Gollo, Carmen del Magdalena, Media Luna, Calle Larga, Camino a La Playa, Condazo, La Yegua, El Rodeo, Isla Pensilvania, La Playa, La Playita y La Trinidad. Representa el 16,08% del área total de la cuenca.

Figura 10.13. Planicie de inundación



Planicie de inundación de la Ciénaga Sacarta, sector Marsella. Municipio de Pivijay. Coordenadas X=936532 Y=1650733

Figura 10.14. Cubeta de desborde



Cubeta de desborde del caño Martinica, sector Vainillal. Coordenadas X= 935426 Y=1657774

10.3.4.4.11. *Cauce abandonado (Fca)*

Son meandros abandonados con forma semicircular, de medialuna; asociados al río Magdalena. La geoforma se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas y limos de origen aluvial.

El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; corta y moderadamente larga y cóncava. En la unidad se presentan inundaciones. El cauce abandonado se encuentra en el municipio de Sitio Nuevo, vereda La Trinidad. Representa el 0,10% del área total de la cuenca.

10.3.4.4.12. *Banco de arena (Fba)*
Geoforma resultante de la acumulación de arenas y gravas a lo largo de un río. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Magdalena, está compuesta por arenas aluviales. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; corta y moderadamente larga y cóncava. En la unidad se presentan inundaciones. Los bancos de arena se encuentran en los municipios de Salamina y Sitio Nuevo, veredas Campo Alegre, Carmen del Magdalena y El Rodeo. Representa el 2,30% del área total de la cuenca.

10.4. Procesos Morfodinámicos

En la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta se identificaron los siguientes procesos morfodinámicos, tanto agradacionales como degradacionales:

10.4.1. Inundaciones

Las lluvias generan el aumento del nivel de los cauces y cuerpos de agua, que sobrepasa la altura de los diques naturales o artificiales, la inundación corresponde al desbordamiento de las aguas y la paulatina inundación de las zonas planas adyacentes a los cauces. En la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta se presentan dos tipos de inundación, el primero que puede ser rápido, dependiendo de la energía de las olas y mareas, afecta la zona al Norte de la cuenca.

La segunda, corresponde a inundaciones lentas que afectan amplias zonas, por lo general se tienen áreas de amortiguación plano-cóncavos que reciben parte del agua excedente y la retienen durante meses, la situación se agrava cuando las vías de comunicación y los centros poblados se afectan, principalmente porque se limita el intercambio de bienes y servicios o se dificulta la atención de emergencias (Figura 10.15).

Figura 10.15. Inundaciones



Las mareas inundan a Pueblo Viejo, el terraplén de la vía a Barranquilla controla en gran parte estas inundaciones, aunque al otro de la vía la ciénaga es la que se desborda
Coordenadas X= 979272 Y=1708452



En Santa Rita el terraplén de la vía frecuentemente se inunda, limitando el acceso al caserío.
Coordenadas X= 938016 Y= 1668189

10.4.2. Encharcamiento

Cuando se tienen áreas plano-cóncavas no contiguas a cauces, en períodos lluviosos, el suelo se satura, por el alto contenido de arcilla y la poca capacidad de infiltración, haciendo que la lámina de agua que escurre quede cubriendo el terreno a manera de charco, estas áreas son importantes porque durante los períodos secos, disponen de agua para sustentar algunas actividades para ganadería o cultivos.

10.4.3. Socavación lateral

La socavación es un tipo de erosión hídrica que hace referencia a la pérdida del material del lecho y márgenes de un cauce, debido a la capacidad de transporte asociada a un evento hidrológico (Barbosa, 2013), como consecuencia de ello, se produce una pérdida o retroceso de los bordes altos que controlan el cauce. El cauce del río Magdalena aguas abajo de Salamina, presenta varios puntos donde se presenta el retroceso de bermas causado por la socavación lateral y puede afectar los diques artificiales que lo controlan.

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). En el caserío Palmira del municipio de Pueblo Viejo y varios tramos de la vía Ciénaga – Barranquilla (Figura 10.16), se presentan zonas con erosión costera, en el sector Boca de la Barra el proceso se presenta sedimentación.

Figura 10.16. Erosión costera



Erosión costera que amenaza con afectar la vía Ciénaga – Barranquilla. Coordenadas X= 941947 Y= 1709515

10.5. Conclusiones

La Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta por sus características morfogenéticas es muy sensible a la intervención antrópica y a los efectos de las inundaciones y erosión costera tanto en los ecosistemas como en las actividades productivas desarrolladas por los habitantes.

La dinámica del río Magdalena afecta gran parte de la zona de manera directa, en períodos lluviosos, cuando aumenta su caudal, se desborda en extensas áreas afectando la ganadería, cultivos, vías de acceso e infraestructuras; mientras en periodos secos, la población se ve afectada por la falta de agua para consumo humano y para el riego de las plantaciones y cultivos.

Al norte de la cuenca, por la energía de las olas la erosión costera es una amenaza que afecta el poblado de Pueblo Viejo y hace disminuir la barra Isla de Salamanca, amenazando de paso, la vía que comunica Barranquilla con 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 denudacional	Laderas de lomas denudacionales	Depósitos poco consolidados de arenitas, lodolitas	bajo	plana, suavemente inclinada e inclinada	larga y muy larga	convexo cóncava	Escurrimiento superficial difuso	Dld	10317,62	3,71	3,71
Ambiente marino	Llanura marina: Playa	Depósito de arenas transportadas por el oleaje	muy bajo	plana	corta	recta	Erosión costera e inundaciones por oleaje	Mpy	376,88	0,14	40,10
	Llanura marina: Barra espiga	Depósito de arenas y lodos	muy bajo	plana	corta y moderadamente larga	convexa	Inundaciones por oleaje	Mbe	554,46	0,20	
	Llanura marina: Plano de marea lodoso	Depósito de limos y arenas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Encharcamientos e inundaciones	Mpml	10316,50	3,71	
	Llanura marina: Laguna costera	Depósitos de arenas finas, limos y arcillas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	cóncava	Inundaciones	Mlc	72511,10	26,04	
	Llanura marina: Plano de marea con manglar	Depósito de arenas, limos con vegetación halófita y abundante materia orgánica	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Inundaciones	Mpmm	27883,53	10,01	
Ambiente eólico	Llanura eólica: Llanura arenosa	Depósito de arenas transportadas por el viento	muy bajo	plana	corta y moderadamente larga	convexo cóncava	Inundaciones	Ela	731,15	0,26	0,68
	Llanura eólica: Manto de arena	Depósito de arenas	muy bajo	plana	moderadamente larga y larga	recta	Inundaciones	Ema	1173,45	0,42	

Ambiente fluvial	Delta	Arenas finas y limos	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga y muy larga	recta	Inundaciones	Fdl	7267,25	2,61	55,51
	Plano de terraza aluvial nivel 1	Arenas finas y limos	muy bajo	plana	larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Encharcamientos	Fpt1	7237,11	2,60	
	Plano de terraza aluvial nivel 2	Arenas finas	muy bajo	plana y suavemente inclinada	larga, muy larga y extremadamente larga	convexo cóncava	Escurrimiento superficial difuso	Fpt2	11746,33	4,22	
	Llanura de inundación: Cuencas de decantación	Depósito de limos y arenas finas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	cóncava	Encharcamientos e inundaciones	Fcd	14319,02	5,14	
	Llanura de inundación: Orillares	Depósito de arenas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	convexo cóncava	Inundaciones	Fo	14727,30	5,29	
	Llanura de inundación: Cauce	Arenas y limos	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Inundaciones	Fc	1374,47	0,49	
	Llanura de inundación: Cauce de quebradas	Gravilla, arenas y limos	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Inundaciones	Fcq	3883,32	1,39	
	Llanura de inundación: Albardones	Depósito de arenas finas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	convexa	Escurrimiento superficial difuso	Fa	13923,71	5,00	
	Llanura de inundación: Planicie de inundación	Depósito de arenas muy finas	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	recta	Encharcamientos	Fpi	34936,17	12,55	
	Llanura de inundación: Cubeta de desborde	Depósito de arenas muy finas y limos	muy bajo	plana	moderadamente larga, larga, muy larga y extremadamente larga	cóncava	Inundaciones	Fcb	44779,29	16,08	
	Llanura de inundación: Cauce abandonado	Arenas y limos	muy bajo	plana	corta y moderadamente larga	cóncava	Inundaciones	Fca	274,66	0,10	
	Llanura de inundación: Banco de arena	Depósito de arenas	muy bajo	plana	corta y moderadamente larga	cóncava	Inundaciones	Fba	90,09	0,03	

11. CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS

El suelo como componente fundamental del medio físico-biótico de la cuenca complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta es muy variado como consecuencia de la diversidad geológica, geomorfológica, ecológica y ambiental; la dinámica fluvial y marina han 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 cuerpos de agua que realizan sus aportes a las ciénagas, éste uso obedece al cierre de dichos cauces por parte de algunos ganaderos de la zona, con lo cual se generan cambios en el funcionamiento hidrológico del manglar, en la estructura de la vegetación y en la calidad de las aguas y los suelos ya que las aguas salobres del mar han venido inundando de una manera más prolongada durante el año y ha ocasionado que ecosistemas tan sensibles como el manglar se hayan ido recogiendo cada vez más hacia los humedales; con relación a la calidad de los suelos, se debe anotar que por los problemas mencionados anteriormente, se está generando una alta producción de algas cianofíceas, las cuales producen altos niveles de toxicidad que afectan la biota del manglar y por supuesto de cualquier otro cultivo que se quiera implementar; de otra parte al evaporarse el agua del suelo, las sales suben a la superficie, produciendo costras salinas, que sobrepasan la concentración tolerada por cualquier planta, incluso el manglar.

Otros factores como la transformación del territorio, la interrupción de flujos de agua mencionados anteriormente, la contaminación orgánica por parte de los municipios que vierten sus aguas residuales sin tratamiento al complejo lagunar generan la necesidad de implementar programas de recuperación de áreas erosionadas y de conservación de ecosistemas estratégicos y 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; se debe recordar, que el complejo lagunar fue declarado humedal Ramsar en 1988 y reserva de la biosfera por la Unesco en el año 2000.

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 al interior de la cuenca, 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 de ordenamiento ambiental.

- 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. Metodología Para El Análisis De La Capacidad De Uso De Las Tierras

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, 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.

11.2.2. 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 para la Elaboración del Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra aplicado a POMCAS 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 el 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**).

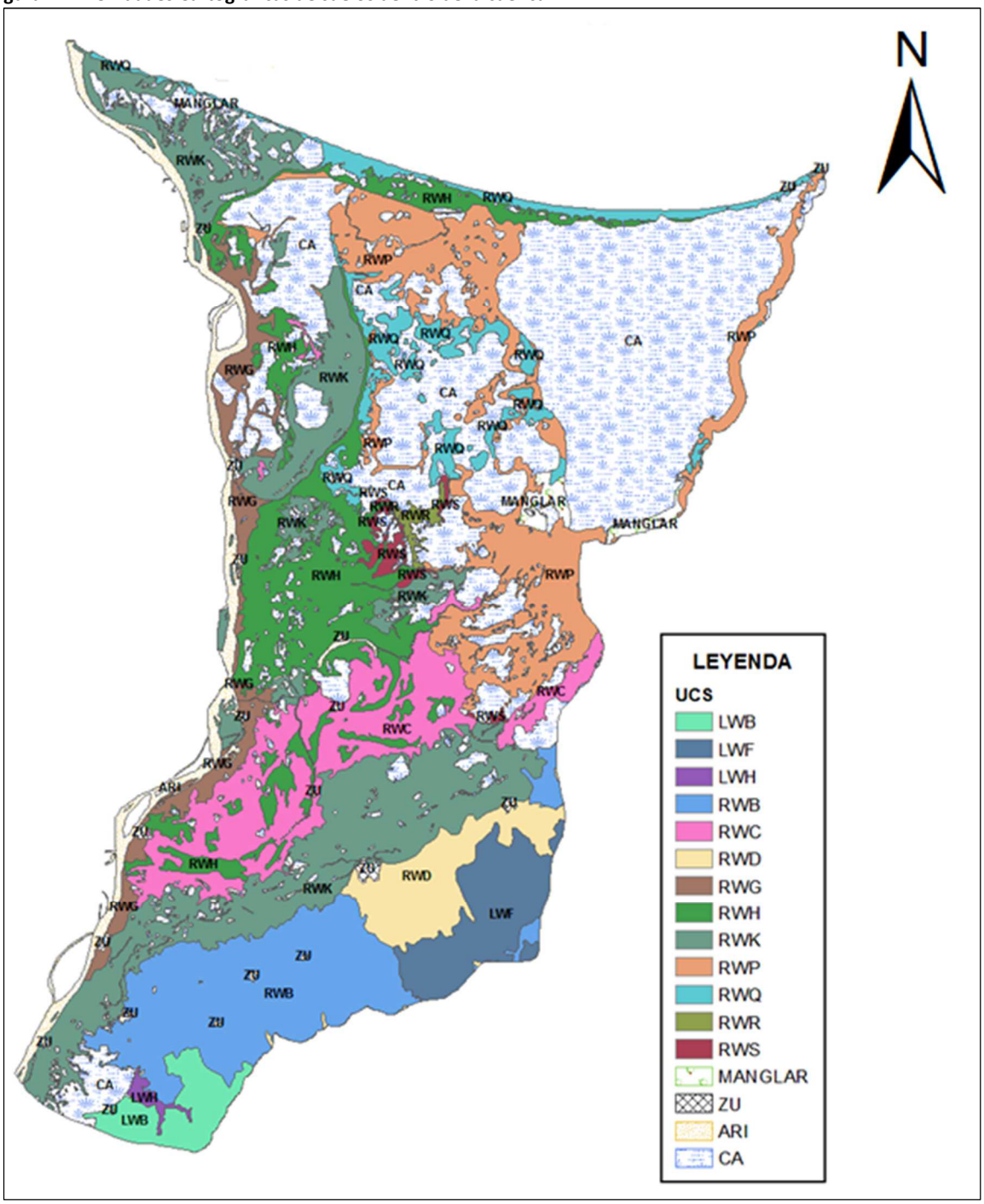
- Luego de realizada la anterior acción, se procedió a hacer el inventario de símbolos de las **Unidades Cartográficas de Suelos** y con estos se elaboró la leyenda del mapa general de suelos de la cuenca tomando la información del IGAC la cual se puede apreciar en la **Leyenda Del Estudio General de Suelos del Departamento de Magdalena (ANEXO 1).**

- 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.

Figura 11.1. Unidades Cartográficas de suelos dentro de la cuenca



11.3.1.1. *Los suelos de la Cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta en el contexto del estudio del IGAC (2009)*

Los ambientes edafogenéticos en la cuenca están enmarcados geomorfológicamente en los tipos de relieve de lomas, ondulaciones, colinas y vallecitos del paisaje de lomerío **(Tabla 11.1)** y en las terrazas, el plano de inundación y el plano de marea de las planicies aluvial y fluvio marina respectivamente; el clima ambiental es cálido seco y los materiales geológicos (litología / sedimentos) que fungen como el punto de partida de la génesis de los suelos son areniscas, arcillolitas con intercalaciones de lutitas y calizas en el lomerío y sedimentos heterométricos en las áreas planas que recibieron aportes de materiales transportados por el río Magdalena y sus afluentes y por influencia netamente marina (**Tabla 11.2**).

Las dinámicas fluvial y del mar en sus zonas de influencia han determinado la ocurrencia de numerosas formas del terreno las cuales, dada la escala (1:100.000) del estudio consultado (Opus cit), solo se mencionan tangencialmente en el texto, tal como se anotó en el . Estas expresiones fisiográficas son muy importantes para explicar condiciones de drenaje impedido, la influencia de las inundaciones y la ocurrencia de playones, ciénagas, marismas y otras manifestaciones de los humedales que rodean la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Tabla 11.1. Diversidad geomorfológica en la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta

PAISAJE	TIPOS DE RELIEVE	FORMAS DEL TERRENO*	UCS
Lomerío	Lomas y ondulaciones, colinas.	Laderas	LWB LWF
	Vallecitos.	napas	LWH
Planicie Aluvial	Terrazas	✓ Diferentes niveles ✓ Sectores depresionales	RWB RWC RWD
	Plano de inundación	✓ Causes abandonados ✓ Orillares ✓ Diques ✓ Cubetas de desborde y de decantación	RWG RWH RWK
Planicie Marina y Fluvio Marina	Plano de Marea	✓ Marismas ✓ Cubetas ✓ Cordón litoral ✓ Partes bajas y medias del playón	RWP RWQ

PAISAJE	TIPOS DE RELIEVE	FORMAS DEL TERRENO*	UCS
		✓ Reborde de ciénaga ✓ Márgenes de caños ✓ Áreas adyacentes a marismas y ciénagas ✓ Partes externas del playón.	RWR RWS

* Citadas en la descripción de las UCS

Tabla 11.2. Materiales geológicos (Litología / Sedimentos) a partir de los cuales se formaron los suelos de la Cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta

PAISAJE	LITOLOGIA / SEDIMENTOS	UCS
Lomerío	Areniscas, arcillolitas con intercalaciones de lutitas calcáreas.	LWB LWF
	Depósitos aluviales finos (vallecitos).	LWH
Planicie Aluvial	Depósitos aluviales finos y moderadamente finos.	RWB, RWC RWH, RWK
	Depósitos aluviales moderadamente gruesos y arenosos.	RWD RWG
	Depósitos heterométricos (limosos, franco gruesos y arcillosos).	RWP
Planicie Marina y Fluvio - Marina	Depósitos fluvio - marino arenosos y arcillosos.	RWQ
	Depósitos fluvio - lacustres moderadamente finos.	RWR
	Depósitos fluvio - lacustres finos.	RWS

11.3.1.1.2. *Condiciones de edafogénesis.*

Dadas las condiciones descritas, en la mayoría de los ambientes edafogenéticos los factores que direccionan la evolución de los suelos son las condiciones redoximórficas (régimen de humedad ácuico) que son indicadoras de avenamiento impedido acompañado, en sectores amplios, por el fenómeno del desbordamiento de las aguas (inundaciones) de frecuencia y duración variable**. (Tabla 11.3). y (Tabla 11.4)**

En el resto del territorio de la cuenca el régimen de humedad edáfico ústico predomina en la zona de estudio y cuando se combina con la topografía, el material parental y/o la presencia de sales y sodio da lugar a tres agrupaciones de ambientes edafogenéticos tal como aparece en el Vale la pena señalar que la salinidad y la sodicidad que afectan amplios sectores de las planicie aluvial y fluvio – marina solo se reflejan en la taxonomía de los suelos en el cuarto grupo (Subgrupo Natrustalf saládico); en otras partes únicamente conforman fases de las UCS afectadas.

Tabla 11.3. Ambientes edafogenéticos agrupados de acuerdo a los factores que direccionan la evolución de los suelos

FACTOR DE FORMACIÓN	GRANDES GRUPOS	PAISAJE
1. Drenaje impedido, condiciones redoximórficas, inundaciones, nivel freático alto, topografía plano - depresional.	Endoaquepts Fluvaquents Endoaquerts Haplofibrists	Planicies aluvial y fluvio marina
2. Régimen ústico, topografía ligera a moderadamente ondulada, erosión moderada, areniscas - arcillolitas.	Ustorthents Haplustepts Haplustults	Lomerío
3. Régimen ústico topografía plana, sedimentos heterométricos.	Haplustepts Ustifluvents Ustipsamments Haplusterts	Planicies aluvial y fluvio marina
4. Régimen ústico, contenido alto de sales y sodio, topografía plana.	Natrustalfs	Planicie aluvial

Tabla 11.4. Fases por pendiente, erosión, inundabilidad, sales y/o sodio en la Cuenca

FASES	UCS	PAISAJE
Clases por pendiente: 0 - 3%, 3 - 7%, 7 - 12%; erosión moderada.	LWB LWH LWF	Lomerío

FASES	UCS	PAISAJE
Clases por pendiente: 0 - 3%, 3 - 7%, 7 - 12%.	RWB	Planicie aluvial
Clase por pendiente: 0 - 3%.	RWC RWD	Planicie aluvial
Clase por pendiente: 0 - 3%; inundable.	RWG, RWQ* RWH, RWR* RWK, RWS*	Planicie aluvial Planicie fluvio - marina
Clase por pendiente: 0 - 3%; sales y/o sodio	RWP	Planicie fluvio - marina

11.3.1.1.3. *Los suelos en la pirámide taxonómica.*

Una mirada a los suelos, desde el punto de vista de su posición en la pirámide taxonómica, señala que hay 6 órdenes presentes: Inceptisol, Entisol, Vertisol, Alfisol, Histosol y Ultisol, siendo los tres primeros los responsables principales de la edafodiversidad en la cuenca, tal como aparece en la **(Tabla 11.5)**.

Tabla 11.5. Los suelos del Complejo de Humedales en la Pirámide Taxonómica

ORDEN	REGIMEN HUMEDAD	SUBGRUPO	PAISAJE
Inceptisol	Ústico	✓ Haplustepts típicos, verticos, fluvénticos, ácuicos.	Lomerío Planicie aluvial Planicie marina
	Ácuico	✓ Endoaquepts aéricos, vérticos.	Planicie aluvial Planicie marina
Entisol	Ústico	✓ Ustorthents típicos, líticos ✓ Ustifluvents típicos, aericos ✓ Ustipsamments típicos	Lomerío Planicie aluvial

ORDEN	REGIMEN HUMEDAD	SUBGRUPO	PAISAJE
	Ácuico	✓ Fluvaquents típicos, vérticos, aéricos, thaptohísticos ✓ Psammaquents típicos	Planicie aluvial Planicie fluvio marina
Vertisol	Ústico	✓ Haplusterts típicos, crómicos	Lomerío Planicie fluvio marina
	Ácuico	Endoaquerts típicos, crómicos	Planicie aluvial
Alfisol	Ústico	Natrustalf saládico	Planicie aluvial
Histosol	Ácuico	Haplofibrists hídricos	Planicie fluvio marina
Ultisol	Ústico	Haplustults típicos	Lomerío

11.3.1.1.4. *Características químicas relevantes de los suelos.*
En la (**Tabla 11.6**) se señala que cuando se examina la reacción (pH) de los suelos de la cuenca en combinación con el nivel de fertilidad y la ocurrencia o no de sales y/o sodio salta a la vista que en el paisaje de lomerío los suelos son normales, muy ácidos y con baja y alta fertilidad.

En las planicies aluvial y fluvio – marina ocurren sales en todas las UCS, menos en la asociación **RWB**; sorprende que en estos paisajes tanto la reacción de los suelos, como el nivel de fertilidad oscilan desde muy ácida hasta moderadamente alcalina la primera y desde bajo a alto el segundo, lo cual puede ser indicativo de la heterogeneidad en la composición química y/o mineralógica de los sedimentos depositados por el río Magdalena y de la dinámica de los eventos marinos.

Tabla 11.6. Características químicas relevantes de los suelos de la Cuenca Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta

CARACTERÍSTICAS	UCS	PAISAJE
Suelo muy ácidos y alcalinos, fertilidad, baja y alta; sin sales ni sodio.	LWC, LWH, LWF	Lomerío

CARACTERÍSTICAS	UCS	PAISAJE
Suelos muy y ligeramente ácidos, fertilidad baja y alta; sin sales ni sodio.	RWB	Planicie aluvial
Suelos muy ácidos y neutros, fertilidad baja y alta; con sales y sodio.	RWC RWD RWK RWR	Planicie aluvial Planicie fluvio - marina
Suelos muy ácidos y moderadamente alcalinos, fertilidad media y alta; con sales y sodio.	RWG, RWQ RWH, RWS RWP	Planicie aluvial Planicie fluvio - marina

11.3.1.2. *Vacíos de conocimiento, imprecisiones y errores en el estudio consultado (IGAC 2009).*
El análisis detenido del componente suelo de la Cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta señaló algunos vacíos de conocimiento, imprecisiones y errores que, de alguna manera, afectan la definición de la capacidad de uso de las tierras de acuerdo con las exigencias de discriminación y detalle de la escala 1:25.000, tal como lo ordena la autoridad ambiental. Estas deficiencias detectadas se relacionan en la tabla **(Tabla 11.7**) en el siguiente orden:

1. La unidad cartográfica **LWC** está conformada por suelos superficiales y profundos localizados en las colinas del paisaje de lomerío.

   La profundidad efectiva para el crecimiento de las raíces de las plantas es un criterio importante para la inclusión de los suelos a nivel de clase y subclase agrológica por lo que es necesario separar los suelos disimiles.

2. Los términos ondulaciones, lomas y colinas para designar los tipos de relieve en los cuales ocurren las unidades **LWB y LWF**, así como la relación de materiales parentales (areniscas, arcillolíticas con y sin intercalaciones de areniscas) dificultan la identificación de los respectivos ambientes edafogenéticos y generan dudas respecto a la necesidad de crear dos UCS en vez de una.

3. El IGAC mezcló en un solo paisaje la planicie aluvial (terrazas, plano de inundación) y la planicie fluvio – marina (plano de marea) lo que se considera equivocado por la dificultad que crea para entender el mosaico edáfico en la zona plana de la cuenca.

4. Los materiales parentales en las dos planicies están muy pobremente definidos lo cual dificulta la percepción de la edafodiversidad a nivel de familia y la identificación del fenómeno de salinidad y/o sodicidad.

5. En las unidades **RWB y RWC** la profundidad efectiva esta mal definida; en la primera los suelos son profundos (no se detectó limitante alguna para el crecimiento de las raíces de las plantas) y en la segunda superficiales por la condición salina y sódica.

6. En las unidades **RWG y RWS** no existen suelos imperfectamente drenados; los suelos constituyen asociaciones de componentes edáficos bien y pobremente drenados.

7. Los reportes sobre ocurrencia de sales y/o sodio en los suelos, sin que este fenómeno afecte la taxonomía de los mismos, ni se manifieste cartográficamente a nivel de fases, sugiere que el problema ocurre en los horizontes profundos del perfil, lo cual debe ser precisado como requisito previo a la definición de la capacidad de uso de las tierras de la cuenca.

8. En el caso de las fases por inundación hace falta precisar la frecuencia y la duración del desbordamiento de las aguas por el impacto que estos parámetros tienen en la clasificación agrologica.

9. Llama la atención la ocurrencia de suelos del orden Ultisol (asociación **LWF**) en el paisaje de lomerío de la cuenca, por su alto grado de evolución y de desaturación; por esta razón se considera útil corroborar su existencia y hallarle una explicación, en el convencimiento de que a más conocimiento de los componentes del mosaico edáfico del área de estudio, mejor resultará el análisis de la capacidad de uso de las tierras de la unidad hidrológica.

10. Otro hecho que generó curiosidad durante el estudio realizado fue la amplitud de los límites de las propiedades químicas analizadas (pH, fertilidad natural) en una misma unidad cartográfica; el caso podría estar relacionado con la heterogeneidad de los sedimentos a partir de los cuales han evolucionado los suelos en las planicies aluvial y fluvio – marina y con la presencia de sales y sodio por lo que corroborar el fenómeno y explicarlo constituye una tarea cuyos resultados ayudarán a incrementar el conocimiento de los suelos en el área de interés.

11. La no discriminación de las formas del terreno obliga a hacerlo mediante fotointerpretación y trabajo de campo en aquellos sectores de las planicies en las que es indispensable delimitar, con precisión, los suelos con drenaje bueno, imperfecto y pobre, así como señalar la frecuencia y la duración de las inundaciones, y/o la presencia de sales en los suelos.

12. La heterogeneidad de la distribución de partículas por tamaño (**textura**), que se advierte en el estudio general, es otro factor que se requiere atención particularmente para identificar clases texturales extremas (muy arcillosa o arenosa) y familias texturales contrastantes cuyo impacto en la clasificación de las tierras por su capacidad de uso es significativo.

Tabla 11.7. Vacíos de conocimiento, imprecisiones y errores en el estudio de suelos consultado (IGAC, 2009)

DEFICIENCIAS DETECTADAS	UCS
1. Suelos contrastantes asociados: Entisol lítico e Inceptisol profundo.	LWB
2. Términos como ondulaciones y colinas en el paisaje de lomerío y los materiales parentales similares dificultan la identificación de los ambientes edafogenéticos.	LWB LWF
3. La planicie aluvial del río Magdalena y sus tributarios (terrazas, plano de inundación) mezclada, en la leyenda, con la planicie fluvio - marina (plano de marea) crea confusión	RWB, RWC RWD, RWG RWH, RWK RWP, RWQ RWR, RWS
4. Materiales parentales pobremente definidos	Todas las UCS en las planicies aluvial y fluvio marina
5. Apreciación errada de la profundidad efectiva	RWB RWC
6. Drenaje natural mal calificado (imperfecto no existe)	RWG RWS
7. La ocurrencia de sales y/o sodio se reporta, pero no afecta la taxonomía, ni constituye fases; ¿Está el problema salino en la sección inferior del perfil?	RWD, RWG RWH, RWK RWQ, RWR RWS
8. Las fases por inundación no tienen, en el texto, indicación precisa de la frecuencia y la duración del fenómeno de desbordamiento de los causes.	RWG, RWH RWK, RWP RWQ, RWR
9. ¿Los suelos del orden Ultisol (Haplustuls) del lomerío realmente existen?	LWF
10. Tanto la reacción (pH) de los suelos, como la fertilidad y otras propiedades químicas tienen límites de variación demasiados amplios en la mayoría de las UCS.	Algunos ejemplos: LWB, RWB, RWC RWG, RWH RWK, RWP
11. Las formas del terreno que se mencionan en el texto del IGAC (2009) correspondientes a la planicies aluvial y fluvio - marina son muy variadas y están estrechamente relacionadas con el drenaje natural y con los sectores inundables de la cuenca; constituyen, por lo tanto, una guía para la fotointerpretación y el trabajo de campo.	Las 10 UCS de tales paisajes

DEFICIENCIAS DETECTADAS	UCS
12. La apreciación textural registrada en los perfiles modales de las poblaciones de suelos asociadas sugiere una situación heterogénea que debe ser analizada en función de la capacidad de uso de las tierras.	Todas las UCS

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.

Para la construcción de la leyenda geomorfopedológica se utilizaron los documentos y las capas generadas por otros componentes, para la consulta detallada de ésta información se deberán consultar en sus respectivos capítulos a excepción del componente geomorfológico el cual será tratado con mayor detalle en el numeral **(11.3.2.7)**, de igual manera la capa de geomorfología generada mediante la metodología de Alfred Zinck podrá ser consultada en la base de datos (gdb).

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; la metodología y la capa (léase shp) podrá ser consultada en el capítulo 7 (Pendientes del Terreno).Las fases por pendientes que se generaron digitalmente fueron comprobadas en campo.

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);** la metodología y la capa (léase shp) podrá ser consultada en el capítulo 4 (Geología).

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 el **(ANEXO 2)** y la representación cartográfica en la **(Figura 11.7)**, el informe puede ser consultado más adelante.

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 11.4);** la metodología y la capa (léase shp) podrá ser consultada en el capítulo 3 (Clima).

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 11.5)**

11.3.2.6. *Salinidad*

Mediante el uso y la integración en un ambiente SIG de imágenes satelitales Landsat 7, 8 y los resultados de laboratorio de los cuales se usaron los datos de las pruebas de conductividad eléctrica. PSI, RAS (relación de absorción de sodio) para la construcción del mapa de salinidad el cual fue usado. **(Figura 11.6)**

Figura 11.2. Figura del Mapa de pendientes de la cuenca

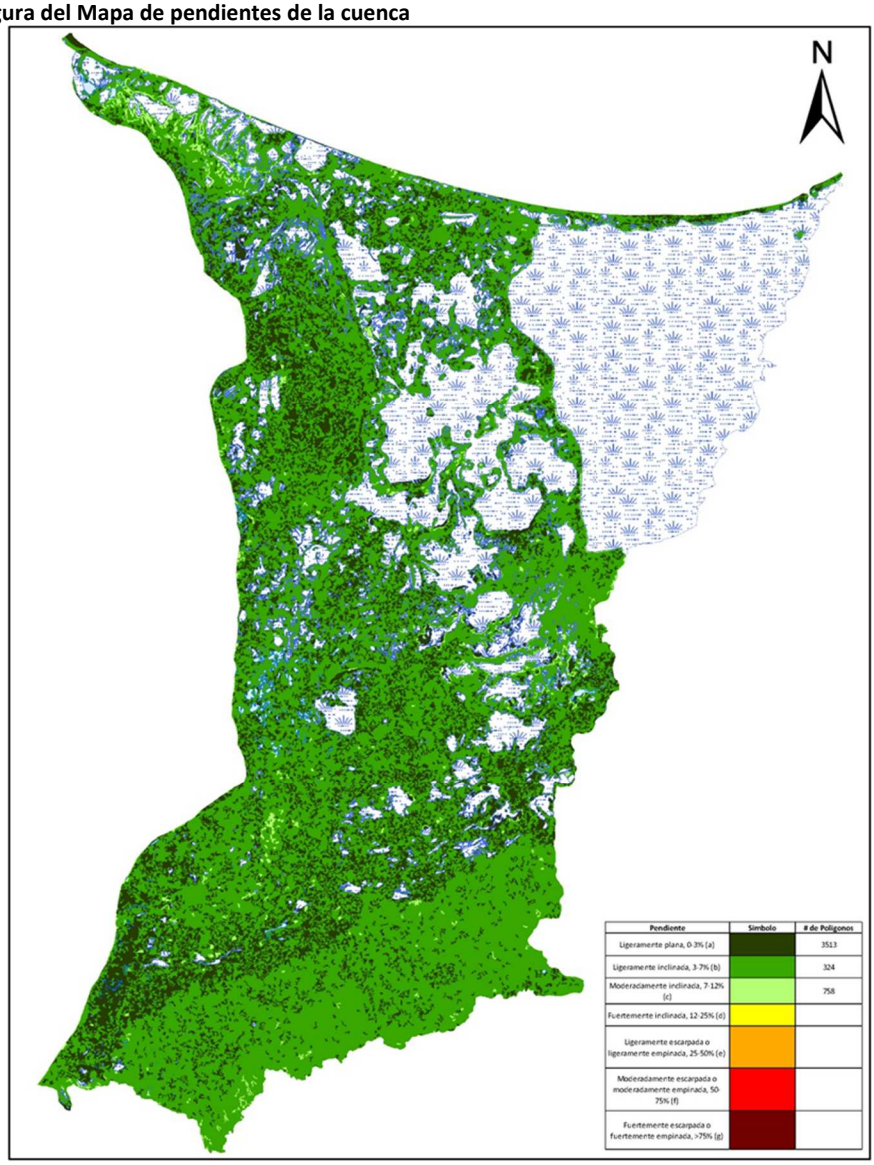


Figura 11.3. Figura del mapa geológico de la cuenca

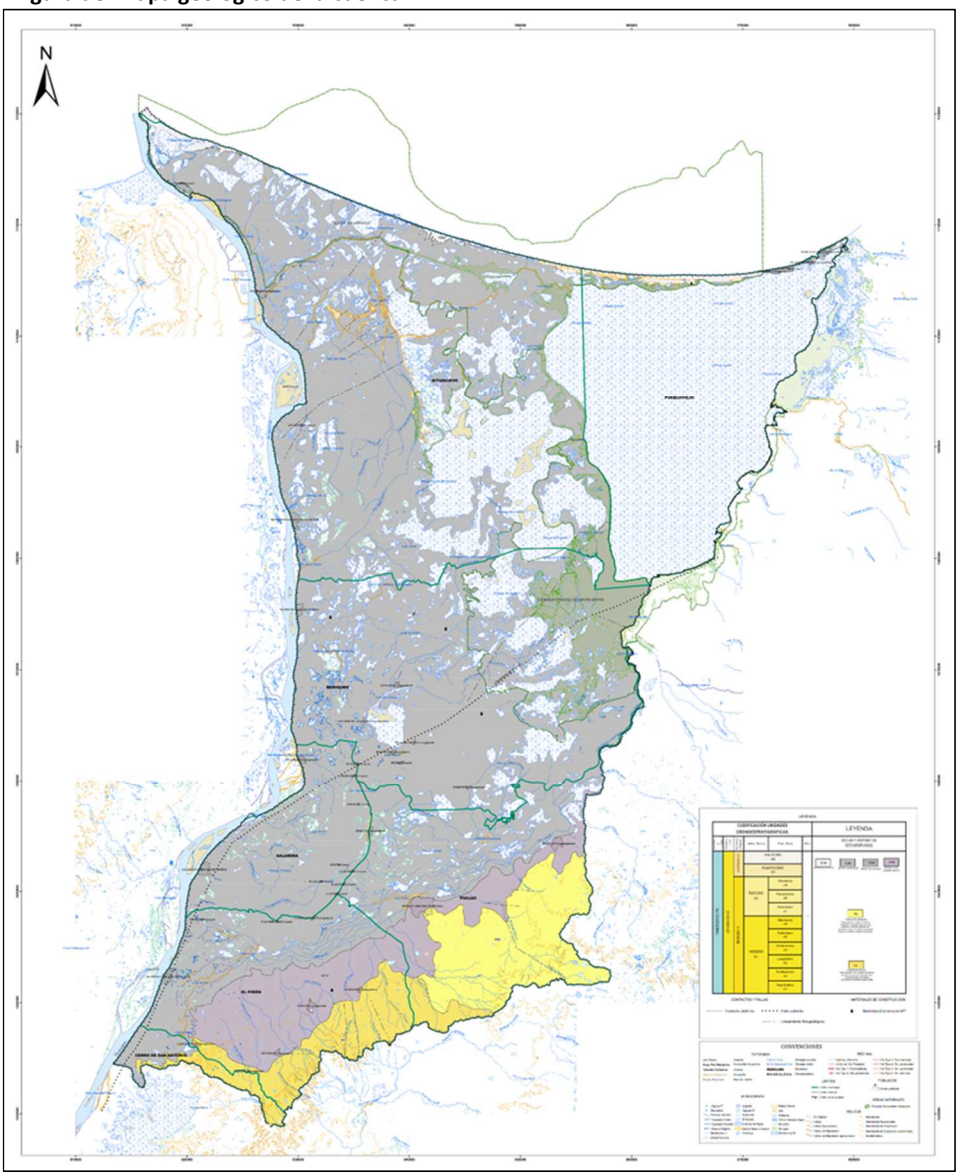


Figura 11.4. Figura del mapa climático de la cuenca

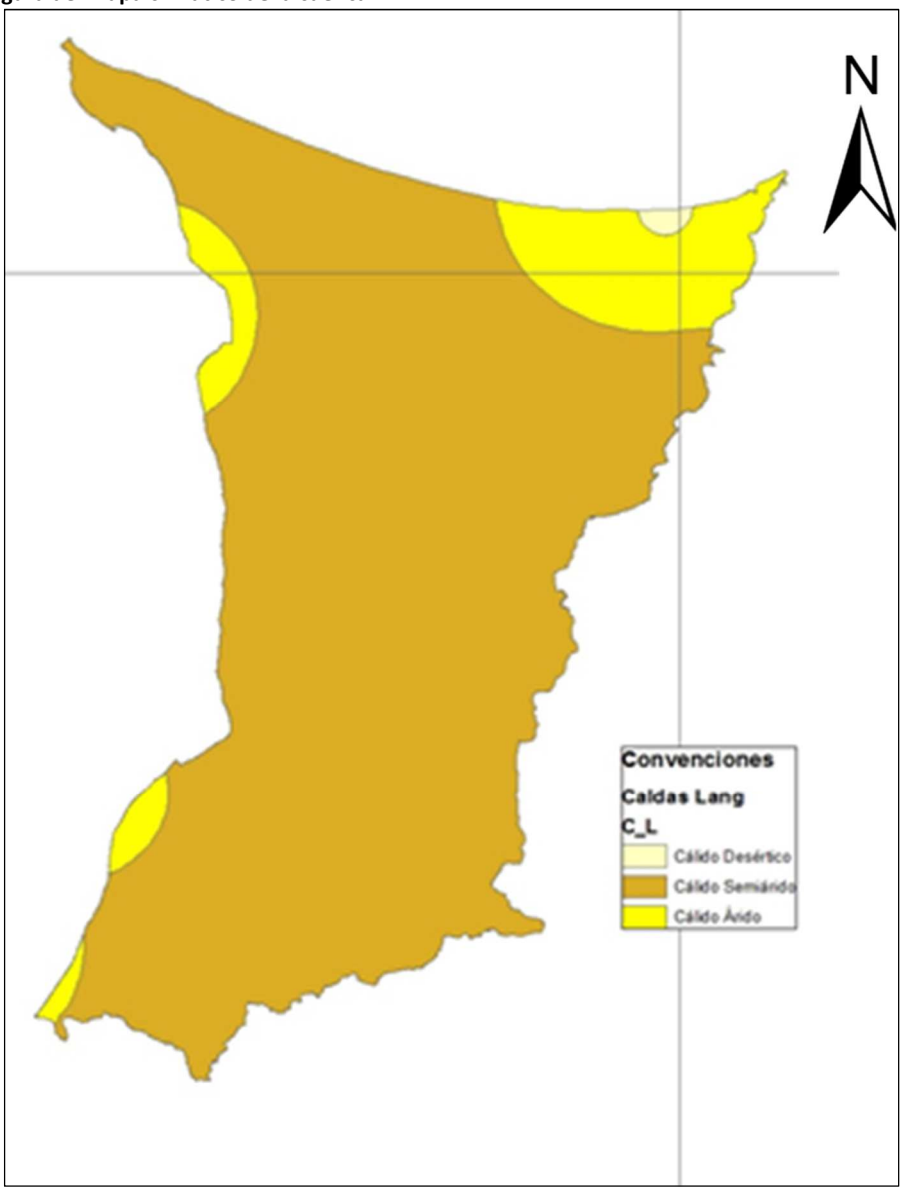


Figura 11.5. Figura del mapa de erosión

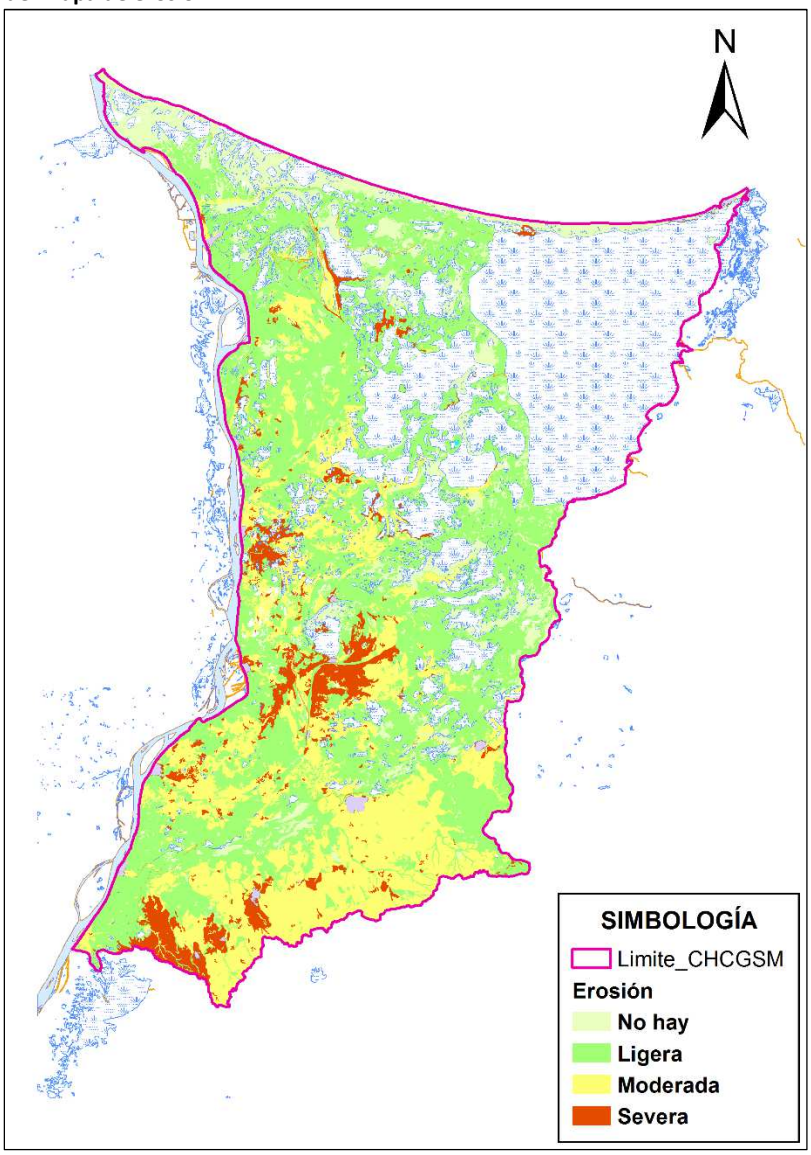


Figura 11.6. Figura del mapa de salinidad de la cuenca

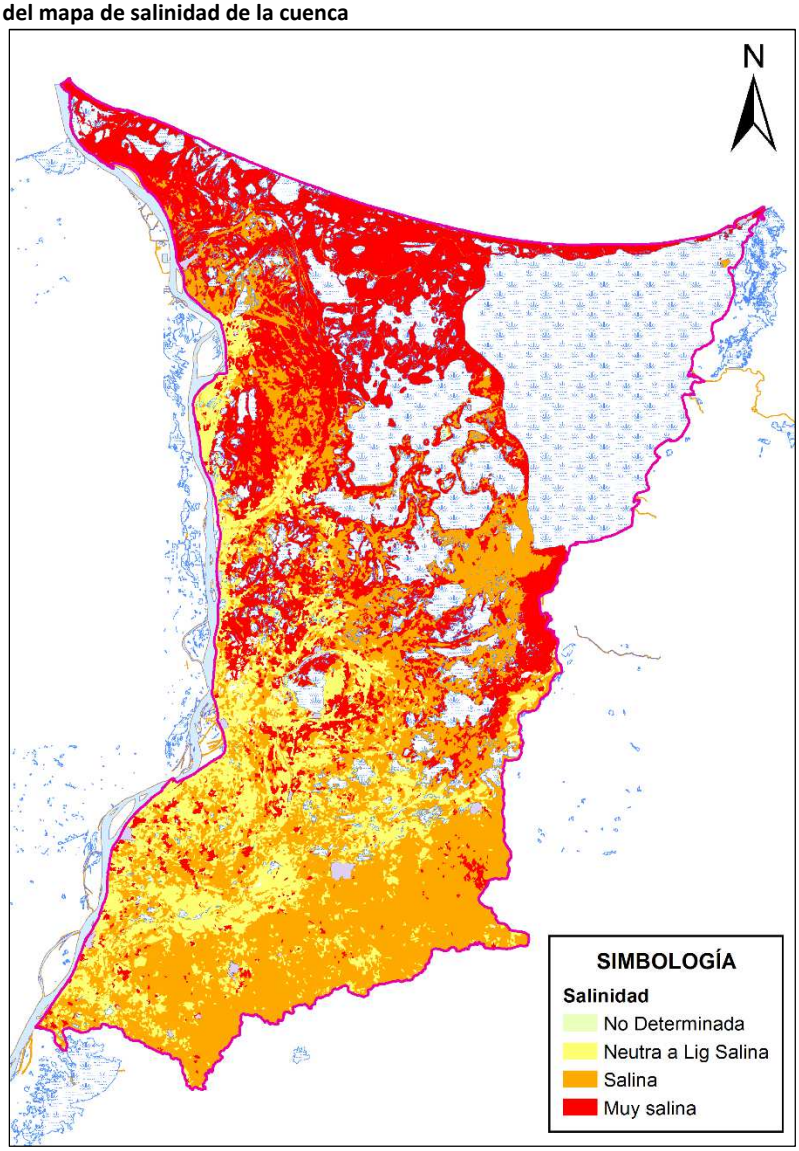
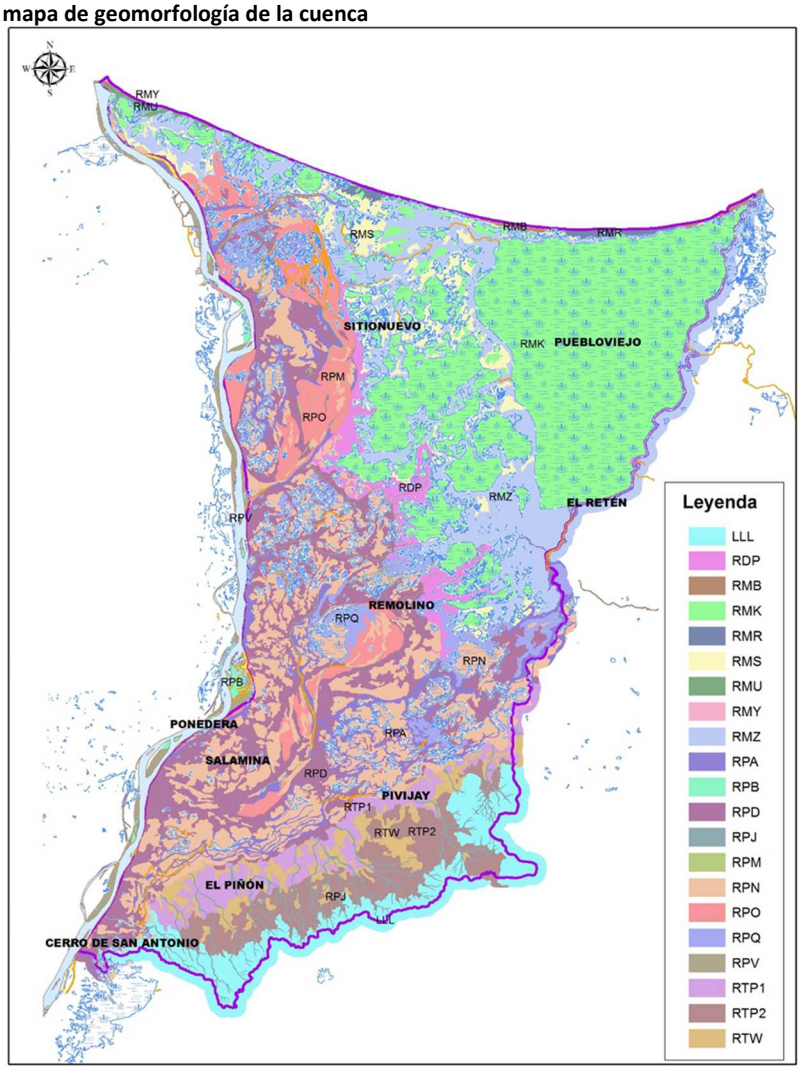


Figura 11.7. Figura mapa de geomorfología de la cuenca



11.3.2.7. *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, estos movimientos originaron el desplazamiento de la Sierra Nevada, lo cual 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.

En este numeral se presentan las características de las geoformas del área de la cuenca de humedales de la ciénaga Grande de Santa Marta, considerando la génesis, evolución y litología que ayudaron a configurar los suelos identificados.

11.3.2.7.1. *Generalidades*

La cuenca se caracteriza por ser una planicie que incluye un sistema de lagunas interconectadas por caños, hacia el occidente, la planicie anterior se entremezcla con la superficie de desbordamiento lateral del río Magdalena. La evolución de esta cuenca está ligada a las acciones fluviales y marinas como transgresiones y regresiones marinas, a una actividad eólica y al levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta.

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.

11.3.2.7.2. *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 **(Tabla 11.8)** 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 Humedales de la Ciénaga de Santa Marta se encuentra una geoestructura correspondiente a la cuenca de sedimentación del río Magdalena; esta Megacuenca de sedimentación está directamente asociada a los procesos de depositación continental, marino y transicional que se extiende a lo largo del valle inferior del Magdalena y de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

- 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: denudacional en el lomerío y deposicional en la planicie.

- 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 Humedales de la Ciénaga de Santa Marta se presentan los paisajes de lomerío y planicie fluvio marina.

- 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.

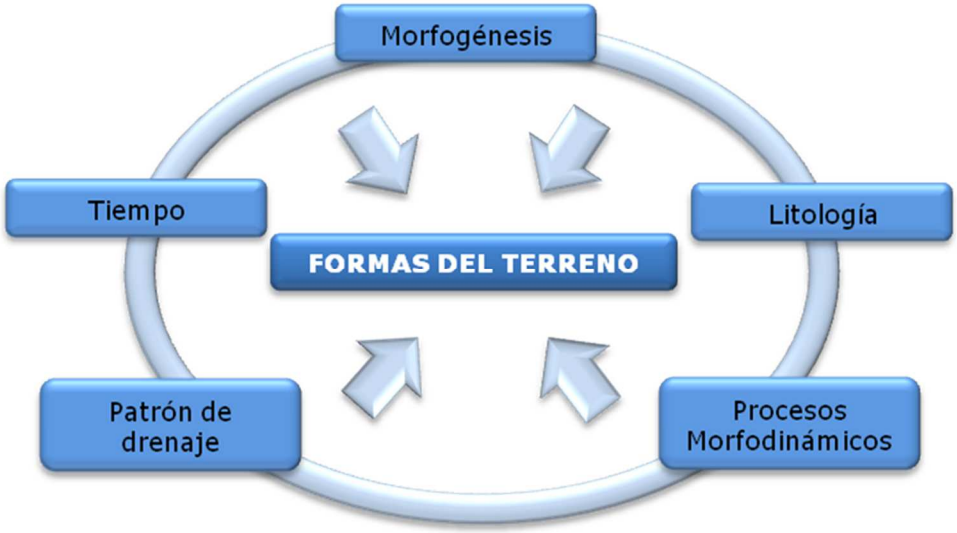
En la **(Figura 11.8)** se puede apreciar de manera resumida lo explicado anteriormente

Tabla 11.8. 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	

Las unidades geomorfológicas que se identificaron para la cuenca de Humedales de la Ciénaga de Santa Marta 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 2. Como resultado de ello se identificaron los paisajes geomorfológicos de Lomerío y Planicie Fluvio marina, dentro de los cuales se identificaron los tipos de modelados y sus respectivas formas del terreno y litología.

Figura 11.8. Factores considerados en la identificación de las formas del terreno



11.3.2.7.3. *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 **(Tabla 11.9).**

Tabla 11.9. 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 **(Tabla 11.10**) se hace la relación de insumos como cartografía e imágenes de satélite que fueron utilizadas para el proceso de interpretación.

Tabla 11.10. Información utilizada para el análisis geomorfológico

Material		Fuente
Cartografía básica 1:25.000	Geodatabase	IGAC
Mapas geológicos escala 1:100.000	Planchas 16-17, 18, 24, 25, 31 y 32	SGC
Imágenes de satélite RapidEye: 15474476_177385, 14775271_173606, 14772909_173606 y 13797912_168296	Tomadas: 12 de enero de 2014, 16 de noviembre de 2016, 29 de octubre de 2013 y 27 de enero de 2013	Corpamag
Ortofotomosaico 1:25.000	Planchas 17, 18, 24, 25, 31 y 32	Corpamag

11.3.2.7.4. *Información secundaria*

Para la cuenca se consultó 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.

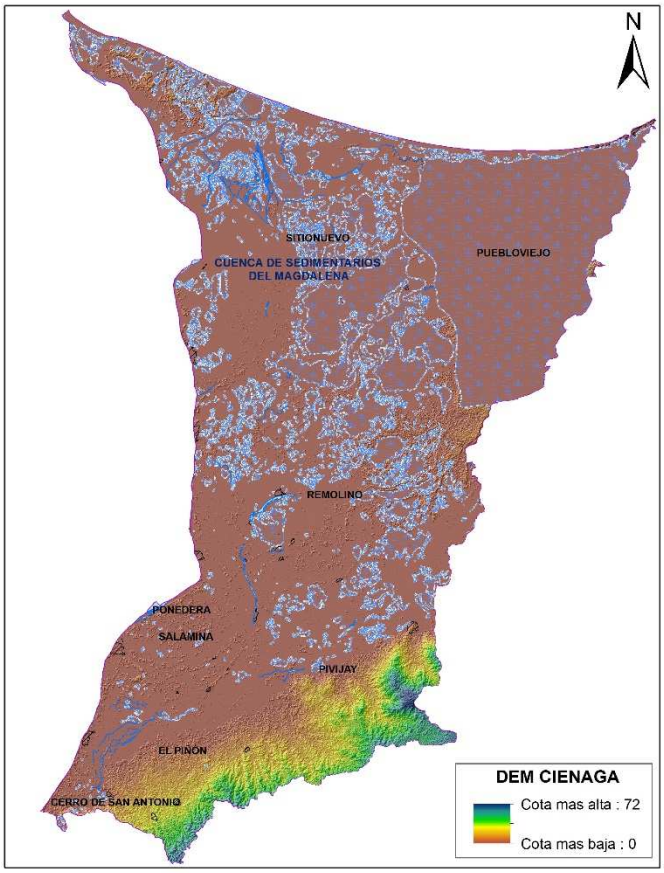
11.3.2.7.5. *Unidades geomorfológicas en la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta*

De acuerdo con la metodología de Zinck (2012), para la cuenca hidrográfica del complejo de humedales se identificaron seis niveles jerárquicos: geoestructura, ambiente morfogenético, paisaje, relieve/modelado, litología y formas del terreno. Los cuales son explicados a continuación.

- 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 y el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta. Como se mencionó anteriormente, para la cuenca del complejo de Humedales se identificó una geoestructura correspondiente a la Megacuenca de sedimentación **(Figura 11.9**).

Figura 11.9. Geoestructuras para la cuenca del complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



La Megacuenca de sedimentación corresponde a una amplia depresión compuesta por sedimentos erosionados de la Sierra Nevada de Santa Marta, la sedimentación del río Magdalena y de la sedimentación marina y costera; la parte correspondiente al lomerío también hace parte de la cuenca de sedimentación pues sus materiales son depósitos no consolidados del Neógeno que han sido disectados por las corrientes hídricas.

- ❖ 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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande se tienen como ambientes morfogenéticos el denudacional y el deposicional.

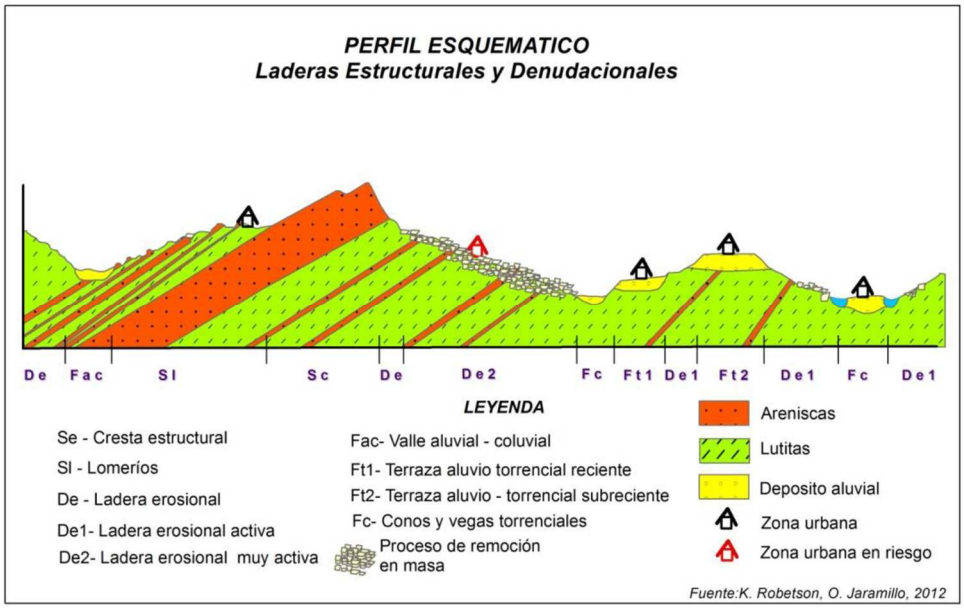
- ➢ Denudacional

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.

Solamente el 4% del área total de la cuenca y que corresponde específicamente al paisaje de lomerío presentan geoformas con características denudacionales, éstas se localizan en el sur de la cuenca desde Cerro de San Antonio, Cantallagar, Vázquez hasta el sur de Pivijay y Media Luna, las geoformas configuran relieves de lomas de hasta de 50 m.s.n.m., que hacen las veces de divisorias de agua con la cuenca de la quebrada Zapayán y la Ciénaga Cerro de San Antonio, están compuestas por arcillolitas alteradas, areniscas y lodolitas de las formaciones Rancho y Zambrano. El drenaje es dendrítico, presentando cauces permanentes tributarios de los arroyos Pachecho y Palma de Vino, pero en su mayoría se tienen drenajes intermitentes que se activan en momentos y períodos de lluvia. La disección del drenaje funciona retocando y suavizando la topografía; en la figura **(Figura 11.10)** se puede apreciar un perfil esquemático de los ambientes denudacionales.

Figura 11.10. Perfil esquemático con laderas estructurales y denudacionales.



Fuente: IDEAM, guía para mapas geomorfológicos (2013).

- Deposicional

El ambiente deposicional está dominado por la influencia de dos tipos de aportes de sedimentos, uno de origen fluvial el cual se efectúa por acción de las corrientes de agua dulce, este ambiente está asociado al delta del río Magdalena, formando niveles de terraza, planos de inundación, orillares, albardones y demás formas asociadas a este tipo de relieves; el otro origen de los depósitos está relacionado con la acción marina, la cual se origina por efecto de los oleajes y la acción de las mareas, las cuales alcanzan a ingresar hasta el complejo de humedales dejando depósitos que han ido formando las barras y playas, las cuales actualmente están siendo afectadas por erosión.

- 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 del complejo de Humedales se definieron dos paisajes geomorfológicos que corresponden al lomerío y la planicie fluvio marina**(Figura 11.12)** y **(Tabla 11.11)**, los cuales son explicados a continuación, la distribución y el porcentaje de estos se puede apreciar en la figura **(Figura 11.11).**

Figura 11.11. Distribución de los diferentes paisajes



Figura 11.12. Paisajes dentro de la cuenca del Complejo de Humedales

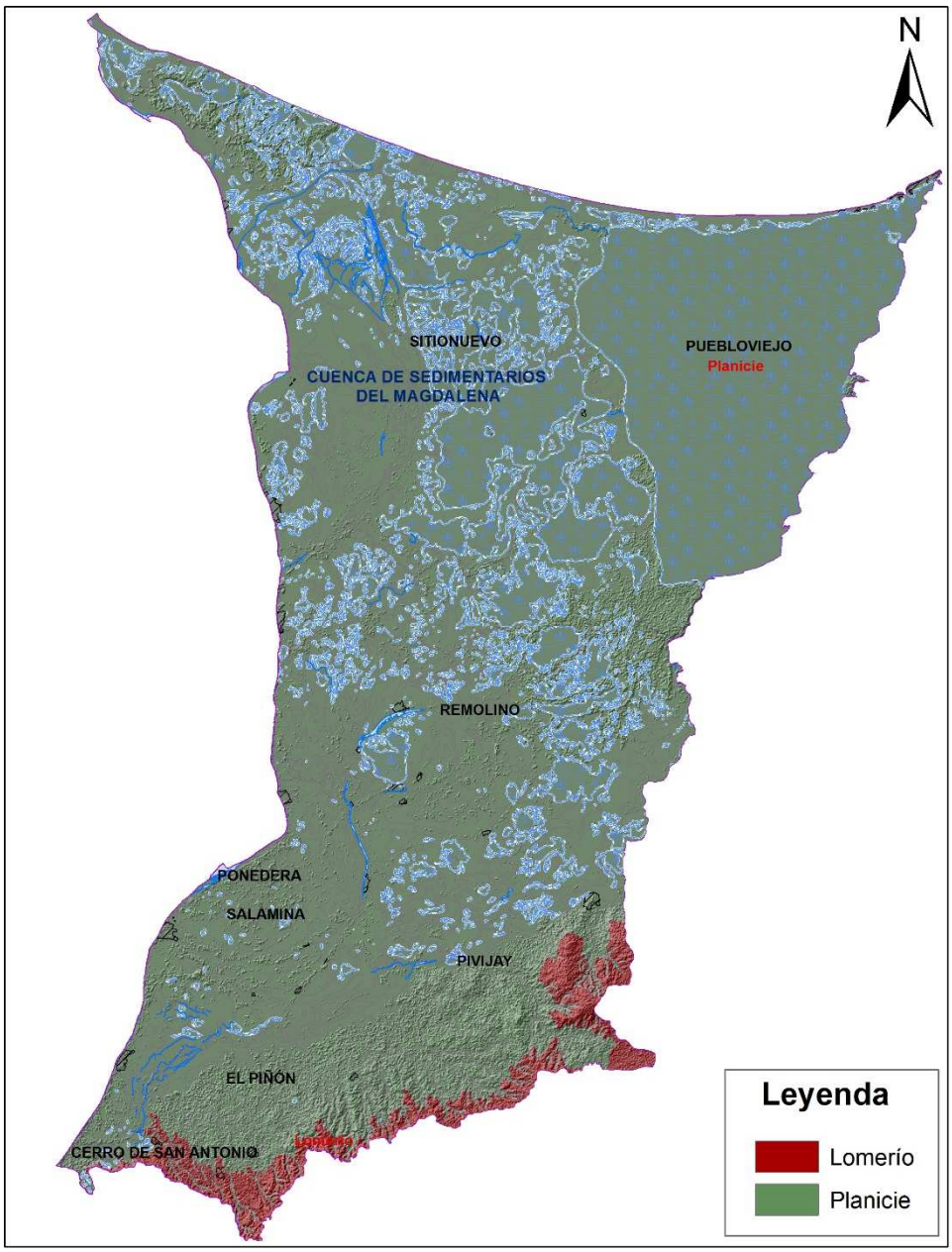


Tabla 11.11. Leyenda geomorfología (Metodología Alfred Zinck)

LEYENDA DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA CUENCA COMPLEJO DE HUMEDALES DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA (Zinck)						
Paisaje	**Relieve**	**Terreno**	**Litología**	**UGM**	**Área_ha**	**Área_%**
Lomerío	Lomas	Ladera	Depósitos poco consolidados de arenitas, lodolitas	**LLL**	10 317.62	3.7
	Vallecito	Vega	Depósitos de material aluvial con aportes laterales	**LVW**	897.27	0.3
Planicie fluvio-marina	Marisma	Playa	Depósito de arenas transportadas por el oleaje	**RMY**	376.88	0.1
		Barra	Depósito de arenas transportadas por el oleaje	**RMB**	554.46	0.2
		Plano de marea lodoso	Depósito de limos y arenas	**RMS**	10 316.50	3.7
		Laguna costera (Albúfera)	Arenas finas, limos y arcillas	**RMK**	72 511.10	26.0
		Llanura arenosa (Dunas)	Depósito de arenas transportadas por el viento	**RMU**	731.15	0.3
		Manto de arena	Depósito de arenas	**RMR**	1 173.45	0.4
		Plano de marea con manglar	Depósito de arenas, limos con vegetación halófita	**RMZ**	27 883.53	10.0
	Delta	Plano	Arenas finas y limos	**RDP**	7 267.25	2.6
	Terraza aluvial	Plano terraza nivel 1	Arenas finas y limos	**RTP1**	7237.11	2.6
		Plano terraza nivel 2	Arenas finas	**RTP2**	11746.33	4.2
		Depresión	Depósito de limos y arenas	**RTW**	6 244.88	2.2
	Plano de inundación	Orillares	Depósito de arenas	**RPO**	14 727.30	5.3
		Vega (cauce)	Arenas y limos	**RPV**	1 374.47	0.5
		Vega	Gravilla, arenas y limos	**RPJ**	2 986.05	1.1
		Albardón	Depósito de arenas finas	**RPA**	13 923.71	5.0
		Napa de desborde	Depósito de arenas muy finas	**RPD**	34 936.17	12.5
		Cubeta de desborde	Depósito de arenas muy finas y limos	**RPN**	44 779.29	16.1
		Cubeta de decantación	Depósito de limos y arenas muy finas	**RPQ**	8 074.13	2.9
		Meandro y cauce abandonado	Arenas y limos	**RPM**	274.66	0.1
		Bancos de arena	Depósito de arenas	**RPB**	90.09	0.03
TOTAL					278 423.41	100.0

- Paisaje de Lomerío

El paisaje de Lomerío se caracteriza por la presencia de lomas alargadas, compuesta por depósitos poco consolidados de arenitas, lodolitas y arcillolitas con diferentes grados de alteración, presentan inclinaciones suaves y hay procesos de escurrimiento superficial difuso.

El paisaje de lomerío denudacionale se encuentra hacia la parte sur de la cuenca en los municipios de Pivijay, El Piñón, Cerro San Antonio en las veredas Vázquez, Tío Gollo, Las Piedras, Media Luna, Puerto Niño y Concepción. Representa casi el 4% del área total de la cuenca. En este paisaje se identificaron como tipos de relieve las lomas y los vallecitos.

- Lomas

Son tipos de relieves o modelados que presentan una forma alargada con diferencias de altura inferiores a los 50 m, cimas angostas o amplias de forma convexa (3-12%) y laderas convexo-cóncavas con pendientes entre el 3 y el 12%. Para el área de interés, las lomas se componen de lodolitas, arcillolitas y arenitas.

Dentro de este tipo de relieve se identificó como formas de la tierra las laderas.

- Vallecitos

Son tipos de relieve originados por la erosión hídrica, su inclinación generalmente varía entre 0 y 7%, con formas rectas y poca profundidad de cauce, el patrón de drenaje es subparalelo a dendrítico con una densidad baja; estos preseentan como forma del terreno el talud y fondo.

- Paisaje de Planicie fluvio marina

El paisaje de planicie corresponde a una porción del terreno extensa, plana, no confinada, de posición baja, con poca energía del relieve y pendientes suaves (Zinck, 2012). Para el área de la cuenca este paisaje es formado por la dinámica del río Magdalena y las aguas provenientes del mar Caribe, ocupa casi el 96% de la cuenca está altitudinalmente entre los 0 y los 45 metros.

Esta unidad se encuentra desarrollada sobre depósitos cuaternarios constituidos por sedimentos débilmente consolidados de origen marino transicional y de origen continental o fluvial; por eso el término de fluvio marina, porque los aportes a la Megacuenca han provenido tanto de los aportes de agua dulce de los diferentes caños y el río Magdalena, como por los oleajes y las crecientes marinas. La planicie con influencia fluvial comienza al norte desde el mar caribe como un bloque ancho, mientras que hacia el sur comienza a estrecharse, mientras que la planicie con influencia marina se encuentra localizada a lo largo de la línea de costa y se introduce por el complejo cenagoso casi hasta la parte media de la cuenca.

- Marismas

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.

Como formas del terreno presentan las barras y playas, que corresponden a formas costeras de material no consolidado de tipo arena, las cuales son transportadas por el oleaje; las barras separan los cuerpos de aguas salobres del mar abierto, por ejemplo la Barra de Salamanca separa la Ciénaga Grande de Santa Marta con el mar, otra forma del terreno corresponde a los planos de marea, los cuales son superficies que se encuentran protegidas por los cordones litorales o las barras, está compuesta por limos y arenas, El plano de marea se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo y Remolino, veredas Camino a La Playa, Calle Larga, Isla Pensilvania y La Playa. Representa el 13,72% del área total de la cuenca.

- Delta

Corresponde a una superficie plana y alargada, la cual ha sido formada por canales del río Magdalena en su desembocadura. Está compuesta por arenas finas y limos de origen aluvial y lacustre. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana; moderadamente larga, larga y muy larga y recta. En la unidad se presentan inundaciones.

La geoforma de delta tiene como forma del terreno el plano y se encuentra en los municipios de Pueblo Viejo, Remolino, Sitio Nuevo, veredas Camino a La Playa, Isla Pensilvania, La Playa y Trinidad. Representa el 2,61% del área total de la cuenca.

- Terraza aluvial

Las terrazas son tipos de relieve que no superan el 12% de inclinación, corresponden a niveles de sedimentación subactual, con longitudes largas, formas rectas, presenta un patrón de drenaje de tipo subparalelo a subdendrítico, con una densidad baja.

Como formas del terreno se presentan los planos de terraza nivel 1, las cuales son Superficies bajas y planas resultantes de la anterior sedimentación del río Magdalena. Está compuesta por arenas finas y limos de origen aluvial. El relieve presenta muy bajo contraste, teniendo diferencias altitudinales menores a 50 m, la pendiente es plana hasta moderadamente inclinada; larga, muy larga y extremadamente larga y recta. En la unidad se presentan encharcamientos; la unidad se encuentra en los municipios de El Piñón y Pivijay, veredas Campo Alegre, San Basilio, Tío Gollo, Vásquez y Media Luna. Representa el 6,82% del área total de la cuenca

- Plano de inundación

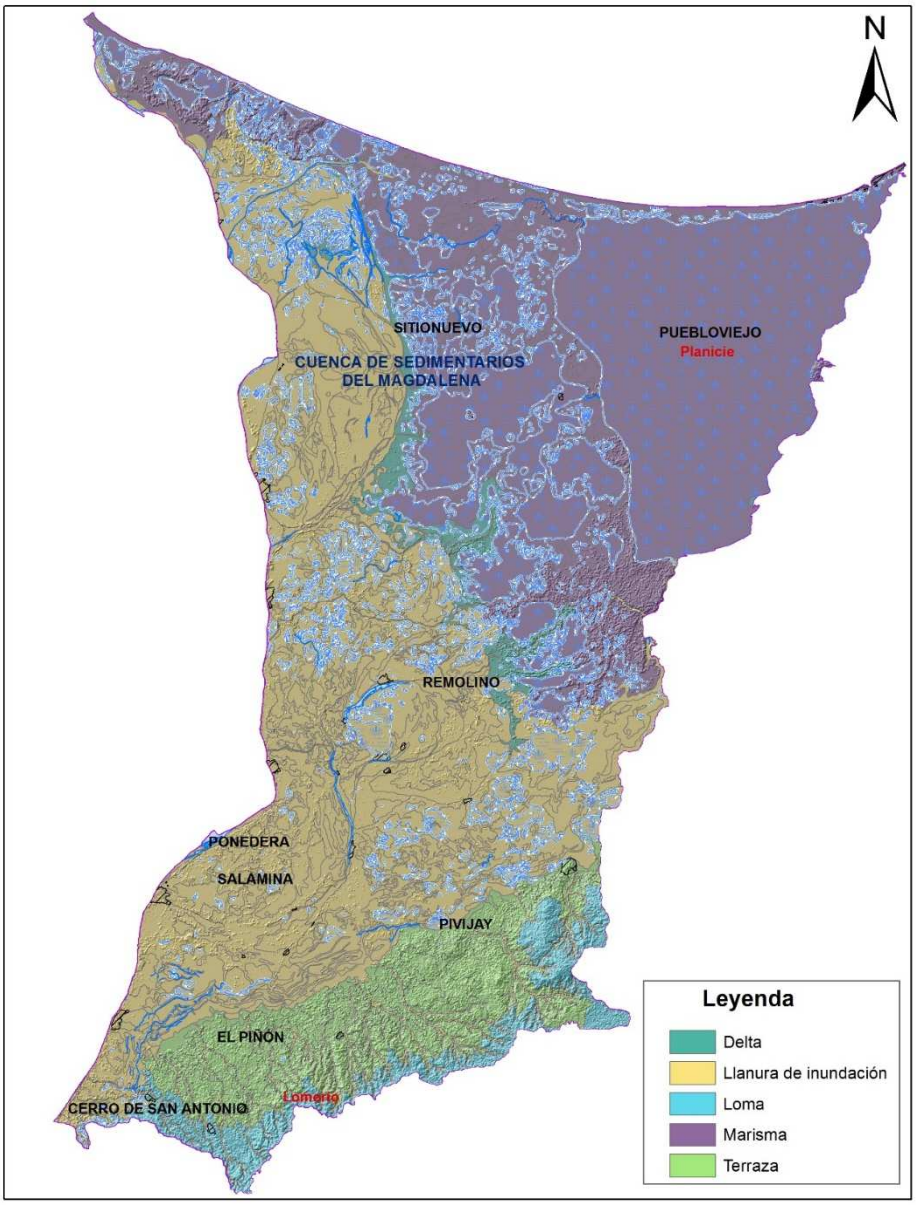
Corresponde a un tipo de relieve zonas planas que se encuentran bajo la influencia de la dinámica aluvial actual, por lo tanto, se encuentran afectadas por inundaciones frecuentes, la topografía es plana y plano-cóncava con pendientes que no superan el 3%. Se compone principalmente de limos y arenas finas de origen aluvial y lacustre.

Las formas de terreno que se encuentran en ésta posición son los orillares y albardones, los primeros se refieren a una geoforma derivada de la sedimentación del meandro en su parte interna, la cual fue originada por el río Magdalena, la segunda corresponde a geoformas alargadas y estrecha que se han formado por la sedimentación constante del río. La unidad se encuentra dentro de la llanura de inundación del Río; otras formas de terreno identificadas en este tipo de relieve son las cubetas de desborde, las cuales por su forma depresional favorecen la depositación de sedimentos aluviales, las cubetas están compuestas por arenas muy finas y limos de origen aluvial y lacustre; por ultimo las formas de meandros y cauces abandonados también se identificaron dentro del tipo de relieve.

El resultado de la labor de interpretación sobre imágenes satelitales y posterior comprobación de campo, permitió identificar las formas anteriormente descritas, los diferentes tipos de relieve encontrados en la cuenca se pueden apreciar en la figura **(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 geomorfopedológico, el cual se puede apreciar en la figura 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 la tabla **(Figura 11.15)**, igualmente, se pueden observar las figura **(Figura 11.13)** en donde se incluyen los tipos de relieve y en la **(Figura 11.7**); en donde se pueden apreciar todas las formas de la tierra encontradas. Se recuerda que la salida cartográfica (shp), se puede ver en la base de datos (gdb) que entrega el POMCA.

Figura 11.13. Distribución de los tipos de relieve encontrados en la cuenca de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



11.3.3. Etapa 3: Mosaicos edáficos de la cuenca Complejo de Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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 ésta acción cartográfica se puede apreciar en la **(Figura 11.14),** 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 **(11.3.4.2)** del análisis del componente suelo a partir del Estudio de IGAC (2009)

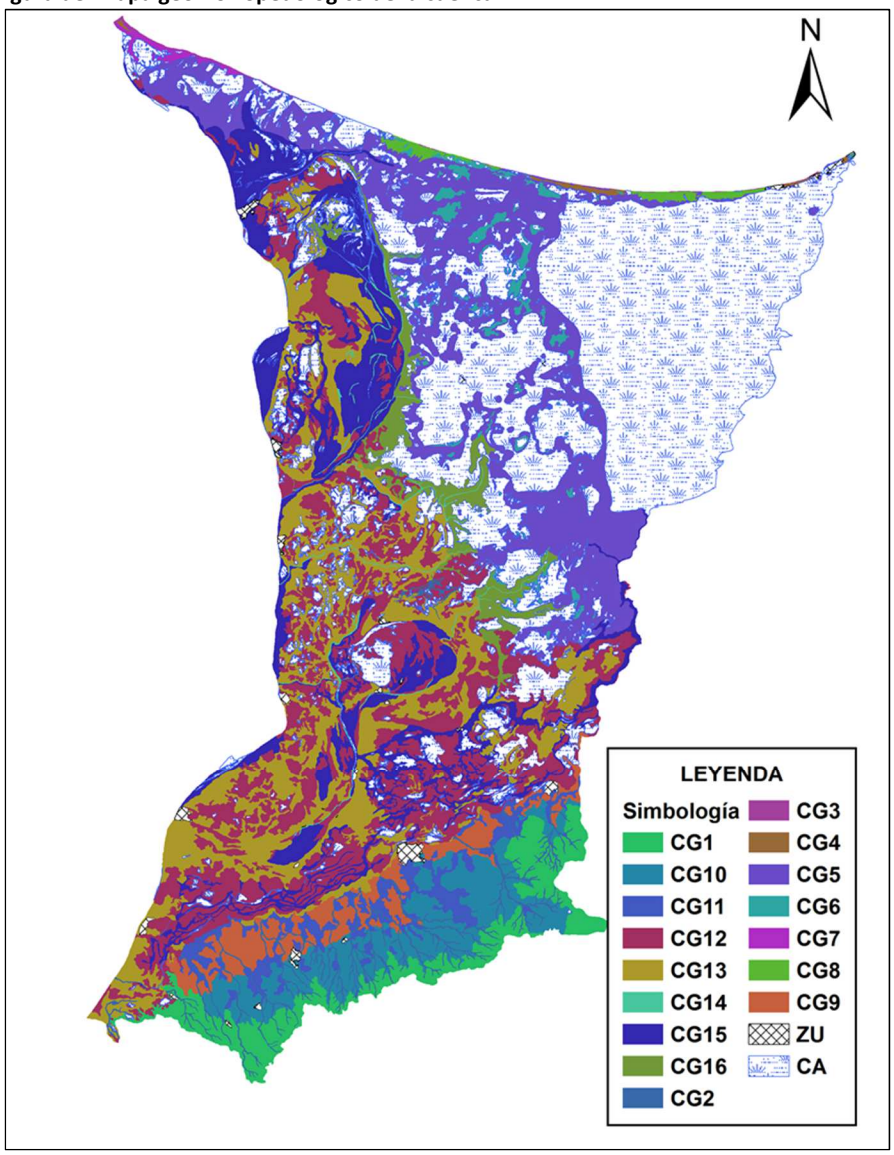
Las tareas ejecutadas en el campo se enfocaron a la solución de los vacíos de conocimiento y a la aclaración de dudas e inconsistencias y en consecuencia las observaciones tanto de las propiedades de los suelos reflejadas en la morfología de los perfiles que tipifican las poblaciones edáficas, como de 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 distribuyeron las observaciones en el área de interés de la siguiente manera 1 161 en piloto, 539 en extrapolación para un total de 1 705 observaciones del medio edafico, 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 gemorfopedológica **(ANEXO 3),** a validar en campo y a manera de ejemplo en el 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 11.14. Figura del mapa geomorfopedológico de la cuenca



11.3.4. Etapa 4: Planeación trabajo de Campo

Se realizó un plan de trabajo de acuerdo con la accesibilidad a las diferentes zonas de la cuenca y las unidades del estudio general que se revisarían, esta se puede apreciar en la **ruta veredal** en la **(Tabla 11.12)** este plan de trabajo se realizó de una manera efectiva gracias a la valiosa colaboración de entidades como las juntas de acción comunal.

Tabla 11.12. Pla de trabajo ruta veredal de la tierra

Día	Municipio	Sectores a visitar	Unidad
1	Sitio Nuevo	Sector Catana Ciénaga La Zarcita, Sector El Rodeo Santa Bárbara	RWK RWH RWG
2	Sitio Nuevo	sector Babillera, vereda Carmona Sector San Antonio, Ciénaga Cardona	RWG RWH
3	Palermo	Ciénaga Santa Cruz, Vrd Canchera Ciénaga Ahuyama Vrd El Dos, Ciénaga Manatíes	RWP RWG RWP
4	Sitio Nuevo	Sector El Chorro, Sector Los Mangos Nueva Venecia, Sector Las Nubes	RWK RWQ
5	Remolino	Ciénaga Guamaral, Ciénaga Sabana Granda San Rafael de Buena Vista Las Casitas	RWK RWC RWH
6	Remolino	Las Casitas Santa Rita, Ciénaga Rúa, El Dividive	RWH RWC
7	Remolino	Sector El Salado, Martinete Ciénaga Buenos Aires	RWH RWC
8	Remolino	Carmen del Magdalena, Julepe, La Lomita La Retirada	RWC RWH
9	Remolino	Guáimaro, Santa Rita Caserío Aserradero, Vereda Vainilla	RHW RWC
10	Salamina	Vainillas, Julepe, Loma de Soledad Parcelación El Loro	RWC RWH
11	Salamina	Nueva Esperanza, Los Patos, Sector Cortadera	RWC RWG
12	El Piñón	Ciénaga Los Cantillos Ciénaga Los Palmitos	RWK RWB
13	El Piñón	Ciénaga Terrón Ciénega Tomas de Payares Ciénega Margarita	RWK
14	El Piñón Salamina	Diques río Magdalena por la vía que conduce de Salamina, al Piñón	RWK

Día	Municipio	Sectores a visitar	Unidad
15	El Piñón	Cantagallar Ciénega Vieja	RWB RWK
16	Pivijay	Ciénaga Los Potreros, Ciénaga Grande Ciénaga Olla, Playón Norato,	RWK
17	Pivijay	La Retirada, La Loma, Campo Alegre	RWC
18	Pivijay	Media Luna Sector El Jagüey, Ciénaga Pozo La Francesa	RWD RWB
19	Pivijay	Región La Colorada Las Piedras	LWF RWB
20	Pivijay	Región La Colorada Sector Las tres Cruces	RWD LWF
21	Pivijay	San Basilio, Sabanas Campo Alegre, Ciénaga Tuto	RWB RWK
22	Pivijay	Tío Gollo, Cantagallar	RWB
23	Pivijay	Sector Loma Alta Sector La Danta	LWB LWH RWB

11.3.4.2. *Plan de trabajo: complementación del conocimiento de los suelos, precisión de los ambientes de formación y corrección de errores que afectan la definición de la capacidad de uso de las tierras en el marco de la escala 1:25.000*

En la **(Tabla 11.13)** se relacionan, bajo el título de problemas a solucionar, los vacíos de conocimiento y otras deficiencias detectadas durante el análisis del estudio general de suelos (IGAC, 2009) los cuales fueron discutidos en el capítulo anterior. Para facilitar la implementación del trabajo de campo se relacionaron las UCS involucradas y, por supuesto, las tareas a ejecutar.

A manera de comentarios sobre los aspectos más importantes del Plan de Trabajo es necesario señalar, en primer lugar, que el predominio de la topografía plana en la cuenca hace que el mapa de pendientes sea de muy poca o ninguna utilidad y, en cambio, la técnica de fotointerpretación y las observaciones de los suelos en el campo pasan hacer acciones claves para identificar, delimitar y precisar las clases de drenaje natural : muy pobre, pobre, imperfecto y bueno, la ubicación de las áreas inundables con la información sobre la frecuencia y la duración de los desbordamiento de las aguas, la ocurrencia de sales y/o sodio determinando en este caso no solo los sectores afectados , sino la localización del problema en el perfil del suelo.

Un factor adicional que es necesario conocer es el relacionado con la apreciación textural en la sección comprendida entre los 25 y los 100 centímetros de profundidad, haciendo énfasis en cambios texturales abruptos que afectan la profundidad efectiva y/o en las texturas extremas (altos contenidos de arcilla y/o de arena) cuyo impacto en la capacidad de uso y manejo de los suelos es significativo.

La complementación del conocimiento de los suelos en las planicies aluvial y fluvio – marina parece, a primera vista, una labor complicada por el número de las UCS involucradas, pero si se analiza detenidamente en la **(Tabla 11.13)** se observa que los problemas a solucionar se repiten, lo que facilita la organización del trabajo en el campo.

Es importante recalcar que tareas como la de identificar correctamente los materiales parentales de los suelos (numeral 4 en el plan de trabajo), la de decidir si las diferencias morfográficas y morfogenéticas de los planos de inundación y de marea justifican la consideración de los paisajes (planicie aluvial y planicie fluvio – marina) (punto 3) y la aclaración de otras dudas (ver puntos 2, 5, 9) se deben ejecutar con el convencimiento de que entre mejor se conozcan los suelos y sus ambientes de formación, más se facilita la definición de la capacidad de usos de las tierras.

Tabla 11.13. Plan de trabajo para complementar el conocimiento de los suelos, precisar ambientes de formación y corregir errores que afectan la capacidad de uso de las tierras en el marco de la escala 1:25.000

PROBLEMAS A SOLUCIONAR	UCS	TAREAS A EJECUTAR
1. Suelos superficiales (líticos) y profundos asociados.	LWB	Localizar la ocurrencia del contacto lítico con observaciones detalladas en campo.
2. Dudas en la identificación de ambientes edafogenéticos (colinas vs ondulaciones); materiales geológicos similares (litología/sedimentos).	LWB LWF	Definir la posición geomorfológica con fotointerpretación y trabajo de campo; en el caso de los materiales parentales con asesoría geológica.

PROBLEMAS A SOLUCIONAR	UCS	TAREAS A EJECUTAR
3. Planicie aluvial del río Magdalena y sus tributarios y planicie fluvio - marina no diferenciadas al nivel del paisaje.	RWB, RWC RWD, RWG RWH, RWK RWP, RWQ RWR, RWS	Corroborar, mediante fotointerpretación, con fundamento morfológico y morfogenético, la inconveniencia de mezclar la planicie aluvial con el plano de marea de la planicie marina.
4. Materiales parentales de origen aluvial y marino pobremente definidos.	Todas las UCS señaladas con la letra **R**	Establecer, mediante análisis geomorfológico y trabajo de campo, la granulometría dominante de los sedimentos y el origen de las sales y/o sodio para separar texturas contrastantes en la dimensión espacial y evaluar la incidencia de la salinidad.
5. Profundidad efectiva equivocada.	RWB RWC	Corroborar la existencia del error mediante observaciones de los suelos en el campo y corregir.
6. Drenaje natural mal calificado.	RWG RWS	Comprobar si existe el drenaje imperfecto con observaciones de campo.
7. Salinidad y/o sodicidad reportadas en el texto no constituyen fases y solo afectan la taxonomía una vez (RWC).	RWD, RWG RWH, RWK RWQ, RWR RWS	Establecer si la causa de la duda es la ocurrencia de las sales y/o el sodio en los horizontes profundos del perfil con observaciones y análisis de laboratorio.
8. No hay registros de frecuencia y duración de las inundaciones.	RWG, RWH RWK, RWP RWQ, RWR	Registrar en el campo la información

PROBLEMAS A SOLUCIONAR	UCS	TAREAS A EJECUTAR
9. Suelos del orden Ultisol; en duda su ocurrencia en el lomerío.	LWF	Comprobar su presencia con observaciones de campo y establecer si el horizonte argílico afecta la profundidad efectiva.
10. Propiedades químicas con límites de variación demasiado amplios en una misma UCS.	LWB RWB, RWC RWG, RWH RWK, RWP	Tomar muestras de suelos en los diferentes ambientes edafogenéticos (horizonte A y B) seleccionando los suelos más extensos; revisar resultados de los análisis químicos en IGAC (2009).
11. Falta identificar formas del terreno en las planicies aluvial y fluvio marina para separar áreas con diferente drenaje natural.	RWG, RWH RWK, RWP RWQ, RWR RWS	Utilizar fotointerpretación y observaciones en el campo para separar suelos con drenaje bueno, imperfecto, pobre y muy pobre. Trabajar este punto conjuntamente con los puntos 3, 4, 5, 6, 7, 8.
12. Apreciación textural del perfil no identificada (familias)	Todas las UCS	Revisar perfiles modales de los suelos en (IGAC 2009), seleccionar únicamente los que fueron descritos en la Cuenca; describir los restantes y establecer las familias texturales.

11.3.4.3. *Complemento del conocimiento del componente suelo de la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 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.

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, salinidad, sodicidad). Estas se suman a la identificación y evaluación de los impactos de la alteración del medio natural por la acción antrópica (destrucción de los manglares, desecación de los cuerpos de agua -ciénagas- por taponamiento de los caños que los abastecen) para ampliar la frontera de la ganadería y/o de la agricultura con efectos muy preocupantes en el equilibrio de la naturaleza en una región en la cual se conjugan factores ambientales únicos como:

- Los manglares y su zona de influencia que constituyen un ecosistema estratégico.
- Gran parte del área es un humedal que por su importancia hidrológica y ecológica debe ser dedicado a la conservación y/o a la recuperación de la naturaleza.
- Toda la zona hace parte del proyecto RAMSAR cuya declaración data del año 1988, adicional fue declarada como reserva de la biosfera por la Unesco en el año 2000.

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 1 715 observaciones del medio edáfico parte de las cuales se hicieron en cajuelas (huecos de 40 * 40 * 60 cm) y en calicatas (excavaciones de 1.20 * 1.20 * 1.50 m) y parte se llevaron a efecto en distintos sitios de la cuenca, debidamente georreferenciados, en los cuales se identificaron y clasificaron los fenómenos erosivos, de pedregosidad, inundabilidad (frecuencia y duración), salinidad y/o sodicidad y otros relacionados todos con la degradación intensa a la que está siendo sometida la cuenca.

En materia de observaciones es necesario tener en cuenta que estas se hicieron en el momento más crítico del verano (léase fenómeno del Niño) razón por la cual fenómenos tales como la salinidad, el desecamiento de los cuerpos de agua y los procesos erosivos estaban en su máximo estado de

avance por lo que la percepción del grado de severidad señaló una cruda realidad que generó, a su vez, una gran preocupación por la destrucción severa del medio natural que se traduce, a la vez, en la necesidad de llamar la atención, a través del POMCA, de la Autoridad Ambiental y de otros organismos estatales a nivel nacional y departamental para detener la destrucción del medio físico – biológico de la cuenca e implementar las medidas correctivas correspondientes.

También 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.

Tabla 11.14. Actividades realizadas para complementar el conocimiento del componente suelos de la cuenca de los Humedales de Ciénaga Grande de Santa Marta en el marco de la elaboración del mapa de capacidad de uso de las tierras escala 1:25 000

DEFICIENCIA A SOLUCIONAR	RESULTADOS OBTENIDOS
1. Suelos superficiales (líticos) y profundos asociados.	Los suelos superficiales por contacto lítico son el producto de un proceso erosivo severo en el que desapareció el horizonte A dejando muy cerca de la superficie el material parental; el fenómeno es sectorizado (inclusiones) por lo que predominan en el área los suelos profundos. La afirmación hecha la sustentan los perfiles modales descritos en sectores de las laderas con clases de pendientes contrastantes: planas a ligeramente inclinadas; fuertemente inclinadas a escarpadas; estas unidades edáficas se muestrearon en el momento de la descripción en calicatas y se calificó, en primera instancia, la capacidad de usos de las tierras.
2. Dudas en la identificación de ambientes edafogenéticos (colinas vs ondulaciones); materiales geológicos similares (litología/sedimentos).	Las colinas corresponden a los polígonos señalados como laderas con pendientes suaves; las lomas tienen laderas fuertemente inclinadas; los materiales parentales son arcillolitas que generan suelos de texturas moderadamente finas con grietas en la sección superior del perfil en la época seca.
3. Planicie aluvial del río Magdalena y sus tributarios y planicie fluvio – marina consideradas en un solo paisaje en IGAC (2009)	Mediante fotointerpretación y observación de los suelos en el campo se determinó un paisaje denominado planicie fluvio marina, ya que se comprobó en campo que son una sola que tiene influencia de los dos cuerpos de agua (el mar y el río).

DEFICIENCIA A SOLUCIONAR	RESULTADOS OBTENIDOS
4. Materiales parentales de las planicies fluviales y marinas pobremente definidos.	Se identificaron por fotointerpretación las formas del terreno y mediante observaciones de los suelos se determinó la granulometría a nivel de familia textural; así en las cubetas hay materiales finos; en las napas aumenta la arena, aunque se observaron algunas grietas; en las cubetas de la planicie marina además de la arcilla, predominan las sales y/o el sodio.
5. Suelos del orden Ultisol; en duda su ocurrencia en el lomerío.	Las observaciones que se hicieron en el área referenciada por IGAC 2009, no indican procesos de lessivage en condiciones de baja saturación de bases (< 35%); es decir, no se encontraron suelos del orden Ultisol.
6. Salinidad y/o sodicidad reportadas en el texto no constituyen fases y solo afectan la taxonomía una vez (RWC).	Los afloramientos salinos impactaron la vista de los edafólogos por la coloración blanca que cubrió áreas extensas de la planicie fluvial y marina debida, sin duda, al rigor de la estación seca. Este fenómeno y los resultados de los análisis de laboratorio fueron la clave para establecer fases salinas y para diferenciar grados de afectación ligera moderada y severa .
7. Drenaje natural pobre asociado a condiciones de buen avenamiento vs profundidad efectiva y familia textural dominante.	La separación de los suelos por clases de drenaje natural, precisando, en algunos sectores, la frecuencia y la duración de las inundaciones fue la tarea que demandó la mayor densidad de observaciones y la utilización más intensa del mapa de geomorfología en las planicies con sedimentos aluviales y/o marinos, en las cuales confluyen, además, varias agrupaciones de ambientes edafogenéticos: drenaje pobre (gleización), arcillas expandibles (haploidización), exceso de sales (salinización y/o alcalinización) y ocurrencia de materiales turbosos (paludización) con formación de histosoles; los perfiles descritos en sectores plano – depresionales (cubetas, bajos) señalaron la existencia de suelos mal drenados y de contenidos altos de arcilla; las observaciones en cajuelas y/o calicatas en sitios más altos de la planicie (albardones, terrazas, napas) indicaron poblaciones edáficas con buen avenamiento y texturalmente más gruesas. El registro de la frecuencia y la duración de las inundaciones fue clave para separar las tierras de la clase 5 de otras clases agrológicas con menores limitaciones y mayor capacidad de uso (3 y 4)

11.3.4.4. *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 estas 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 283 570 ha, los recorridos de campo se realizaron sobre un área de 155 573 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 1706 observaciones y se describieron 40[44] calicatas en campo distribuidas de acuerdo con la guía metodológica como se puede apreciar en la **(Tabla 11.15);** en la **(Tabla 11.16)**.se muestra un listado de los perfiles descritos en campo y de aquellos tomados del Estudio General de suelos; adicionalmente la tabla muestra las unidades geomorfopedológicas involucradas.

Tabla 11.15. Número de observaciones realizadas en la cuenca.

		AREA PILOTO		AREA EXTRAPOLACION	
	AREA TOTAL	AREA	# OBS	AREA	# OBS
ZONA PLANA	153.036	19.130	1148	133.906	536
ZONA INCLINADA	2.537	317	13	2.220	9
	155.573	19.447	**1.161**	136.126	**545**
TOTAL					**1.706**

El levantamiento de suelos en las áreas piloto y posteriormente en las áreas de extrapolación tuvo como objetivos entender las relaciones suelo-paisaje; conocer el patrón de distribución y el suelo dominante en las unidades geomorfológicas; clasificar los suelos al nivel categórico de familia textural, haciendo la aclaración que ésta clasificación es de campo pues de acuerdo con la guía metodológica no se pretende hacer un levantamiento de suelos, se utilizó en campo la clave taxonómica 2014; de esta manera y teniendo como límite de la unidad la forma del terreno delimitada en la geomorfología se establecieron las unidades geomorfopedológicas, las cuales hacen referencia a la determinación de las características de un suelo en una posición determinada, en un clima y con un material parental definido; posterior a la definición de esta unidad se identificaron las fases cartográficas posibles permitiendo subdividir la unidad geomorfopedológica.

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 **(Tabla 11.12)** Rutas veredales. Como resultado del trabajo de campo, se ubicaron los puntos de las

[44] Para mayor información de las calicatas dirigirse a la GDB del POMCA, Feature Dataset Suelos, capa PuntosMuestreos, esta capa temática contiene datos como unidades geomorfopedológicas involucradas en el muestreo y características de los suelos (profundidad efectiva, drenaje, pedregosidad, etc)

coordenadas para las calicatas descritas sobre la cartografía final para hacer fácil la identificación del sitio donde se realizó el muestreo; las observaciones se distribuyeron siguiendo el mapeo libre, según la accesibilidad de la zona y mediante el análisis previo de las imágenes y la cartografía, con la identificación y relación de aspectos particulares locales, como erosión, pendiente, movimientos en masa, drenaje natural y el uso actual, entre otras.

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 esta manera se pueden caracterizar los suelos, de tal manera que esta información sea útil en el proceso de clasificación por capacidad de uso. Los perfiles de suelos usados para el desarrollo del trabajo se pueden apreciar en la **(Tabla 11.16)**

Los suelos encontrados en la cuenca se describen a continuación en el orden en que se ubican en la leyenda geomorfopedológica, la nomenclatura asignada se hace arbitrariamente y comenzando desde el lomerío y terminando en el Plano de inundación; la descripción es resumida ya que no corresponde a la descripción de una unidad cartográfica de suelos, 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. La leyenda geomorfopedológica se puede apreciar en la **(Figura 11.15).**

Tabla 11.16. Unidades Geomorfopedológicas con sus respectivos perfiles de suelos

UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	PERFIL DOMINANTE	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	PERFIL DOMINANTE
CG1	HU-28	CG12	HU-13
CG1	HU-27	CG12	HU-21
CG1	HU-80	CG12	HU-22
CG13	HU-20	CG16	HM-1
CG13	HU-21SD	CG15	CN 5
CG1	HU-29	CG15	CN2
CG10	HU-30	CA	CN 3
CG10	HU-31	CG16	CN 4
CG1	HU-53	CG15	CM-1
CG13	HU-24	CG15	HC101
CG13	HU-15	CG13	HU01
CG11	HU-18	CA	HC102
CG2	HU-51	CG15	HC104
CG9	HU-19	CG12	HC105
CG12	HU-17	CG12	HU02

UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	PERFIL DOMINANTE	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	PERFIL DOMINANTE
CA	HU-25	CG12	HU-11
CG9	HU07	CG15	HM2
CG15	HU-16	CG3	17*
CG12	HU08	CG4	37*
CG15	HU-26	CG5	16*
CG15	HU-23	CG6	15*
CG15	HU-12	CG7	05*
CG13	HU-14	CG8	05*

*Perfiles del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de MAGDALENA (IGAC 2009) utilizados para el POMCA.

Figura 11.15. Leyenda geomorfopedológica

LEYENDA GEOMORFOPEDOLOGICA POMCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA										
PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	TAXONOMIA DE CAMPO	PERFIL DOMINANTE	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	FASES CARTOGRÁFICAS	ÁREA ha	ÁREA %
Planicie Fluvio Marina	Marismas	Manto de arena	Acumulaciones de arena cuarzosa	Profundos, bien drenados, de texturas gruesas, de reacción neutra, afectados por sales y fertilidad baja.	Typic Ustipsamments isohipertérmico	05*	CG8	CG8anz CG8bnz CG8cnz	1162.71	1
	Delta	Plano	Arenas finas y limos	Superficiales, muy pobremente drenados, de reacción neutra y fertilidad muy baja. Afectados por sales y erosión ligera, moderada, severa.	Thapto Histic Fluvaquents Familia arcillosa Isohipertérmico	12*	CG16	CG16anz CG16a1nz CG16a2nz CG16a3nz CG16bnz CG16b1nz CG16b2nz CG16b3nz	6488.96	3
	Terraza aluvial	Plano de Terraza nivel 1	Arenas y limos finos	Moderadamente profundos, de texturas finas, imperfectamente drenados, de reacción extremadamente ácida, saturación de bases alta y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada, severa.	Aquic Ustorthents familia arcillosa isohipertérmica	HU-19	CG9	CG9ax CG9a1x CG9a2x CG9a3x CG9b1x CG9b2x CG9b3x CG9c2x CG9c3x	6838.72	4
		Plano de Terraza nivel 2	Arenas y sedimentos moderadamente finos	Moderadamente profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, limitados por sales, reacción moderadamente alcalina, fertilidad natural baja. Hay erosión ligera, moderada y severa.	Typic Calciustepts familia franca fina isohipertérmica	HU-30	CG10	CG10a CG10a1 CG10a2 CG10a3 CG10b CG10b1 CG10b2 CG10b3 CG10c.1 CG10c2 CG10c3	11552.60	6
		Depresión	Depósito de arenas y limos finos	Moderadamente profundos, de drenaje imperfecto, de texturas finas, de reacción fuertemente ácida y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderada y severa.	Aquic Haplustepts familia arcillosa isohipertérmica	HU-18	CG11	CG11ax CG11a1x CG11a2x CG11a3x CG11bx CG11b1x CG11b2x CG11b3x	6225.30	3

LEYENDA GEOMORFOPEDOLOGICA POMCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA										
PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	TAXONOMIA DE CAMPO	PERFIL DOMINANTE	UNIDAD GEOMORFOPEDOLOGICA	FASES CARTOGRÁFICAS	ÁREA ha	ÁREA %
Planicie Fluvio Marina	Plano de inundación	Cubetas	Depósitos de arenas y limos finos	Superficiales, pobremente drenados, de texturas finas, de reacción ligeramente alcalina y fertilidad moderada, afectados por sales y erosión ligera, moderada, severa.	Aeric Endoaquepts familia arcillosa isohipertérmica	HU-21	CG12	CG12ay CG12anz CG12a1y CG12a1nz CG12a2x CG12a2nz CG12a3x CG12a3nz CG12by CG12bnz CG12b1y CG12b1nz CG12b2x CG12b2nz CG12b3x CG12b3nz	41509.62	22
		Napas	Depósitos moderadamente finos	Moderadamente profundos, mal drenados, de texturas finas, de reacción neutra y fertilidad moderada. Hay erosión moderad, severa.	Typic Natraquerts familia arcillosa isohipertérmica	HU-14	CG13	CG13ax CG13a1x CG13a2x CG13a3x CG13bx CG13b1x CG13b2x CG13b3x	33495.67	18
		Vegas, meandros y cauces abandonados	Arenas y limos	Superficiales, pobremente drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción neutra, afectados por sales y fertilidad moderada. Hay erosión ligera, moderada, severa.	Vertic Endoaquepts familia franca fina isohipertérmica	HU-25	CG14	CG14anz CG14a1nz CG14a3nz CG14bnz CG14b1nz CG14b2nz CG14b3nz	1330.76	1
		Albardones y Orillares	Depósitos de arenas y limos	Moderadamente profundos, de texturas moderadamente finas, imperfectamente drenados, moderadamente alcalinos, saturación de bases alta y fertilidad natural moderada. Afectados por sales y erosión ligera, moderad, severa.	Aquic Haplustepts familia franca fina isohipertérmica	HU-16	CG15	CG15ax CG15anz CG15an CG15a1x CG15a1nz CG15a1n CG15a2x CG15a2nz CG15a2n CG15a3x CG15a3nz CG15a3n CG15bx CG15bnz CG15bn CG15b1x CG15b1nz CG15b1n CG15b2x CG15b2nz CG15b2n CG15b3x CG15b3nz CG15b3n CG15cnz CG15c1x CG15c1nz CG15c1n CG15c2nz CG15c2n CG15c3n	27638.21	15
TOTAL									189514.87	100
*Perfiles tomados del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Deparamento del Magdalena (IGAC 2009)										

FASES POR:				Erosión		Inundabilidad	
	Clase	Pendiente %	n: Fase salina	Grado	Símbolo	Duración	Símbolo
	a	0-3		Ligero	1	Menor a dos meses	x
	b	3 - 7		Moderado	2	Dos a seis meses	y
	c	7 - 12		Severo	3	Mayor a seis meses	z
	d	12 - 25					
	e	25 - 50					
	f	50 -75					
	g	>75					

Como el objetivo es determinar la capacidad de uso de las tierras y no hacer un levantamiento de suelos, la leyenda de geomorfología en algunas formas del terreno no es igual a la leyenda geomorfopedológica; por ejemplo, la capacidad de uso en las formas denominadas cubetas son la misma ya sea en cubetas de desborde o de decantación, por lo tanto se tomó la decisión de unir, estas formas del terreno, otras formas que se unieron son las vegas, meandros y cauces abandonados, que se unieron todas en la unidad CG14, y los planos de marea lodoso y con manglar en la unidad CG5. Esta decisión se tomó puesto que luego del trabajo de campo se comprobó que

los suelos por sus limitantes llevaron a la misma capacidad de uso, por lo tanto, no aparecen las mismas unidades en las dos leyendas.

La unidad geomorfológica de Banco de arena (RPB) la conforman dos polígonos que sumados equivalen a 90 ha, adicional la zona no presentaba edafogenesis (formación de suelos), por las razones anteriormente expuestas no fue determinada capacidad de usos para la unidad en mención, y quedó identificada como arenales (ARI) en la cartografía de capacidad de uso.

La cartografía de las unidades geomorfopedológicas en formato PDF se puede apreciar en los **anexos 8,9,10.**

11.3.4.4.2. *Suelos de lomerío.*

- Unidad CG1.

Esta unidad se localiza en las cimas y laderas ligeramente inclinadas de las lomas en el paisaje de lomerío, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de areniscas, arcillolitas y depósitos aluviales finos y medios y se clasifican taxonómicamente como Vertic Haplustepts familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, reacción ligeramente ácida, fertilidad natural moderada. Hay erosión ligera moderad y severa la unidad ocupa 10 286.30 hectáreas que corresponden al 5% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG1a: fase plana.
CG1a1: fase plana, erosión ligera.
CG1a2: fase plana, erosión moderada.
CG1a3: fase plana, erosión severa.
CG1b1: fase ligeramente inclinada, erosión ligera.
CG1b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
CG1b3: fase ligeramente inclinada, erosión severa.
CG1c: fase moderadamente inclinada.
CG1c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
CG1c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
CG1c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.

- Unidad CG2.

Esta unidad se localiza en los vallecitos en el paisaje de lomerío, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de arenas y limos y se clasifican taxonómicamente como Typic Ustifluvents familia franca arcillosa isohipertérmica; presentan como características ser profundos,

bien drenados, texturas finas, reacción extremadamente ácida, afectados por sales, la fertilidad natural muy baja. Hay erosión ligera, moderada, severa; la unidad ocupa 3 888.43 hectáreas que corresponden al 2% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG2anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG2b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.

11.3.4.4.3. *Suelos de la planicie fluvio marina.*

- Unidad CG3.

Esta unidad se localiza en las playas de los marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arenas muy finas y arcillas transportadas por el oleaje y se clasifican taxonómicamente como Chromic endoaquerts Familia arcillosa muy fina isohipertérmica; presentan como características ser superficiales, imperfectamente drenados, texturas finas, reacción ligeramente ácida, afectados por sales y fertilidad moderada; la unidad ocupa 321.77 hectáreas que corresponden al 0.2% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG3anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG3bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG3cnz: fase moderadamente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG4.

Esta unidad se localiza en las barras de los marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arenas muy finas y arcillas transportadas por el oleaje y se clasifican taxonómicamente como Typic Fluvaquents familia arcillosa muy fina isohipertérmica; presentan como características ser superficiales, pobremente drenados, texturas finas, reacción ligeramente ácida, afectados por sales y fertilidad natural muy baja; la unidad ocupa 360.74 hectáreas que corresponden al 0.2% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG4anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG4bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG5.

Esta unidad se localiza en los planos de marea lodoso y con manglar, en los marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arenas transportadas por el oleaje y se clasifican taxonómicamente como Typic Psammaquents familia isohipertérmica; presentan como características ser muy superficiales, pobremente drenados, texturas gruesas, reacción neutra, afectados por sales, de fertilidad natural muy baja. Hay erosión ligera, moderada, severa; la unidad ocupa 34 341.33 hectáreas que corresponden al 18% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG5anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5cnz: fase moderadamente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5c1nz: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG5c3nz: fase moderadamente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG6.

Esta unidad se localiza en los rebordes de las lagunas costeras en las marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arenas transportadas por el oleaje y se clasifican taxonómicamente como Typic Psammaquents familia isohipertérmica; presentan como características ser muy superficiales, pobremente drenados, texturas gruesas, reacción neutra, afectados por sales fertilidad natural muy baja, suelos sulfato ácidos. Hay erosión ligera, moderada, severa; la unidad ocupa 3.409.07 hectáreas que corresponden al 2% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG6anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6cnz: fase moderadamente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG6c1nz: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG7.

Esta unidad se localiza en llanura arenosa en los marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos de arenas transportadas por el oleaje y se clasifican taxonómicamente como Typic Ustipsamments isohipertérmica; presentan como características ser profundos, bien drenados, texturas gruesas, reacción neutra, afectados por sales y fertilidad baja; la unidad ocupa 664.68 hectáreas que corresponden al 0.4% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG7anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG7bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG8.

Esta unidad se localiza en los mantos de arena en los marismas en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de acumulaciones de arena cuarzosa y se clasifican taxonómicamente como Typic Ustipsamments familia isohipertérmica; presentan como características ser profundos, bien drenados, texturas gruesas, reacción neutra, afectados por sales y fertilidad baja; la unidad ocupa 1.162.71 hectáreas que corresponden al 1% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG8anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG8bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG8cnz: fase moderadamente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG16.

Esta unidad se localiza en los planos del delta en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de arenas finas y limos y se clasifican taxonómicamente como Thapto Histic Fluvaquents familia isohipertérmica; presentan como características ser superficiales, muy pobremente drenados y fertilidad natural muy baja, afectados por sales y erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 6488.96 hectáreas que corresponden al 3% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG16anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG16b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG9.

Esta unidad se localiza en los planos de las terrazas de nivel 1 en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de arenas y limos finos y se clasifican taxonómicamente como Aquic Ustorthents familia arcillosa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, texturas finas, imperfectamente drenados, reacción extremadamente ácida, saturación de bases alta y fertilidad natural baja. Hay erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 6838.72 hectáreas que corresponden al 4% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG9ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses.
CG9a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG9a2:x fase plana, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG9a3x: fase plana, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG9b1x: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG9b2x: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG9b3x: fase ligeramente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG9c2x: fase moderadamente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG9c3x: fase moderadamente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.

- Unidad CG10.

Esta unidad se localiza en los planos de las terrazas de nivel 2 en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta moderadamente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de sedimentos moderadamente finos y se clasifican taxonómicamente como Typic Calciustepts familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, texturas moderadamente finas, bien drenados, de reacción moderadamente alcalina, afectados por sales, la saturación de bases alta y fertilidad natural baja. Hay erosión ligera, moderada y severas; la unidad ocupa 11552.60 hectáreas que corresponden al 6% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG10a: fase plana.
CG10a1: fase plana, erosión ligera.
CG10a2: fase plana, erosión moderada.
CG10a3: fase plana, erosión severa.
CG10b: fase ligeramente inclinada.
CG10b1: fase ligeramente inclinada, erosión ligera.
CG10b2: fase ligeramente inclinada, erosión moderada.
CG10b3: fase ligeramente inclinada, erosión severa.
CG10c1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.
CG10c2: fase moderadamente inclinada, erosión moderada.
CG10c3: fase moderadamente inclinada, erosión severa.

- Unidad CG11.

Esta unidad se localiza en las depresiones de las terrazas aluviales en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Depósito de arenas y limos finos y se clasifican taxonómicamente como Aquic Haplustepts familia arcillosa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, drenaje imperfecto, texturas finas, reacción fuertemente ácida y fertilidad baja. Hay erosión ligera, moderad y severa; la unidad ocupa 6225.30 hectáreas que corresponden al 3% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG11ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses.
CG11a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG11a2x: fase plana, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG11a3:x fase plana, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG11bx: fase ligeramente inclinada, inundaciones menores a dos meses.
CG11b1x: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.

CG11b2x: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG11b3x: fase ligeramente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.

- Unidad CG12.

Esta unidad se localiza en las cubetas del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de Depósito de arenas y limos finos y se clasifican taxonómicamente como Aeric Endoaquepts familia arcillosa isohipertérmica; presentan como características ser superficiales, pobremente drenados, texturas finas, reacción ligeramente alcalina, fertilidad moderada, limitados por sales. Hay erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 41509.1 hectáreas que corresponden al 22% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG12ay: fase plana, inundaciones de dos a seis meses.
CG12anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12a1y: fase plana, erosión ligera, inundaciones de dos a seis meses.
CG12a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12a2x: fase plana, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG12a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12a3x: fase plana, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG12a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12by: fase ligeramente inclinada, inundaciones de dos a seis meses.
CG12bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones mayores a seis meses.
CG12b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12b2x: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG12b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG12b3x: fase ligeramente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses
CG12b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG13.

Esta unidad se localiza en las napas del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de depósitos moderadamente finos y se clasifican taxonómicamente como Typic Natraquerts familia arcillosa isohipertérmica; presentan como características ser moderadamente profundos, bien drenados, texturas finas, reacción neutra, fertilidad moderada. Hay erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 33495.67 hectáreas que corresponden al 18% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG13ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses.
CG13a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG13a2x: fase plana, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG13a3x: fase plana, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG13bx: fase ligeramente inclinada, inundaciones menores a dos meses.
CG13b1x: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG13b2x: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG13b3x: fase ligeramente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.

- Unidad CG14.

Esta unidad se localiza en las vegas, meandros y cauces abandonados del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de arenas y limos, se clasifican taxonómicamente como Vertic Endoaquepts familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser Superficiales, pobremente drenados, texturas moderadamente finas, reacción neutra, fertilidad moderada, limitados por sales, hay erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 1330.76 hectáreas que corresponden al 1% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG14anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG14a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG14a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG14bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG14b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones mayores a seis meses.
CG14b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG14b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.

- Unidad CG15.

Esta unidad se localiza en los albardones y orillares del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, en clima cálido seco, las pendientes varían desde planas hasta ligeramente inclinadas.

Los suelos se originaron a partir de arenas y limos, se clasifican taxonómicamente como Aquic Haplustepts familia franca fina isohipertérmica; presentan como características ser Moderadamente profundos, texturas moderadamente finas, bien drenados, moderadamente alcalinos, saturación de bases alta y fertilidad natural moderada, afectados por sales y erosión ligera, moderada y severa; la unidad ocupa 27638.21 hectáreas que corresponden al 15% del total.

Esta unidad presenta las siguientes fases cartográficas:

CG15ax: fase plana, inundaciones menores a dos meses.
CG15anz: fase plana, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15an: fase plana, salina
CG15a1x: fase plana, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG15a1nz: fase plana, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses
CG15a1n: fase plana, erosión ligera, salina.
CG15a2x: fase plana, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG15a2nz: fase plana, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15a2n: fase plana, erosión moderada, salina.
CG15a3x: fase plana, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG15a3nz: fase plana, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15a3n: fase plana, erosión severa, salina.
CG15bx: fase ligeramente inclinada, inundaciones menores a dos meses.
CG15bnz: fase ligeramente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15bn: fase ligeramente inclinada, salina
CG15b1x: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG15b1nz: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15b1n: fase ligeramente inclinada, erosión ligera, salina.
CG15b2x: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, inundaciones menores a dos meses.
CG15b2nz: fase ligeramente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15b3x: fase ligeramente inclinada, erosión severa, inundaciones menores a dos meses.
CG15b3nz: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15b3n: fase ligeramente inclinada, erosión severa, salina.
CG15cnz: fase moderadamente inclinada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15c1n: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, salina
CG15c1x: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, inundaciones menores a dos meses.
CG15c1nz: fase moderadamente inclinada, erosión ligera, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15c2nz: fase moderadamente inclinada, erosión moderada, salina, inundaciones mayores a seis meses.
CG15c2n: fase moderadamente inclinada, erosión moderada, salina.
CG15c3n: fase moderadamente inclinada, erosión severa, salina.

11.3.5. Capacidad de Uso y Manejo de las Tierras

11.3.5.1. *Características particulares de la cuenca que afectan el uso del suelo.*
En el área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, considerada como su hoya de captación ocurren tres hechos cuya importancia ecológica y ambiental no se puede soslayar en el momento de definir la capacidad de uso de las tierras; estos son:

- La zona es el complejo lagunar costero más importante de Colombia.
- Posee un manglar extenso en peligro de extinción.
- Es un sitio Ramsar con compromisos internacionales de protección y conservación.

11.3.5.1.1. *El Complejo Lagunar Costero.*

En el libro Colombia Caminos del Agua editado por Diego Samper Martínez, Edith González y Gabriel Guillot, con el auspicio del Banco de Occidente (1993), se señaló que en el tramo final de los ríos hacia el mar, cerca de su desembocadura, aquellos hacen una intensa depositación de la carga de sedimentos que han recogido en todo su recorrido que generan expresiones geomorfológicas tales como, barras, diques y depresiones someras. En la costa Caribe esta intensa actividad fluvial es la responsable de la formación de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el departamento del Magdalena y de lagunas menores que ocurren en su área de influencia.

El nivel de las aguas en las lagunas costeras varía estacionalmente, de acuerdo con la magnitud de los aportes de agua de los ríos que las alimentan y de las variaciones de las mareas del Caribe (cambios plurianuales debido a las crecientes cíclicas de los ríos).

En las épocas de lluvias disminuye la salinidad del agua, y el oxígeno disuelto y se incrementan los aportes orgánicos locales del manglar y los de origen continental lo que favorece una mayor producción primaria biológica en el plancton y, en consecuencia, en los demás niveles tróficos de la comunidad acuática. En la época de sequía se reducen los aportes continentales y es mayor la penetración de las aguas oceánicas; la oferta de nutrientes inorgánicos es un poco menor, lo que limita la producción biológica primaria.

Las lagunas costeras son criaderos de muchos peces que pueblan el mar Caribe. En el caso específico de la Ciénaga Grande de Santa Marta la pesca depende tanto de los regímenes de estiaje y creciente de sus afluentes, como de los ciclos mareales; estos evacuan el excedente de producción de la laguna del que dependen las poblaciones pesqueras y, por otra parte, permiten el reclutamiento de los peces juveniles que se crían en las zonas protegidas de las lagunas como los manglares.

La situación actual del complejo lagunar (léase del humedal) de la Ciénaga Grande de Santa Marta es crítica por múltiples factores de carácter antrópico; frecuentes son las denuncias que recibe la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPOMAG) sobre el taponamiento de las arterias fluviales que alimentan las ciénagas y regulan sus niveles de salinidad; el diario El Espectador del 19-04-2016, denunció, por ejemplo, que los cultivadores de palma africana desviaron dos ríos clave para el equilibrio ecosistémico (ríos Fundación y Aracataca); afirma el periodista que no era la primera vez que llegaban estas alertas a CORPOMAG y agrega que hay 27 kilómetros de dique construido de manera ilegal por una empresa ganadera; Manuel Rodríguez Becerra, exministro y ambientalista hace, a través del diario el tiempo del 24-04-2016 una denuncia similar: empresas privadas que dragan el humedal aprovechando el control precario y “la sospechosa tolerancia de las

autoridades" y afirma que la construcción de la vía de la Prosperidad se adelanta, en la zona de influencia de la Ciénaga Grande, sin ningún concepto ambiental previo y con un diseño mal concebido de la obra 4G Barranquilla - Santa Marta.

La científica Sandra Vilardy, citada en el artículo del Espectador (Opus cit) afirma que el lugar por donde entra el agua al complejo de humedales se está sedimentando, los niveles de salinidad son altísimos y hay poco oxígeno, todo lo cual produce una proceso de descomposición; señala la académica que en sectores como Trojas de Cataca, en medio de la Ciénaga Grande, los habitantes han empezado a desplazarse por los malos olores y por la disminución de los peces que les sirven de alimento y son objeto de venta en los mercados locales.

La profesora Vilardy menciona otras denuncias desatendidas: "Parques Naturales ha alertado varias veces sobre incendios generados durante la sequía sin que haya habido respuesta por parte de la Autoridad Ambiental". Precisa que los problemas del río Aracataca se han ido incrementando durante los últimos ocho años; dice que el Incoder y los palmicultores, bajo el programa Agro Ingreso Seguro, construyeron diques que disminuyeron significativamente el caudal de agua que ingresa a la ciénaga.

El panorama desalentador que se expresó en los párrafos anteriores se convierte en una limitación que afecta directamente la capacidad de uso de las tierras de la cuenca estudiada y debe, por lo tanto, ser tenida en cuenta en el proceso de ordenamiento del territorio.

11.3.5.1.2. *El Ecosistema de Manglar.*

González (1991)[45] define el manglar como un ecosistema localizado en las líneas costeras tropicales y ecuatoriales, generalmente cercano a las desembocaduras de los río y caños de agua dulce. Continuamente recibe nutrientes de las corrientes continentales y deposita materia orgánica en el mar a través de los caños y a lo largo de las barras de arena; estos elementos constituyen las entradas y salidas del sistema abierto del manglar. Varios factores externos actúan sobre el manglar de los cuales los más importantes para su funcionamiento son: el flujo de la marea, la adecuada salinidad del suelo (5 a 50 partes por mil), la disponibilidad de agua dulce y de nutrientes. El clima regula algunos de los factores mencionados a través de las estaciones de lluvia y sequía; en las primeras la salinidad del suelo disminuye y la entrada de nutrientes del continente es alta; en la segunda la alta evaporación concentra las sales en el suelo y se reduce la entrada de nutrientes.

La vegetación en la que predominan los mangles es de tipo halohelófito lo que significa que se ha adaptado a los suelos muy pobremente drenados y salinos; los mangles están acompañados de otros organismos vegetales y animales interdependientes propios de un medio en constante evolución.

[45] González A. E 1991 No 21. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. Bogotá, paginas 2 – 21. El Manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Ecosistema en peligro de extinción en: Colombia sus gentes y Regiones.

Los manglares contribuyen significativamente al equilibrio del ecosistema porque aportan materia orgánica (detritus) en forma de hojas, flores y frutos que al caer al agua sirven de alimento para algunas especies de animales las cuales, a su vez, constituyen la base alimenticia de colonias juveniles de peces y demás organismos acuáticos que utilizan el detritus del manglar como sustrato para los estadios de vida que se desarrollan fijos al fondo (estadios de vida sésiles).

La red de raíces de los manglares juega un papel determinante en la ecología del manglar pues dada su estructura retiene gran parte de los sedimentos que traen las aguas continentales y crea espacios inaccesibles a los predadores adultos por lo que se convierte en criaderos naturales de peces, camarones, cangrejos y otras especies acuáticas.

Díaz et al (2009)[46] afirman que una de las funciones ecológicas más importantes del manglar radica en su gran productividad basada en sus aportes de toneladas de hojarasca por hectárea al año las cuales, una vez caidas al suelo o al agua, son cubiertas rápidamente por bacterias y hongos que al descomponerse liberan sustancias que sirven de alimento a camarones y otros crustáceos los que, a su vez, son consumidos por otros organismos. Estiman estos autores que una tercera parte de las especies de peces marinos dependen de la cadena alimenticia que se inicia en los manglares.

Un hecho adicional que corrobora la importancia de los manglares es el papel regulador de la evaporación del agua superficial que cumple el follaje de la vegetación del mangle, lo que protege los suelos de la desecación y la salinización además de constituirse en refugio de aves residentes y migratorias, mamíferos y reptiles.

- El Manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Afirma González (1991) que en el Caribe colombiano la mayor extensión de manglares (51.150 has) ocurre en el plano deltaico del río Magdalena bordeando la Ciénaga Grande de Santa Marta considerada la mayor laguna costera del país. Hace énfasis la investigadora mencionada en que la presencia de los manglares en la zona de influencia de la Ciénaga Grande está determinada por: a) La localización en la zona ecuatorial; b) La influencia local del mar Caribe y del río Magdalena; c) La existencia de numerosos ríos y caños que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta.

La vegetación de manglar conformada principalmente por mangle rojo (Rizopora mangle), mangle salado (Avicenia germinans) y mangle negro (Lagunaria racemosa), se encuentra en la planicie fluvio marina. Señala la Bióloga González (Opus Cit) que en el costado occidental de la Ciénaga la franja de manglar tenía, en la fecha del estudio que llevó a efecto (1991), una amplitud aproximada de 19 km en la parte más ancha y 13 km en la más angosta. En el costado oriental la extensión del manglar, en la parte ancha, es solo de 3km.

El aspecto más interesante, en el marco del análisis del componente agrológico para la elaboración del POMCA de la cuenca de los humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, lo constituyen los resultados de la investigación realizada por González (1991) los cuales centran la atención en las

[46] Díaz Merlano J.M.F Gast Harders, A Montes y F. G Suescun. 2009. En: El Choco Biogeográfico de Colombia. Publicación auspiciada por Banco de Occidente. Bogotá D.C. pag 79 – 85.

transformaciones del manglar a partir de mediados de la década de los años 50, hasta finales de la década de los años 80 (1956 – 1989), porque estos señalan las etapas de degradación del manglar durante tres décadas, registrados en imágenes de satélite y reflejados en la siguiente tabla **(Tabla 11.17)**.

Tabla 11.17. Estado del Manglar en los diferentes años (Fuente González 1991)

Cobertura	Evolución del área – extensión en hectáreas		
	1956	**1968**	**1987**
Manglar vivo	51.150	49.056	30.346
Manglar muerto	0	748	16.460
Agua	28.408	28.408	28.408
Playones Salinos	3.345	4.691	7.689
TOTAL	**82.903**	**82.903**	**82.908**

Como se observa en la tabla el área de manglares se redujo, en el periodo señalado, en un 40%. La mayor pérdida del Manglar ocurrió en el sector occidental (55.6%). A su vez los playones salinos que reemplazan el manglar muerto aumentaron de 3.345 ha a 7.689 ha cifras que los investigadores interpretan como indicadoras de un proceso de desertificación.

González (1991) mencionó como causas del deterioro del manglar los cambios en el funcionamiento hidrológico en el área, la estructura de la vegetación y la calidad de las aguas y los suelos; en el primer caso el manglar depende de los flujos de las mareas del aporte de agua dulce de los ríos en las crecientes, para evacuar los excedentes de materia orgánica y diluir las concentraciones de sales que llegan a ser tóxicas para la vegetación y la fauna. En el segundo caso la estructura del manglar se ha alterado debido a explotaciones industriales que dejan al descubierto amplias zonas del suelo las cuales pasan a ser playones salinos.

El tercer escenario lo protagonizan los monocultivos de banano, palma africana y otros cuyos desechos y residuos agroquímicos llegan a la Ciénaga Grande a través de las corrientes de agua dificultando el intercambio gaseoso; los residuos de pesticidas afectan toda la biota del ecosistema.

Es indudable que el proceso de deterioro del área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta ha continuado hasta el presente de tal manera que si se evaluaran los efectos de la acción antrópica (construcción de carreteras, desviación de los cauces de agua, actividad agroindustrial) con criterios y métodos similares a los que utilizo González (1991) el estado de la cuenca generaría una gran preocupación como lo demuestran los señalamientos que hizo el ambientalista Manuel Rodríguez Becerra en el artículo del diario el tiempo (24-04-2016) a cerca del dragado que varias empresas privadas están haciendo “aprovechándose del precario control y las sospechosa tolerancia de las autoridades”; señala también el experto que la construcción de la vía de la prosperidad que se adelanta sin ningún concepto ambiental previo (4G Barranquilla - Santa Marta) amenaza el sistema lagunar porque “se están repitiendo los errores de hace 50 años con los desastres causados”.

En el diario el espectador (19-04-2016) bajo el título: Sigue la destrucción de la Ciénaga Grande se mencionan denuncias de taponamiento del río Fundación por parte de los cultivadores de palma africana lo que impide que el cauce natural del agua llegue al complejo de humedales. Menciona el escrito 27 kilómetros de dique construidos ilegalmente por una empresa ganadera en la cuenca objeto del presente estudio; también denuncia que otro de los ríos importantes para la preservación del complejo de humedales, el Aracataca, también está en la mira de los palmicultores y bananeros que tratan de impedir, a toda costa, que el agua, con sus altos niveles de sal, llegue a sus cultivos.

11.3.5.1.3. *La Ciénaga Grande de Santa Marta: Humedal Ramsar.*
La cuenca objeto del plan de ordenamiento (POMCA) se presentó a la Convención sobre los Humedales de Ramsar en febrero de 1998 bajo el nombre "Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta" cuyas coordenadas geográficas son: 10° 20´ - 11° 05´ de latitud norte y 74° 06´ - 74° 52´ de longitud oeste. Área (has) 400.000 aproximadamente.

La descripción resumida del humedal es: Área conformada por más de 20 lagunas con diferentes niveles de sedimentación y salinidad, de las cuales la Ciénaga Grande es la de mayor tamaño (45.000 has). Sobresalen los ecosistemas de manglares más relevantes, de mayor extensión del Caribe Colombiano. La actividad pesquera es de gran importancia económica. Además, se constituyen en hábitat para especies de fauna como aves residentes y migratorias, mamíferos, reptiles, moluscos y peces.

Los criterios seleccionados para justificar la inclusión del humedal en la convención de Ramsar fueron: a) Son los humedales estuarinos más importantes de Colombia, con un gran valor socioeconómico; b) La biodiversidad (babilla, caimán, iguana, monos, chigüiro, manati; manglares, bosque inundado, bosque deciduo tropical, vegetación herbácea y acuática; c) criterio especifico basado en aves acuáticas con grandes concentraciones de playeros residentes y migratorias provenientes del Neartico; d) criterio basado en peces: la zona cumple un papel importante en la producción de recursos pesqueros; área para la producción de recursos pesqueros; área para la reproducción y cría de alevinos de peces comerciales y zona para migraciones reproductivas de peces; territorio rico en macro invertebrados (moluscos, camarones, cangrejos).

Respecto a tenencia de la tierra /régimen de propiedad se señala que dentro del sitio el sistema lagunar es estatal y privado puesto que 23.000 ha se en cuentan en el Santuario Ciénaga Grande de Santa Marta y 21.000 ha están en el Parque Nacional Isla de Salamanca; en la zona de interés hay ganaderos y agricultores con fundos de 20 ha en promedio y productores de banano y palma africana. Hay actividades pesqueras (de los 3.600 habitantes de los pueblos palafiticos, el 44% son pescadores).

11.3.5.1.4. Limitaciones para el desarrollo pleno del componente suelo**.**
La identificación de los factores que fungen como características limitantes para el uso y el manejo de las tierras en la cuenca constituida por los humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta se hizo de acuerdo con la aproximación metodológica utilizada y sugerida por la Autoridad Ambiental en base al conocimiento del mosaico edáfico aportado por el estudio general de suelos (IGAC 2009),

complementado este con acciones de tipo cartográfico, de observaciones directas en el campo y de una consulta bibliográfica centrada en la degradación del ecosistema de manglar, en el incremento de la salinidad de las aguas y los suelos y en el impacto de la existencia en el área de zonas protegidas como el santuario Ciénaga Grande de Santa Marta y el Parque Nacional Isla de Salamanca y la condición de protección y estudio que adquirió al ser aceptado el complejo de humedales como sitio Ramsar.

La identificación de los ambientes edafogenéticos, agrupados estos en torno al factor que domina la génesis (gleización, haploidización, salinización, paludización, evolución escasa y moderada en terrenos inclinados con régimen ústico) es una aproximación válida para señalar las limitaciones principales de los suelos en la cuenca. Así, el caso de la **gleización** que involucra a todos los suelos cuyo drenaje natural es pobre, el exceso de humedad, las condiciones anaeróbicas (deficiencia de oxigeno) y la poca o ninguna profundidad efectiva para el anclaje y desarrollo normal de las raíces de las plantas, son los factores que obstaculizan la capacidad de las tierras para usos agriculturales y ganadería; sectores importantes alrededor de los cuerpos de agua y en los corredores aluviales de la red fluvial de la zona sufren inundaciones periódicas de larga duración.

La presencia de **sales y sodio en exceso** es el problema que, además de afectar áreas extensas de la cuenca, ha incrementado su concentración en los últimos 60 años por cambios en el funcionamiento hidrológico; la dilución de las concentraciones de sal en los manglares y en otras zonas depende de los flujos de las mareas y del aporte de los ríos en las crecientes, pero la construcción de vías y el taponamiento de los cauces de agua que hacen algunos empresarios agrícolas impide la llegada de suficiente agua dulce para disminuir los niveles de salinidad.

Es interesante resaltar que a medida que decrecen los manglares aumentan los playones salinos como se explicó anteriormente analizando los resultados de las investigaciones hechas por González (1991).

La haploidización como factor de edafogénesis indica la presencia de suelos pertenecientes al orden Vertisol cuyos contenidos abundantes de arcillas expandibles, reflejados en el fuerte agrietamiento del terreno en la época seca, limitan severamente el usos de los suelos máxime cuando el fenómeno está acompañado por condiciones de avenamiento impedido (régimen ácuico) y de afectación por sales y sodio.

La sequedad del clima (cálido seco) que, en condiciones de buen drenaje (lomerío, terraza), se manifiesta en la ocurrencia del régimen ústico caracterizado por los periodos largos en los que hay deficiencia de humedad aprovechable por las plantas afecta las tierras con aptitud para cultivos y pastos al punto de requerirse suplir de agua al suelo por medio del riego.

11.3.5.1.5. *Clases de tierras*

La definición de la capacidad de uso de las tierras de la Cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta se llevó a efecto de acuerdo con las especificaciones y premisas establecidas por la Subdirección de Agrología del IGAC sin soslayar, en ningún momento, las condiciones particulares

del área las cuales la señalan como unos de los humedales costeros más valiosos de Suramérica, con cobertura vegetal de manglar sobre el plano deltaico del río Magdalena que bordea la Ciénaga Grande de Santa Marta la cual está en franco proceso de degradación.

La situación anterior sumada a la declaración del área como sitio Ramsar y la existencia de dos áreas protegidas: El Santuario Ciénaga Grande de Santa Marta y El Parque Nacional Isla de Salamanca hace que en la cuenca el concepto de capacidad de uso y manejo se enfrente al de vocación, el primero centrado en la agrupación de las tierras en clases agrológicas con base en las limitaciones para el uso sostenible y el segundo en la decisión tomada por la Autoridad Ambiental y otras dependencias estatales competentes en reconocimiento a la importancia ecológica y ambiental del complejo lagunar, a la sana intención de protegerlo y a la urgente necesidad de recuperar los componentes ecosistémicos degradados para beneficio del país y del planeta en general.

A la luz de las consideraciones hechas, la clasificación de las tierras por su capacidad de uso señaló, en primer lugar, que una parte considerable del área debe ser dedicada a la conservación y/o a la recuperación de la naturaleza (clase 8); que gran parte de los sectores de la unidad hidrológica con drenaje impedido e inundaciones periódicas prolongadas (clase 5) deben continuar formando parte del humedal por su importancia ecosistémica, y que las zonas planas y de lomerío bien drenadas, sin afectación por sales, o con niveles bajos de salinidad son aptas para usos sostenibles agriculturales (clase 3 y 4) y ganaderos (clase 6).

La descripción de las clases de tierras que se presentan a continuación y que hace las veces de memoria técnica de la carta temática correspondiente, sigue el orden mencionado en el párrafo anterior.

11.3.5.2. *El sistema de clasificación*

La capacidad de uso de las tierras, además de determinar la potencialidad para actividades agropecuarias y forestales con base en 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.

11.3.5.3. *Factores que limitan la capacidad de uso de las tierras.*
El desarrollo pleno del recurso suelo en la Cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta está limitado por factores tales como el drenaje pobre, el que a su vez, disminuye significativamente la profundidad efectiva; este fenómeno ocurre en el plano de desborde de la planicie fluvio marina; también es un factor limitante la presencia de sales en los alrededores de las ciénagas, la cual no solamente se produce por las condiciones climáticas, sino porque el ecosistema para evacuar los excedentes de materia orgánica que se producen bajo la cobertura de manglar y diluir las concentraciones de sal, el manglar depende de los flujos de las mareas y los aportes de agua dulce de los diferentes caños. Como esta condición no está ocurriendo, se están generando condiciones de alta concentración de materia orgánica y cuando llega la época de verano, las aguas se evaporan y el excedente de materia orgánica y sales queda retenido en las partes cóncavas de los suelos, generando altos niveles de toxicidad por sales al punto de afectar a las mismas especies que soportan estos excesos y se mueren **(Figura 11.16)**.

Figura 11.16. Salinidad en la superficie y materia orgánica en los horizontes subsiguientes



En la agrupación de ambientes edafogenéticos cuyo factor que direcciona la génesis es la gleización (régimen ácuico, características redoximórficas) hay suelos mal drenados que, de acuerdo con los resultados de un análisis costo/beneficio, podrían ser adecuados con obras de drenaje 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 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 con pendientes 12-25% 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 (**Figura 11.17**).

Figura 11.17. Zonas afectadas por erosión



11.3.5.4. *Fortalezas del Componente edáfico para el uso agropecuario sostenible*

El clima característico de la región es cálido seco, el régimen de humedad de los suelos es ústico y, de acuerdo con la distribución de lluvias, la precipitación es insuficiente para el establecimiento de la mayoría de cultivos, generando épocas de déficit de agua aprovechable por las plantas.

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. (**Figura 11.18).**

Figura 11.18. Usos agrícolas intensivos de tomate y yuca en las napas cerca del río Magdalena.



En los sistemas pecuarios, la calidad de las tierras planas permite una ganadería de tipo semintensivo, de lechería, cría, levante y carne, con razas de cebú puro, romosinuano, pardo y el cruce de las anteriores; tales explotaciones requieren el establecimiento de pastos naturales y mejorados como angleton, guinea, pará, braquiaria, puntero y leguminosas forrajeras.

En la zona de ciénagas se tiene fortalezas incalculables en el aspecto de servicios ecosistémicos y paisajísticos; por ejemplo las ciénagas son un extraordinario santuario de centenares de especies de flora y fauna que habitan a lo largo y ancho del ecosistema, así como un punto central de regulación climática e hidrológica (control de inundaciones), asimilación de contaminantes y obtención de alimentos; de igual manera, es parada obligatoria de varias especies migratorias (sobre todo de patos que provienen del norte del continente). Además, es hogar de reptiles como la babilla, el caimán aguja y las iguanas, y de mamíferos como la zorra manglera, el mono colorado, el mico cariblanco y el manatí, por citar algunos de los más representativos.

11.3.5.5. *Clases y subclases de tierras.*

Una vez conocidos los suelos dominantes en cada uno de los ambientes edafogenéticos de la Cuenca hidrográfica del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta 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 estacional (época seca), conservación del bosque nativo y refugio de la fauna silvestre (Clase 5) y Tierras para la recuperación de la naturaleza por su avanzado estado de deterioro (Clase 8).

La definición de la capacidad de uso de las tierras de la cuenca Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta señaló la existencia de las clases agrologicas 3, 4, 5 y 8, las cuales presentan las siguientes aptitudes generales; a continuación, se define la aptitud de cada una de las subclases, en las figuras **(Tabla 11.18)**, (**Figura 11.19)**,**(Figura 11.20)** y se muestra la distribución espacial de cada una de ellas y la distribución porcentual dentro de la cuenca. La leyenda de capacidad de usos de las tierras se puede apreciar en el **(ANEXO 4)** y **(Tabla 11.19)**

TIERRAS APTAS PARA AGRICULTURA Y GANADERÍA

a. **Con cultivos transitorios intensivos y ganadería semi intensiva: clase 3:** ocupa el 2% del área total de la cuenca

b. **Con cultivos transitorios semi intensivos y ganadería extensiva: clase 4:** es el 33% del área total de la cuenca

TIERRAS APTAS PARA GANADERÍA ESTACIONAL.

c. **Con cultivos de ciclo corto y conservación de la vegetación nativa: Clase 5:** cubre el 3% del área total de la cuenca

TIERRAS QUE REQUIEREN COBERTURA VEGETAL PERMANENTE DE MÚLTIPLES ESTRATOS

d. **Clase 7:** es el 4% del área total de la cuenca

TIERRAS PARA LA CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN DE LA NATURALEZA

e. **Clase 8:** corresponde al 58% del área total de la cuenca.

Figura 11.19. Distribución porcentual de las clases de tierras en la cuenca

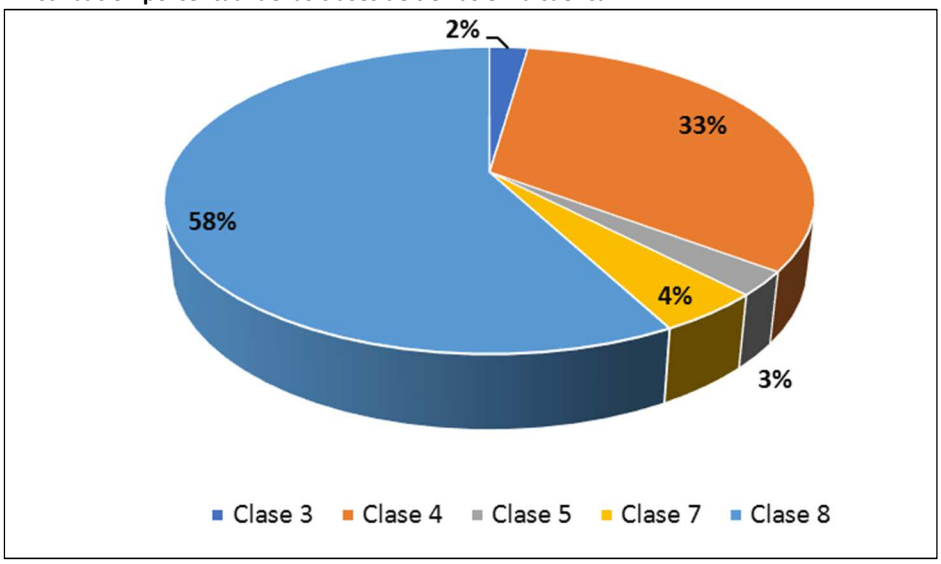


Tabla 11.18. Clases agrológicas identificadas y su distribución (Has) en los municipios que participan en La cuenca

HECTAREAS POR CLASE AGROLOGICA					
MUNICIPIOS	**CLASES AGROLOGICAS**				
	3	**4**	**5**	**7**	**8**
CERRO DE SAN ANTONIO	447.14	5199.49	268.69	1704.25	681.08
EL PIÑÓN	1309.25	21875.24	2701.64	3728.26	5794.05
PIVIJAY	120.13	25613.57	1319.79	1073.47	11408.75
PUEBLO VIEJO					10533.66
REMOLINO	225.89	11609.05	183.98	2683.62	35008.98
SALAMINA	736.50	8214.29	443.78	1352.78	6742.60
SITIONUEVO	1749.40	7242.59	443.78	254.25	59108.24

Figura 11.20. Distribución de las clases de tierras en la cuenca

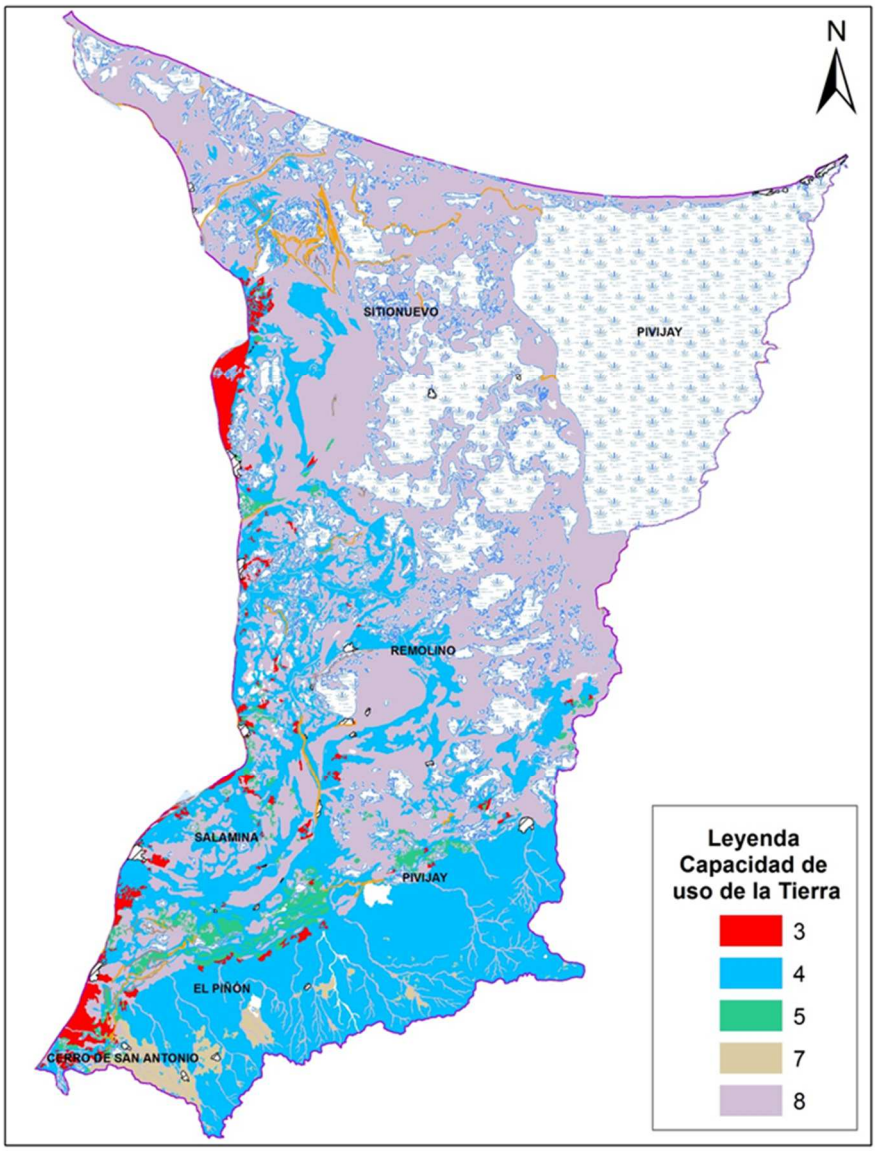


Tabla 11.19. Leyenda de Capacidad de Uso de las Tierras

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS CUENCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA								
Clase	**Subclase**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
3	3hs	CG13a1x, CG13ax, CG13b1x, CG13bx, CG15a1x, CG15ax, CG15b1x, CG15bx.	Drenaje impedido y las texturas finas	**TIERRAS PARA AGRICULTURA Y GANADERIA**	Cultivos transitorios intensivos	CTI	4298.42	2
4	4es	CG1a2, CG1b2, CG1c2, CG10a2, CG10b2, CG10c2.	Erosión moderada, fertilidad baja y presencia de sales		Cultivos Permanentes Semi-intensivos	CPS	62491.78	33
	4ehs	CG11a2x, CG11b2x, CG12a2x, CG12b2x, CG13a2x, CG13b2x, CG15a2x, CG15b2x, CG9a2x, CG9b2x, CG9c2x.	Erosión moderada, drenaje impedido, la fertilidad muy baja.					
	4s	CG1a, CG1a1, CG1b1, CG1c, CG1c1, CG10a, CG10a1, CG10b, CG10b1, CG10c1.	Fertiliddad natural baja, presencia de sales y sodio.		Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS		
	4hs	CG11a1x, CG11ax, CG11b1x, CG11bx, CG15a3x, CG15c1x, CG9a1x, CG9ax, CG9b1x.	Drenaje impedido, fertilidad baja y presencia de sales y sodio.		Pastoreo semi-intensivo	PSI		
5	5hs	CG12a1y, CG12ay, CG12b1y, CG12by.	Drenaje impedido, profundidad efectiva superficial y fertilidad baja	**GANADERIA ESTACIONAL**	Pastoreo extensivo	PEX	4820.44	3
7	7e	CG1a3, CG1b3, CG1c3, CG10a3, CG10b3x, CG10c3, CG11a3x, CG11b3x, CG12a3x, CG12b3x, CG13a3x, CG13b3x, CG15b3x, CG9a3x, CG9b3x, CG9c3x.	Erosión severa	**TIERRAS QUE REQUIEREN COBERTURA VEGETAL PERMANENTE MULTI ESTRATA**	Sistema Forestal Protector	FPR	8373.70	4

LEYENDA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS CUENCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA								
Clase	**Subclase**	**Unidades Geomorfopedológicas**	**Principales limitantes de uso**	**Aptitud de las tierras**	**Uso Principal propuesto**	**Símbolo**	**Área**	**%**
8	8hs	CG12anz, CG12a1nz, CG12a2nz, CG12a3nz, CG12b nz, CG12b1nz, CG12b2nz, CG12b3nz, CG14anz, CG14a1nz, CG14a3nz, CG14bnz, CG14b1nz, CG14b2nz, CG14b3nz, CG15a nz, CG15a1nz, CG15a2nz, CG15a3nz, CG15bnz, CG15b1nz, CG15b2nz, CG15b3nz, CG15c nz, CG15c1nz, CG15c2nz, CG16a nz, CG16a1nz, CG16a2nz, CG16a3nz, CG16bnz, CG16b1nz, CG16b2nz, CG16b3nz, CG2anz, CG2a1nz, CG2a2nz, CG2a3nz, CG2b nz, CG2b1nz, CG2b2nz CG2b3nz, CG3anz, CG3bnz, CG3cnz, CG4anz, CG4bnz, CG5anz, CG5a1nz, CG5a2nz, CG5a3nz, CG5b nz, CG5b1nz, CG5b2nz, CG5b3nz, CG5cnz, CG5c1nz, CG5c3nz, CG6a nz, CG6a1nz, CG6a2nz, CG6a3nz, CG6b nz, CG6b1nz, CG6b2nz, CG6b3nz, CG6c nz, CG6c1nz, CG7anz, CG7bnz, CG8anz, CG8bnz, CG8cnz.	Drenaje impedido, inundaciones mayores a seis meses, altos contenidos de sal y sodio y fertilidad baja	**TIERRAS PARA LA CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN DE LA NATURALEZA**	Áreas para la Conservación y/o para la Recuperación de la Naturaleza	CRE	109530.53	58
	8s	CG15an, CG15a1n, CG15a2n, CG15a3n, CG15bn, CG15b1n, CG15b2n, CG15b3n, CG15c1n, CG15c2n, CG15c3n.	Altos contenidos de sal y sodio en el suelo					

11.3.5.6. *Definición los grupos de capacidad*

11.3.5.6.1. *Tierras aptas para agricultura y ganadería. Con cultivos transitorios intensivos y ganadería semi-intensiva. clase 3*

Las tierras de la clase 3 se encuentran ubicadas en las napas y orillares del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, en condiciones de clima cálido seco; presentan restricciones ligeras para su uso agropecuario, debido a la profundidad efectiva que se calificó como moderadamente superficial, fertilidad natural muy baja y por estar algunos sectores en el límite de inclinación de la pendiente (7-12%) y algunos por presentar ligeros problemas por inundaciones (imperfectamente drenados) ocasionales y cortas.

Estas tierras son aptas para usos agropecuarios intensivos; sin embargo, este uso debe estar acompañada por un manejo agronómico específico, 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 4298.42 Hectáreas, las que corresponden al 2% del total, en la **(Figura 11.21)** se puede apreciar la distribución espacial de esta clase dentro de la cuenca.

- Subclase 3hs

Son tierras que están ubicadas en el paisaje de planicie fluvio marina en el tipo de relieve denominado plano de inundación, en las formas de terreno de napas y albardones, en clima cálido seco; se caracterizan por ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, de texturas moderadamente finas, fertilidad moderada, porcentaje de sodio intercambiable y relación calcio magnesio normales

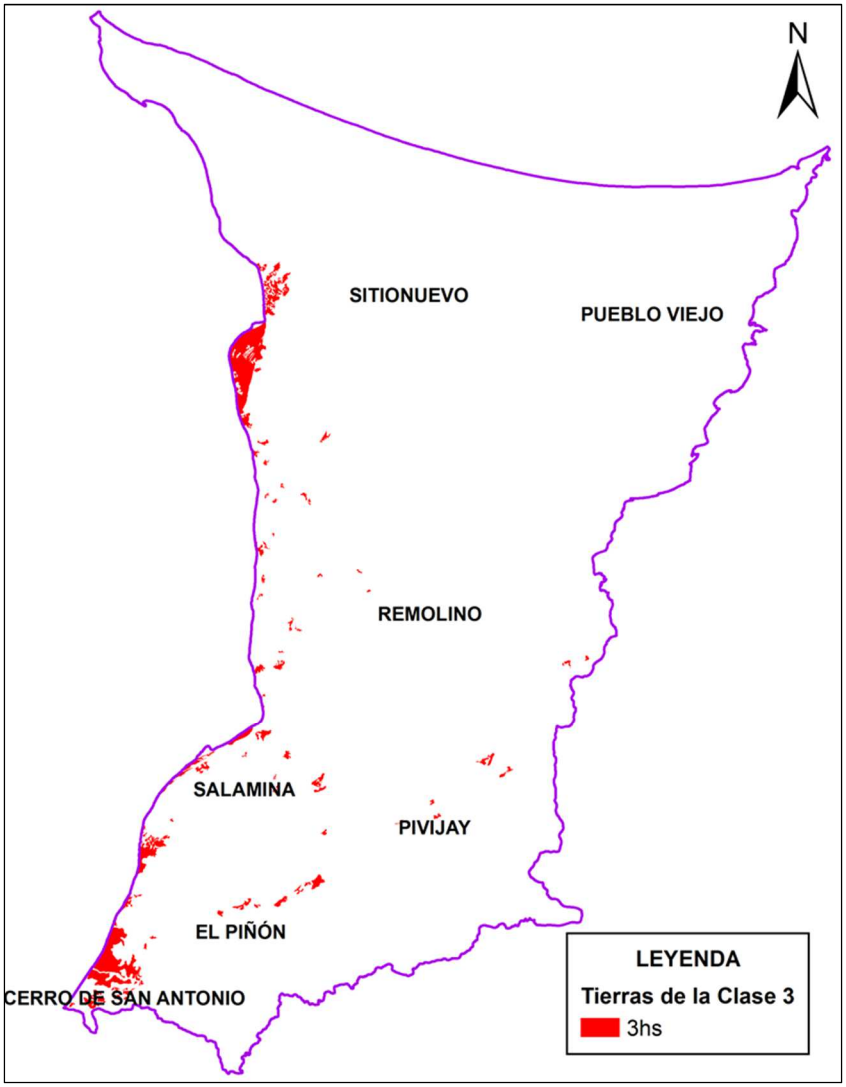
Las principales limitantes de estas tierras son la presencia de inundaciones ocasionales y cortas por su cercanía al río Magdalena y la moderada profundidad efectiva.

Las limitaciones mencionadas inciden en la oferta nutricional de los suelos para la producción agrícola, lo que determina 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, se deben manejar los excesos ocasionales de agua para evitar enfermedades en las raíces de las plantas.

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.

La aptitud de estas tierras es para la agricultura y ganadería, con cultivos transitorios intensivos o ganadería intensiva.

Figura 11.21. Distribución de las tierras de la clase 3 en la cuenca de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



11.3.5.6.2. *Tierras aptas para cultivos transitorios semi-intensivos y ganadería extensiva clase 4.*
Las tierras de la clase 4 se encuentran localizadas en las laderas ligeramente inclinadas del paisaje de lomerío, en los planos de terraza de nivel 2 y en las napas del plano de inundación en el paisaje de planicie fluvio marina, tienen restricciones para el uso agropecuario debido a problemas de sales, frecuencia y duración de las inundaciones, procesos erosivos en grado ligero 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 62491.78 Ha, que corresponden al 33% del total del área, en la **(Figura 11.24)** se puede apreciar cómo se distribuye ésta clase dentro de la cuenca.

Las tierras de clase 4 dentro del área de la cuenca presentan las siguientes subclases:

- Subclase 4es

Las tierras correspondientes a esta subclase ocurren en los paisajes de lomerío y planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de lomas, terrazas y en las formas de la tierra de laderas ligeramente inclinadas y plano, en clima cálido seco; los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, reacción ligeramente ácida, porcentajes de sodio intercambiable superiores a 15% y fertilidad natural moderada.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con la presencia de erosión de grado moderado, factores edáficos como la presencia de sales y sodio a partir de los 50 centímetros con concentraciones superiores a 15% y relación calcio magnesio invertida.

Las tierras son aptas para cultivos permanentes semi-intensivos y actividades que estén orientadas a favorecer la regeneración vegetal para controlar la erosión, se pueden implementar sistemas agro silvícolas implementando prácticas como la adición de abonos orgánicos; 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 4s

Las tierras correspondientes a esta subclase ocurren en los paisajes de lomerío y planicie fluvio marina en los tipos de relieve de lomas y terrazas y formas de la tierra de laderas ligeramente inclinadas y plano de terraza en clima cálido seco; los suelos son moderadamente profundos, limitados por presencia de sales a después de los 50 cm, bien drenados, de texturas moderadamente finas, relación calcio/magnesio invertida, la fertilidad natural es moderada y baja.

Las principales limitantes del uso están relacionadas con factores edáficos como la presencia de sales y sodio a partir de los 50 centímetros, tienen relación calcio magnesio invertida.

Las tierras son aptas para cultivos transitorios 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 como el yeso, al igual que materia orgánica compostada, se recomienda hacer lavado de sales mediante la aplicación de riego supletorio. 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, en la **(Figura 11.22)** se puede apreciar una panorámica de las tierras de la clase 4s.

Figura 11.22. Tierras de la subclase 4s



- Subclases 4hs

Las tierras agrupadas en esta unidad agrológica ocurren en el paisaje de planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de terraza aluvial y plano de inundación, en las formas de terreno de plano de terraza, depresiones, napas, albardones y orillares en clima cálido seco; los suelos son moderadamente profundos, limitados por fluctuaciones del nivel freático e inundaciones frecuentes, conductividad eléctrica moderada, sodio intercambiable superior a 15%, la relación calcio/magnesio es estrecha, la fertilidad natural es baja, las pendientes no superan el 12%.

Las principales limitantes para el uso de estas tierras son las inundaciones frecuentes y largas que han evolucionado suelos imperfectamente drenados, la presencia de sales y sodio en el perfil la inclinación del terreno y la baja fertilidad de los suelos.

Las tierras son aptas para ganadería semi-intensiva; opcionalmente y solo en algunas épocas del año se puede llevar acabo agricultura con cultivos transitorios semi-intensivos. Los cultivos semi intensivos y la producción de forrajes están limitados por las condiciones de salinidad y la disponibilidad hídrica en época de verano; en cualquier caso, es necesario considerar las aplicaciones periódicas de fertilizantes, y de materia orgánica compostada, así como realizar prácticas de manejo y conservación de los suelos para evitar su degradación, la labores de labranza se deben hacer en condiciones adecuadas de humedad, en la figura **(Figura 11.23)** se puede apreciar las tierras de la clase 4hs.

Figura 11.23. Tierras de la sub clase 4hs



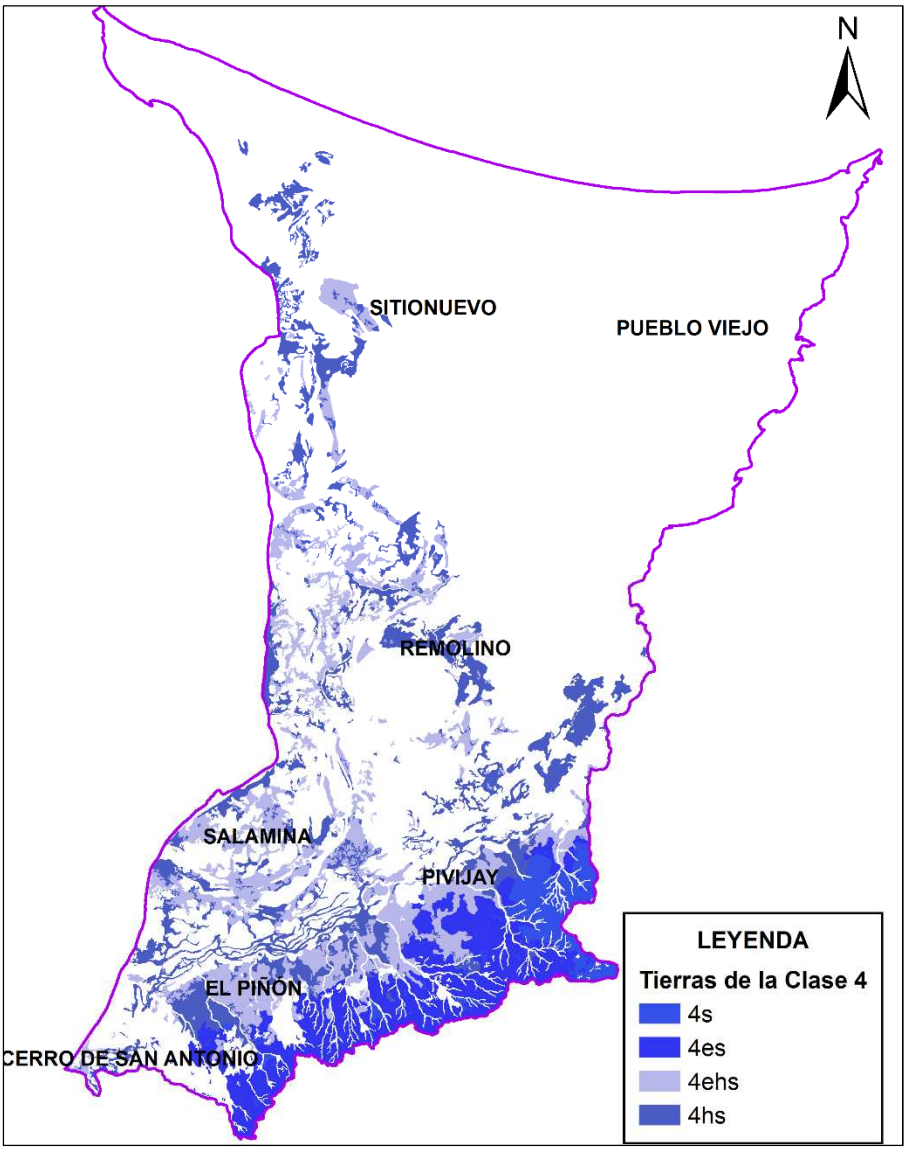
- Subclase 4ehs

Las tierras agrupadas en esta unidad agrológica ocurren en el paisaje de planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de terraza aluvial y plano de inundación, en las formas de terreno de plano de terraza, depresiones, cubetas, napas, albardones y orillares en clima cálido seco; los suelos son moderadamente profundos, limitados por fluctuaciones del nivel freático e inundaciones, conductividad eléctrica moderada, sodio intercambiable superior a 15%, la relación calcio/magnesio es estrecha, la fertilidad natural es baja, las pendientes no superan el 12%. Hay erosión moderada.

Las principales limitantes para el uso de estas tierras son los procesos erosivos, la susceptibilidad a inundaciones, drenaje imperfecto, la presencia de sales y sodio en el perfil y la baja fertilidad de los suelos.

Las tierras son aptas para para cultivos permanentes semi-intensivos. La agricultura y la producción de forrajes están limitados por las condiciones de salinidad y la disponibilidad hídrica en época de verano; en cualquier caso, es necesario considerar las aplicaciones periódicas de fertilizantes, y de materia orgánica compostada, así como realizar prácticas de manejo y conservación de los suelos para evitar su degradación, la labores de labranza se deben hacer en condiciones adecuadas de humedad, en la figura **(Figura 11.23)** se puede apreciar las tierras de la clase 4hs.

Figura 11.24. Distribución de las tierras de la clase 4 en la cuenca del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande del Santa Marta.



11.3.5.6.3. *Tierras aptas para ganadería estacional y la conservación del ecosistema. Clase 5*

Las tierras de esta clase tienen restricciones debido al exceso de humedad (inundaciones o encharcamientos) que se presenta durante más de 60 días consecutivos o 90 acumulativos por año, lo cual genera en los suelos condiciones redoximorficas.

El exceso de humedad restringe la aptitud de estas tierras a acciones de conservación, aunque se pueden emplear en ganadería estacional. Estas áreas son recuperables para el uso sostenible, mediante obras de adecuación generalmente costosas.

El área correspondiente a las tierras de la clase 5 es de 4820.44 Hectáreas, que corresponden al 3% del total del área de la cuenca, la localización de esta clase agrológica dentro de la cuenca se puede apreciar en la figura **(Figura 11.25)**.

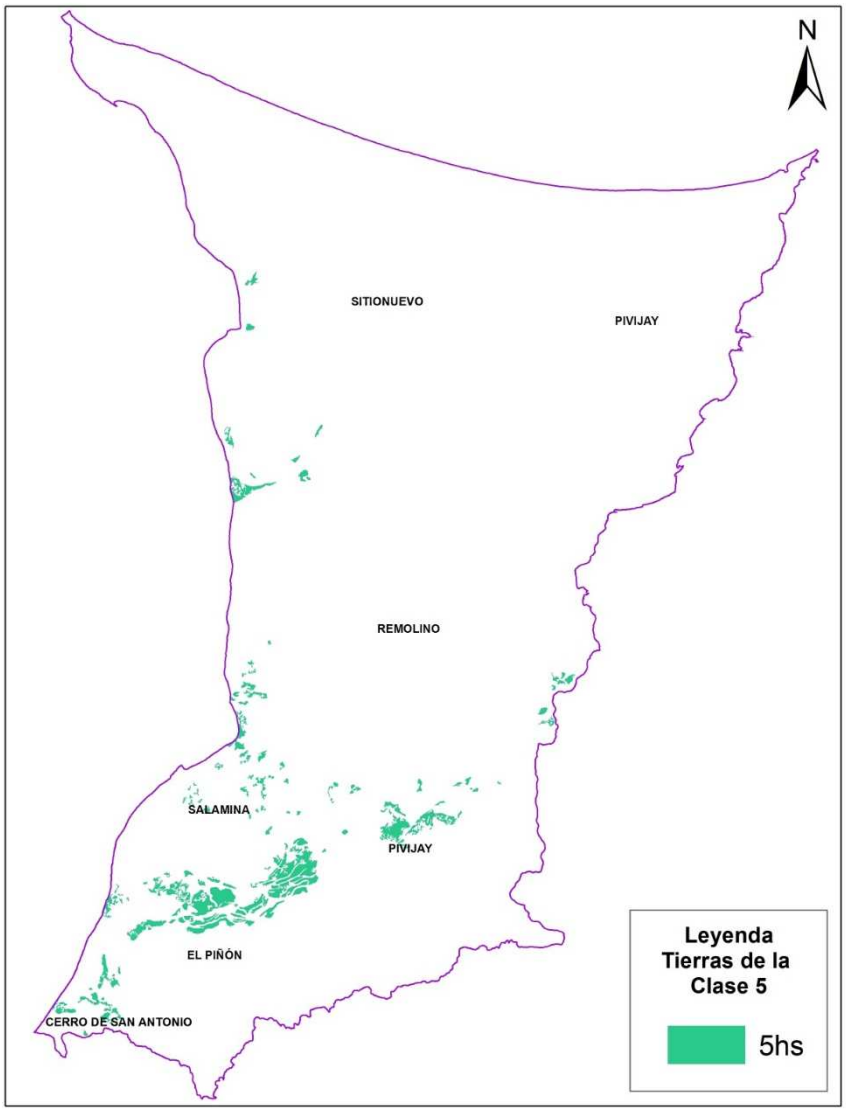
- Subclase 5hs

Estas tierras ocurren en el paisaje de Planicie aluvial, en los tipos de relieve denominados planos de inundación, en las formas de la tierra de cubetas; se ubican en el clima cálido seco; los suelos son superficiales, pobremente drenados, de texturas moderadamente finas, reacción ligeramente alcalina, fertilidad moderada, limitados por sales en pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Las principales limitantes que afectan estos suelos son el mal drenaje, la escaza profundidad efectiva y la presencia de sales; se encuentran normalmente asociados a cuerpos de agua lenticos como ciénagas y humedales y solo permiten usos estacionales en áreas de pastoreo extensivo en algunos sectores.

Las condiciones de manejo de estas tierras están supeditadas a los fenómenos de estacionalidad de las inundaciones y su aptitud enfocada hacia ganadería de tipo extensivo y solamente en épocas de verano.

Figura 11.25. Distribución de las tierras de la clase 5 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



11.3.5.6.4. *Tierras que requieren cobertura vegetal permanente multiestrata- bosque protector productor. Clase 7*

Las tierras de la clase 7 se encuentran en el paisaje de lomerío en clima cálido seco; los suelos presentan procesos erosivos y están afectados por sales.

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 8373.70 Hectáreas, que corresponden al 4% del total del área de la cuenca. Ver **(Figura 11.26)**

Las tierras de clase 7 están conformadas por la siguiente subclase:

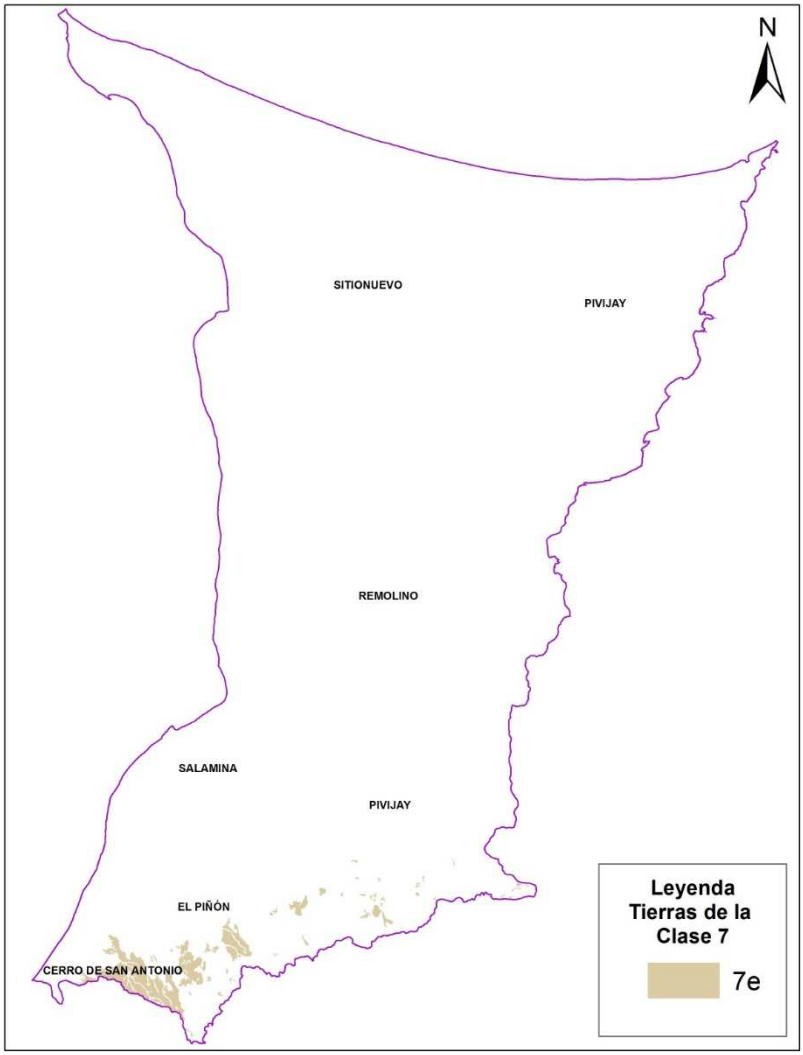
- Subclases 7e

Esta subclase se encuentra en el lomerío en los tipos de relieve denominados lomas en clima cálido seco; son moderadamente profundos, limitados por presencia de sales a después de los 50 cm y un horizonte a muy delgado, bien drenados, de texturas moderadamente finas, relación calcio/magnesio invertida, procesos erosivos de grado severo, la fertilidad natural es moderada

Las limitaciones de las tierras para el uso sostenible son la erosión de grado severo, la relación calcio/magnesio invertida y la presencia de sales y sodio en el perfil.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica es la cobertura vegetal permanente de múltiples estratos, la conservación de la vegetación nativa y la reforestación, propiciando el desarrollo del sotobosque.

Figura 11.26. Distribución de las tierras de la clase 9 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta



11.3.5.6.5. *Tierras para la conservación y/o recuperación de la naturaleza. Clase 8*

Las tierras de la clase 8 están localizadas en los paisajes de lomerío, tipos de relieve de vallecitos, en el paisaje de planicie fluvio marina, en los tipos de relieve de marismas, orillares; la topografía es plana a ligeramente plano cóncava con pendientes que no superan el 3%; los suelos son muy superficiales y superficiales, imperfecta y pobremente drenados, de texturas gruesas, con acumulación de sales y sodio, procesos erosivos severos y fertilidad baja y moderada.

Estas tierras tienen limitaciones muy fuertes a extremadamente severas debido a inundaciones frecuentes de larga duración, asociada a problemas de acumulación de sales y sodio fenómeno que las convierte en humedal, el cual es un ecosistema de alto valor ecológico, muy sensible a la actividad humana, por lo que se debe proteger por sus beneficios ecosistémicos; otras limitaciones

que presentan son las texturas muy gruesas y la influencia del agua salada, ya que corresponden a las geoformas localizadas en la orilla del mar; se incluyeron en esta clase todos los suelos relacionados con los cuerpos de agua que se encuentran al interior de la cuenca.

Su 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 109530.53 Hectáreas, que corresponden al 58% del total del área de la cuenca, la localización de estas tierras se puede apreciar en la figura **(Figura 11.30)**.

- Subclases 8hs

Esta subclase se encuentra en los paisajes de lomerío, planicie fluvio marina en los tipos de relieve de marismas y plano de inundación y en clima cálido seco; la topografía es plana con inclinaciones que no superan el 7%, los suelos presentan profundidad efectiva moderada y muy superficial, drenajes impedido, texturas moderadas y gruesas; la fertilidad natural es baja.

Las limitaciones de las tierras para el uso sostenible son, el avenamiento impedido, las texturas, la presencia continua de agua de mar y la poca entrada de agua dulce, lo que ocasiona problemas de inundaciones y salinidad y la baja fertilidad, son los conocidos humedales o zonas de manglar; estos sitios están siendo secados por los ganaderos de la zona para ampliar su frontera agropecuaria como se puede apreciar en las **(Figura 11.27**), **(Figura 11.28)**, en la cual se tienden cercados a los largo del humedal para tomar las zonas como sitios para la ganadería; el problema de esta actividad es que al cortarse el mangle, el suelo queda expuesto a los rayos del sol y las altas temperaturas originando su secamiento rápido y el ascenso de las sales a la superficie, produciendo costras y trayendo como consecuencia la desaparición de los pastos pues no soportan los altos contenidos de sales.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica es la cobertura vegetal permanente y la conservación de la vegetación nativa.

Figura 11.27. Tierras de la clase 8hs con problemas por desecamiento de los cuerpos de agua para expandir la frontera agropecuaria.



Figura 11.28. Tierras de la clase 8hs con problemas por excesos de sales en superficie y en el perfil.



- Subclases 8s

Esta subclase se encuentra en el paisaje de planicie fluvio marina en el tipo de relieve de plano de inundación clima cálido seco; la topografía es plana y ligeramente inclinada con pendientes que no superan el 7%, los suelos presentan profundidad efectiva moderadamente y profunda, bien, e imperfectamente drenados, de texturas moderadamente finas; con problemas de salinidad y la fertilidad natural es baja. **(Figura 11.29)**

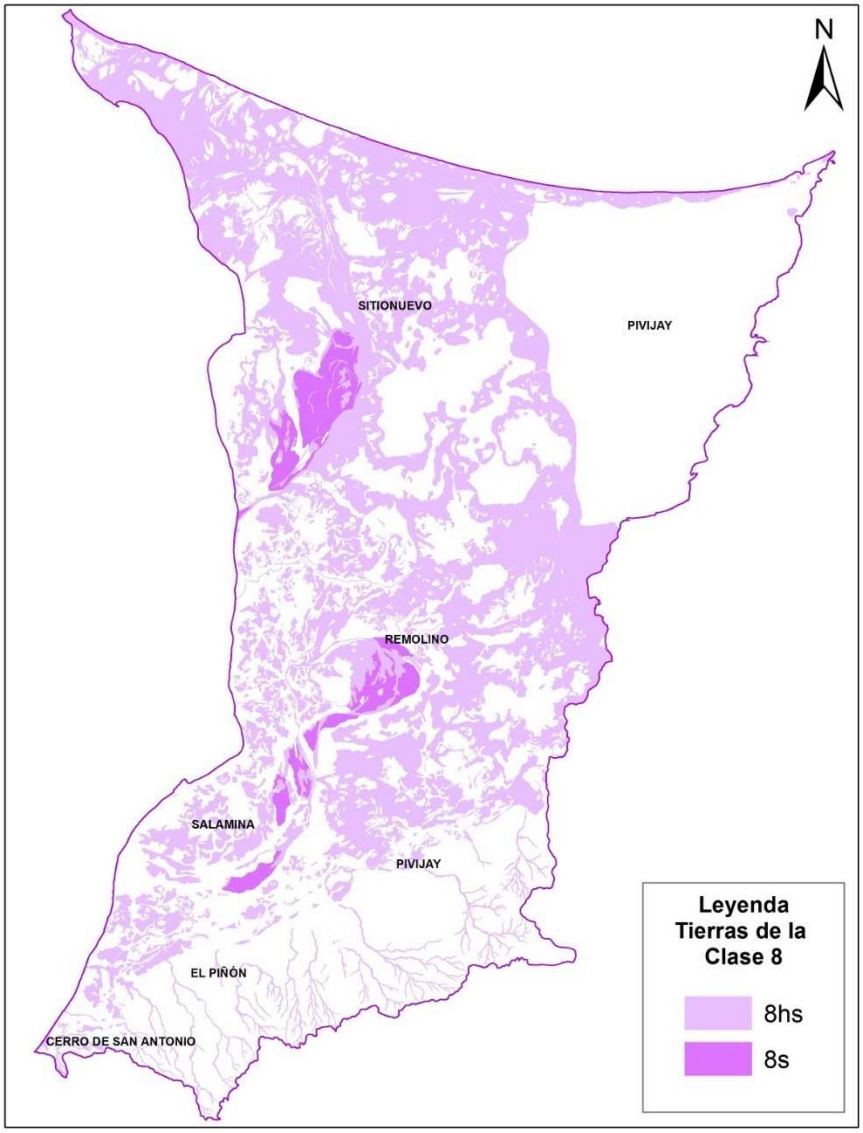
Las limitaciones de las tierras para el uso sostenible son la presencia de sales en superficie y en el perfil del suelo.

El uso más adecuado de las tierras que conforman la unidad agrológica es la cobertura vegetal permanente y la conservación de la vegetación nativa.

Figura 11.29. Tierras de la clase 8s con problemas de sales y erosión.



Figura 11.30. Distribución de las tierras de la clase 8 en la cuenca Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



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, ver las **(Figura 11.31), (Figura 11.32)**; 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 11.33)**.

Figura 11.31. Usos Principales Propuestos

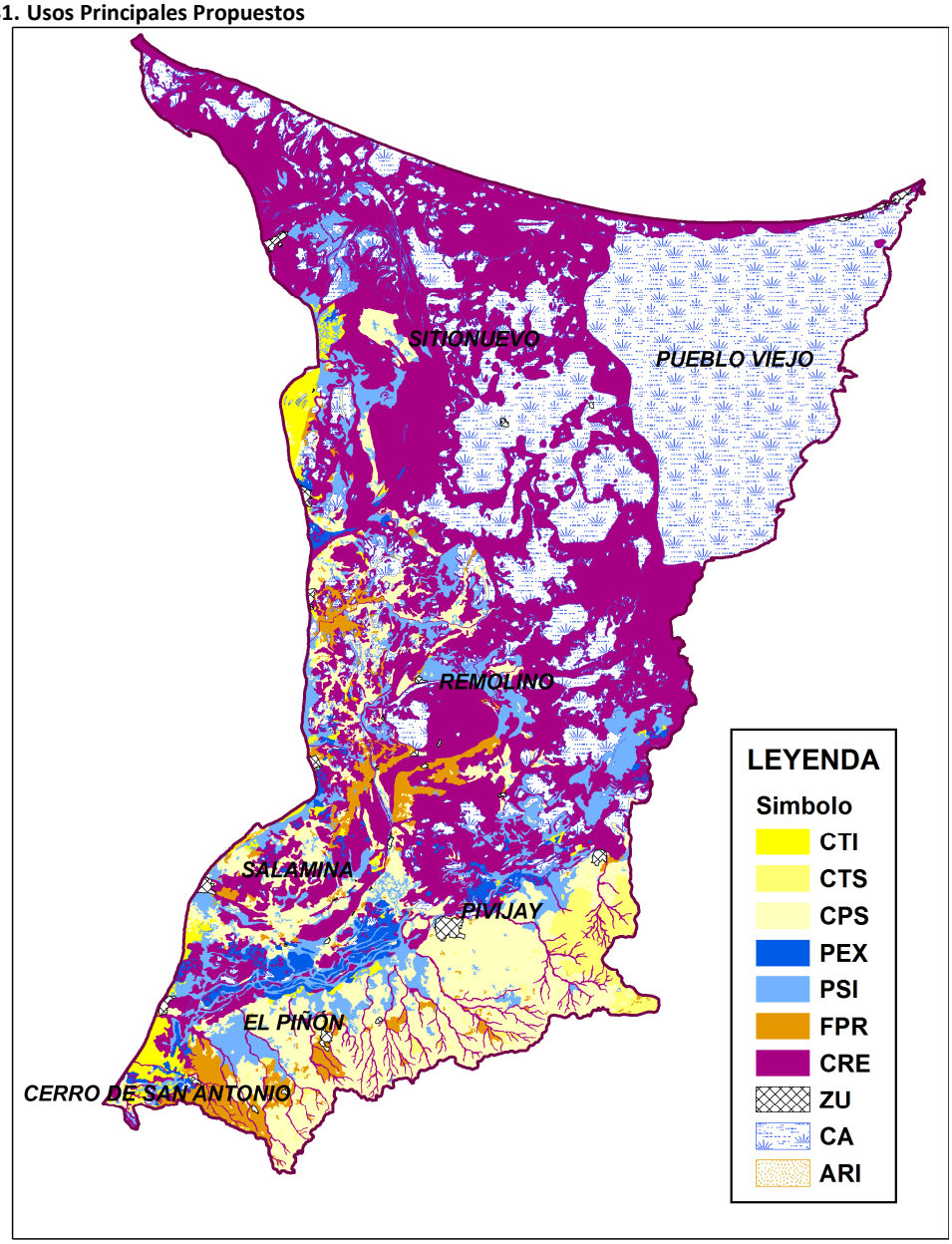
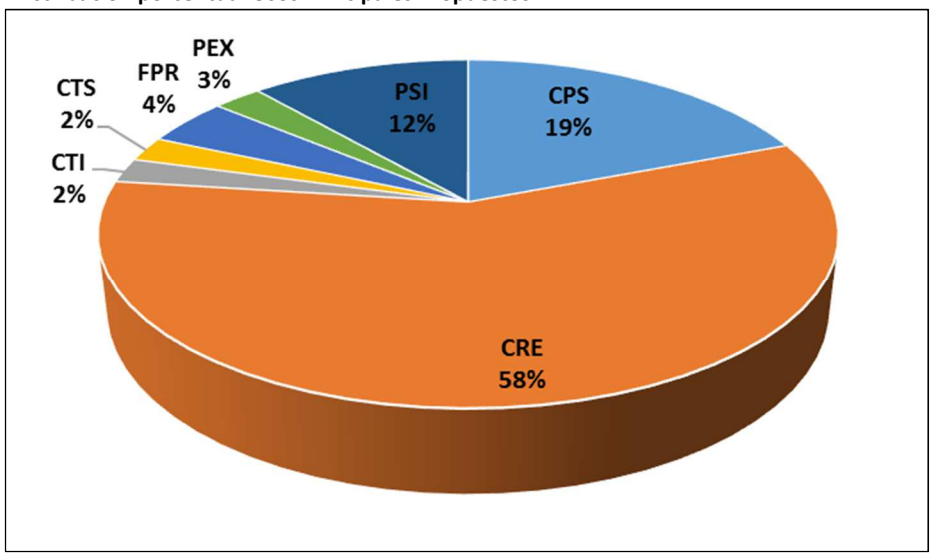


Figura 11.32. Distribución porcentual Usos Principales Propuestos



La cartografía de los Usos Principales Propuestos se puede apreciar en los **Anexos 11,12,13.**

Figura 11.33. Leyenda Usos propuestos

LEYENDA DE USOS PRINCIPALES PROPUESTOS CUENCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA					
Uso Principal propuesto	**Características de la unidad de uso**	**Unidades Geomorfopedologicas**	**Símbolo**	**Área ha**	**Área %**
Cultivos transitorios intensivos	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, no hay ocurrencia de heladas. La mecanización es fácil y el suelo puede ser sometido a continuo laboreo.	CG13a1x, CG13ax, CG13b1x, CG13bx, CG15a1x, CG15ax, CG15b1x, CG15bx.	CTI	4298.42	2
Cultivos transitorios semi intensivos.	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%	CG1a, CG1a1, CG1b1, CG1c, CG1c1, CG10a, CG10a1, CG10b, CG10b1, CG10c1.	CTS	4403.19	2
Cultivos permanentes semi-intensivos	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: frutales.	CG1a2, CG1b2, CG1c2, CG10a2, CG10b2, CG10c2, CG11a2x, CG11b2x, CG12a2x, CG12b2x, CG13a2x, CG13b2x, CG15a2x, CG15b2x, CG9a2x, CG9b2x, CG9c2x.	CPS	36404.36	19
Pastoreo semi-intensivo	Involucra la utilización de paquetes tecnológicos que aseguran moderados rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla el pastoreo bajo programas de ocupación de potreros con mediana capacidad de carga (generalmente mayor de una res por cada dos hectáreas); requiere moderadas prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con rotación de potreros, aplicación de fertilizantes, uso de ganado seleccionado y controles fitosanitarios adecuados; en consecuencia se necesita moderada o alta inversión de capital, moderada, tecnología y mano de obra calificada. Las condiciones edafológicas disminuyen en calidad lo suficiente para impedir una actividad ganadera intensiva; por ejemplo, el drenaje imperfecto, la fertilidad baja y una profundidad efectiva mayor a 25 cm. En algunos sectores se presenta erosión ligera, las inundaciones son frecuentes en la época de invierno y salinidad ligera. El relieve es inclinado con pendientes menores del 12%.	CG11a1x, CG11ax, CG11b1x, CG11bx, CG15a3x, CG15c1x, CG9a1x, CG9ax, CG9b1x.	PSI	21684.23	11
Pastoreo extensivo	Utiliza algunos paquetes que aseguran, al menos, mínimos rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla bajo programas de ocupación de potreros con baja y muy baja capacidad de carga, generalmente menor de una res por cada dos hectáreas; requiere prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con aplicación de fertilizantes y controles fitosanitarios adecuados. Las características que limitan el uso del suelo a pastoreo extensivo son en algunos casos la pendiente del terreno (12-25%) y/o la baja productividad de las tierras. El drenaje oscila desde excesivo a imperfectamente drenado, la profundidad efectiva es mayor de 25 cm, ocurren inundaciones frecuentes.	CG12a1y, CG12ay, CG12b1y, CG12by.	PEX	4820.44	3

LEYENDA DE USOS PRINCIPALES PROPUESTOS CUENCA COMPLEJO DE HUMEDALES CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA					
Uso Principal propuesto	**Características de la unidad de uso**	**Unidades Geomorfopedologicas**	**Símbolo**	**Área ha**	**Área %**
Sistemas forestales	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.	CG1a3, CG1b3, CG1c3, CG10a3, CG10b3x, CG10c3, CG11a3x, CG11b3x, CG12a3x, CG12b3x, CG13a3x, CG13b3x, CG15b3x, CG9a3x, CG9b3x, CG9c3x.	FPR	8373.70	4
Areas para la conservación y/o recupercaión de la naturaleza	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.	CG12anz, CG12a1nz, CG12a2nz, CG12a3nz, CG12bnz, CG12b1nz, CG12b2nz, CG12b3nz, CG14anz, CG14a1nz, CG14a3nz, CG14b nz, CG14b1nz, CG14b2nz, CG14b3nz, CG15an, CG15anz, CG15a1n, CG15a1nz, CG15a2n, CG15a2nz, CG15a3n, CG15a3nz, CG15bn, CG15bnz, CG15b1n, CG15b1nz, CG15b2n, CG15b2nz, CG15b3n, CG15b3nz, CG15cnz, CG15c1n, CG15c1nz, CG15c2n, CG15c2nz CG15c3n, CG16a nz, CG16a1nz, CG16a2nz, CG16a3nz, CG16b nz, CG16b1nz, CG16b2nz, CG16b3nz, CG2a nz, CG2a1nz, CG2a2nz, CG2a3nz, CG2b nz, CG2b1nz, CG2b2nz, CG2b3nz, CG3anz, CG3bnz, CG3cnz, CG4anz, CG4bnz, CG5anz, CG5a1nz, CG5a2nz, CG5a3nz, CG5b nz, CG5b1nz, CG5b2nz, CG5b3nz, CG5c nz, CG5c1nz, CG5c3nz, CG6a nz, CG6a1nz, CG6a2nz, CG6a3nz, CG6b nz, CG6b1nz, CG6b2nz, CG6b3nz, CG6c nz, CG6c1nz, CG7anz, CG7bnz, CG8anz, CG8bnz, CG8cnz	CRE	109530.53	58

11.4.2. 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, 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 CG13a1x, CG13ax, CG13b1x, CG13bx, CG15a1x, CG15ax, CG15b1x, CG15bx. Esta unidad ocupa un total de 4298.42 hectáreas que corresponden al 2% del total de la cuenca.

11.4.3. 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, , CG1a, CG1a1, CG1b1, CG1c, CG1c1, CG10a, CG10a1, CG10b, CG10b1, CG10c1. Esta unidad ocupa un total de 4403.19 hectáreas que corresponden al 2% del total de la cuenca.

11.4.4. 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: frutales. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades CG1a2, CG1b2, CG1c2, CG10a2, CG10b2, CG10c2, CG11a2x, CG11b2x, CG12a2x, CG12b2x, CG13a2x, CG13b2x, CG15a2x, CG15b2x, CG9a2x, CG9b2x, CG9c2x. Esta unidad ocupa un total de 36404.36 hectáreas que corresponden al 19% del total de la cuenca.

11.4.5. Pastoreo semi-intensivo (PSI)

Involucra la utilización de paquetes tecnológicos que aseguran moderados rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla el pastoreo bajo programas de ocupación de potreros con mediana capacidad de carga (generalmente mayor de una res por cada dos hectáreas); requiere moderadas prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con rotación de potreros, aplicación de fertilizantes, uso de ganado seleccionado y controles fitosanitarios adecuados; en consecuencia se necesita moderada o alta inversión de capital, moderada, tecnología y mano de obra calificada.

Las condiciones edafológicas disminuyen en calidad lo suficiente para impedir una actividad ganadera intensiva; por ejemplo, el drenaje imperfecto, la fertilidad baja y una profundidad efectiva mayor a 25 cm. En algunos sectores se presenta erosión ligera, las inundaciones son frecuentes en la época de invierno y salinidad ligera. El relieve es inclinado con pendientes menores del 12%. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades CG11a1x, CG11ax, CG11b1x, CG11bx, CG15a3x, CG15c1x, CG9a1x, CG9ax, CG9b1x. Esta unidad ocupa un total de 21684.23 hectáreas que corresponden al 11% del total de la cuenca.

11.4.6. Pastoreo extensivo (PEX)

Utiliza algunos paquetes que aseguran, al menos, mínimos rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla bajo programas de ocupación de potreros con baja y muy baja capacidad de carga, generalmente menor de una res por cada dos hectáreas; requiere prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con aplicación de fertilizantes y controles fitosanitarios adecuados.

Las características que limitan el uso del suelo a pastoreo extensivo son en algunos casos la pendiente del terreno (12-25%) y/o la baja productividad de las tierras. El drenaje oscila desde excesivo a imperfectamente drenado, la profundidad efectiva es mayor de 25 cm, ocurren inundaciones frecuentes. Estas condiciones las reúnen las tierras de las unidades CG12a1y, CG12ay, CG12b1y, CG12by.. Esta unidad ocupa un total de 4820.44 hectáreas que corresponden al 3% del total de la cuenca.

11.4.7. 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 unidades CG1a3, CG1b3, CG1c3, CG10a3, CG10b3x, CG10c3, CG11a3x, CG11b3x, CG12a3x, CG12b3x, CG13a3x, CG13b3x, CG15b3x, CG9a3x, CG9b3x, CG9c3x.Esta unidad ocupa un total de 8373.70 hectáreas que corresponden al 4% del total de la cuenca.

11.4.8. 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 CG12a3nz, CG12bnz, CG12b1nz, CG12b2nz, CG12b3nz, CG14anz, CG14a1nz, CG14a3nz, CG14bnz, CG14b1nz, CG14b2nz, CG14b3nz, CG15an, CG15anz, CG15a1n, CG15a1nz, CG15a2n, CG15a2nz, CG15a3n, CG15a3nz, CG15bn, CG15bnz, CG15b1n, CG15b1nz, CG15b2n, CG15b2nz, CG15b3n, CG15b3nz, CG15cnz, CG15c1n, CG15c1nz, CG15c2n, CG15c2nz, CG15c3n, CG16anz, CG16a1nz, CG16a2nz, CG16a3nz, CG16bnz, CG16b1nz, CG16b2nz, CG16b3nz, CG2anz, CG2a1nz, CG2a2nz, CG2a3nz, CG2bnz, CG2b1nz, CG2b2nz, CG2b3nz, CG3anz, CG3bnz, CG3cnz, CG4anz, CG4bnz, CG5anz, CG5a1nz, CG5a2nz, CG5a3nz, CG5bnz, CG5b1nz, CG5b2nz, CG5b3nz, CG5cnz, CG5c1nz, CG5c3nz, CG6anz, CG6a1nz, CG6a2nz, CG6a3nz, CG6bnz, CG6b1nz, CG6b2nz, CG6b3nz, CG6cnz, CG6c1nz, CG7anz, CG7bnz, CG8anz, CG8bnz, CG8cnz. Esta unidad ocupa un total de 109530.53 hectáreas que corresponden al 58% del total de la cuenca.

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 e involucrar 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 determinación 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 temáticas de 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 Corine Land Cover 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 Information on the Environment) Land Cover. 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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

12.1. Objetivos

12.1.1. Generales

- Presentar el resultado obtenido tras la realización de la capa de coberturas y uso del suelo para la cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta utilizando como insumos imágenes satelitales Rapideye. Aplicando el método PIAO para la delineación de los polígonos y la metodología Corine Land Cover adaptada a Colombia, para su codificación.

- Mostrar el resultado de la realización del análisis multitemporal de coberturas de la tierra para la cuenca Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

12.1.2. Específicos

- 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 multitemporal de coberturas de la tierra para la cuenca Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 índices 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-, 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[47] *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.

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 las 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 identiicación 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 sensores toman 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.

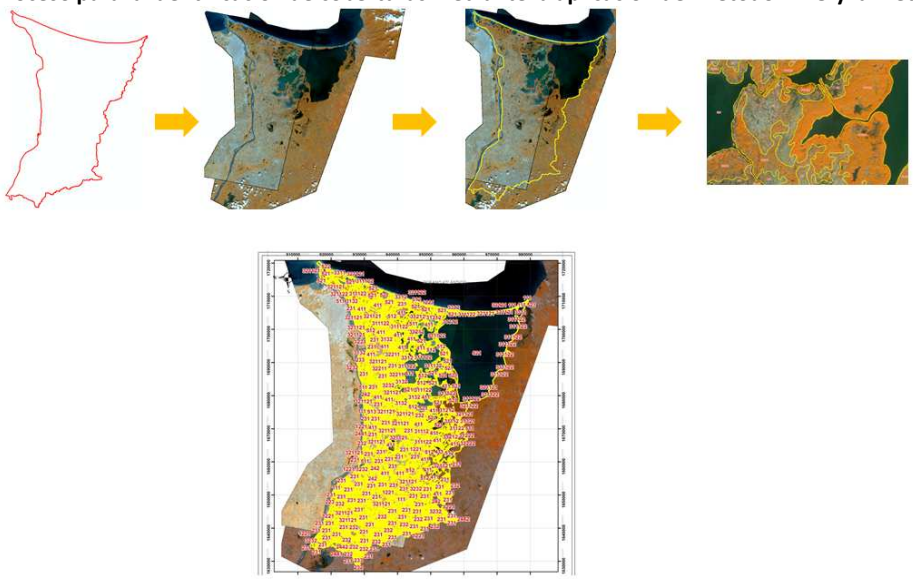
La metodología Corine Land Cover se basa en la identificación de estos elementos pictográficos que se ven en las imágenes de estos sensores remotos, mediante el manejo de las bandas del espectro electromagnético en las cuales los componentes de la vegetación reaccionan generando respuestas espectrales 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 a 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

[47] *Coordination of Informationon the Environment*.

de estas unidades, para lo cual se utiliza el documento de la metodología Corine Land Cover, 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.



Fuente. Análisis SIG presente informe, 2016.

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 limitrofres para facilitar los empalmes con otras áreas.

- La identificación y delimitación de la unidad de cobertura de la tierra corresponde 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.

12.2.2. 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".

12.2.2.1. *Combinación de bandas*

Como se explicó anteriormente, la metodología Corine Land Cover 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.

12.2.3. 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	

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
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	
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	

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
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	
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	

CODIGO CORINE	COD GRUPO USO	COD USO ACTUAL	GRUPO USO	USO ACTUAL	ANOTACIÓN
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	
321122	**30105**	**30230**	Conservación	Protección	
321124	**30105**	**30230**	Conservación	Protección	

Fuente. Análisis SIG presente informe, 2016.

12.2.4. 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 a los 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[48] y el IHDP[49] 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 13.3 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 deba darse periódicamente, con el fin de tener información de coberturas de varias temporalidades que 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

[48] Programa internacional de la biósfera y la geosfera.

[49] 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 Fund for Nature* (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 período. Además se inlcluyen, en este indicador, todas aquellas áreas que en el primer período aparecían como bosque y en el segundo período aparecen como vegetación secundaria.
3	Recuperación del bosque	En este indicador se incluyen las áreas que no eran bosque en el mapa del primer período 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. 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 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 período, 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 porque aun siendo lógicos, no se consideraron relevantes para el análisis.

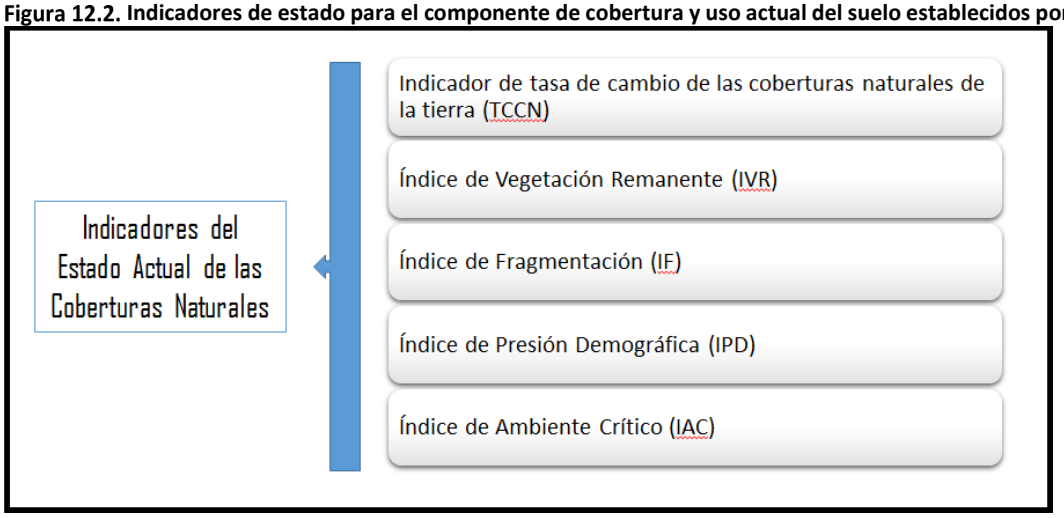
***Nota**. En el numeral 2 se realizó un cambio para incluir las zonas de bosque que pasaron a otro tipo de cobertura (vegetación secundaria, mosaicos o pastos y cultivos). Las definiciones de todos los indicadores se ajustaron para mejorar su entendimiento.*

Fuente. Adaptado de IDEAM, 2013.

12.2.5. 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 humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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.

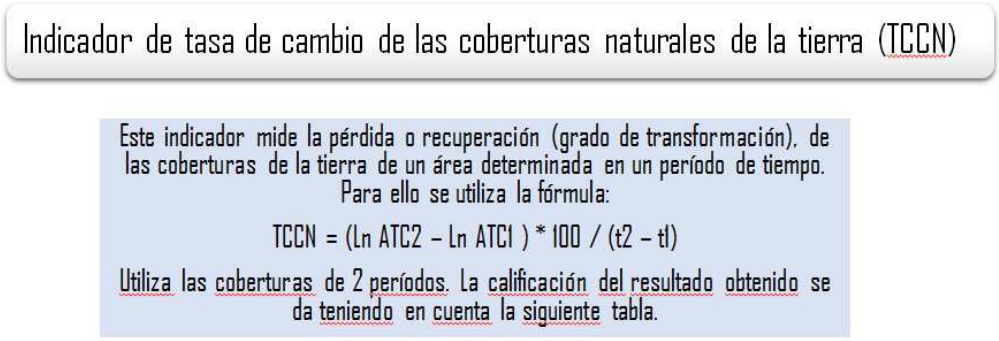


Fuente. Adaptado de MINAMBIENTE, 2014.

12.2.5.1. *Indicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN)*

El indicador de tasa de cambio de las coberturas naturales mide 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.

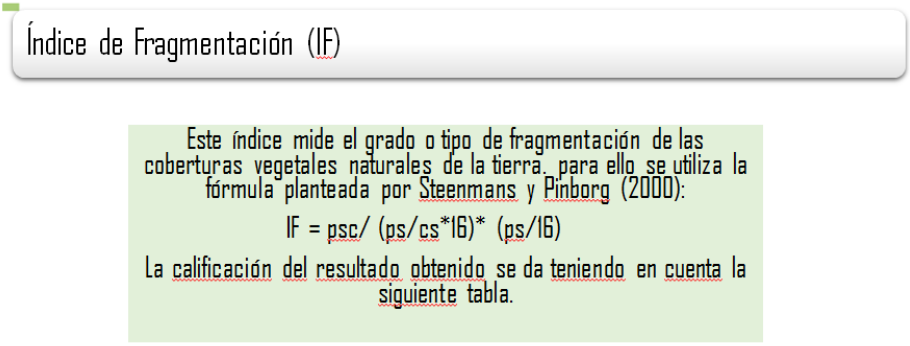


GRADO DE TRANSFORMACIÓN		
Descriptor	Categoría	Calificación
menor del 10%	Baja	20
entre 11-20%	Media	15
entre 21-30%	Medianamente alta	10
entre 31-40%	Alta	5
mayor 40%	Muy alta	0

12.2.5.2. *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

12.2.5.3. *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.



Este índice mide el área de vegetación existente en la actualidad dentro del área de la cuenca en comparación con la cobertura original, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

IVR = (AVR /At)*100

La calificación del resultado obtenido se da teniendo en cuenta la siguiente tabla.

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

12.2.5.4. *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.



Este índice mide la presión sobre la oferta ambiental en la medida en que, a mayor densidad poblacional mayor demanda ambiental, mayor presión y mayor amenaza a la sostenibilidad (Márquez, 2000):

IPD= d*r

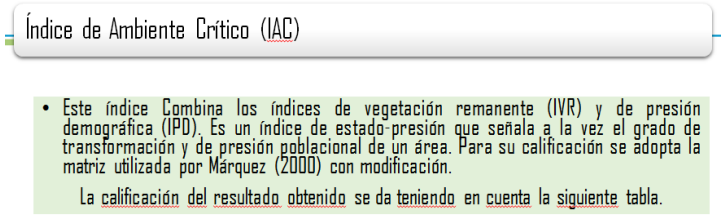
La calificación del resultado obtenido se da teniendo en cuenta la siguiente tabla.

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.

12.2.5.5. *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

12.2.6. Otras consideraciones metodológicas

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 garantizar 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”.

12.2.7. Sobre el área de trabajo

El área de trabajo corresponde a la cuenca Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, que se encuentra localizada en el departamento del Magdalena, en los municipios de Cerro San Antonio (3.342,64 ha), El Piñón (29.066,02 ha), Salamina (16.179,24 ha), Pivijay (35.316,72 ha), Remolino (57.942,51 ha), Puebloviejo (43.776,73 ha) y Sitio Nuevo (93.534,10 ha) y cubre las cabeceras de Sitionuevo, Puebloviejo, Remolino, Salamina, El Piñón, Pivijay y los centros poblados de Palermo, Bocas de Aracata, Sabanas, San Bacilio, Campo Alegre, San Rafaél de Buenavista, Dividivi, Guáimaro, Santa Rita, Carmen del Magdalena, La Loma, Las Casitas, Media Luna, Corral Viejo, Martinete, Cantagallar, Tio Gollo y Vasquez (ver Figura 12.9).

La cuenca recibe su nombre del complejo lagunar más grande de Colombia. Corresponde a una planicie que incluye un sistema de lagunas interconectadas por caños. Hacia el occidente la planicie interior se entremezcla con la superficie de desbordamiento lateral del río Magdalena. Hacia el Suroriente la llanura estuarina se difunde bajo el abanico coluvio de los ríos Tucurinca, Aracataca y Fundación. En la parte sur de la cuenca se desarrollan actividades agropecuarias principalmente de ganadería extensiva y cultivos permanentes de palma de aceite, aunque actualmente la actividad ganadera se ha extendido hacia la zona de la ciénaga. Los biomas que se encuentran en la cuenca se describen en la Tabla 12.4.

En el área de la cuenca se encuentra parte del área que corresponde al Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta y al Parque Nacional Natural Isla de Salamanca.

Figura 12.8. Porcentaje de área ocupada por cada bioma dentro de la cuenca

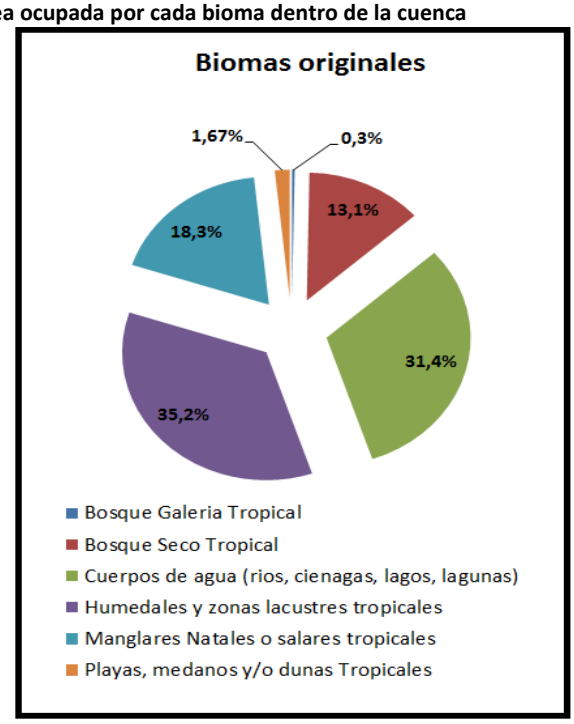
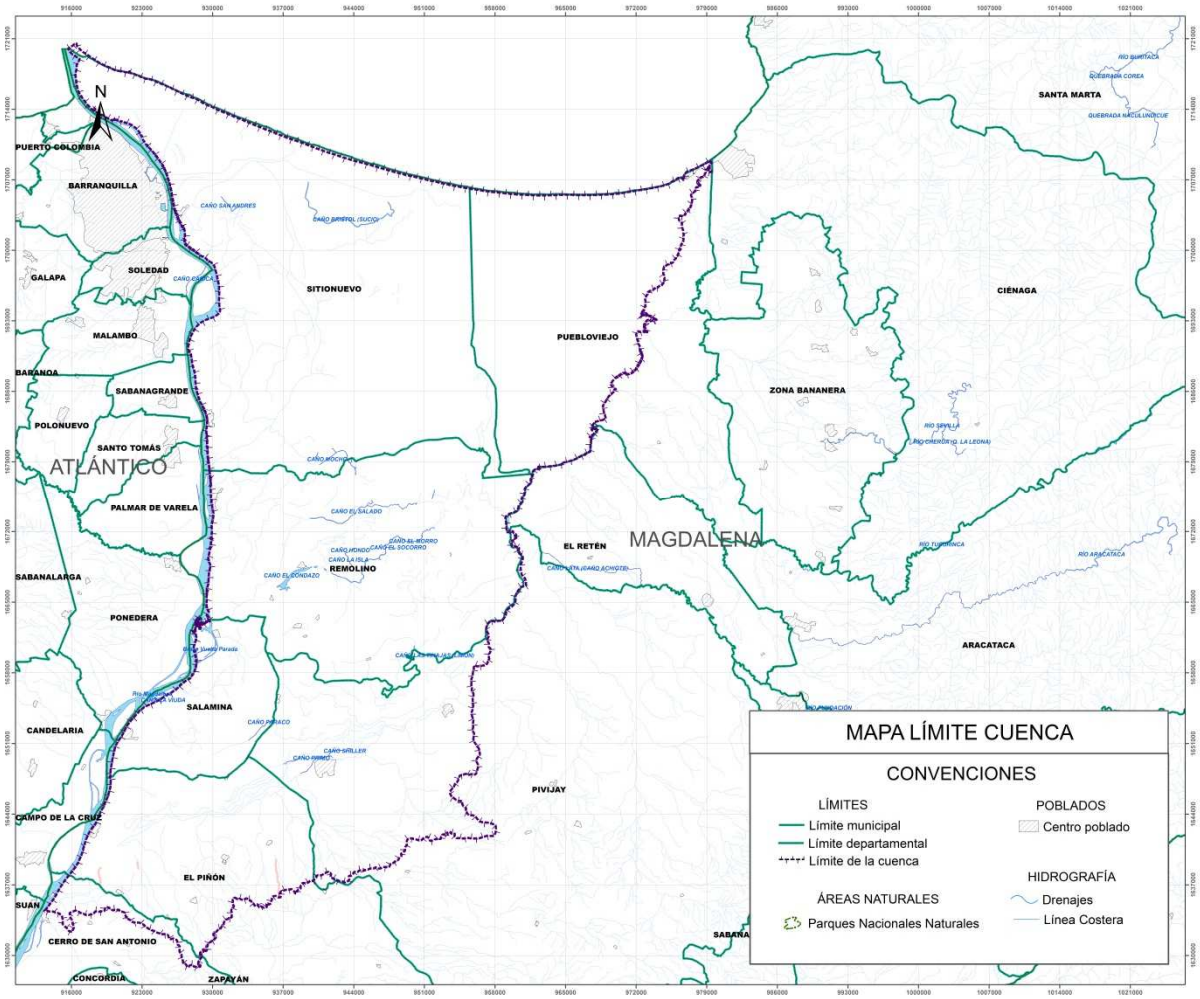


Tabla 12.4. Biomas presentes en el área de la Cuenca.

BIOMAS ORIGINALES	ÁREA_HA	%
Bosque Galería Tropical	832,71	0,30
Bosque Seco Tropical	36722,12	13,15
Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas)	87695,05	31,40
Humedales y zonas lacustres tropicales	98283,20	35,19
Manglares Natales o salares tropicales	51091,64	18,29
Playas, medanos y/o dunas Tropicales	4670,76	1,67
Total general	**279295,473**	100,00

Figura 12.9. Mapa área de trabajo

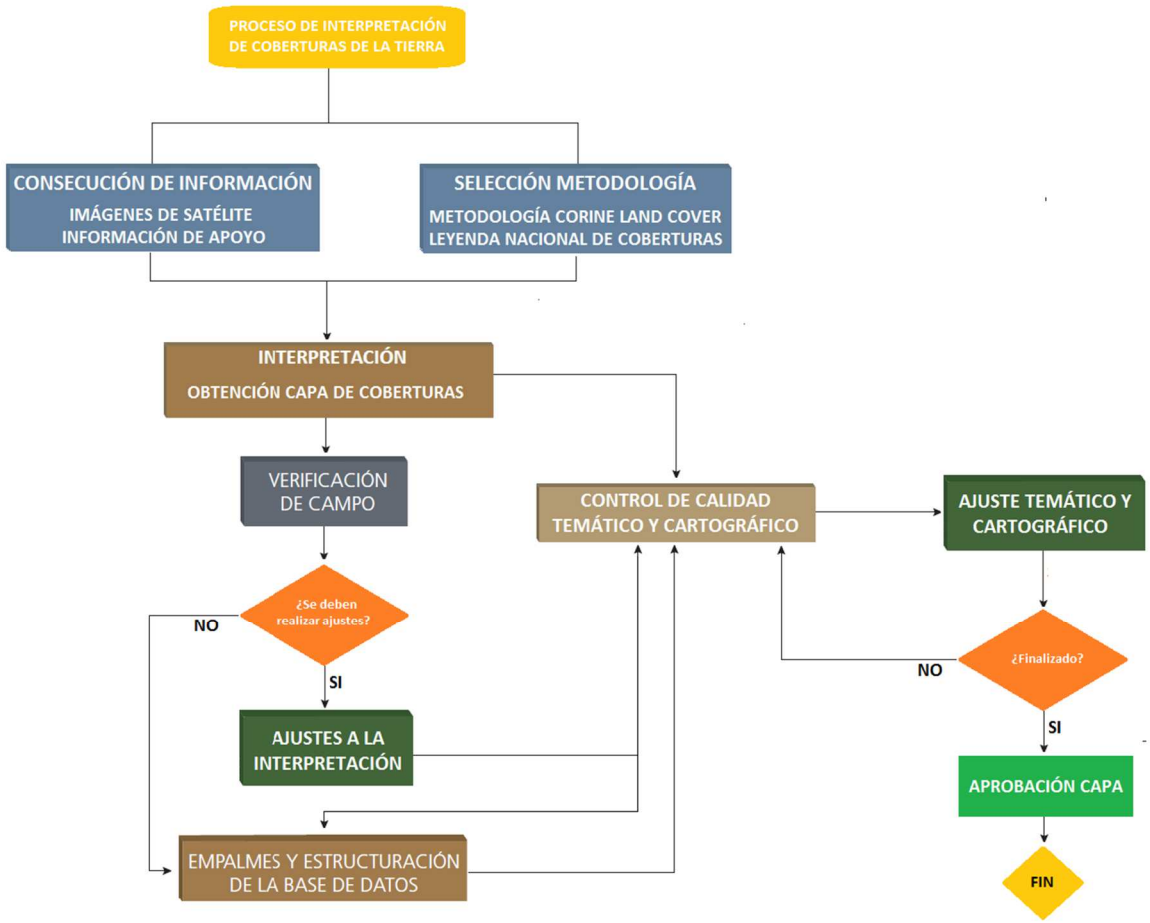


Área inicial: 205.715,84 – Área final: 279.295,47

12.3. Etapas para l Desarrollo del Componente de Coberturas y Uso del Suelo

12.3.1. Etapas en la elaboración y verificación del mapa de coberturas de la tierra

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 de las coberturas en la cuenca se utilizaron tres cortes Rapideye (ver Figura 12.11), los cuales se describen en la Tabla 12.5.

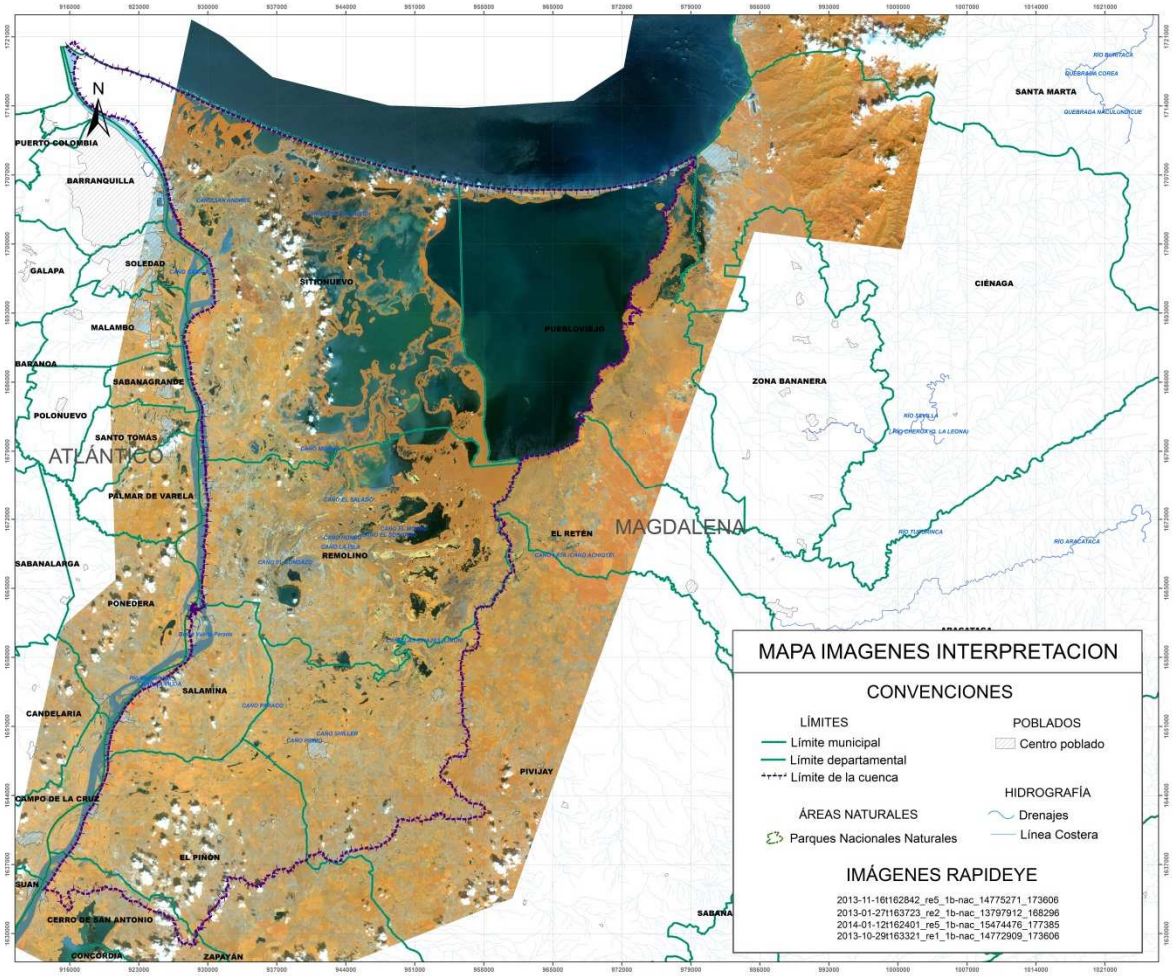
Tabla 12.5. Imágenes utilizadas.

SENSOR	NOMBRE IMAGEN	RESOLUCIÓN TEMPORAL	BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL	ESCALA DE TRABAJO	ORTORRECTIFICACIÓN	SISTEMA DE REFERENCIA	PROCESAMIENTO DIGITAL
Rapideye	2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296	27/01/2013	3,4,5	12*7	1:25.000	Adecuada	SIRGAS-Transverse mercator	Bueno
Rapideye	2013-10-29t163321_re1_1b-nac_14772909_173606	29/10/2013	3,4,5	6*6	1:25.000	Adecuada	Marco Geocéntrico Nacional - Transverse Mercator	Bueno
Rapideye	2014-01-12t162401_re5_1b-nac_15474476_177385	12/01/2014	3,4,5	7*7	1:25.000	Adecuada	Marco Geocéntrico Nacional - Transverse Mercator	Bueno

Otros insumos utilizados fueron: La capa de municipios del Magdalena, la capa de biomas y la leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia.

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.



Fuente. Análisis SIG presente informe, 2016.

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 Corine Land Cover, 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 confiabilidad se 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.



Fuente. Análisis SIG presente informe, 2016.

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 determinar y corregir los posibles errores.

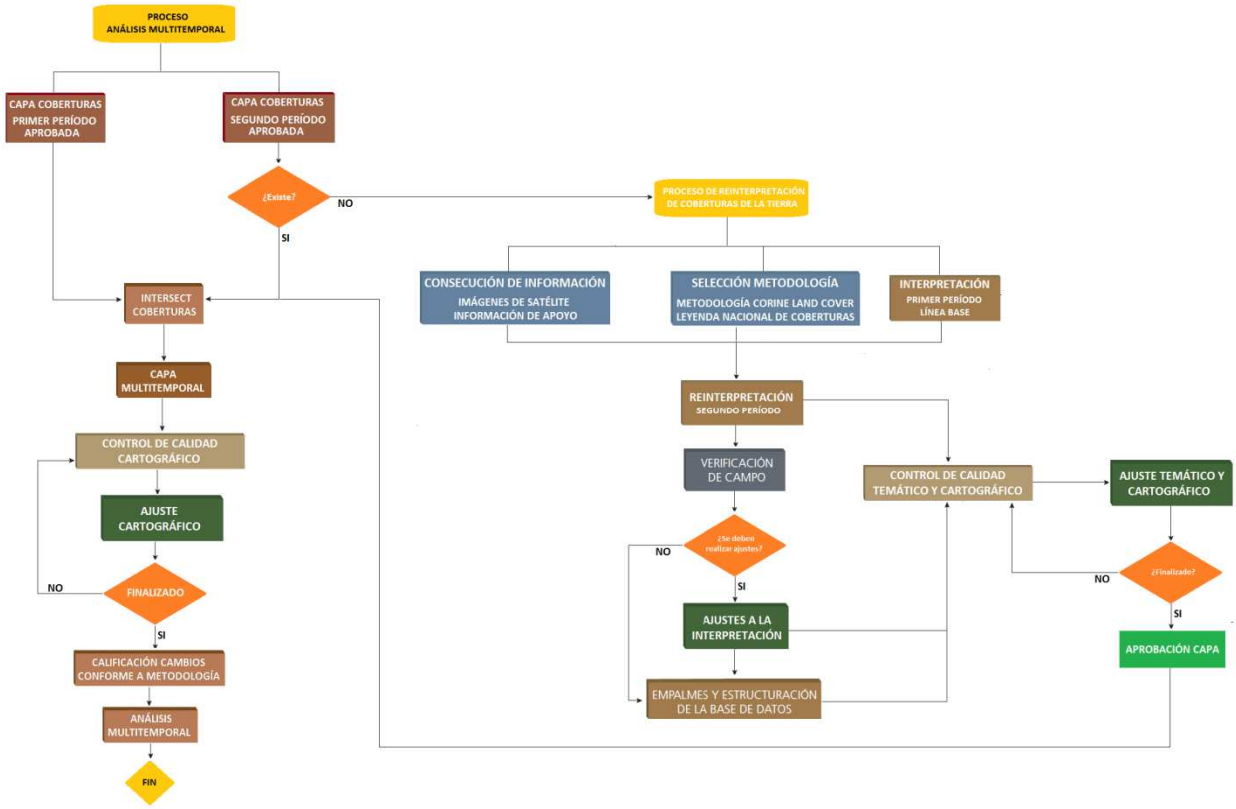
- Se revisan los puntos de control obtenidos
- Se corrigen los errores detectados y en los casos en que aplique se realiza el cambio.
- Se realiza el control de calidad final a la capa (exactitud temática, consistencia lógica y consistencia topológica).
- Se genera la capa de coberturas con la leyenda 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 el 13.10 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 combinaciones de 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 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 54 tipos de coberturas entre naturales y antrópicas (ver Tabla 12.6 y Tabla 12.7 y 0). La Tabla 12.7 muestra en valores de área (en ha) y porcentaje (%) cada una de las 54 coberturas identificadas durante el proceso de interpretación para la cuenca Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta.

Tabla 12.6. Número de coberturas por tipo.

TIPOS DE COBERTURAS	
Coberturas antrópicas	23
Coberturas naturales	31
Sin información	1

Figura 12.14. Número de coberturas por tipo.

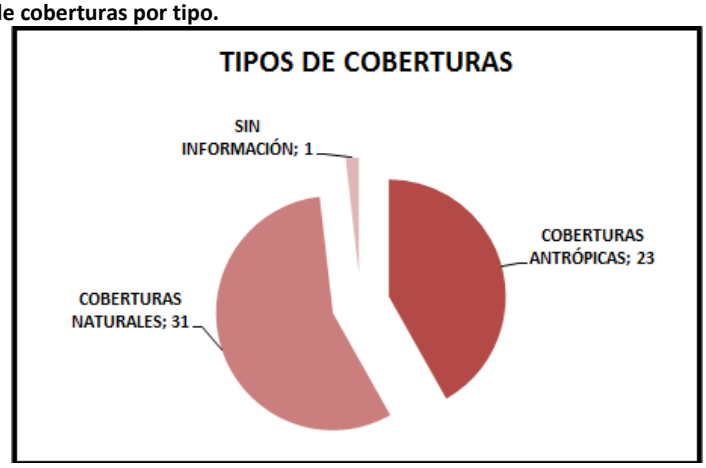


Tabla 12.7. Coberturas presentes en la cuenca.

CÓDIGO	NOMBRE COBERTURA	ÁREA_HA	%
99	Nubes, sombras o ausencia de insumo	39,24	0,01
111	Tejido urbano continuo	1267,26	0,45
112	Tejido urbano discontinuo	8,04	0,00
125	Obras hidráulicas	0,04	0,00
211	Otros cultivos transitorios	290,71	0,10
223	Cultivos permanentes arbóreos	698,59	0,25
231	Pastos limpios	47895,17	17,15
232	Pastos arbolados	17547,18	6,28
233	Pastos enmalezados	2835,97	1,02
242	Mosaico de pastos y cultivos	3041,22	1,09
315	Plantación forestal	42,26	0,02
333	Tierras desnudas y degradadas	217,40	0,08
411	Zonas pantanosas	19582,83	7,01
511	Ríos	1071,70	0,38
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	4938,11	1,77

513	Canales	542,28	0,19
514	Cuerpos de agua artificiales	38,87	0,01
521	Lagunas costeras	71347,88	25,55
522	Mares y océanos	16,58	0,01
1211	Zonas industriales o comerciales	36,94	0,01
1221	Red vial y territorios asociados	1041,64	0,37
CÓDIGO	**NOMBRE COBERTURA**	**ÁREA_HA**	**%**
2232	Palma de aceite	234,66	0,08
2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	500,85	0,18
2432	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	27,87	0,01
2433	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	3,42	0,00
2441	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	1570,58	0,56
2442	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	8376,46	3,00
2443	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	293,46	0,11
2451	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos	175,05	0,06
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	426,40	0,15
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4467,88	1,60
3141	Bosque de galería y ripario alto	65,97	0,02
3142	Bosques de galería y ripario bajo	59,60	0,02
3231	Vegetación secundaria alta	579,22	0,21
3232	Vegetación secundaria baja	7978,16	2,86
3311	Playas	653,39	0,23
3312	Arenales	2044,27	0,73
5143	Estanques para acuicultura continental	9,96	0,00
31112	Bosque denso alto inundable	1874,75	0,67
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	92,51	0,03
31122	Bosque denso bajo inundable	937,61	0,34
31212	Bosque abierto alto inundable	5808,03	2,08
31222	Bosque abierto bajo inundable	290,41	0,10
31321	Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria	91,86	0,03
32121	Herbazal abierto arenoso	757,74	0,27
32211	Arbustal denso alto	3699,59	1,32
32212	Arbustal denso bajo	516,02	0,18
32222	Arbustal abierto mesófilo	1389,37	0,50
311121	Bosque denso alto inundable heterogéneo	14,92	0,01
311122	Manglar denso alto	25511,67	9,13
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	19,45	0,01
321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	112,36	0,04
321121	Herbazal denso inundable no arbolado	34142,31	12,22
321122	Herbazal denso inundable arbolado	3959,86	1,42
321124	Helechal	109,93	0,04
	ÁREA TOTAL CUENCA	**279295,47**	**100,00**

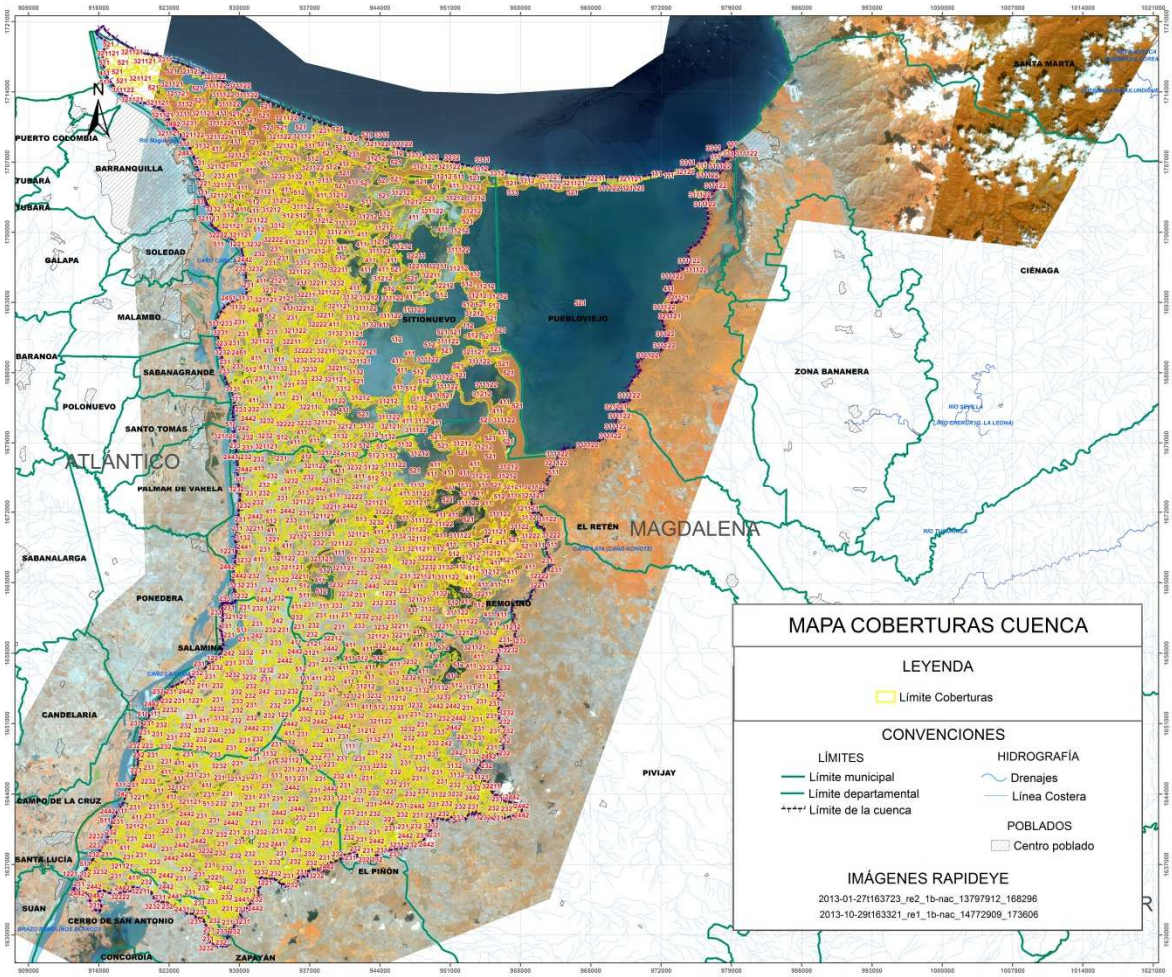
De acuerdo con la información de la Tabla 12.7, la cobertura más representativa corresponde a las lagunas costeras con un 25,56% del área de la cuenca, seguida de los bosques fragmentados con pastos limpios con un 17,15% y el herbazal denso inundable no arbolado con un 12,22%. Las coberturas con menos representatividad dentro de la cuenca son el bosque denso alto inundable heterogéneo, herbazal denso de tierra firme no arbolado, Mosaico de cultivos, pastos y espacios

naturales herbáceos, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos, zonas industriales y comerciales, con un 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 66,29% del área de la cuenca (ver Tabla 12.12 y Figura 12.21). Los territorios artificializados (vías, tejido urbano, etc.), representan una mínima parte del área de la cuenca (solo un 0,83%) ver Tabla 12.8 y Figura 12.17.

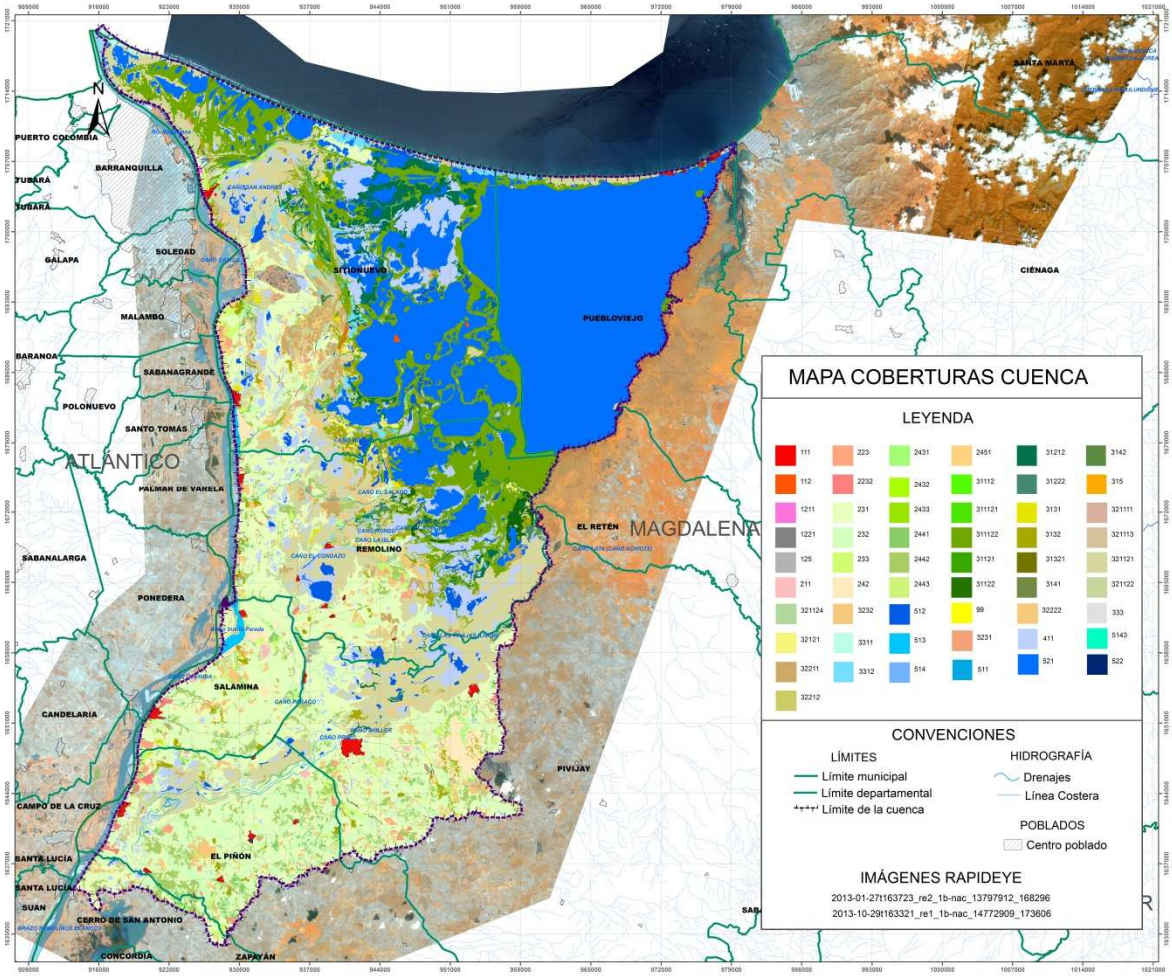
Las Figura 12.15 y Figura 12.16 muestran la capa resultante del proceso de interpretación de coberturas para la cuenca.

Figura 12.15. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca



Transformado: 94.674,02. Natural: 184.582,21

Figura 12.16. Mapa de coberturas de la tierra de la cuenca



Las Tabla 12.8 y Tabla 12.10 y las Figura 12.17 y Figura 12.19 muestran la relación de los tipos de coberturas naturales y antrópicas presentes en la cuenca con relación al área total de la cuenca; y las Tabla 12.9 y Tabla 12.11 y las Figura 12.18 y Figura 12.20, 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

COBERTURAS ANTRÓPICAS CON RELACIÓN AL ÁREA TOTAL DE LA CUENCA		
COBERTURA	**AREA_ha**	**%**
Tejido urbano	1275,30	0,46
Vías	1041,64	0,37
Cultivos transitorios	3331,93	1,19
Cultivos permanentes	933,25	0,33
Pastos	68278,32	24,45
Mosaicos con espacios naturales	10947,68	3,92
Vegetación secundaria baja	7978,16	2,86
Tierras desnudas y degradadas	217,40	0,08
Plantaciones	42,26	0,02
Otras coberturas antrópicas	628,09	0,22
Área coberturas antrópicas cuenca	**94674,02**	**33,90**

Figura 12.17. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura antrópica con relación al área total de la cuenca

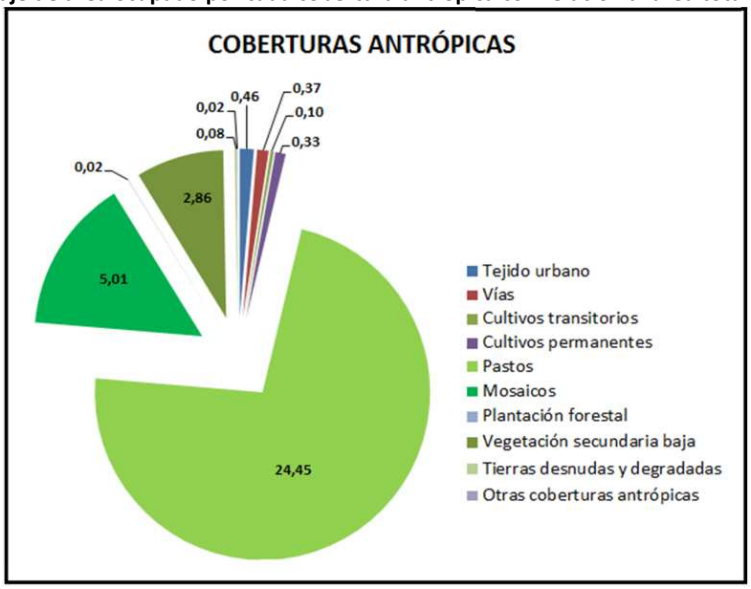
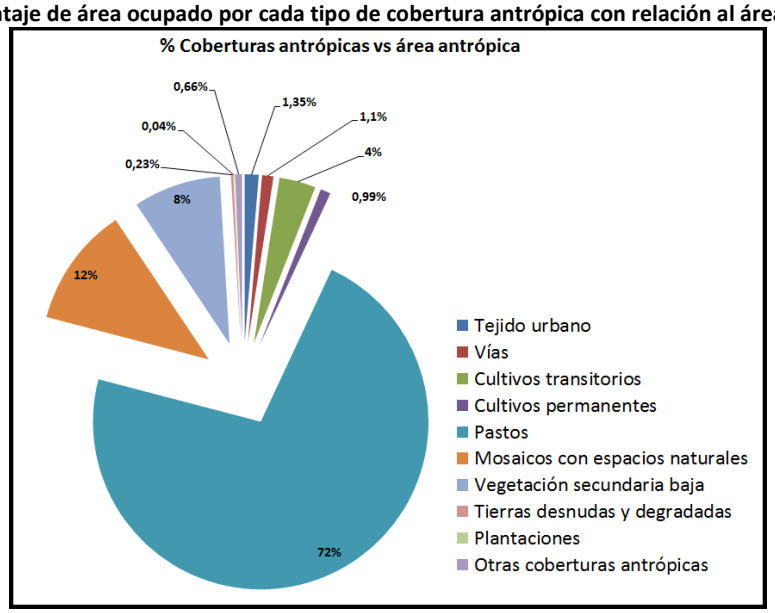


Tabla 12.9. Área coberturas antrópicas con relación al área total antropizada

COBERTURAS ANTRÓPICAS CON RELACIÓN AL ÁREA ANTRÓPICA		
COBERTURA	**AREA_ha**	**%**
Tejido urbano	1275,30	1,35
Vías	1041,64	1,10
Cultivos transitorios	3331,93	3,52
Cultivos permanentes	933,25	0,99
Pastos	68278,32	72,12
Mosaicos con espacios naturales	10947,68	11,56
Vegetación secundaria baja	7978,16	8,43
Tierras desnudas y degradadas	217,40	0,23
Plantaciones	42,26	0,04
Otras coberturas antrópicas	628,09	0,66
Área coberturas antrópicas cuenca	**94674,02191**	**100**

Figura 12.18. Porcentaje de área ocupado por cada tipo de cobertura antrópica con relación al área total antropizada



De acuerdo con la Tabla 12.9 y Figura 12.18, el mayor porcentaje de áreas antropizadas en el territorio de la cuenca se encuentra cubierta por pastos (72,12%), mosaicos con espacios naturales (11,56%) y vegetación secundaria (8,43%).

Las áreas antropizadas menos representativas corresponden a las plantaciones con un 0,04% del total de las áreas antrópicas y las tierras desnudas y degradadas un 0,23% de las áreas antrópicas (ver Tabla 12.9 y Figura 12.18).

El tejido urbano tanto continuo como discontinuo ocupa un 1,35% del total de las áreas antropizadas y un 0,46% del área total de la cuenca.

Tabla 12.10. Área coberturas naturales con relación al área total de la cuenca

COBERTURAS NATURALES		
Pantanos	19582,83	7,01
Ríos	1071,70	0,38
Lagos, lagunas y ciénagas	76828,27	27,51
Mares y océanos	16,58	0,01
Bosque fragmentado	4894,28	1,75
Bosque galería	125,57	0,04
Vegetación secundaria alta	579,22	0,21
Zonas arenosas naturales	2697,66	0,97
Bosques de tierra firme	184,36	0,07
Bosque inundable	34437,39	12,33
Arbustales	5604,97	2,01
Herbazales de tierra firme	889,55	0,32
Herbazales inundables	38102,16	13,64
Helechales	109,93	0,04
Área total coberturas naturales	**185124,49**	**66,09**

Figura 12.19. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura

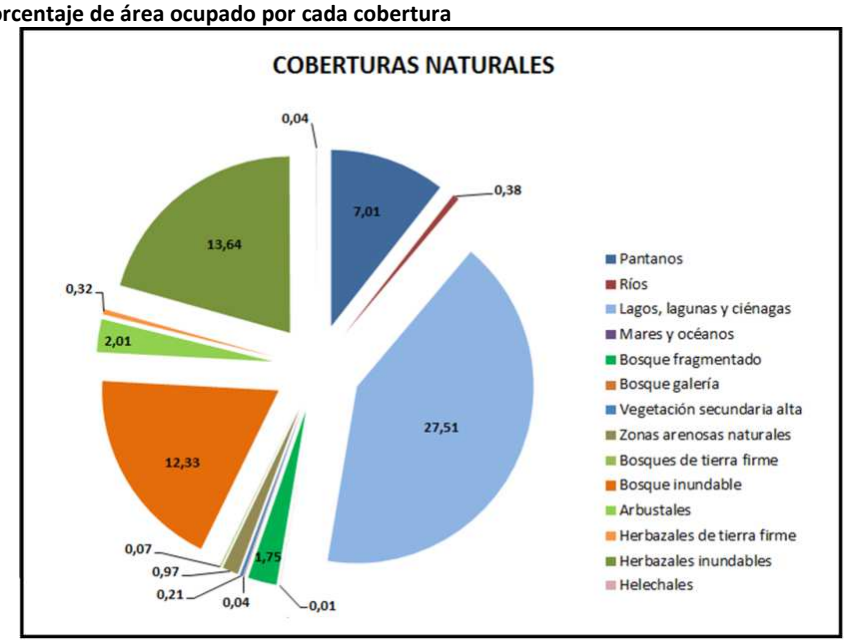
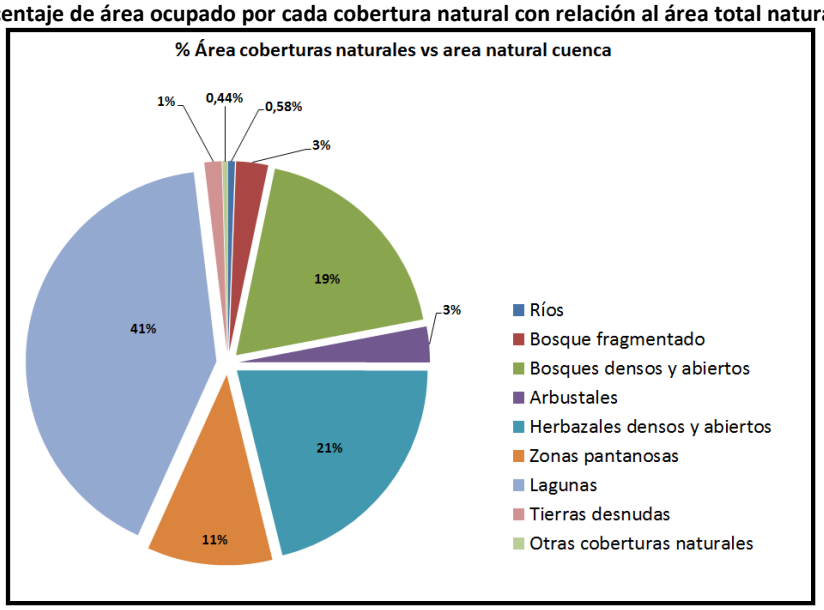


Tabla 12.11. Área coberturas naturales con relación al área total en coberturas naturales

COBERTURAS NATURAES vs ÁREA NATURAL CUENCA		
COBERTURA	**AREA_ha**	**%**
Ríos	1071,70	0,58
Bosque fragmentado	4986,14	2,70
Bosques densos y abiertos	34529,90	18,71
Arbustales	5604,97	3,04
Herbazales densos y abiertos	38991,71	21,12
Zonas pantanosas	19582,83	10,61
Lagunas	76302,57	41,34
Tierras desnudas	2697,66	1,46
Otras coberturas naturales	814,73	0,44
Área coberturas naturales cuenca	**184582,21**	**100,00**

Figura 12.20. Porcentaje de área ocupado por cada cobertura natural con relación al área total natural



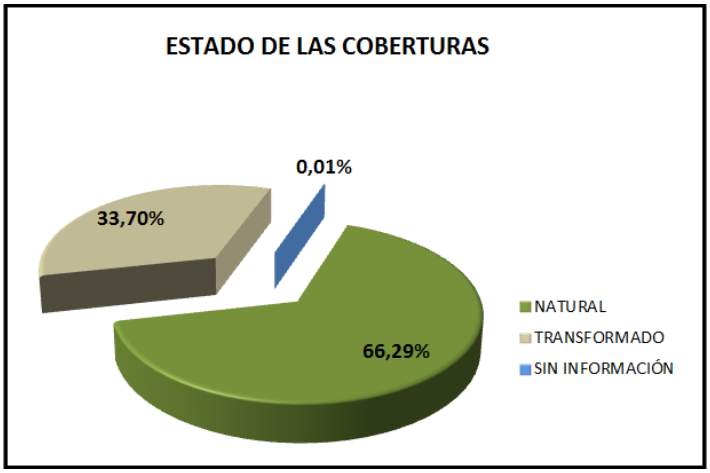
De acuerdo con la Tabla 12.11 y Figura 12.20 el mayor porcentaje de áreas naturales en el territorio de la cuenca se encuentra cubierto por Lagunas (41,34% del área natural total) y herbazales densos y abiertos (21,12% del área natural total).

Las áreas naturales menos representativas corresponden a ríos (0,58% del área natural total), tierras desnudas (1,46% del área natural total) y otras coberturas naturales (0,44% del área natural total) (ver Tabla 12.11 y Figura 12.20).

Tabla 12.12. Estado de las coberturas en la cuenca

ESTADO COBERTURAS	
Natural	66,29
Transformado	33,70
Sin información	0,01

Figura 12.21. Estado de las coberturas en la cuenca



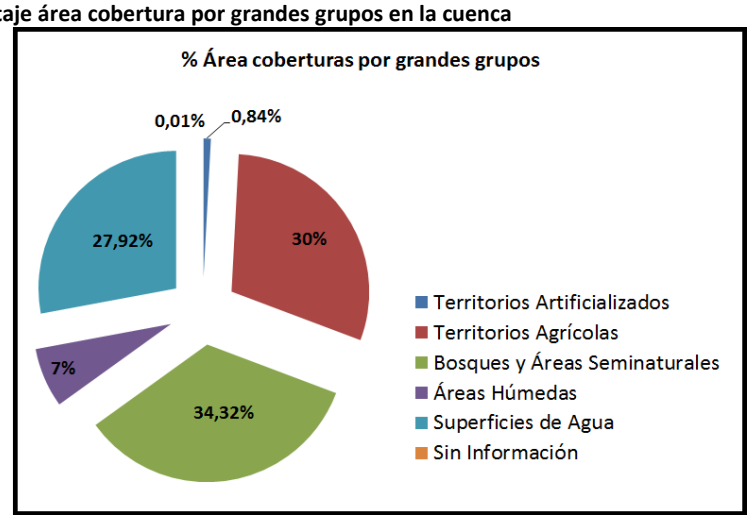
De acuerdo con lo que se observa la Tabla 12.12 y Figura 12.21 la mayor parte del territorio (66,29%) de la cuenca se encuentra en buen estado de conservación.

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	GRUPO	ÁREA_HA	%
1	Territorios Artificializados	2353,91	0,84
2	Territorios Agrícolas	83491,19	29,89
3	Bosques y Áreas Seminaturales	95862,92	34,32
4	Áreas Húmedas	19582,83	7,01
5	Superficies de Agua	77965,39	27,92
SI	Sin Información	39,24	0,01
	Área total cuenca	**279295,47**	**100,00**

Figura 12.22. Porcentaje área cobertura por grandes grupos en la cuenca



Como se observa en la Tabla 12.13 y Figura 12.22, el grupo correspondiente a bosques y áreas seminaturales es el que predomina dentro del área de la cuenca (34,32%), seguido de los territorios agrícolas (29,89%) y las superficies de agua (27,92%).

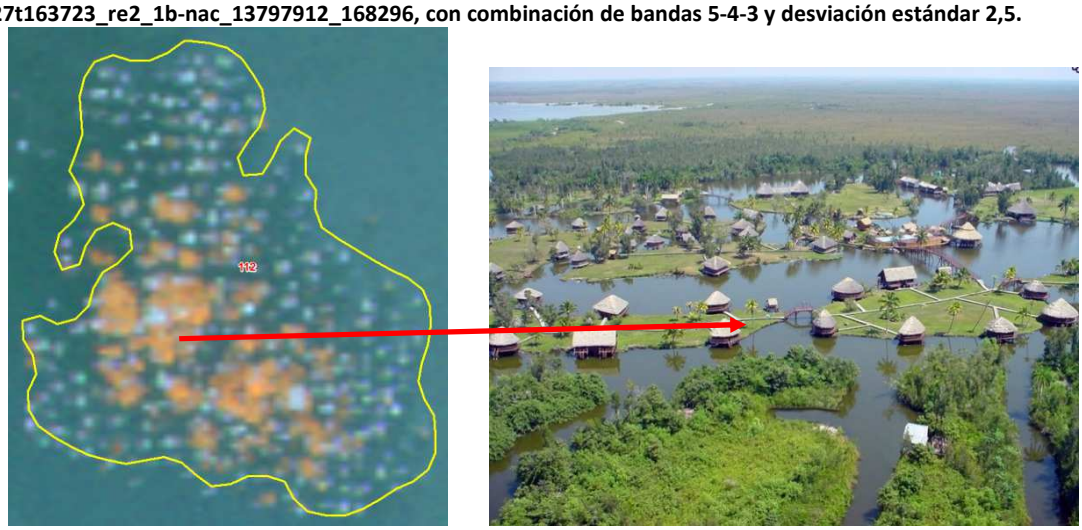
12.4.1.1. *Ejemplos de cobertura identificadas dentro de la cuenca*

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:

12.4.1.1.1. *Áreas urbanas*

- Nivel 1. Territorios Artificializados (1)
- Nivel 2. Zonas Urbanizadas (11)
- Nivel 3. Tejido Urbano discontinuo (112)

Figura 12.23. Interpretación del tejido urbano discontinuo 112 pueblo palafítico en la Ciénaga, en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3 y desviación estándar 2,5.



Esta cobertura se define por tonalidades blancas – azules y naranjas de textura plana.

12.4.1.1.2. *Áreas urbanas*

- Nivel 1. Territorios Artificializados (1)
- Nivel 2. Zonas Urbanizadas (11)
- Nivel 3. Tejido Urbano continuo (111)

Figura 12.24. Interpretación del tejido urbano continuo (111) en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3 y desviación standar.

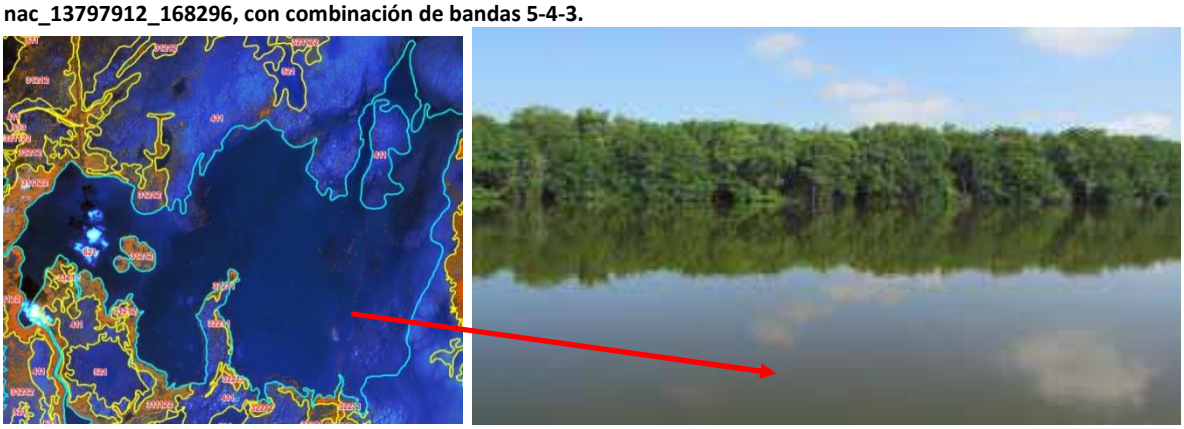


Esta cobertura se define por tonalidades grises – blancas y cafés, de textura plana.

12.4.1.1.3. *Lagunas costeras*

- Nivel 1. Superficies de agua (5)
- Nivel 2. Aguas marítimas (52)
- Nivel 3. Lagunas costeras (521)

Figura 12.25. Interpretación de lagunas costeras 521 en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296, con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura se define por tonalidades en diferentes tonos del azul hasta el negro, de textura plana.

12.4.1.1.4. *Pastos*

- Nivel 1. Territorios agrícolas (2)
- Nivel 2. Pastos (23)
- Nivel 3. Pastos limpios (231)

Figura 12.26. Pastos limpios en imagen Rapideye 2013-01-27t163723_re2_1b-nac_13797912_168296 con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura se encuentra concentrada principalmente hacia la parte centro-sur de la cuenca y se está extendiendo hacia el complejo lagunar. En la imagen refleja en tonos grisáceos claros, es una cobertura de textura plana. Puede variar su respuesta espectral dependiendo del contenido de humedad que tenga en el momento de la toma de la imagen.

12.4.1.1.5. *Bosques naturales*

- Nivel 1. Bosques y áreas seminaturales (3)
- Nivel 2. Bosques (31)
- Nivel 3. Bosque denso (311)
- Nivel 4. Bosque denso alto (3111)
- Nivel 5. Bosque denso alto inundable (31112)
- Nivel 6. Manglar (311122)

Figura 12.27. Manglar en imagen Rapideye 2014-01-12t162401_re5_1b-nac_15474476_177385 con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura por su textura media a gruesa en la imagen y tonos naranjas fuertes hasta cafés, dependiendo de la época de toma de la imagen, de la vigorosidad de la vegetación y del mismo tratamiento de la imagen.

12.4.1.1.6. *Cultivos permanentes arbóreos*

- Nivel 1. Territorios agrícolas (2)
- Nivel 2. Cultivos permanentes (22)
- Nivel 3. Cultivos permanentes arbóreos (223)
- Nivel 4. Palma de aceite (2232)

Figura 12.28. Cobertura de palma de aceite en imagen Rapideye 2014-01-12t162401_re5_1b-nac_15474476_177385, con combinación de bandas 5-4-3.



Esta cobertura refleja en un tono naranja vivo a rojizo dentro de la imagen y presenta una textura media.

12.4.2. Resultado 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 12.14 y Figura 12.29, que muestran los grupos de uso del suelo de acuerdo con los cuales, el grupo predominante es el de *conservación* (35,46%), que se concentra especialmente en la zona norte de la cuenca; seguido de los grupos de *cuerpos de agua naturales* (27,70%) y *ganadería* (28,11%).

En lo relativo al uso actual, en la cuenca del Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, predominan los de *protección, pastoreo extensivo* y *cuerpos de agua naturales* (ver Tabla 12.15 y Figura 12.31). Los usos menos extendidos en el área de la cuenca son los *cultivos permanentes semi-intensivos, producción* y *residencial*. La distribución geográfica de los diferentes usos del suelo dentro de la cuenca se pueden observar en la Figura 12.30.

Tabla 12.14. Áreas por grupo de uso en la cuenca

GRUPO DE USO	AREA_HA	%
Agricultura	1329,20	0,48
Agropecuario	3573,35	1,28
Conservación	99036,77	35,46
Cuerpos de Agua Naturales	77374,28	27,70
Eriales	2915,05	1,04
Forestal	42,26	0,02
Ganadería	78518,83	28,11
Infraestructura	1669,72	0,60
Sin uso	7978,16	2,86
Transición	5473,50	1,96
Zonas Urbanas	1275,30	0,46
TOTAL	279.295,47	100,00

Figura 12.29. Porcentaje área por grupos de uso en la cuenca

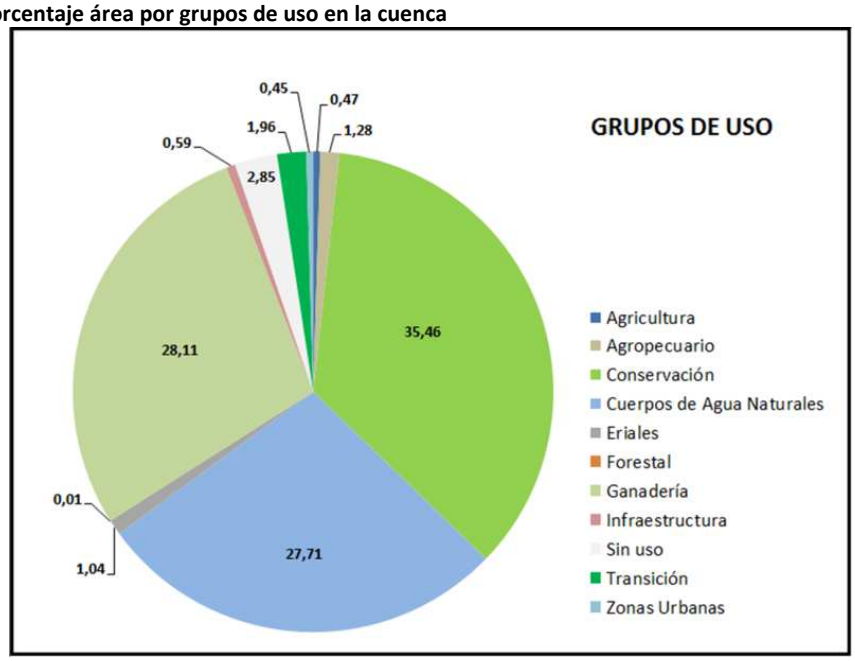


Figura 12.30. Mapa Uso actual del suelo en la cuenca.

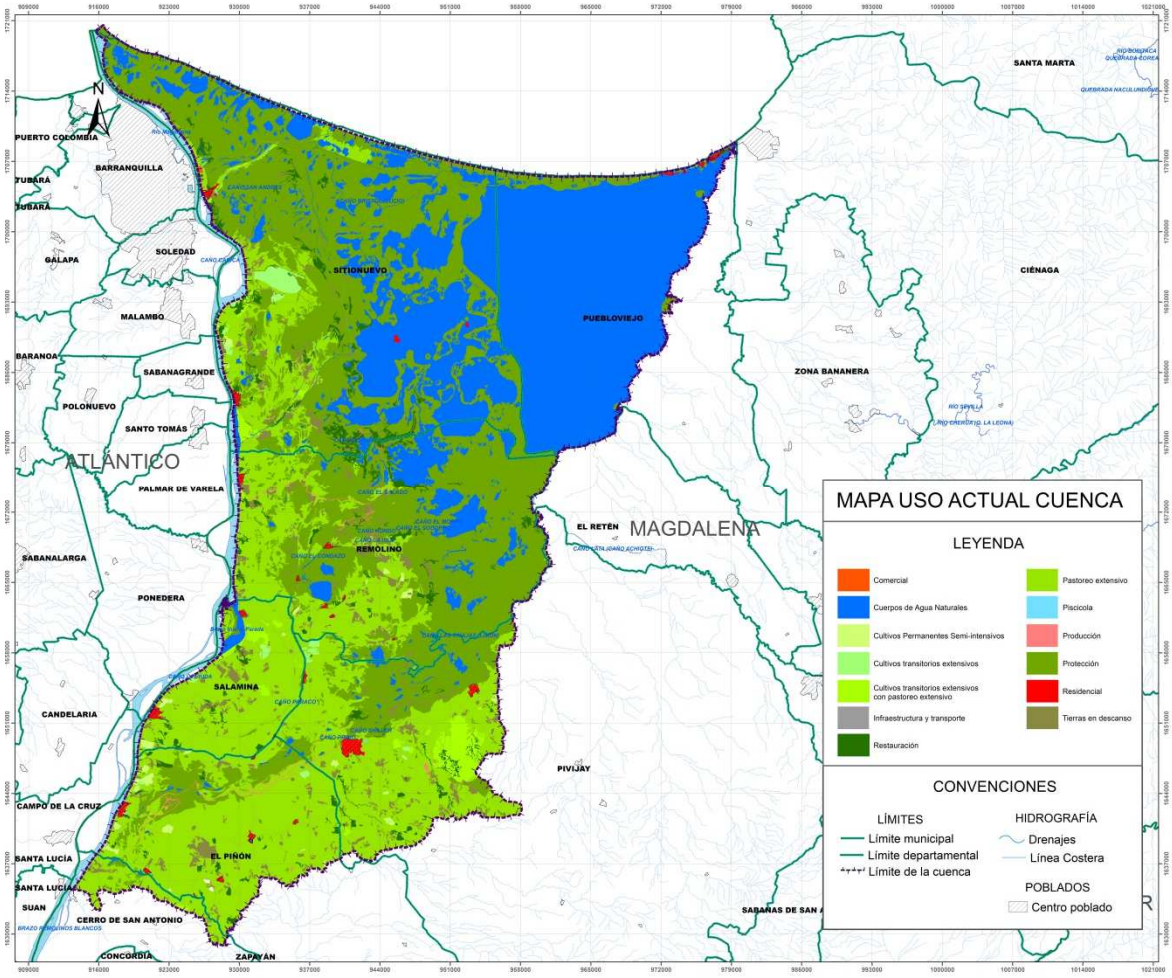
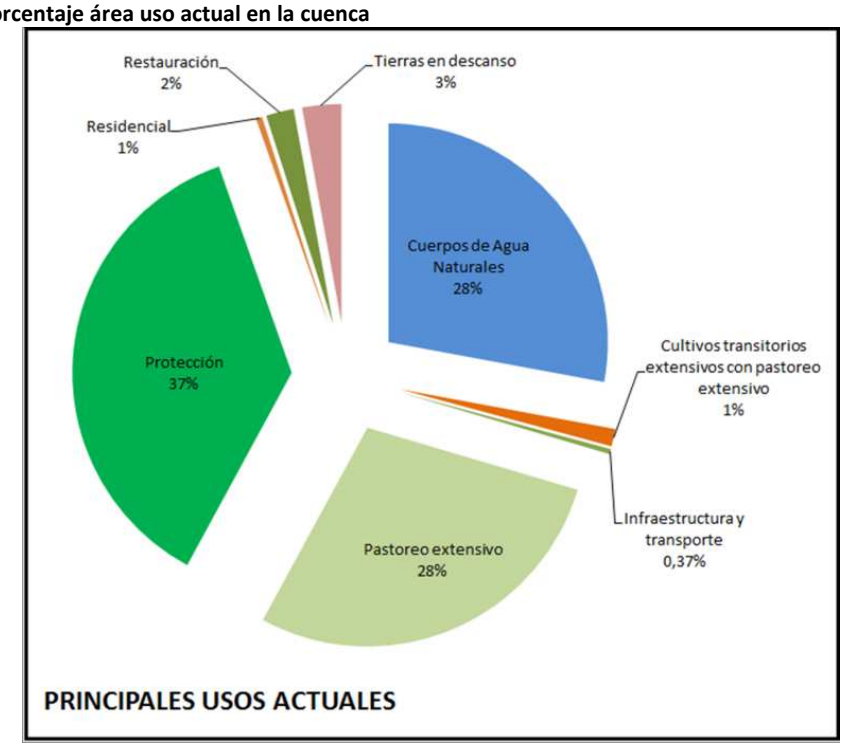


Tabla 12.15. Áreas por uso actual en la cuenca

USOS ACTUALES	AREA_HA	%
Comercial	36,94	0,01
Cuerpos de Agua Naturales	77374,28	27,70
Cultivos Permanentes Semi-intensivos	863,44	0,31
Cultivos transitorios extensivos	465,76	0,17
Cultivos transitorios extensivos con pastoreo extensivo	3573,35	1,28
Infraestructura y transporte	1041,68	0,37
Pastoreo extensivo	78518,83	28,11
Piscicola	48,83	0,02
Producción	584,54	0,21
Protección	101734,43	36,43
Residencial	1275,30	0,46
Restauración	5690,90	2,04
Tierras en descanso	7978,16	2,86
TOTAL	279186,423	99,961

Figura 12.31. Porcentaje área uso actual en la cuenca



12.5. Resultado del proceso de análisis multitemporal de coberturas

Como resultado del proceso del análisis multitemporal se obtuvieron 12 de las 15 categorías de cambio existentes (ver Tabla 12.15 y Figura 12.32). La Figura 12.33 muestra el mapa resultante del análisis multitemporal.

Tabla 12.16. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca

INDICADOR	AREA TOTAL	%
Recuperación del bosque	25,646118	0,01
Degradación de tierras	474,396148	0,17
Desintensificación de la agricultura	3169,726046	1,14
Dinámica de cuerpos de agua	17586,83137	6,30
Expansión de la agricultura	2471,662171	0,89
Fragmentación del bosque	827,59548	0,30
Ganancia de pastos	14859,58953	5,32
Intensificación de la agricultura	363,745731	0,13
Urbanización	20,855906	0,01
Cambio similar	8361,978237	2,99
Otros cambios	659,558553	0,24
Sin cambio	230473,5165	82,53
TOTAL	**279269,46**	**100,00**

Figura 12.32. Indicadores de cambio encontrados en el área de la cuenca

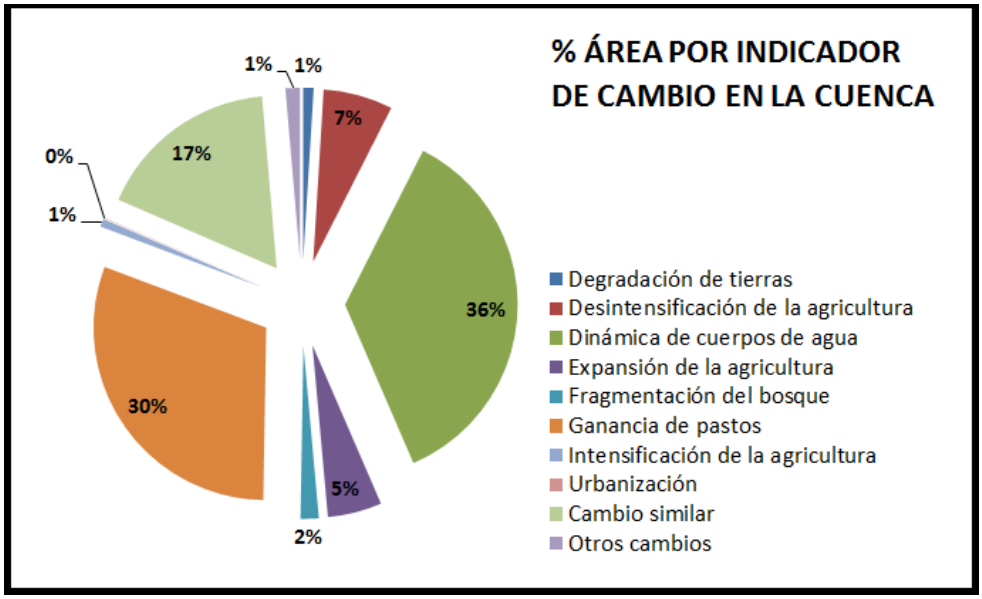
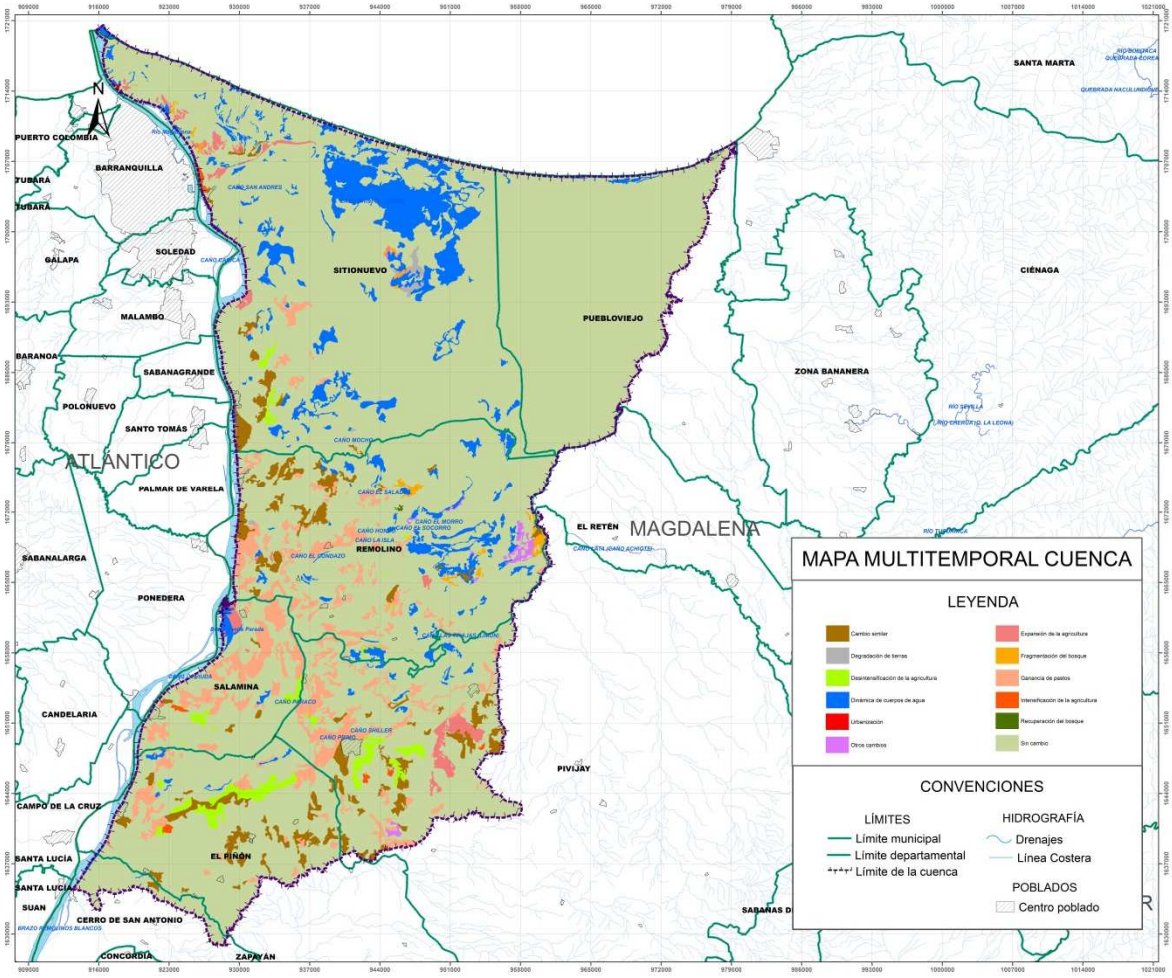


Figura 12.33. Mapa multitemporal cuenca



De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 12.2 y la Figura 12.8, los cambios se produjeron solo en un 17,47% del área de la cuenca, el restante 82,53% permaneció estable. Los cambios más significativos fueron: desintensificación de la agricultura, ganancia de pastos y urbanización.

Las Figura 12.34 y Figura 12.35 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 de análisis, las coberturas naturales disminuyeron su área en un 3,25%, dando paso a coberturas antrópicas.

Tabla 12.17. Estado coberturas primer período

Estado_05	Total	%
NATURAL	197173,757	70,60
TRANSFORMADO	82121,3446	29,40
Total general	279295,10	100,00

Figura 12.34. Estado coberturas primer período

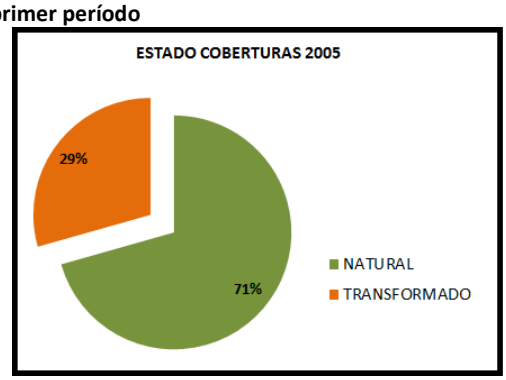


Tabla 12.18. Estado coberturas segundo período

ESTADO_12	AREA_12	%
NATURAL	188104,515	67,35
TRANSFORMADO	91190,587	32,65
Total general	279295,102	100,00

Figura 12.35. Estado coberturas segundo período

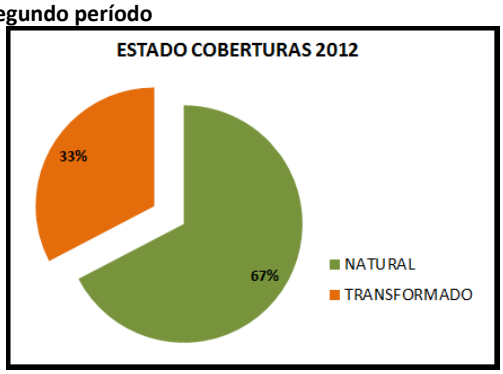


Tabla 12.19. Tabla de los cambios identificados en el análisis multitemporal

CODIGO	COBETURA	AREA_2005	%	AREA_2012	%	ÁREA DIFERENCIA	% DIFERENCIA	GANANCIA/PÉRDIDA	ANÁLISIS
111	Tejido urbano continuo	1037,94	0,37	1037,94	0,37	0,00	0,00	Estable	Sin cambio
112	Tejido urbano discontinuo	73,46	0,03	73,46	0,03	0,00	0,00	Estable	Sin cambio
121	Zonas comerciales o industriales	30,05	0,01	30,05	0,01	0,00	0,00	Estable	Sin cambio
125	Obras hidráulicas	15,50	0,01	14,96	0,01	-0,54	-3,48	Perdida	Diferencias por delineación de coberturas, sistema de referencia
211	Otros cultivos transitorios	1270,47	0,45	964,77	0,35	-305,70	-24,06	Perdida	Intensificación de la agricultura, cambio similar por reclasificación de coberturas
231	Pastos limpios	14529,28	5,20	23863,45	8,54	9334,16	64,24	Ganancia	Cambio similar por reclasificación coberturas, desintensificación de la agricultura, expansión pastoreo
232	Pastos arbolados	18340,10	6,57	19994,16	7,16	1654,06	9,02	Ganancia	Cambio similar por reclasificación coberturas, desintensificación de la agricultura, expansión pastoreo
233	Pastos enmalezados	14287,51	5,12	15643,19	5,60	1355,69	9,49	Ganancia	Cambio similar por reclasificación coberturas, desintensificación de la agricultura, expansión pastoreo
242	Mosaico de pastos y cultivos	7072,46	2,53	6353,93	2,27	-718,53	-10,16	Perdida	Desintensificación de la agricultura y ganancia de pastos, intensifiación de la agricultura (paso a cultivos permanentes)
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6039,81	2,16	4522,94	1,62	-1516,88	-25,11	Perdida	Expansión pastoreo, expansión agricultura, cambio similar por reclasificación de coberturas, dinámica de cuerpos de agua
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	19351,32	6,93	16689,30	5,98	-2662,02	-13,76	Perdida	Expansión del pastoreo y la agricultura, dinámica de cuerpos de agua, degradación de tierras
314	Bosque de galería y ripario	502,98	0,18	502,98	0,18	0,00	0,00	Estable	Sin cambio
323	Vegetación secundaria	6650,34	2,38	7674,18	2,75	1023,84	15,40	Ganancia	boscosa
331	Zonas arenosas naturales	452,28	0,16	566,93	0,20	114,65	25,35	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
333	Tierras desnudas y degradadas	61,74	0,02	452,45	0,16	390,70	632,78	Ganancia	Degradación de tierras por pérdida cobertura y manjos culturales
334	Zonas quemadas	0,00	0,00	54,80	0,02	54,80	100,00	Ganancia	Degradacion de tierras por manejos culturales
411	Zonas Pantanosas	38349,53	13,73	34491,50	12,35	-3858,03	-10,06	Perdida	Expansión del pastoreo y la agricultura, dinámica de cuerpos de agua, otros cambios
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	12084,02	4,33	11468,15	4,11	-615,87	-5,10	Perdida	Expansión del pastoreo y la agricultura, cambio similar por reclasificación de coberturas, dinámica de cuerpos de agua
421	Pantanos costeros	12086,93	4,33	16689,66	5,98	4602,73	38,08	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
422	Salitral	182,43	0,07	102,27	0,04	-80,16	-43,94	Perdida	Dinámica de cuerpos de agua
423	Sedimentos expuestos en bajamar	32,18	0,01	43,72	0,02	11,54	35,85	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
511	Ríos	355,86	0,13	573,74	0,21	217,88	61,23	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5263,85	1,88	4539,99	1,63	-723,86	-13,75	Perdida	Expansión del pastoreo, dinámica de cuerpos de agua
521	Lagunas costeras	83974,30	30,07	75479,49	27,02	-8494,82	-10,12	Perdida	Expansión de la agricultura, dinámica de cuerpos de agua
522	Mares y océanos	94,36	0,03	0,00	0,00	-94,36	-100,00	Perdida	Diferencias por límites y sistema de referencia
523	Estanques para acuicultura marina	0,00	0,00	36,35	0,01	36,35	100,00	Ganancia	Urbanización
2121	Arroz	0,00		1318,00	0,47	1318,00	100,00	Ganancia	Cambio similar por reclasificación cobertura, expansión agricultura
2213	Plátano y banano	0,00		140,85	0,05	140,85	100,00	Ganancia	Cambio similar por reclasificacion cobertura, expansión agricultura
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	123,19	0,04	645,82	0,23	522,63	424,25	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	139,68	0,05	193,23	0,07	53,55	38,33	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua, fragmentación del bosque
3221	Arbustal denso	3725,42	1,33	3262,46	1,17	-462,96	-12,43	Perdida	Expansión pastoreo, dinámica de cuerpos de agua, degradación de tierras, otros cambios, reclasificación de coberturas
3222	Arbustal abierto	122,66	0,04	72,58	0,03	-50,07	-40,82	Perdida	Expansión pastoreo
3311	Playas	345,00	0,12	456,73	0,16	111,73	32,39	Ganancia	Dinámica de cuerpos de agua
3312	Arenales	1258,99	0,45	317,35	0,11	-941,64	-74,79	Perdida	Dinámica de cuerpos de agua y degradación de tierras
31112	Bosque denso alto inundable	9341,10	3,34	8857,64	3,17	-483,46	-5,18	Perdida	Pérdida cobertura boscosa por expansión agricultura y pastoreo, perdida cobertura boscosa por otras causas, dinámica de cuerpos de agua, fragmentación del bosque, cambio similar por reclasifiación coberturas
31121	Bosque denso bajo	122,85	0,04	66,39	0,02	-56,46	-45,96	Perdida	Perdida coberturas boscosa por expansión pastoreo, cambio similar por reclasificación coberturas
31122	Bosque denso bajo inundable	20286,48	7,26	21162,86	7,58	876,39	4,32	Ganancia	Cambio similar por reclasificación coberturas.
31222	Bosque abierto bajo inundable	261,27	0,09	40,37	0,01	-220,90	-84,55	Perdida	Perdida coberturas boscosa por expansión pastoreo, cambio similar por reclasificación coberturas; dinámica de cuerpos de agua, otros cambios,
321121	Herbazal denso inundable no arbolado	1430,13	0,51	896,49	0,32	-533,64	-37,31	Perdida	Pérdida cobertura boscosa por otras causas, otros cambios
		279295,47	100,00	279295,10	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 los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales; otros cultivos transitorios y los mosaicos de pastos con espacios naturales respectivamente (ver Tabla 12.20 y Figura 12.36). Observando la Tabla 12.19, la Tabla 12.21 y la Figura 12.37, las coberturas antrópicas que más aumentaron su área fueron respectivamente los pastos, el arroz y las tierras desnudas o degradadas.

Tabla 12.20. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012.

COBERTURAS ANTRÓPICAS 2005 QUE DESINTENSIFICARON SU USO EN 2012			
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA**	**AREA_HA**	**%**
125	Obras hidráulicas	-0,54	-3,48
211	Otros cultivos transitorios	-305,70	-24,06
242	Mosaico de pastos y cultivos	-718,53	-10,16
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-1516,88	-25,11
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	-2662,02	-13,76

Figura 12.36. Coberturas antrópicas que disminuyeron su área para el año 2012.

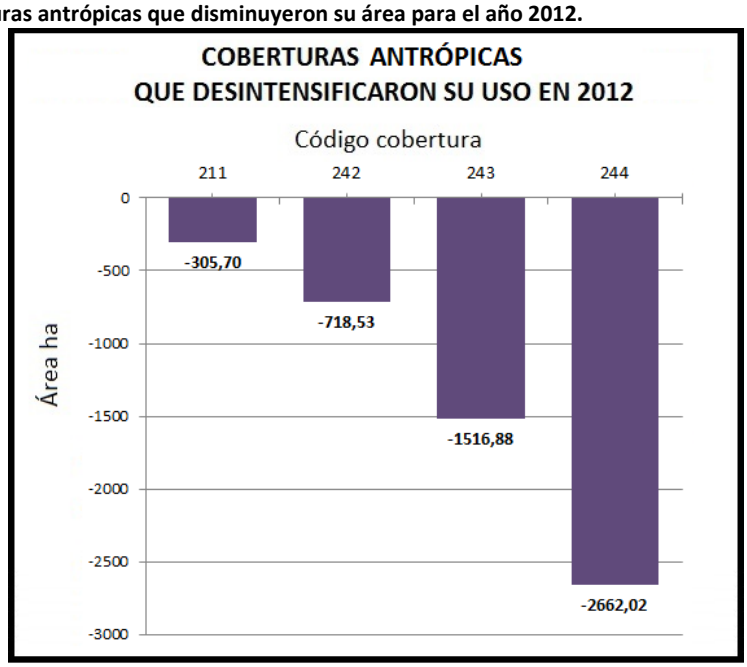
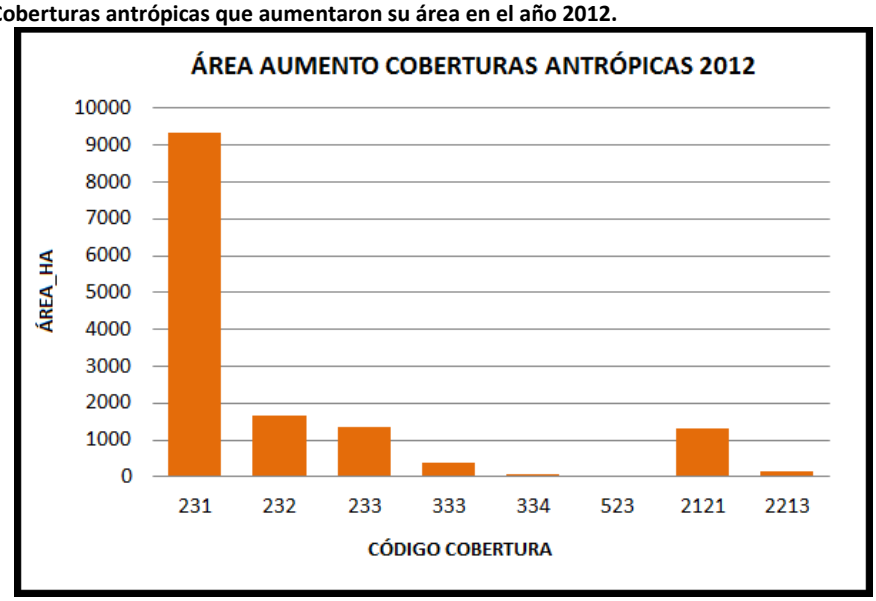


Tabla 12.21. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012.

COBERTURAS ANTRÓPICAS 2005 QUE INTENSIFICARON SU USO EN 2012			
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA**	**AREA_HA**	**%**
231	Pastos limpios	9334,16	64,24
232	Pastos arbolados	1654,06	9,02
233	Pastos enmalezados	1355,69	9,49
333	Tierras desnudas y degradadas	390,70	632,78
334	Zonas quemadas	54,80	100,00
523	Estanques para acuicultura marina	36,35	100,00
2121	Arroz	1318,00	100,00
2213	Plátano y banano	140,85	100,00

Figura 12.37. Coberturas antrópicas que aumentaron su área en el año 2012.



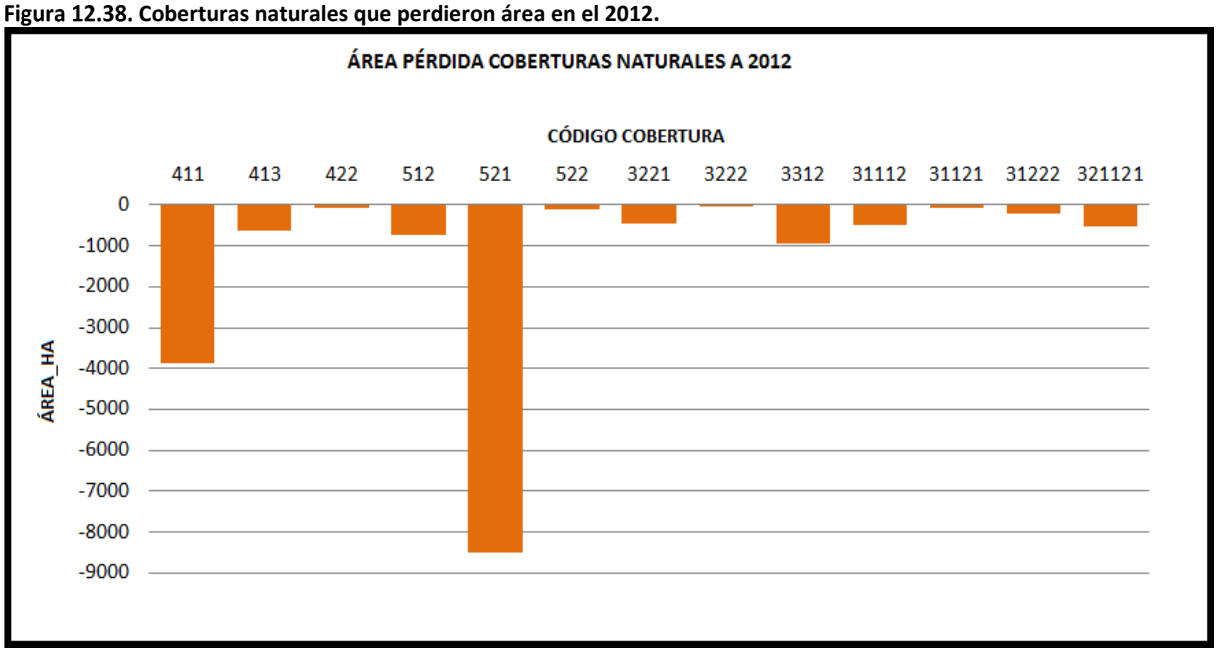
La Tabla 12.22 y la Figura 12.38 presentan las coberturas naturales que perdieron área durante el período de análisis. Una vez realizados los análisis se pudo observar que las coberturas naturales que perdieron más área durante el período de análisis fueron: el bosque abierto bajo inundable (84,55%), los arbustales (53,25%), el bosque denso bajo (45,96%) y los herbazales densos inundables no arbolados (37,31%).

La aparente pérdida en la cobertura de arenales (74,79%), se debe principalmente a la dinámica de los cuerpos de agua.

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**	**%**
411	Zonas Pantanosas	-3858,0	-10,06
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	-615,9	-5,10
422	Salitral	-80,2	-43,94
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	-723,9	-13,75
521	Lagunas costeras	-8494,8	-10,12
522	Mares y océanos	-94,4	-100,00
3221	Arbustal denso	-463,0	-12,43
3222	Arbustal abierto	-50,1	-40,82
3312	Arenales	-941,6	-74,79
31112	Bosque denso alto inundable	-483,5	-5,18
31121	Bosque denso bajo	-56,5	-45,96
31222	Bosque abierto bajo inundable	-220,9	-84,55
321121	Herbazal denso inundable no arbolado	-533,6	-37,31

Figura 12.38. Coberturas naturales que perdieron área en el 2012.



El área de la cuenca no presenta actividad minera durante ninguno de los dos períodos de análisis (ver Tabla 12.19).

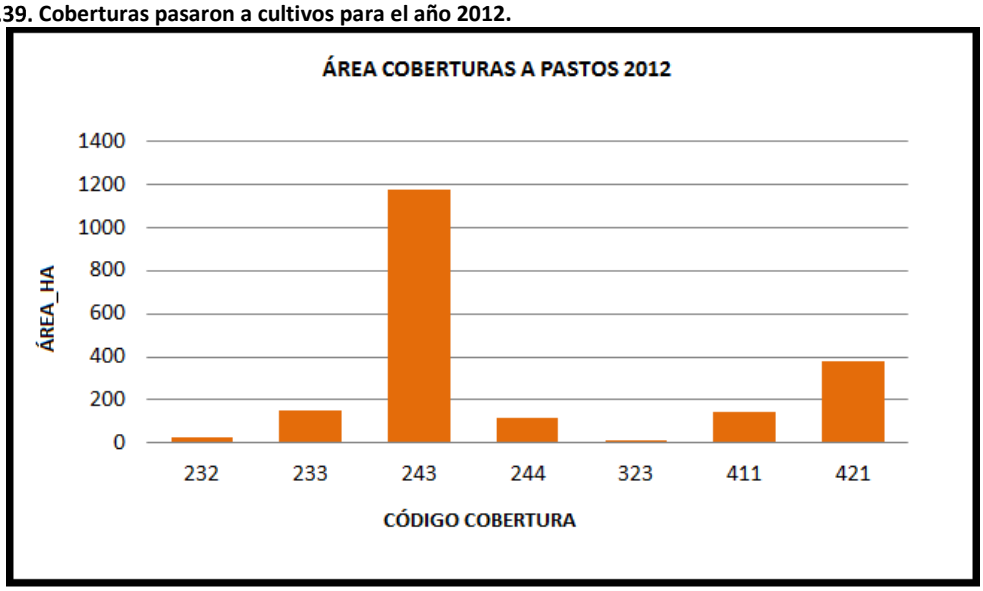
Las áreas urbanas se mantuvieron estables durante el período de análisis y no presentaron ningún cambio (ver Tabla 12.19).

Las coberturas que perdieron área para convertirse en cultivos correspondieron a coberturas antrópicas y naturales. Las que más área perdieron fueron los mosaicos de pastos y cultivos con espacios naturales y los pantanos costeros (ver Tabla 12.23 y Figura 12.39).

Tabla 12.23. Coberturas que pasaron a cultivos para el año 2012.

COBERTURAS 2005 QUE PASARON A CULTIVOS EN 2012		
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA 2005**	**AREA_HA**
232	Pastos arbolados	22,5
233	Pastos enmalezados	151,6
243	Mosaico de pastos y cultivos con espacios naturales	1177,6
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	117,7
323	Vegetación secundaria	10,6
411	Zonas pantanosas	144,9
421	Pantanos costeros	382,1

Figura 12.39. Coberturas pasaron a cultivos para el año 2012.

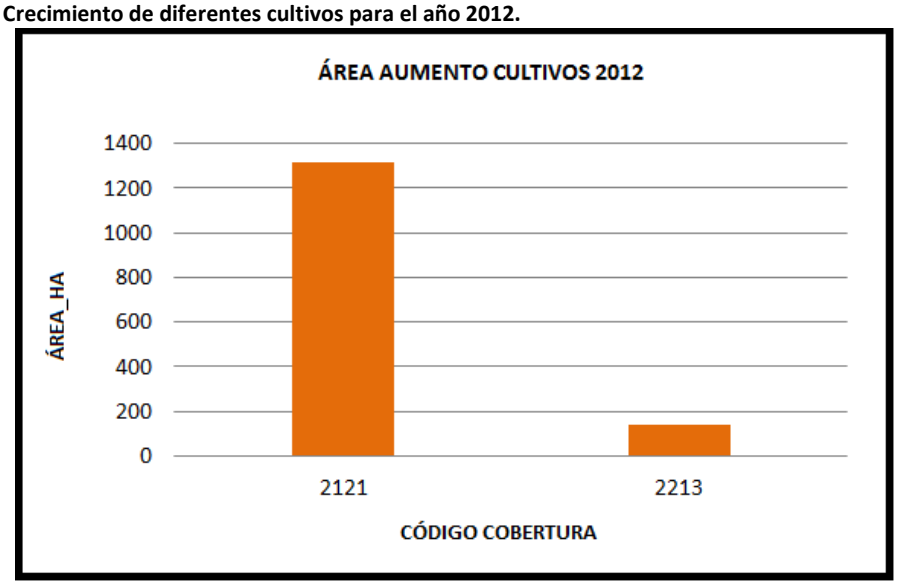


De acuerdo con la Tabla 12.24 y la Figura 12.40 los cultivos que aumentaron su área durante el período fueron arroz, plátano y banano con un 100% de ganancia; además aumentó la proporción de mosaicos de cultivos con espacios naturales en un 3,96% con respecto al período anterior.

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**	**%**
2121	Arroz	1318,00	100,00
2213	Plátano y banano	140,85	100,00

Figura 12.40. Crecimiento de diferentes cultivos para el año 2012.



De acuerdo con las Tabla 12.25 y Figura 12.41 el área total de coberturas que pasaron a pastos fue de 14.399,8 ha. Las coberturas que se vieron más afectadas por el aumento de las áreas de pastos fueron los mosaicos con espacios naturales con 6.682 ha perdidas, seguidos de las zonas pantanosas que perdieron 4.716,5 ha. Las coberturas naturales que perdieron área para el establecimiento de cultivos fueron los arbustales abiertos, los bosques densos bajos inundables y el bosque abierto inundable.

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
242	Mosaico de pastos y cultivos	1363,8
243	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	984,3
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	5697,8
323	Vegetación secundaria	804,9
411	Zonas pantanosas	4716,5
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	276,3
512	Ríos	41,7
3221	Arbustal denso	375,4
3222	Arbustal abierto	50,1
31112	Bosque denso alto inundable	32,6
31121	Bosque abierto bajo de tierra firme	56,5

Figura 12.41. Coberturas que cambiaron a pastos para el año 2012.

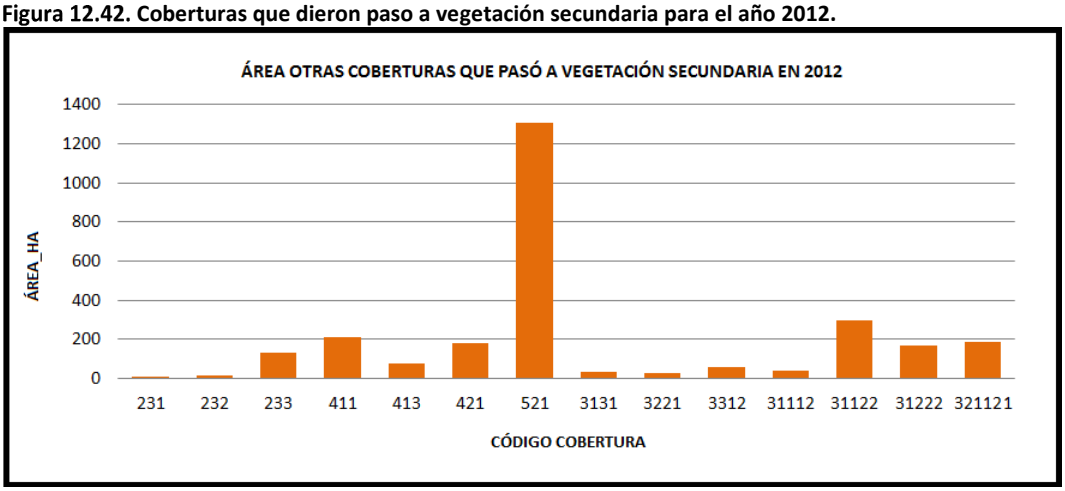


De acuerdo con la Tabla 12.26 y Figura 12.42, el área de cobertura que pasó a vegetación secundaria fue de 2.730,6 ha. El surgimiento de vegetación secundaria se dio por dos medios distintos, el primero la desintensificación de algún tipo de actividad antrópica y en segundo la pérdida de algún tipo de cobertura natural.

Tabla 12.26. Coberturas que dieron pasó a vegetación secundaria para el año 2012.

COBERTURAS 2005 A VEGETACIÓN SECUNDARIA EN 2012		
COBERTURA 2005	**NOM_COBERTURA**	**AREA_HA**
231	Pastos limpios	7,8
232	Pastos arbolados	14,4
233	Pastos enmalezados	127,9
411	Zonas pantanosas	211,2
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	74,8
421	Pantanos costeros	181,6
521	Lagunas costeras	1309,5
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	34,5
3221	Arbustal denso	25,3
3312	Arenales	55,1
31112	Bosque denso alto inundable	36,4
31122	Bosque denso bajo inundable	296,8
31222	Bosque abierto bajo inundable	167,6
321121	Herbazal denso inundable no arbolado	187,9

Figura 12.42. Coberturas que dieron paso a vegetación secundaria para el año 2012.



En lo relativo a la desintensificación de la actividad antrópica la cobertura que aportó mayor área al surgimiento de vegetación secundaria fueron los pastos en 142,2 ha. El área de coberturas naturales que se perdió y dio paso a vegetación secundaria fue de 2.525,5 ha, las coberturas naturales que más área perdieron para convertirse en vegetación secundaria fueron las lagunas costeras, pantanos costeros y bosques densos y abiertos.

12.6. Resultados de la determinación de Índicadores de Estado – Tenencia.

12.6.1. Índicador de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN).

De acuerdo con el análisis realizado para este indicador, la cobertura que más área perdió fue el bosque abierto bajo inundable con 220,85 ha, lo que da un ritmo de pérdida de 31,55 ha/año, solo queda un 15,45% del área existente para esta cobertura en el 2005. Las coberturas que menos área perdieron durante el período fueron los arbustales densos, las zonas pantanosas y los herbazales inundables. Los cambios que se presentan en los arenales corresponden a la dinámica de cuerpos de agua.

Tabla 12.27. TCCN

COBERTURA	TCCN (%)
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	-2,472
Arbustal abierto	-7,495
Arbustal denso	-1,774
Arenales	-45,704
Bosque abierto bajo inundable	-26,676
Otras coberturas naturales	-1,766
Bosque denso bajo	-8,791
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4,635
Herbazal denso inundable no arbolado	-2,071
Lagunas, lagos y ciénagas naturales, lagunas costeras	-0,273
Playas	6,128
Ríos	-1,651
Sedimentos expuestos en bajamar	4,377
Zonas arenosas naturales	-10,636
Zonas Pantanosas y pantanos costeros	-2,182

Figura 12.43. Porcentaje TCCN coberturas naturales

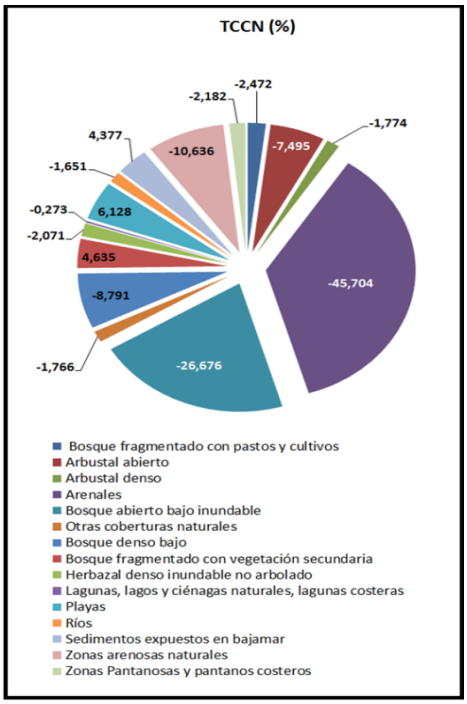
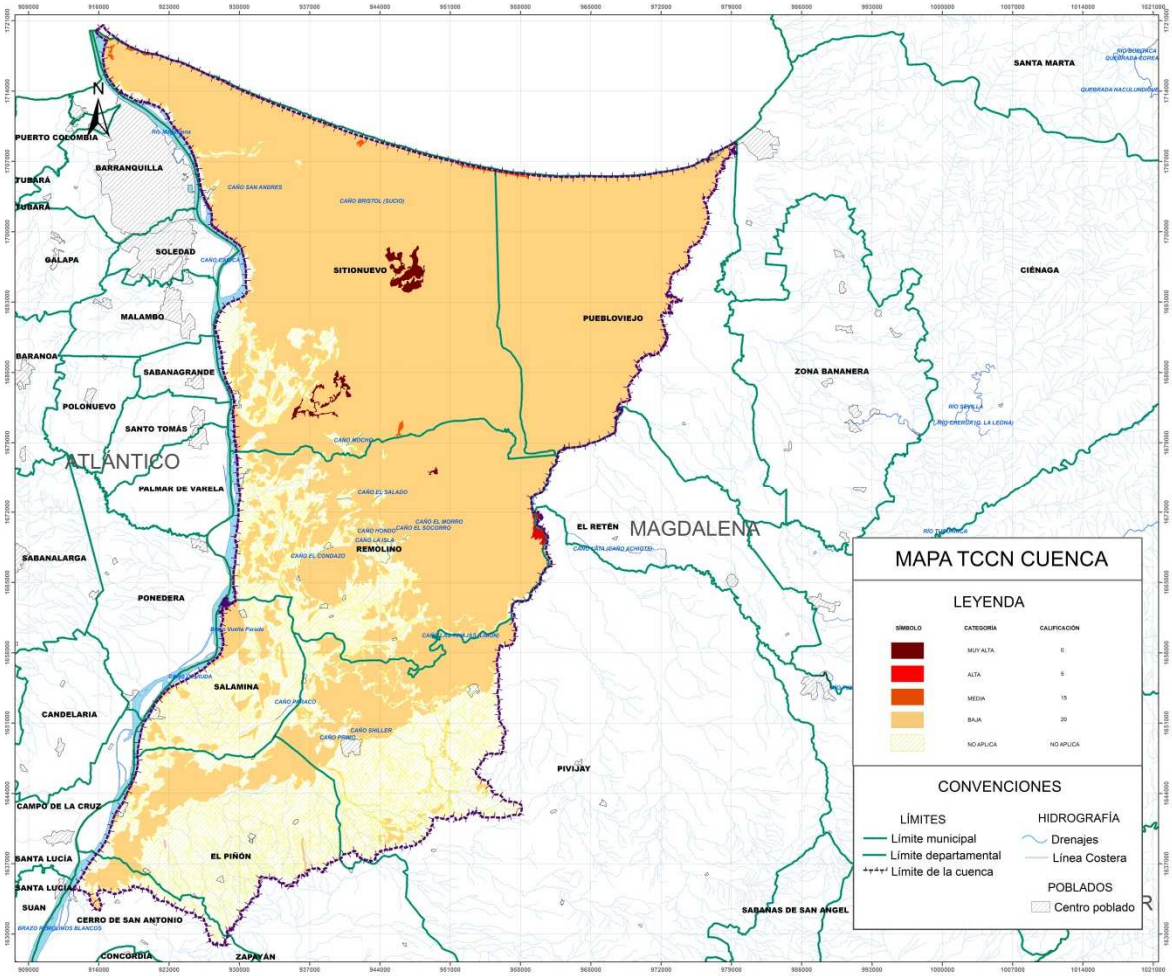


Figura 12.44. Mapa TCCN



12.6.2. Índice 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.

Tabla 12.28. Categorías IF Ciénaga

CAT_IF	CALF_IF	AREA_IF	%
EXTREMA	0	636,59	0,61
FUERTE	5	613,50	0,58
MODERADA	10	1498,35	1,43
MEDIA	15	2381,03	2,27
MÍNIMA	20	99758,15	95,11
ÁREA TOTAL CUENCA		**104887,63**	**100,00**

Figura 12.45. Porcentaje área categorías IF Ciénaga

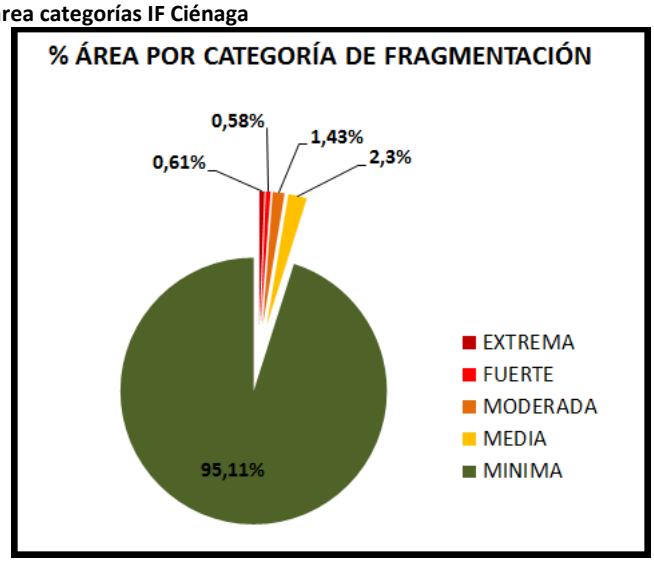
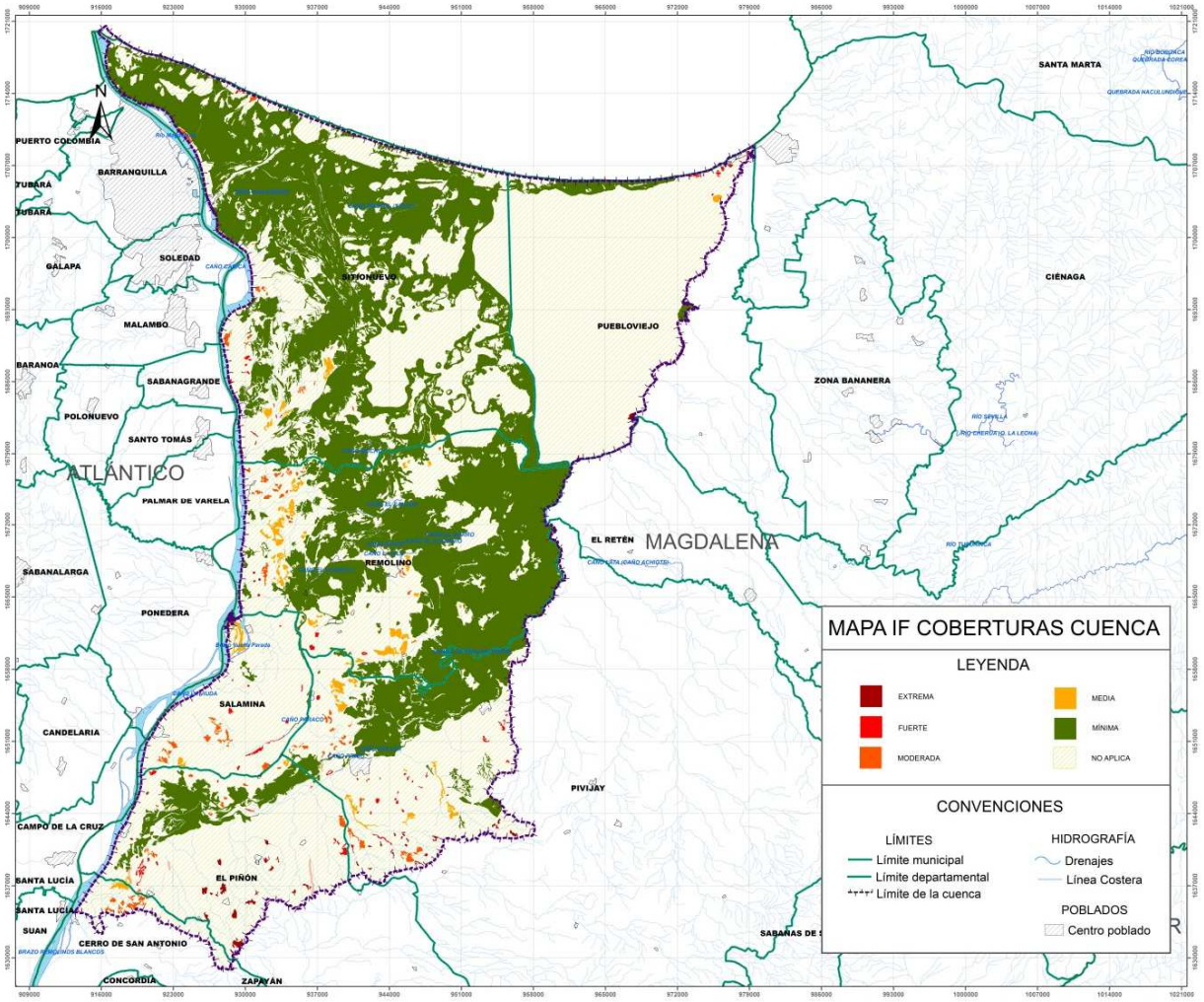


Figura 12.46. Mapa índice de fragmentación



Lo anterior indica que la vegetación natural remanente en la cuenca presenta un alto grado de conectividad que puede permitir su conservación y posiblemente la recuperación de algunas áreas con el tiempo, mediante la implementación de programas de restauración de los ecosistemas.

12.6.3. Índice de vegetación remanente (IVR)

De acuerdo con el análisis realizado al resultado obtenido del cálculo del índice, la cuenca presenta una alta sostenibilidad en un 49,5% de su área (ver Tabla 12.29 y Figura 12.47). El área restante presenta un grado de antropización muy alto que hace poco factible su recuperación.

Los biomas que mejor se conservan dentro de la cuenca son los de manglar y cuerpos de agua, con un 42% y un 40% de superficie dentro de la cuenca. Los biomas más alterados son los de Bosque seco tropical, humedales y bosque de galería tropical, los cuales están prácticamente desaparecidos, dentro del área de la cuenca.

Tabla 12.29. Biomas prístinos cuenca.

Cod_Bioma	BIOMAS ORIGINALES	AREA_HA	%
1	Bosque Galería Tropical	759,06	0,82
2	Bosque Húmedo Alto Andino	3.030,52	3,27
3	Bosque Húmedo Subandino	21.096,86	22,73
4	Bosque Seco Tropical	40.943,64	44,12
5	Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas)	125,59	0,14
6	Humedales y zonas lacustres tropicales	114,46	0,12
7	Manglares Natales o salares tropicales	33,29	0,04
8	Matorral Seco Tropical	7.821,51	8,43
9	Playas, medanos y/o dunas Tropicales	140,74	0,15
10	Sabanas Estacionales Tropicales	3.870,92	4,17
11	Selva Húmeda Tropical	14.862,86	16,02
	ÁREA TOTAL	**92.799,47**	**100,00**

Figura 12.47. Porcentaje área biomas prístinos Ciénaga

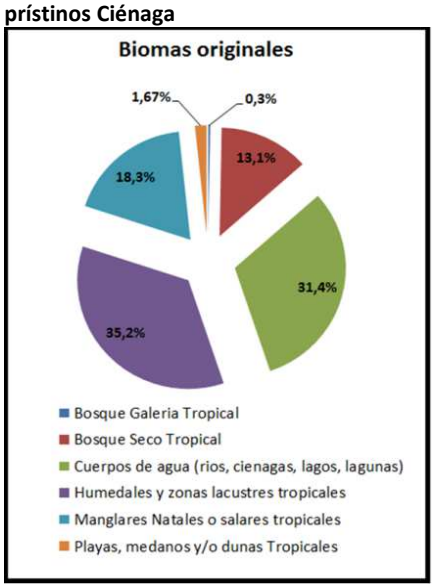


Tabla 12.30. Estado general de los biomas en la cuenca

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**

Figura 12.48. Mapa Biomas prístinos cuenca.

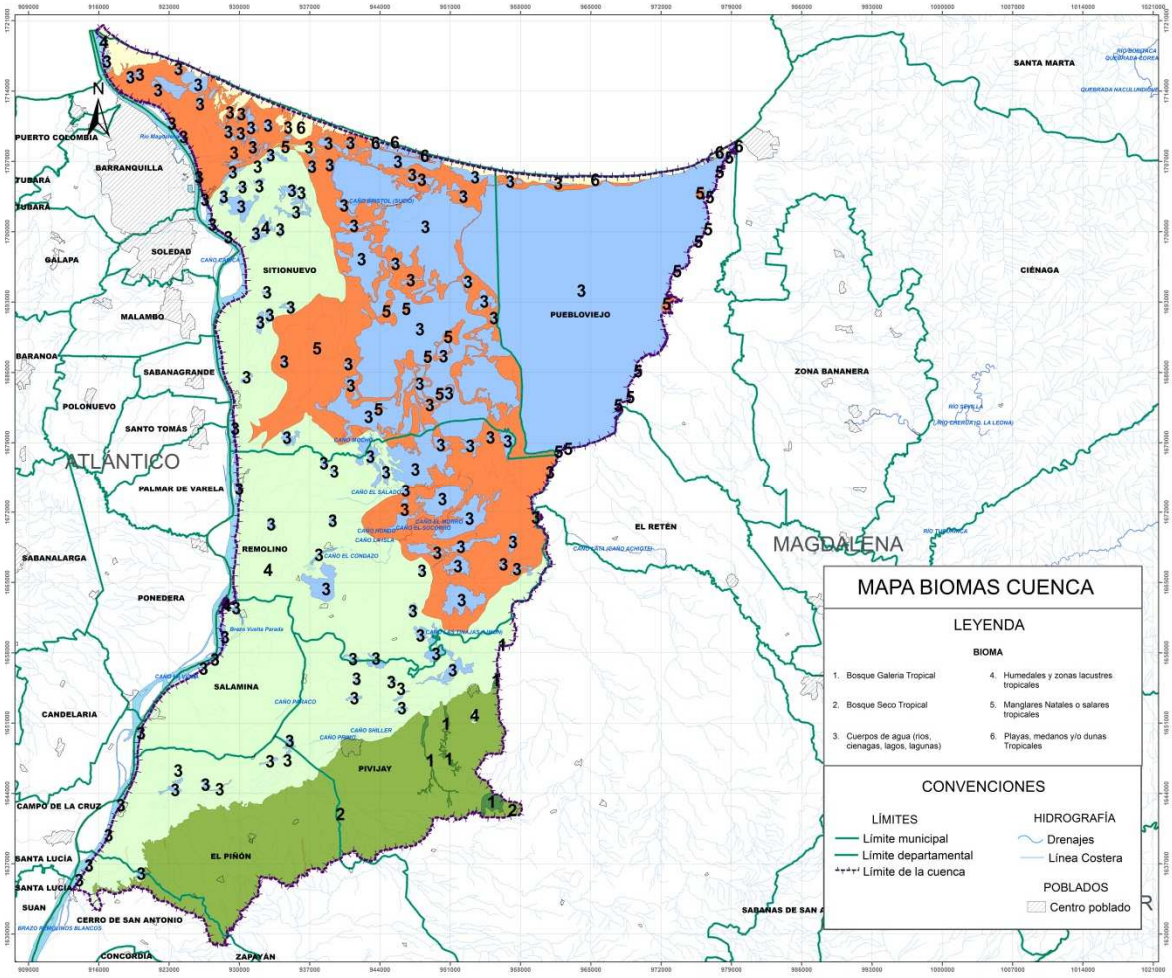


Tabla 12.31. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca

ÁREA CUENCA	% ALTA SOSTENIBILIDAD	% MEDIA/BAJA SOSTENIBILIDAD
279.295,47	49,48	50,52

Figura 12.49. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca.

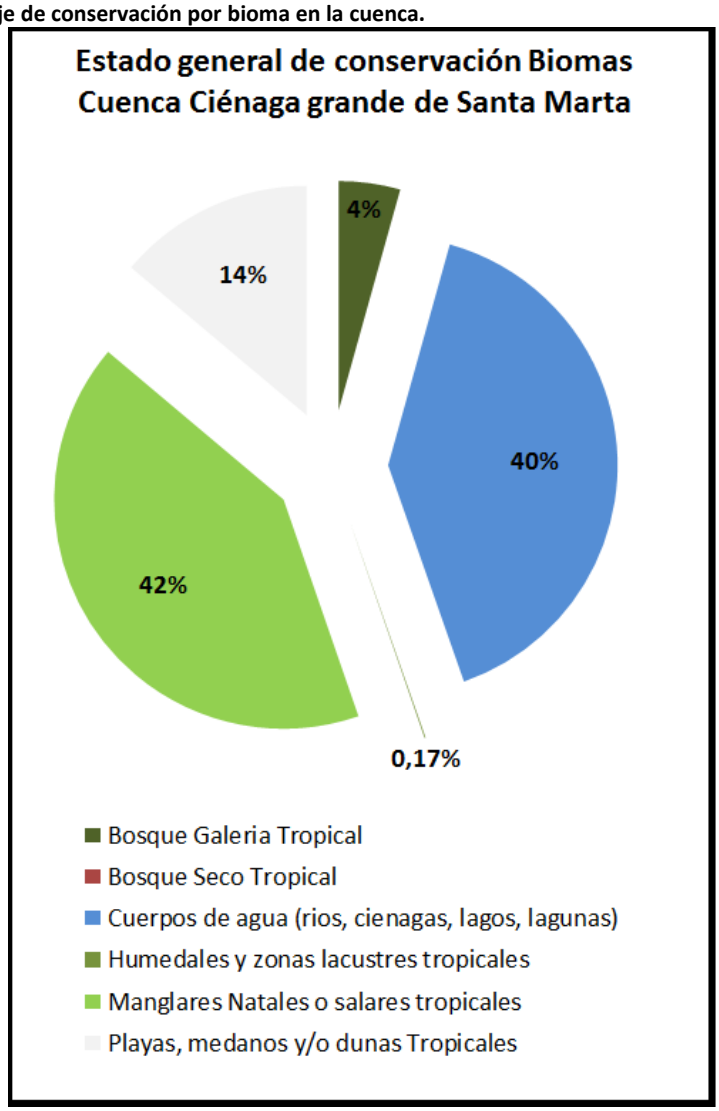


Figura 12.50. Mapa Índice de vegetación remanente

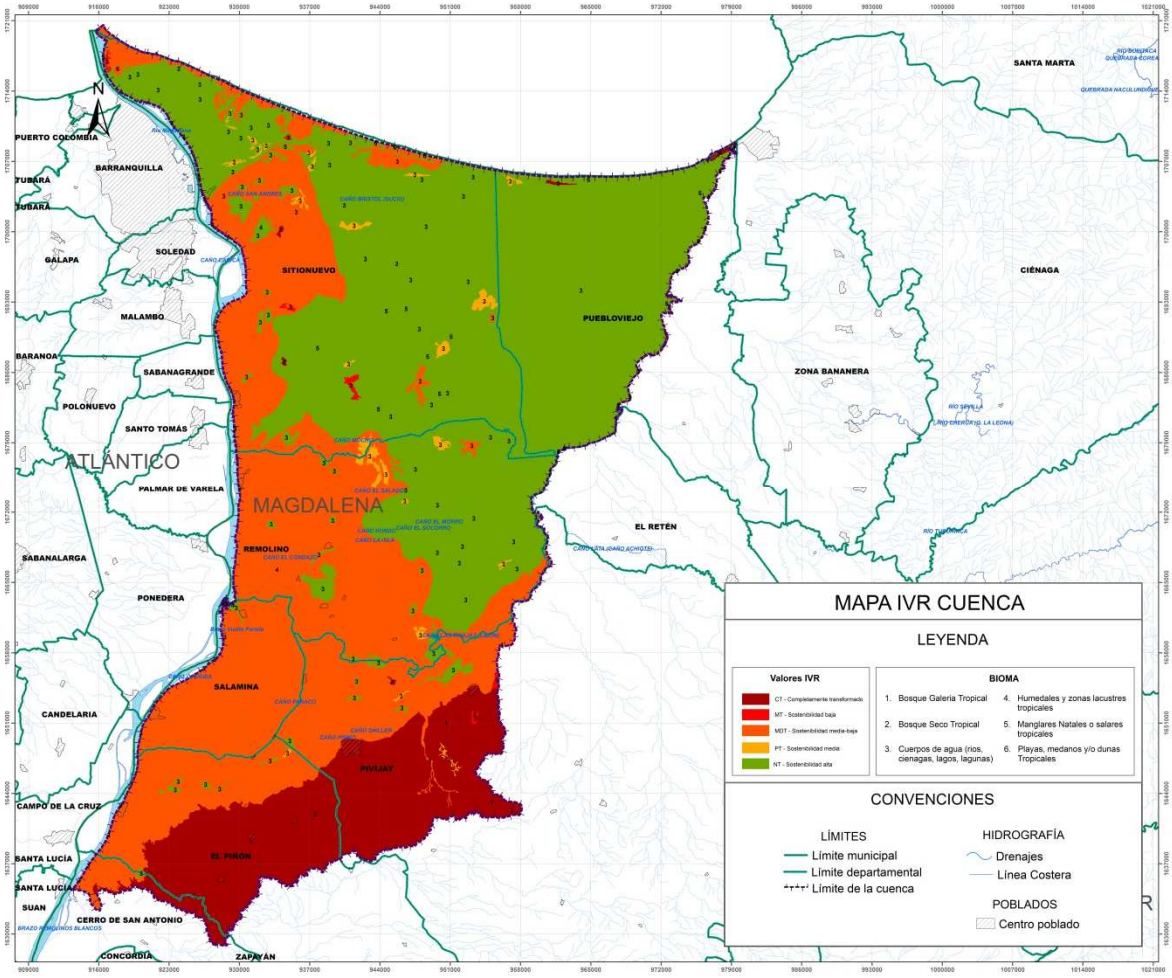


Figura 12.51. Porcentaje área por grado de sostenibilidad en la cuenca

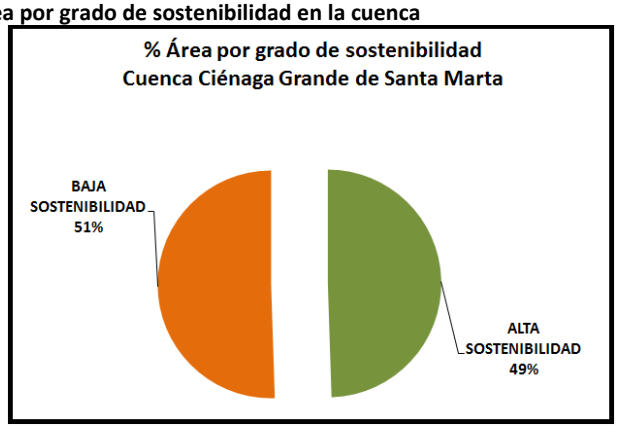
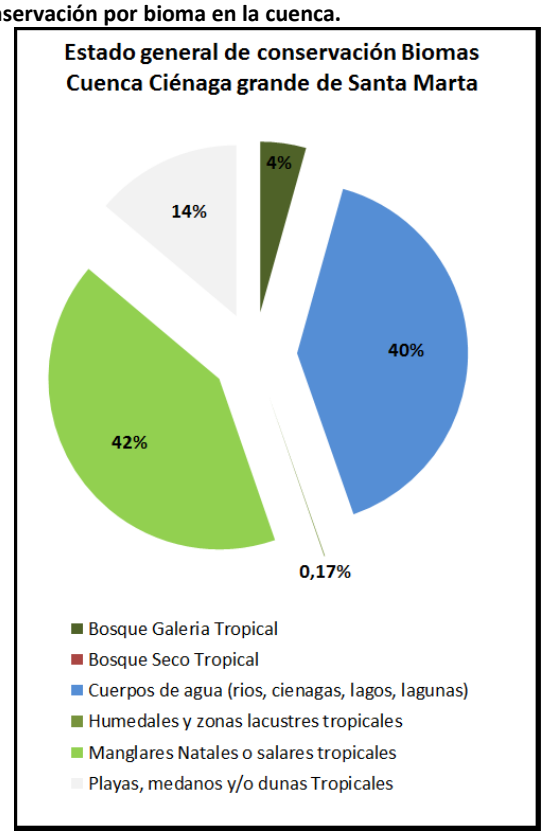


Figura 12.52. Porcentaje de conservación por bioma en la cuenca.



12.6.4. Índice de presión demográfica. (IPD)

Tabla 12.32. Información poblacional por municipio en la cuenca.

MUNICIPIO	AREA_MPIO CUENCA	% AREA MPIO EN CUENCA	POB_TOTAL CENSO 2005	POB_TOTAL PROY 2016
SITIONUEVO	35316,72	36,35	26.173	32.089
REMOLINO	57942,51	97,24	7.840	8.095
PIVIJAY	35316,72	21,52	35.379	33.753
EL PIÑÓN	29066,02	52,05	16.684	16.742
CERRO DE SAN ANTONIO	3342,65	18,88	3.800	3.436
SALAMINA	16179,24	94,75	8.239	6.985
PUEBLOVIEJO	43776,63	64,79	24.865	31.068

Figura 12.53. Densidad poblacional por municipio en cuenca

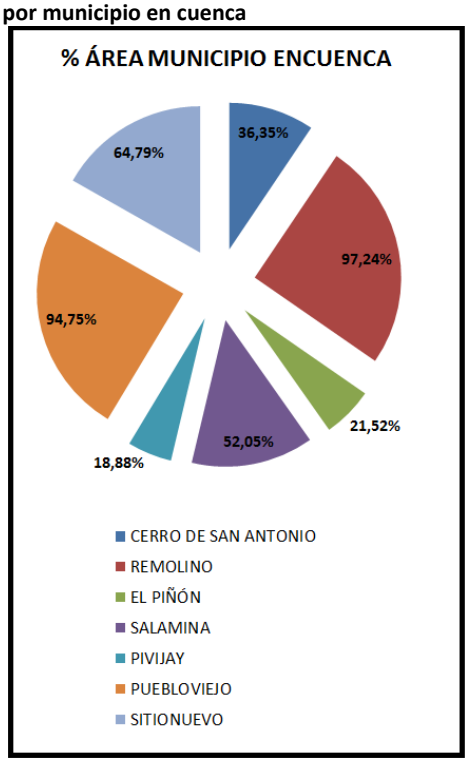
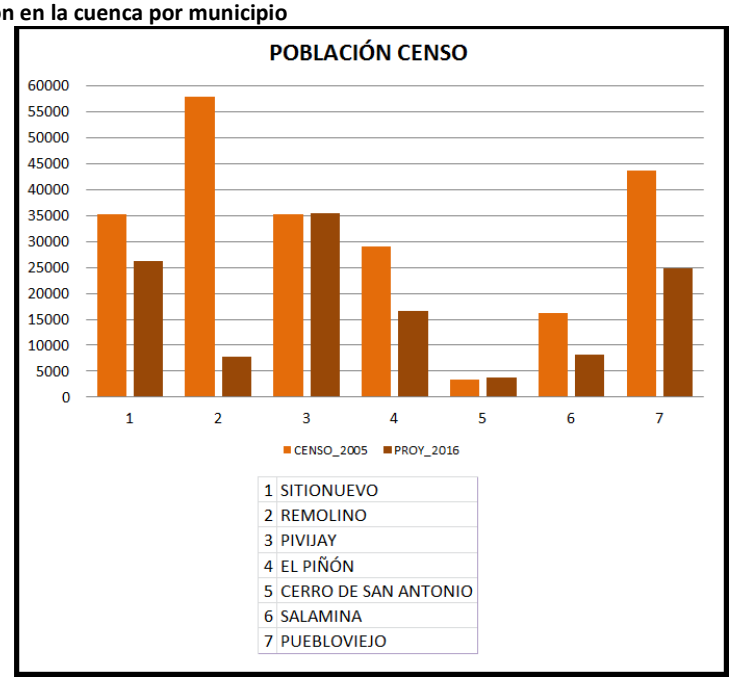


Figura 12.54. Población en la cuenca por municipio



De acuerdo con el análisis realizado se concluye que el 78% del área de la cuenca sufre una alta presión demográfica. Concentrándose especialmente en las partes norte y sur de la cuenca. La parte central de la cuenca presenta una presión demográfica media. Se debe prestar especial atención a la parte norte de la cuenca, pues es allí donde se concentran especialmente los ecosistemas más delicados y de mayor importancia para la economía de la región.

Tabla 12.33. Índice de presión demográfica por municipio dentro de la cuenca.

DEPARTAMEN	NOMBRE_ENT	RANGO	DESCRIPTOR	A_MPIO	%
MAGDALENA	CERRO DE SAN ANTONIO	>1 y <10	Presión de la población y sostenibilidad media	35316,72	36,35
MAGDALENA	REMOLINO	>1 y <10	Presión de la población y sostenibilidad media	57942,51	97,24
MAGDALENA	EL PIÑÓN	>10	Alta presión de la población	35316,72	21,52
MAGDALENA	SALAMINA	>10	Alta presión de la población	29066,02	52,05
MAGDALENA	PIVIJAY	>10	Alta presión de la población	3342,65	18,88
MAGDALENA	PUEBLOVIEJO	>10	Alta presión de la población	16179,24	94,75
MAGDALENA	SITIONUEVO	>10	Alta presión de la población	43776,63	64,79
			ÁREA TOTAL CUENCA	**279295,47**	**100,00**

Los municipios más bajo IPD son Cerro de San Antonio y Remolino. Los demás municipios dentro de la cuenca presentan un IPD >10.

Figura 12.55. Porcentaje rango IPD en cuenca

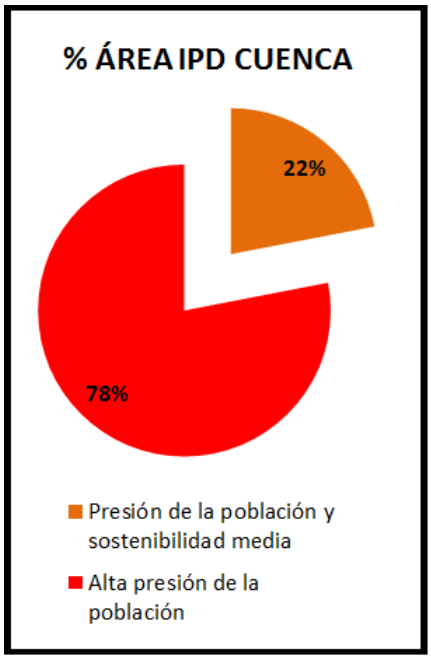
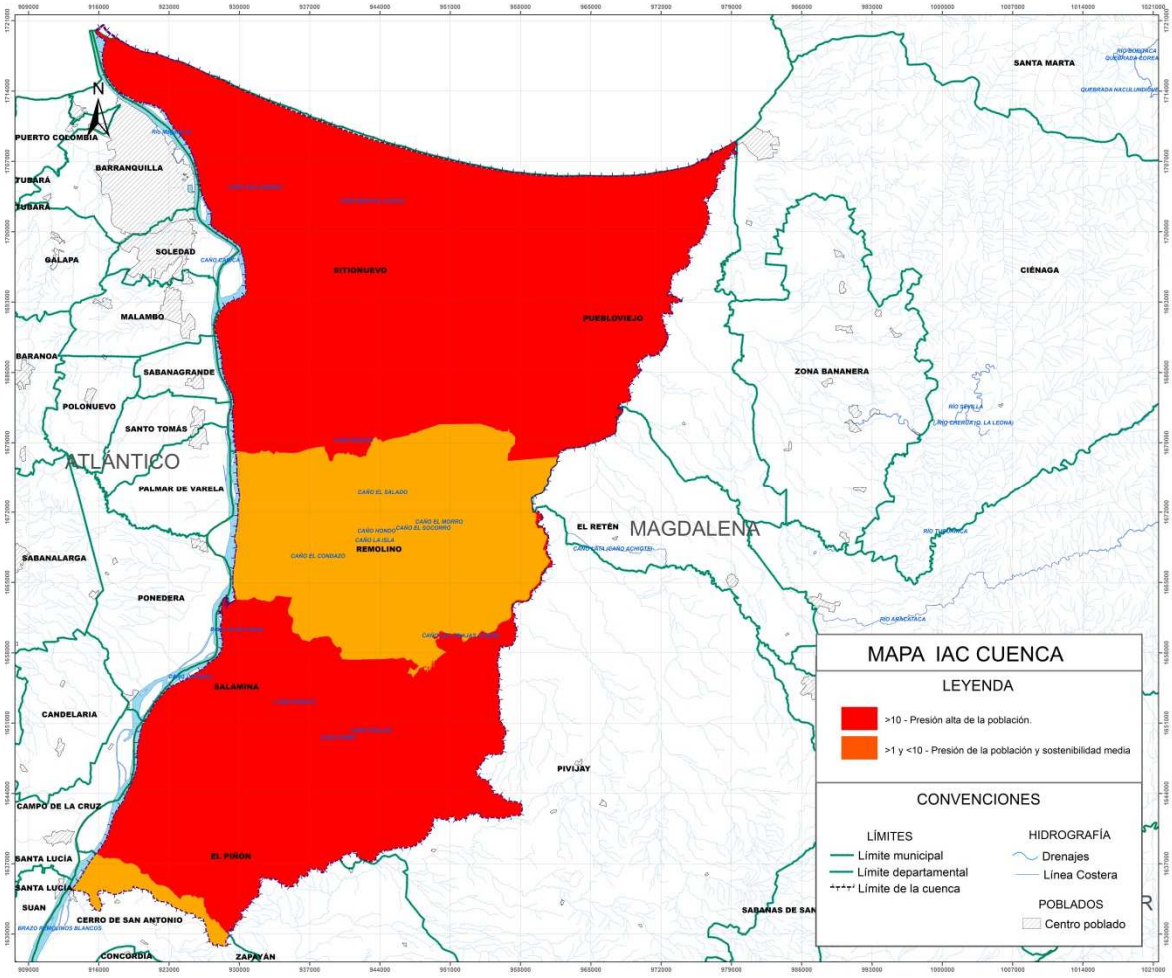


Figura 12.56. Mapa índice de presión demográfica.



12.6.5. Índice de ambiente crítico (IAC)

La mayor parte del área de la cuenca se encuentra en categoría II (52%), esto indica que aunque requiere de medidas de protección, con un adecuado manejo se puede conservar en el tiempo. El 25% se encuentra en categoría III, requiere de medidas de recuperación pero puede alcanzar el equilibrio. El 14% del área presenta un altísimo grado de intervención y se hace difícil su recuperación en el tiempo. El 9% del área se encuentra relativamente intacto y corresponde al área del Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta. El área correspondiente al Parque Nacional Natural Isla de Salamanca se encuentra en categorías II y III, por lo que se requiere la toma de medidas para su recuperación y conservación en el tiempo.

Tabla 12.34. Área por categoría de IAC en la cuenca.

CAT_IAC	DESCRIPTOR_IAC	ÁREA_IAC	%
I	relativamente estable o relativamente intacto; conservado y sin amenazas inminentes.(calificación 20)	25970,30	9,30
II	vulnerable, conservación aceptable y/o amenazas moderadas-. Sostenible en el mediano plazo, en especial con medidas de protección. (calificación 15)	145752,71	52,19
III	en peligro, baja conservación y/o presiones fuertes. Sostenibilidad con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años. (calificación 10)	69485,32	24,88
IV	Crítico, conservación baja y presiones fuertes. Pocas probabilidades en los próximos 10 años.(calificación 5)	2108,58	0,75
V	Muy crítico (extinto) sostenibilidad improbable; transformación radical y presiones muy elevadas. (calificación 0)	35841,06	12,83
	ÁREA TOTAL CUENCA	279295,47	100

Figura 12.57. Porcentaje área por categoría IAC

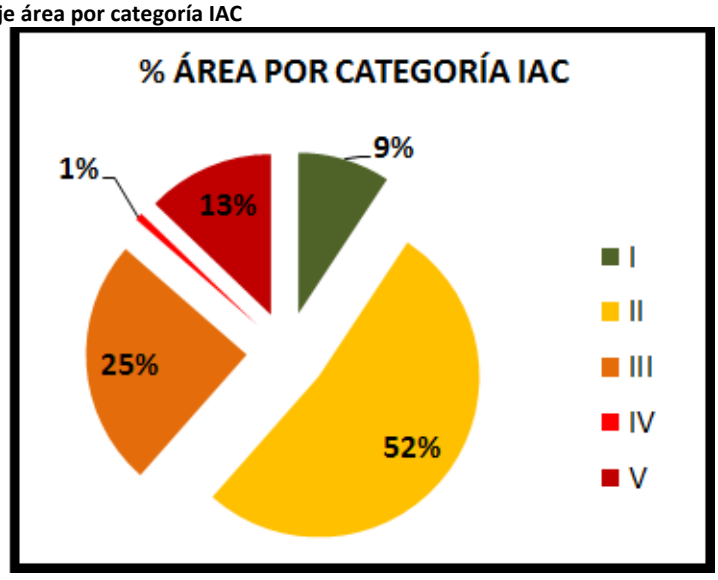
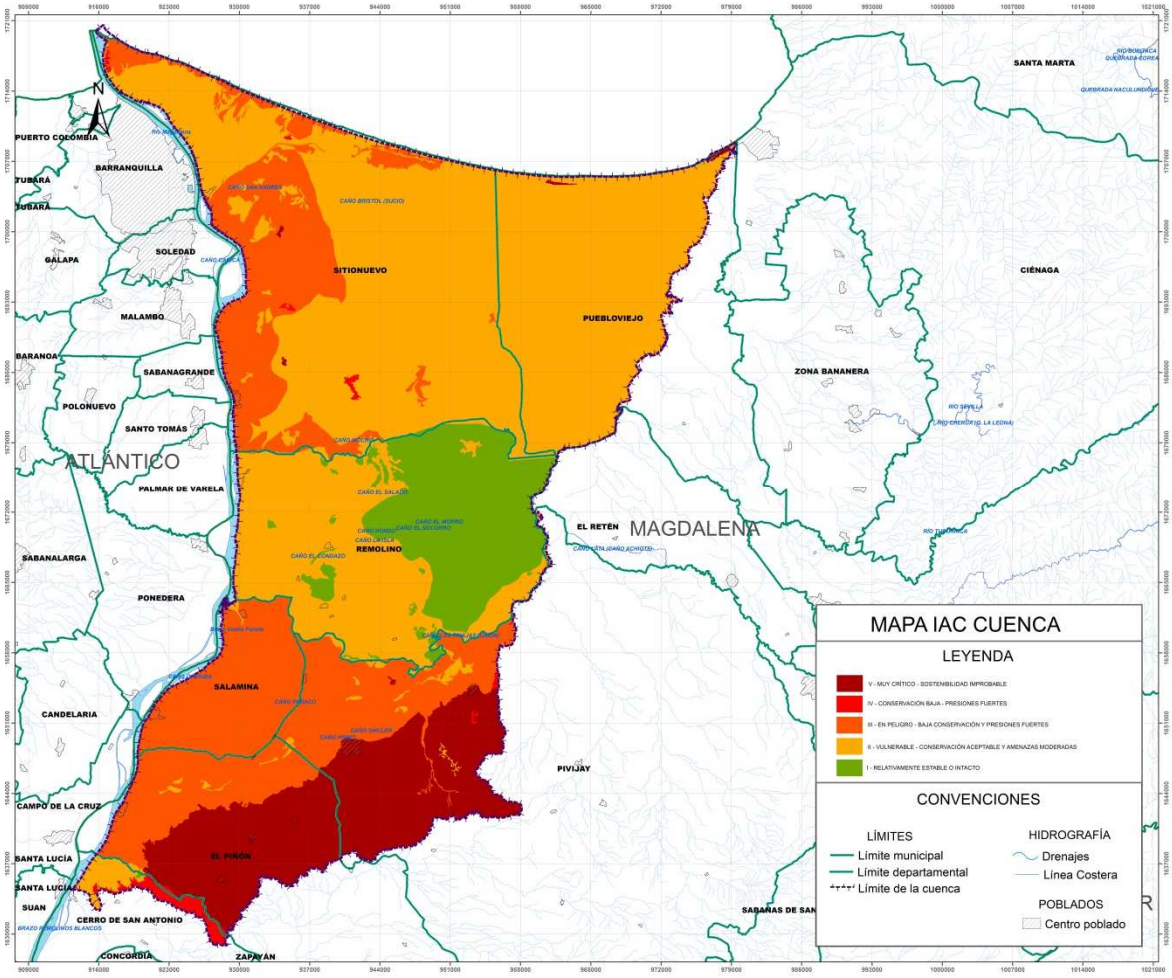


Figura 12.58. Mapa índice de ambiente crítico.



12.7. Conclusiones.

Las zonas centro – sur de la cuenca presentan las mayores transformaciones y se encuentran principalmente cubiertas por pastos, destinados a la ganadería extensiva.

Se detectó en la imagen que en muchas áreas de la ciénaga se están construyendo canales para redirigir las aguas de las zonas inundables tanto de manglares como de herbazales inundables y pantanos para desecarlas.

Se debe tener en cuenta que debido a las características de las imágenes la contabilización de los cuerpos de agua lóticos (ríos y quebradas) no es exacta, debido a que muchos de ellos no son observables en la imagen, por lo que su cuantificación en el mapa de coberturas no se puede tomar como el valor absoluto, para ello se debe utilizar la información hidrológica.

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 a que 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 actual de protección y restauración. Sin embargo esto no corresponde estrictamente a la realidad.

Se debe buscar una nueva clasificación de la vegetación natural que no se encuentra en ninguna categoría de conservación, pues no puede clasificarse dentro de los usos actuales de conservación y restauración, pues no se encuentran realmente en estas categorías. Esto lleva a confusiones que pueden desembocar en la pérdida de ecosistemas estratégicos, ya que quedan clasificadas dentro de un uso adecuado y puede ser que por el contrario estén inmersas dentro de los procesos productivos y estar en riesgo de pérdida. Si se tiene una categoría específica para estas áreas, las autoridades podrían tomar las medidas necesarias para su conservación o restauración, mediante su inclusión en alguna figura de conservación existente en el país.

La parte centro-sur de la cuenca presenta los mayores niveles de transformación, sin embargo es de anotar que en los últimos años el avance de la frontera agrícola está ejerciendo una fuerte presión sobre la ciénaga y sus recursos, por lo que se hace necesaria la toma de medidas para frenar el avance de las actividades antrópicas y garantizar el equilibrio de este importante ecosistema.

Los factores de cambio que más influyeron en la cuenca durante el período de análisis fueron los de dinámica de cuerpos de agua, ganancia de pastos y desintensificación de la agricultura, esta última para el establecimiento de pastos o simplemente descanso de tierras.

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.

De acuerdo con los resultados obtenidos el 66, 29% de la cuenca conserva sus características naturales, lo que se convierte en una ventaja al momento de la planificación de los recursos forestales e hídricos.

La cobertura natural más representativa son los lagos, lagunas y ciénagas, seguida de los bosques y los herbazales inundables. Sin embargo cabe anotar que el avance del hombre sobre estos ecosistemas, especialmente mediante la construcción de canales (como se pudo observar en la imagen) cuyo fin es desviar las aguas de las zonas inundables y desecar los suelos para el establecimiento de actividades agrícolas y ganaderas, está ejerciendo una gran presión sobre el complejo lagunar y sus ecosistemas asociados.

Para el período de análisis del multitemporal, la cuenca estuvo relativamente estable en un 82% de su área y los cambios se dieron especialmente hacia la parte centro – sur de la misma. Sin embargo los cambios hacia la ciénaga, aunque no corresponden a grandes áreas, sí son representativos teniendo en cuenta la fragilidad de este ecosistema, por lo que no se pueden despreciar en los análisis.

A pesar de que en el período 2005-2012 no se produjeron cambios notorios en la cuenca la perdida de coberturas naturales alcanzo el 3,25%.

Las coberturas que más área perdieron durante el período de análisis fueron Las lagunas costeras (8.494,8 ha) y las zonas pantanosas (3.858 ha).

Los cambios en las zonas de arenales naturales, a pesar de representar una alta proporción no se pueden considerar un problema, pues estos cambios se deben en su gran mayoría a la dinámica de los cuerpos de agua.

Del análisis del IVR, se puede deducir que, si se toman las medidas necesarias para frenar las actividades antrópicas especialmente dentro de los ecosistemas que conforman el complejo lagunar en el corto y mediano plazo el 49% del área de la cuenca presenta altas posibilidades de sostenibilidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el IPD, la mayor parte de la cuenca se encuentra con una presión antrópica media a alta, por lo cual se deben tomar medidas para proteger las áreas naturales que aún se conservan, las cuales están especialmente concentradas hacia las zonas norte y oriental de esta.

El IAC, muestra una radiografía confiable del área. Las áreas con calificación I, corresponde al área ocupada por el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta, debido a que son áreas donde no se puede realizar ninguna actividad antrópica, sin embargo no se debe descuidar su conservación. La zona norte, correspondiente al complejo lagunar presenta un valor de IAC de II, lo que significa que a pesar de que se encuentra en condiciones aceptables de conservación, cuenta con amenazas moderadas que si no se controlan a tiempo pueden convertirse en un riesgo para la conservación de este ecosistema en el tiempo, es importante anotar que en la parte noroccidental de la ciénaga se encuentra parte del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, el cual se encuentra medianamente alterado y requiere de la toma de medidas de recuperación para garantizar su permanencia en el tiempo.

Las zonas más críticas se concentran hacia la parte centro - sur de la cuenca, donde se llevan a cabo la gran mayoría de las actividades antrópicas y cuyas posibilidades de sostenimiento y conservación en el tiempo son muy bajas.

La coordinación de los programas desarrollados por las cuencas circunvecinas a la cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta con los de esta cuenca, es indispensable para garantizar la permanencia en el tiempo de esta cuenca y sus ecosistemas asociados, ya que estos dependen en muchos aspectos de las aguas que sirven dichas cuencas en la Ciénaga, por lo cual los planes de ordenación de las cuencas circunvecinas deben tener en cuenta las necesidades del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta en sus proyectos.

13. FLORA Y VEGETACIÓN.

13.1.1. Generalidades

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 para la Cuenca de Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta - NSS (2906-01)* en el departamento del Magdalena (Figura 13.1).

Figura 13.1. Localización de Cuenca Complejo de humedales



Igualmente, 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 la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta - NSS (2906-01), deberá comprender las siguientes fases:

1. Aprestamiento
2. Diagnóstico
3. Prospectiva y Zonificación Ambiental
4. Formulación

13.1.2. Objetivos Generales y Específicos

Para la realización del diagnóstico de los aspectos florísticos dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se pretenden los siguientes objetivos.

13.1.2.1. *Objetivos Generales*

- Realizar el diagnóstico del componente biótico dentro del área de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta lo cual involucra lo relativo a la flora 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 florísticos dentro de la cuenca

13.1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar la revisión de la información secundaría operacionalmente disponible sobre los temas de flora 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 la flora 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 obtenida para la presentación del diagnóstico de los aspectos florísticos en la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta
- 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

13.2. Metodología Para La 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.

13.2.1. 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 toda esta información básica se organizó, programo y realizó el trabajo de campo (obtención 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.

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 que se utilizó para la selección, filtración y definición de las coberturas vegetales, rutas de trabajo y parcelas de muestreo en las cuencas bajo estudio.

13.2.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria

13.2.2.1. *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 Complejo Humedales CGA Grande de Santa Marta - NSS (2906-01)*, en los cuales se especificaba el uso de treinta y seis (36) 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 del complejo de humedales, 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

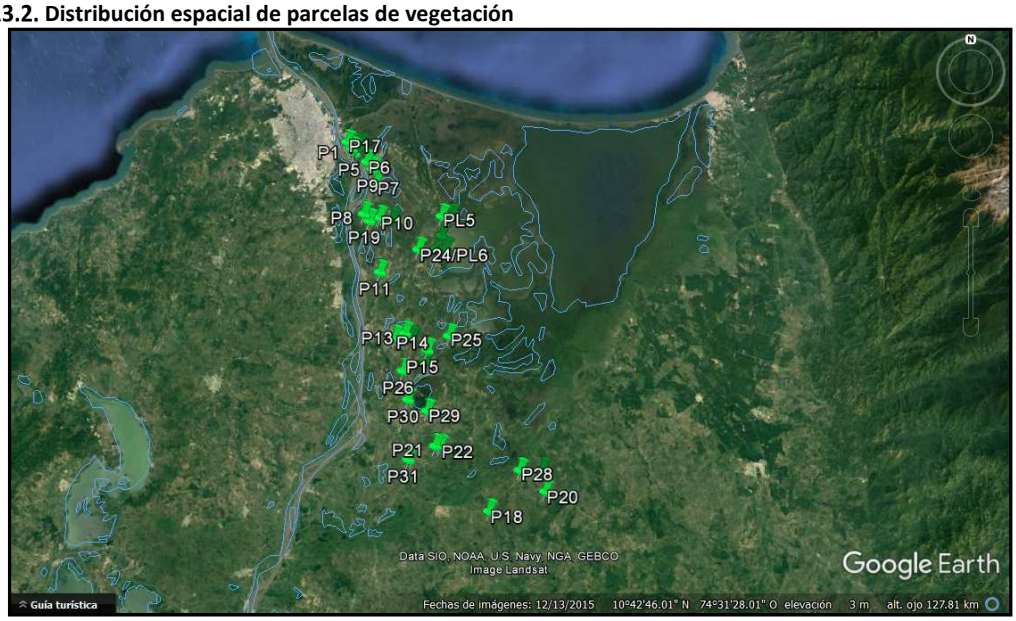
E Ajuste al modelo de distribución

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 15 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 desplegamiento de la información textual, tabular y cartográfica.

13.2.2.2. *Muestreo para la vegetación acuática y de transición agua-tierra*

La metodología propuesta para las macrófitas acuáticas y de transición agua-tierra se basó en una adaptación a los documentos de referencia “Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas EER – TNC (2002)” y "Evaluación biológica en los complejos de humedales (RAP´s o AquaRAP´s) (Lasso et al., 2014), en la cual para este último, para la vegetación acuática proponen el uso de transectos de 5 a 10 metros y cuadrantes de 25 x 25 cm. Sin embargo, con el fin de enriquecer dicha propuesta, en este trabajo se siguieron, además, los métodos para el estudio de la vegetación propuesto por Rangel & Velásquez (1997).

Los sitios en los cuales se realizaron los levantamientos o censos de la vegetación acuática y de transición agua-tierra se seleccionaron con base en la homogeneidad fisionómica, procurando no incluir partes con marcados rastros de intervención o transformación humana.

Se realizó el trazado de una franja perpendicular al espejo de agua, siguiendo un gradiente ambiental agua-tierra de hasta 200 m; para cada levantamiento se tomaron los siguientes datos: área del levantamiento, coordenadas, cobertura (%) estimada de las especies encontradas.

Por su parte, además de las clasificaciones taxonómicas, las especies fueron clasificadas según su forma de crecimiento para separar las comunidades acuática flotantes, enraizadas emergentes, sumergidas, de pantano y de llanura aluvial. Adicional a esto 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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

A 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 embrago, 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 muy ampliamente usada; sin embargo, para este trabajo se optó por el *Método de los Cuadrantes Centrados en un Punto (PCQM)* para caracterizar comunidades boscosas, el cual fue 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. Con base en este diseño se cubre un área de 50x20 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 90º.
- En cada cuadrante se estableció el árbol y el arbolito (vivos) más cercano 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 cuenca, que para el caso del Pomca Complejo Humedales CGSM fueron 36 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 del Complejo de Humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

13.2.3. 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)

13.2.4. Área de estudio Complejo humedales CGSM

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) corresponde a la llanura deltaica derecha del río Magdalena y su plataforma continental localizada en la parte norte de Colombia.

Es uno de los humedales costeros más grandes de Latinoamérica, incluyendo arrecifes de coral y manglares y cuenta con dos tipos de formaciones vegetales: bosque muy seco tropical y bosque seco tropical con bosque ripario, ciénagas, pantanos.

Al interior de dichas formaciones vegetales se caracterizaron en total 15 coberturas vegetales naturales mediante 36 parcelas que abarcaron vegetación de tierra firme como bosques, vegetaciones arbustivas, herbáceas así como vegetación acuática de humedades, pantanos, playones y llanura aluvial (Tabla 13.1).

Tabla 13.1. Parcelas caracterización flora y fauna complejo humedales CGSM

Cobertura vegetal	Nombre Parcela	Coordenadas Geográficas Magna-Sirgas
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	PCH 1	N10 40.544 W74 37.941
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	PCH 2	N10 51.370 W74 43.072
Bosque de galería y ripario	PCH 3	N10 27.738 W74 32.952
	PCH 4	N10 50.826 W74 42.650
Vegetación secundaria alta	PCH 5	N10 29.306 W74 28.415
	PCH 6	N10 31.035 W74 28.674
Vegetación secundaria baja	PCH 7	N10 38.897 W74 39.915
	PCH 8	N10 46.746 W74 41.775
	PCH 9	N10 53.840 W74 42.097
Bosque abierto alto inundable	PCH 10	N10 32.920 W74 37.303
	PCH 11	N10 51.190 W74 36.770
Herbazal abierto arenoso	PCH 12	N10 48.629 W74 37.192
	PCH 13	N10 41.667 W74 36.181
Arbustal denso	PCH 14	N10 41.479 W74 39.184
	PCH 15	N10 48.539 W74 38.662
Arbustal abierto mesófilo	PCH 16	N10 56.218 W74 43.884
	PCH 17	N10 41.881 W74 39.756
Manglar denso alto	PCH 18	N10 49.634 W74 36.802
	PCH 19	N10 51.174 W74 36.014
	PCH 20	N10 48.559 W74 36.494
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	PCH 21	N10 57.081 W74 44.415
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	PCH 22	N10 56.556 W74 44.091
Herbazal denso inundable no arbolado	PCH 23	N10 56.676 W74 43.628
	PCH 24	N10 55.497 W74 42.839
Herbazal denso inundable arbolado	PCH 25	N10 56.827 W74 43.917

Cobertura vegetal	Nombre Parcela	Coordenadas Geográficas Magna-Sirgas
	PCH 26	N10 50.847 W74 40.781
Zonas pantanosas	PCH 27	N10 56.769 W74 43.375
	PCH 28	N10 54.941 W74 42.385
	PCH 29	N10 51.074 W74 41.814
	PCH 30	N10 41.570 W74 40.563
	PCH 31	N10 39.723 W74 38.111
	PCH 32	N10 32.906 W74 36.913
	PCH 33	N10 30.993 W74 30.468
	PCH 34	N10 35.709 W74 37.959
	PCH 35	N10 36.608 W74 39.512
	PCH 36	N10 31.842 W74 39.476

Fuente: Grupo consultor, 2016.

13.3. Análisis Estructural Y Fisionómico De La Vegetación

13.3.1. Información Secundaria flora

Rangel (2012) en su compilación para la vegetación de la Región Caribe y enfocado al área de estudio de esta cuenca, describe dos sectores principales; el primero corresponde a los *Complejos de Ciénagas* que se componen de los sistemas estuarinos (influenciados por la mezcla del agua dulce de uno o varios ríos con el océano, agua salada) y los sistemas cenagosos (humedales que se presentan asociados a las planicies de inundación de los ríos en el Caribe Colombiano, a través de una conexión superficial, ya sea permanente o temporal).

Por su parte el segundo sector corresponde a las denominadas *Llanuras del Caribe*, considerada la zona más amplia de todo el Caribe colombiano, incluye un mosaico de formaciones vegetales que van desde matorrales xerofíticos hasta bosques húmedos. Son muy importantes los bosques tropicales secos y áreas de vegetación abierta.

En cuanto a las formaciones vegetales que componen estos dos sectores, Rangel-Ch (2012) presenta las siguientes:

13.3.1.1. *Vegetación de estuarios y playas*

- Manglares
  Formaciones vegetales (hidro-halófitas) con dominancia de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, presentan adaptaciones para sustratos inestables (zancos) y para el intercambio gaseoso.
- Formaciones de playa
  Vegetación tipo prado que se presenta a continuación del manglar; en el estrato rasante domina *Batis maritima*
- Matorrales

Vegetación de porte bajo, con elementos ralos y esparcidos, influenciados por acción antrópica. Las especies dominantes son *Blutaparon vermiculare*, *Prosopis juliflora* y *Heterostachys ritteriana*

- Herbazales
  Formación vegetal que sustituye a la vegetación del matorral y del bosque espinoso en sitios muy influenciados por la sal donde domina *Sesuvium edmonstonei*

Se distinguen a su vez, entre otras, las siguientes comunidades:

- Comunidad típica de manglar
  Áreas con condición alta de salinidad, manglares de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*
- Manglares de Rhizophora mangle y Laguncularia racemosa en zonas con mayor influencia de agua dulce
- Áreas muy transformadas y mayor influencia de agua dulce
- Manglar muy intervenido donde solo hay presencia de *Rhizophora mangle*

13.3.1.2. *Vegetación acuática de ciénagas*

Al respecto, estos ambientes de las ciénagas del Caribe presentan una zonación ecológica en la vegetación relacionada con estacionalidad y variación del volumen de agua contenida en la columna de agua.

Dado lo anterior, la disposición de las comunidades vegetales presenta una variación que se relaciona de forma directa con el gradiente agua-tierra, por lo que es posible encontrar comunidades flotantes en el espejo de agua permanente, comunidades acuáticas que se establecen de forma enraizada y sus hojas pueden emerger a la superficie, comunidades acuáticas sumergidas, vegetación enraizada en las la orilla y playones, hasta aquella denominada de tierra firme aunque siempre circundado las inmediaciones de las ciénagas (Rangel, 2012).

Para la vegetación acuática flotante Rangel & Córtez-Castillo (2013) distinguen las siguientes formaciones y comunidades.

- Gran formación de los tapetes dominados por *Eichhornia azurea* y *E. crassipes* con persistencia a lo largo del ciclo de inundación
- Comunidad de *Pistia stratiotes* y *Salvinia minima* propias del periodo de lluvias y zonas de flujo lento
- Comunidad de *Eichhornia azurea* y *Pistia stratiotes* en sectores que bordean los potreros
- Comunidad de *Eichhornia azurea* y *Lemna minor*
- Comunidad de *Eichhornia crassipes* y *Salvinia minima*
- Comunidad de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* propia del periodo de lluvias

- Formación de *Eichhornia crassipes* y *Eichhornia azurea* que predomina en el período de transición final de la época de lluvias y el comienzo del período seco
- Comunidad de *Eichhornia azurea* y *E.crassipes* que se extendiende varios metros bordeando la ciénaga cuando disminuye el caudal y la columna de agua, los colchones se secan quedando la evidencia de su presencia en las copas del mangle de agua dulce
- Comunidad de *Eichhornia azurea* y *Salvinia minima* en sectores de inundación permanente que le permiten sobrevivir parte del periodo seco
- Formación de los tapetes de *Eichhornia crassipes* persiste a lo largo del periodo seco

Respecto a la vegetación acuática enraizada, estos mismos autores describen las siguientes formaciones y comunidades:

- Gran formación de los herbazales de *Ludwigia helminthorrhiza* vegetación enraizada emergente cerca de las orillas en la temporada de transición entre el final del período de lluvias y el inicio del período seco
- Formación de los herbazales de *Neptunia oleracea* y *Ludwigia helminthorrhiza* en sectores de aguas someras
- Formación de los herbazales de *Ludwigia helminthorrhiza* del final del periodo de lluvias con disminución al entrar el periodo seco
- Gran formación de *Neptunia oleracea* propia de la temporada de transición entre el final del período de lluvias y el inicio del período seco
- Formación de los herbazales de *Neptunia oleracea* y *Ludwigia sedioides*
- Formación de los herbazales de *Neptunia oleracea* cerca de las orillas de ciénagas y caños
- Comunidad de *Marsilea macropoda* propia de la transición entre el final del período de lluvias y el período seco
- Formación de los gramalotales de *Paspalum repens* presenta la mayor cobertura en el período de lluvias pero donde hay combinaciones florísticas (comunidades) que son estacionales y requieren para su establecimiento condiciones de poca inundación
- Comunidad de *Thalia geniculata* y *Paspalum repens* que circunda la orilla de caños en sectores inundados poco profundos
- Comunidad de *Ludwigia leptocarpa* y *Paspalum repens* en sectores inundables de poca profundidad
- Comunidad de *Paspalum repens* bordeando caños y ciénagas con mayor cobertura en el periodo de lluvias
- Comunidad de *Ipomoea aquatica* y *Paspalum repens* en orilla de ciénagas con mayor cobertura en el periodo seco colonizando sectores antes ocupados por *E. crassipes*

13.3.1.3. *Vegetación de transición agua-tierra (Ciénagas-terr)*
Rivera-Díaz, (2010) presenta para las áreas contiguas a las ciénagas del Complejo Zapatosa que no están influenciadas de manera permanente por el nivel del agua (Ciénagas-terr) un registro 249 especies agrupadas en 183 géneros y 80 familias.

Las familias más diversas son Fabaceae (17 especies), Euphorbiaceae (16), Mimosaceae (15) y Rubiaceae y Caesalpiniaceae (10); los géneros más diversos corresponden a: *Solanum* y *Cordia* (6 especies), *Ipomoea* y *Ludwigia* (5) y *Casearia*, *Psychotria* y *Cyperus* (4 especies).

En este ambiente, Rangel-Ch & Córtez-Castillo (2013) destacan cuatro tipos de vegetación principales:

A Herbazales y Cortaderales

Presentes en las orillas de las ciénagas y caños e incluso llegan a colonizar los playones en épocas de aguas bajas. Presentan su mayor cobertura durante la transición entre el período de lluvias y el período seco. Posee como comunidades típicas las siguientes:

- Comunidad de *Aeschynomene rudis* con mayor cobertura en el momento de lluvias
- Comunidad de *Polygonum hispidum* herbazal de zonas poco profundas que penetra al espejo de agua
- Comunidad de *Oxycaryum cúbense* propia de suelos anegados y playones
- Comunidad de *Polygonum densiflorum* herbazal de zonas pantanosas cercanas a la orilla de caños y ciénagas

B Vegetación de Pantano

Conformado principalmente por matorrales y algunos herbazales en las márgenes de las ciénagas donde la inundación es poco profunda. Como comunidades típicas presenta las siguientes;

- Formación de matorrales bajos de *Mimosa pigra* de zonas poco profundas y pantanosas
- Comunidad de *Mimosa pigra* y *Cardiospermum corindum* con mayor presencia en el periodo seco
- Comunidad de *Mimosa pigra* y *Senna occidentalis* matorral de ribera de suelos arenosos con mayor presencia en el periodo seco
- Comunidad de *Calathea bijai* de suelos anegados
- Comunidad de matorrales de *Mimosa pigra* arbustal en suelos anegados de poca profundidad constituyendo la principal “guardería” de alevinos del bocachico
- Totoral de *Typha domingensis* herbazal-matorral de las márgenes donde el nivel de inundación no es muy alto presente en la transición de lluvias a periodo seco

- Comunidad de *Acrostichum aureum* herbazal-matorral de las márgenes donde el nivel de inundación no es muy alto
- Comunidad de los herbazales de *Odontadenia nitida* y *Funastrum glaucum* herbazal con especies trepadoras
- Comunidad de *Hymenachne amplexicaulis* herbazal monoespecifico del periodo de transición
- Comunidad de los herbazales de *Eleocharis* cf. *Mutata* herbazal de zonas pantanosas poco profundas del periodo seco
- Comunidad de los herbazales de *Cyperus articulatus* herbazal de ribera de suelos arenosos con mayor desarrollo en el periodo de transición

C Vegetación de Playones

Vegetación susceptible a la inundación que coloniza los playones dejados tras el descenso del nivel del agua cuyas comunidades más típicas son las siguientes;

- Formación de los herbazales de *Ambrosia peruviana* y *Solanum campechiense* matorrales de rápida colonización de playones que predomina durante el período de transición
- Comunidad de los herbazales de *Heliotropium indicum* con mayor cobertura en el periodo seco
- Comunidad de matorrales de *Cleome spinosa* propia del periodo seco pues al subir el nivel del agua desaparece casi en su totalidad
- Comunidad de los herbazales de *Solanum campechiense* herbazal espinoso de dominancia en el periodo seco
- Comunidad de *Ambrosia peruviana* herbazal-matorral del periodo seco
- Comunidad de *Commelina rufipens* herbazal del periodo seco
- Comunidad de los herbazales de *Hydrolea spinosa* herbazal de zonas pantanosas poco profundas con mejor desarrollo en el periodo de transición

D Bosques de la Llanura Aluvial

Son bosques y palmares dominados principalmente el denominado "*mangle de agua dulce*", establecidos en los márgenes de las ciénagas en suelos poco inundados y que como comunidades típicas presenta las siguientes:

- Gran formación de los "*manglares*" de agua dulce de *Symmeria paniculata* bordeando algunos sectores de las ciénagas
- Formación de los palmares mixtos de *Bactris guineensis* en bordes de ciénagas y tolerantes a la inundación periódica

- Comunidad de *Bactris guineensis* y *Triplaris americana* en márgenes de las ciénagas con suelos poco inundados
- Palmares de *Bactris guineensis* y *Symmeria paniculata* en márgenes de ciénagas con alta inundación
- Formación de los manglares de *Symmeria paniculata* en márgenes con inundaciones periódicas
- Matorral – bosque bajo de *Phyllanthus elsiae* y *Symmeria paniculata* bosques muy intervenidos con inundación periódica
- Bosques de *Ruprechtia ramiflora* y *Symmeria paniculata*
- Bosques bajos de *Coccoloba densifron*s y *Symmeria paniculata* que son poco inundados
- Manglares de *Symmeria paniculata* manglar muy intervenido
- Palmares muy intervenidos de *Bactris guineensis*
- Bosques muy intervenidos de *Annona glabra* bosques de ribera muy intervenidos
- Comunidad de *Crescentia cujete* bosque dominado por *Crescentia cujete* acompañado por *Ceiba pentandra, Attalea butyracea* y una enredadera leñosa del género *Entada*

E Vegetación terrestre adyacente a las Ciénagas

Rivera-Díaz, *et al.,* (2013) en la caracterización de las plantas con flores del complejo cenagoso Zapatosa, indican un total de 409 especies para los bosques de tierra firme (incluye bosque seco, bosque transicional y rastrojo) cuyas familias más ricas fueron Fabaceae (35), Mimosaceae (26), Bignoniaceae y Euphorbiaceae (22 c/u), Rubiaceae (21), Caesalpiniaceae (16) y Acanthaceae (13). Igualmente, los géneros más diversos fueron: *Machaerium* 9) y *Casearia*, *Arrabidaea* y *Solanum* (7 especies c/u).

Entre las comunidades típicas de esta vegetación están las siguientes:

- Bosques ralos de *Tabebuia rosea* y *Crescentia cujete*
- Bosques en áreas circundantes a los complejos cenagosos con elementos que alcanzan hasta 15 m de altura
- Gran formación de palmares mixtos de *Attalea butyracea* (palma de vino) vegetación muy clareada por la intervención del hombre
- Formación de los bosques con *Cochlospermum vitifolium* (papayote) y *Astrocaryum malybo* (palma estera)
- Palmares de *Elaeis oleifera* (ñolí) con individuos que alcanzan los 12 m de altura, con parches de vegetación que han resistido las fuertes quemas y la continua intromisión de ganado que reduce su riqueza florística
- Bosques dominados por *Tabebuia ochracea* (cañaguate) y *Spondias mombin* (jobo)

- Palmar mixto de *Astrocaryum malybo* y *Cochlospermum vitifolium p*resenta un estrato arbóreo muy ralo, con elementos que alcanzan 15 m de altura
- Bosques de *Vitex capitata* (puntero o aceituno) y *Xylopia aromatica* (escobillo) con individuos de hasta 20 m de altura
- Palmar mixto de *Cavanillesia platanifolia* (macondo o volado) y *Sabal mauritiformis* (palma amarga) muy intervenidos por actividades agropecuarias y por leñateo
- Bosques de *Samanea saman*

13.3.2. Información Primaria flora

Los levantamientos de la vegetación de bosques, arbustales, herbazales y de macrófitas, sobre las 15 coberturas vegetales caracterizadas para la cuenca, dieron como resultado un total de 74 especies, que se agrupan en 42 familias y 27 órdenes taxonómicos (ANEXO VEGETACIÓN Y FLORA).

De dichos ordenes, Fabales se presentó como el de mayor riqueza al agrupar el 16,4% de las especies (12 especies), seguido por Lamiales y Caryophyllales cada una con el 9,6% de la riqueza (7 especies cada una) y por Poales con el 6,8% (5 especies), mientras que los demás órdenes agruparon menos del 5% de la riqueza con cuatro a una especies.

Para las familias taxonómicas, Fabaceae presentó la mayor riqueza con el 15,1% (11 especies), seguida por Portulacaceae y Boraginaceae cada una con el 5,5% de la riqueza (cuatro especies cada una) y por Bignoniaceae con el 4,1%, mientras que las familias restantes presenta presentan una acumulación de la riqueza por debajo del 3% lo que consiste en agrupar entre tres 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.

13.3.2.1. *Caracterización Vegetación Tierra Firme: Bosques y Secundaria*

13.3.2.1.1. *Bosque fragmentado con pastos y cultivos*

- Composición florística y Estructura

Se reportan seis 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).

La vegetación arbórea tiene un cubrimiento del 30% donde las especies son 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 13.2).

Figura 13.3. Bosque fragmentado con pastos y cultivos



Tabla 13.2. Especies del bosque fragmentado con pastos y cultivos

Orden	Familia	Especie
Rosales	Urticaceae	*Cecropia peltata*
Fabales	Fabaceae	*Gliricidia sepium*
Sapindales	Anacardiaceae	*Spondias mombin*
Rosales	Urticaceae	*Sterculia apetala*
Pandanales	Cyclanthaceae	*Carludovica palmata*
Arecales	Arecaceae	*Cocos nucifera*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha fueron *Cecropia peltata* con 15,8 individuos y *Gliricidia sepium, Spondias mombin* y *Sterculia apetala* con 1,6 individuos.

Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Cecropia peltata* con el 70% de los individuos con mayor DAP, seguida por *Carludovica palmata* con el 11%, mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Cecropia peltata* con el 47% de los individuos, seguida por *Gliricidia sepium, Spondias mombin* y *Sterculia apetala* cada una con el 13%.

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor Índice de Importancia Relativa (IVI) son *Cecropia peltata* (63%), *Spondias mombin* (10%) y *Gliricidia sepium* (9%). 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.

13.3.2.1.2. *Bosque fragmentado con vegetación secundaria*

- Composición florística y Estructura

Se reportan seis especies, agrupadas en tres familias y tres órdenes, donde el dosel superior llega hasta los 20 metros, con un estrato arbustivo de hasta 5 metros y con un suelo mezclado entre hojarasca y zonas abiertas de pastizal. La vegetación arbórea tiene un cubrimiento del 70%. Especies con elementos boscosos de gran porte como el samán (*Samanea saman*) o el roble rosado (*Tabebuia rosea*) de gran valor como maderables (Tabla 13.3) (Figura 13.4).

Tabla 13.3. Especies del bosque fragmentado con vegetación secundaria

Orden	Familia	Especie
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia alba*
		Cordia bicolor
Fabales	Fabaceae	*Erythrina fusca*
		Samanea saman
		Pithecellobium lanceolatum
Lamiales	Bignoniaceae	*Tabebuia rosea*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Figura 13.4. Bosque fragmentado con vegetación secundaria



- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0.1 ha son *Cordia bicolor* con 0,8 individuos, seguida por *Tabebuia rosea* con 0,7 y por *Cordia alba* con 0,6. Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Cordia bicolor* con el 33% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Samanea saman* con el 25,5% y por *Tabebuia rosea* con el 17,6% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Cordia bicolor* con el 27% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Tabebuia rosea* con el 24% y por *Cordia alba* con el 19%

- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Cordia bicolor* (30%), *Tabebuia rosea* (22%) y *Samanea saman* (18%). Dichas especies son representantes típicos de los bosques del Caribe con presencia de zonas pantanosas o inundables, así como de bosques secos de los alrededores de las ciénagas.

Se destacan las dos últimas por su uso como ornamentales, sombrío para ganado, alimento para ganado y maderables.

13.3.2.1.3. *Bosque de galería y/o ripario*

- Composición florística y estructura

Se reportan nueve especies, agrupadas en seis familias y cinco órdenes. Se aprecian dos tipos de bosque ripario; el primero, corresponde a bosques de hasta 20 m creciendo sobre las terrazas aluviales en áreas no inundables con elementos como el *Enterolobium cyclocarpum*, mientras que el segundo tipo corresponde a bosques secos caducifolios con alturas de hasta 8 m con especies como *Paragynoxys undatifolia*. La vegetación arbórea tiene un cubrimiento del 90% en ambos tipos de bosque (Tabla 13.4) (Figura 13.5).

Tabla 13.4. Especies del bosque de galería y/o ripario

Orden	Familia	Especie
Asterales	Asteraceae	*Paragynoxys undatifolia*
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia alba*
		Cordia bicolor
Brassicales	Capparaceae	*Crateva tapia*
Fabales	Fabaceae	*Chloroleucon mangense*
		Inga edulis
		Enterolobium cyclocarpum
Rosales	Rosaceae	*Rubus sp.2*
	Cannabaceae	*Celtis iguanaea*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0.1 ha son *Rubus sp* con 8,1 individuos, seguida por *Inga edulis* con 4,8 y por *Crateva tapia* con 2,4.

Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Inga edulis* con el 31% de la mayor sumatoria de CAP, seguida por *Rubus sp* con el 27% y por *Paragynoxys undatifolia* con el 13% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Inga edulis* con el 22% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Rubus sp* con el 20% y por *Paragynoxys undatifolia* con el 12%.

Figura 13.5. Bosque ripario aledaño a quebradas



- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Rubus sp* (27,7%), *Inga edulis* (25,3%) y *Paragynoxys undatifolia* (11,3%).

Dichas especies son representantes típicos de los bosques secos del Caribe con presencia alrededores de las ciénagas y cuerpos de agua. Se destaca *Inga edulis* por sus con fines ornamentales, para generar sombrío, para protección de cuencas, hacer postes, leña, carbón y alimento, pues la pulpa blanca y carnosa de las semillas es comestible y dulce. Así como *Enterolobium cyclocarpum* por sus usos maderables, combustibles (carbón), comestibles, forrajeo y medicina.

13.3.2.1.4. *Vegetación secundaria alta*

- Composición florística y estructura

En este tipo de vegetación secundaria alta se reportan cinco especies, agrupadas en tres familias y tres órdenes.

La estructura con dosel alcanza hasta 20 m con un estrato arbustivo de hasta 8 m. Se presentan elementos típicos de crecimiento rápido de la vegetación secundaria como *Cecropia peltata*, mezclados con elementos boscosos de interés por sus diversos usos como *Enterolobium cyclocarpum* y robles del género *Tabebuia*. Cobertura del dosel de hasta el 70% y suelos consolidados con hojarasca (Tabla 13.5) (Figura 13.6).

Tabla 13.5. Especies de la vegetación secundaria alta

Orden	Familia	Especie
Fabales	Fabaceae	*Enterolobium cyclocarpum*
		Chloroleucon mangense
Lamiales	Bignoniaceae	*Tabebuia sp*
		Tabebuia chrysantha
Rosales	Urticaceae	*Cecropia peltata*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Densidad

Las especies con mayor número de individuos en 0,1 ha son *Chloroleucon mangense* con 7,9 individuos, seguida *Tabebuia chrysantha* con 5,4 y por *Cecropia peltata* con 2,2.

Para la misma área la mayor dominancia relativa la presenta *Tabebuia chrysantha* con el 40% de la mayor sumatoria de DAP, seguida por *Chloroleucon mangense* con el 25% y por *Cecropia peltata* con el 19% mientras que la frecuencia relativa fue mayor para *Chloroleucon mangense* con el 35% de los conteos en los cuadrantes, seguida por *Tabebuia chrysantha* con el 28% y por *Enterolobium cyclocarpum* con el 17%.

Figura 13.6. Vegetación secundaria alta



- Índice de valor de importancia por especie (IVI)

Las tres especies con mayor índice de importancia relativa son *Chloroleucon mangense* (35,1%), *Tabebuia chrysantha* (33%) y *Cecropia peltata* (15,4%).

Dichas especies son representantes típicos de los bosques secos del Caribe en zonas no inundables donde se destaca *Tabebuia chrysantha* para fines ornamentales, para generar sombrío, hacer postes, leña, carbón y alimento, razón por las cuales está considerada como una especie que a futuro puede llegar a estar incluida en alguna categoría de amenaza por su uso intensivo en el Caribe.

Se destaca igualmente *Enterolobium cyclocarpum* por sus usos maderables, combustibles (carbón), comestibles, forrajeo y medicina.

13.3.2.1.5. *Vegetación secundaria baja*

- Composición florística y Estructura

Se reportan 18 especies, agrupadas en doce familias y nueve órdenes. La estructura es del tipo arbustivo de hasta 7 m de altura (Figura 13.7).

Figura 13.7. Vegetación secundaria baja en Manzanares



Se presentan elementos muy característicos de los bosques secos espinos ampliamente dominados por el trupillo (*Prosopis juliflora*) que pueden presentarse en varias áreas de las llanuras del Caribe pero su tendencia es a formar amplios parches de vegetación en zonas de bosques secos y semihúmedos alrededor de las ciénagas, por lo cual la serie presenta en algunos sectores plantas de las planicies de inundación (Tabla 13.6).

Tabla 13.6. Especies de la vegetación secundaria baja

Orden	Familia	Especie
Arecales	Arecaceae	*Copernicia tectorum*
Caryophyllales	Cactaceae	*Cereus sp*
		Acanthocereus tetragonus
	Portulacaceae	*Portulaca sp*
		Portulaca oleracea
Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes*
Fabales	Acacia	*Acacia macracantha*
	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
		Senna bacillaris
		Pithecellobium lanceolatum
Lamiales	Bignoniaceae	*Crescentia cujete*
		Tabebuia coralibe
Malpighiales	Erythroxylaceae	*Erythroxylum sp*
	Euphorbiaceae	*Croton niveus*
Myrtales	Myrtaceae	*Quadrella odoratissima*

Orden	Familia	Especie
		Psidium guajava
Sapindales	Anacardiaceae	*Spondias mombin*
Zygophyllales	Zygophyllaceae	*Bulnesia arborea*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de arbustales se hizo en un área de 100 m^2 y para los elementos no leñosos (DAP > 31 cm); se evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta el trupillo (*Prosopis juliflora*) con el 39,7% de la abundancia, seguido por *Acacia macracantha* con el 11,3% y por *Copernicia tectorum* con el 10,1% mientras que las demás especies agrupan cada una porcentajes menores al 8%.

Respecto al trupillo o algarrobo, se considera un árbol de uso múltiple, siendo sus frutos fuente importante de carbohidratos y proteína, principalmente en las regiones más secas. La pulpa dulce de los frutos y las semillas contienen cerca del 34-39 % de proteínas y 7-8 % de grasa.

En la alimentación humana local, el algarrobo es utilizado para la fabricación de harinas y mieles, en substitución de algunos alimentos convencionales como la harina de trigo, café y panela.

Como forraje, las vainas poseen cerca de 13 por ciento de proteína bruta y digestibilidad arriba de 74 por ciento. Las hojas poco palatables poseen 18 % de proteína, donde la digestibilidad es del 59 % y los taninos 1,9 %.

La madera es durable, con densidad básica del orden de 0,90 g/cm^3, siendo utilizada para postes, tablas, durmientes, leña y carbón. Además de estos usos, las plantaciones de algarrobo han sido establecidas para protección de los suelos contra la erosión, arborización de caminos, sombra, conservación y mejoramiento de las praderas y apoyo a la apicultura, pero pueden ser también utilizados para la producción de taninos y resinas (Alcedo, 1988).

13.3.2.1.6. *Bosque abierto bajo inundable*

- Composición florística y Estructura

Para este tipo de bosque se reportan tres especies, agrupadas en tres familias y tres órdenes. La estructura del bosque abierto bajo inundable posee un dosel de hasta 15 m de altura.

La baja diversidad de aprecia como consecuencia de una vegetación muy clareada por la intervención antrópica, con elementos típicos de comunidades de ribera y llanuras de inundación del caribe (Tabla 13.7) (Figura 13.8).

Tabla 13.7. Especies del bosque abierto bajo inundable

Orden	Familia	Especie
Malvales	Malvaceae	*Guazuma ulmifolia*
Boraginales	Boraginaceae	*Cordia collococca*
Fabales	Fabaceae	*Erythrina fusca*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Figura 13.8. Bosque abierto bajo inundable



- Cobertura

Dada la baja diversidad en términos de riqueza y abundancia de estos remanentes boscosos, se optó por calcular su densidad en términos de abundancia relativa, para la cual el guásimo (*Guazuma ulmifolia*) presentó el 47,3% de los individuos, *Cordia collococca* el 28,1% y *Erythrina fusca* el 24,6%.

Se destacan los diversos usos medicinales que se hacen a partir del guásimo (*Guazuma ulmifolia*), entre las que se presenta el tratamiento para quemaduras, diarreas, resfriados, problemas renales, digestivos, entre otros, así como su importancia en los bosques por ser fuente de alimento para la fauna.

13.3.2.1.7. *Manglar denso alto*

- Composición florística y Estructura

Para el manglar denso alto se reportan tres especies, agrupadas en tres familias y tres órdenes.

Poseen vegetación boscosa, conformada principalmente por manglar de borde; entre las especies características - dominantes figuran *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia*

racemosa, siendo esta la formación vegetal típica de los estuarios del caribe y que bordea la Ciénaga Grande de Santa Marta (Tabla 13.8) (Figura 13.9).

Tabla 13.8. Especies del Manglar denso alto

Orden	Familia	Especie
Lamiales	Acanthaceae	*Avicennia germinans*
Myrtales	Combretaceae	*Laguncularia racemosa*
Malpighiales	Rhizophoraceae	*Rhizophora mangle*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

Figura 13.9. Manglares densos altos





- Cobertura

Dada la baja diversidad en términos de riqueza y abundancia de estos remanentes boscosos, se optó por calcular su densidad en términos de abundancia relativa, para la cual el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) presentó el 38% de los individuos, seguida por mangle prieto (*Avicennia* germinans) con el 33% y por el mangle bobo (*Laguncularia racemosa*) con el 29%.
Aunque ninguna de la especies de mangle se encuentra en alguna categoría de amenaza nacional o internacional, la IUCN indica la tendencia al decrecimiento de poblaciones de estas especies, que para el Caribe Colombiano se relaciona con el fuerte aprovechamiento forestal que se han presentado en estos bosques, lo cual llevo a que en el litoral del Caribe, el aprovechamiento industrial se suspendiera por la veda impuesta en 1978, por lo que en la actualidad solo se realiza un aprovechamiento artesanal para la obtención de madera, que es utilizada como leña y para la industria de la construcción (varas, vigones, horcones, pilotes) y postes para redes eléctricas (Álvarez-León, 2003).

13.3.2.2. *Caracterización Vegetación de Firme: Arbustales y herbazales*

13.3.2.2.1. *Arbustal denso*

- Composición florística y Estructura

Para el arbustal denso se reportan doce especies, agrupadas en diez familias y nueve órdenes.

La estructura de arbustal muestra una altura de hasta 8 m, denominados por Rangel *et al.,* (2012) como bosques bajos y ralos muy secos y con elementos de bosques secos espinosos hasta cardonales (Figura 13.10).

Figura 13.10. Arbustales densos



En esta cobertura se presentan dos de las tres especies en categorías de amenaza registradas en los muestreos, donde el Guayacán de Bola (*Bulnesia arbórea*) es un elemento típico de este tipo de bosque bajo y ralo, mientras que la Palma Nolí (*Elaeis oleífera)* se considera un elemento propio de formaciones de palmares de los alrededores de las ciénagas, pero encontrado posiblemente como remanente de otros tipos de vegetación (Tabla 13.9).

Tabla 13.9. Especies del Arbustal denso

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192/2014
Apiales	Araliaceae	*Schefflera sp*		
Arecales	Arecaceae	*Elaeis oleifera*	EN	EN
Brassicales	Capparaceae	*Quadrella odoratissima*		
Cucurbitales	Cucurbitaceae	*Cucumis anguria*		
Fabales	Fabaceae	*Pithecellobium lanceolatum*		
		Acacia macracantha		
Lamiales	Bignoniaceae	*Crescentia cujete*		
Malpighiales	Erythroxylaceae	*Erythroxylum sp*		
	Euphorbiaceae	*Croton niveus*		
Malvales	Malvaceae	*Ceiba pentandra*		
Zygophyllales	Zygophyllaceae	*Bulnesia arborea*	EN	EN
		Bulnesia sp		

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de arbustales en un área de 100 m^2, evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta en el estrato arbustivo *Quadrella odoratissima* con el 39% de la abundancia, seguido por *Croton niveus* con el 30% y por guayacán de bola (*Bulnesia arbórea)* con el 7%.

Como se menciona anteriormente, la mayor dominancia de las dos primeras especies hace alusión a estos arbustales que corresponden a una vegetación que incluye bosques bajos con elementos espinosos y bosques bajos secos con alto porcentaje de especies con follaje caedizo.

En el caso guayacán de bola (*Bulnesia arbórea*), esta catalogada como especie *En Peligro* (*EN* A2ac), debido a que el 60 % de las localidades donde se registra, se encuentran en regiones de intensa extracción maderera, siendo muy apetecida por la gran calidad y dureza de su madera, razón por la cual es muy usado en construcciones civiles y en navales, tornería, elaboración de durmientes de ferrocarril.

Es planta ornamental en jardinería donde la madera se debe utilizar recién cortada, puesto que al secarse se pone extremadamente dura y ya no es aprovechable. Se emplea para grabados y cuando se necesita una madera durable.

De su madera se extrae el aceite de guaiac (o *guayacol*) para ingrediente de perfumes y su resina puede obtenerse con solventes orgánicos, además es empleada para hacer barniz y pinturas oscuras.

Es apreciado por sus propiedades protectoras de la piel humana con su esencia. Da un buen carbón y vigas de alta calidad que igniciona fácilmente, y produce un humo fragante.

13.3.2.2.2. *Arbustal abierto mesofilo*

- Composición florística y Estructura

De ese arbustal se reportan siete especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes. La estructura es del tipo arbustivo de hasta 7 m de altura y donde se presentan elementos muy característicos de los bosques secos espinos ampliamente dominados por el trupillo (*Prosopis juliflora*) (Figura 13.11) (Tabla 13.10).

Figura 13.11. Arbustal abierto mesófilo



Tabla 13.10. Especies del Arbustal abierto mesófilo

Orden	Familia	Especie
Arecales	Arecaceae	*Copernicia tectorum*
Brassicales	Capparaceae	*Quadrella odoratissima*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
		Prosopis juliflora
Gentianales	Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*
Sapindales	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*
Solanales	Solanaceae	*Physalis sp*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de arbustales abiertos mesófilos en un área de 100 m^2, evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta en el estrato arbustivo Trupillo (*Prosopis juliflora)* con el 43% de la abundancia, seguido por *Astronium graveolens* con el 15% y por *Copernicia tectorum* con el 7%.

Respecto al trupillo o algarrobo, se considera un árbol de uso múltiple, siendo sus frutos una fuente importante de carbohidratos y proteína, principalmente en las regiones más secas.

La pulpa dulce de los frutos y las semillas contienen cerca del 34-39 % de proteínas y 7-8 % de grasa. En la alimentación humana el algarrobo es utilizado para la fabricación de harinas y mieles, en substitución de algunos alimentos convencionales como la harina de trigo, café y panela.

Como forraje, las vainas poseen cerca de 13 % de proteína bruta y digestibilidad arriba de 74 por ciento. Las hojas poco palatables poseen 18 % de proteína, mientras la digestibilidad es del 59 % y los taninos 1,9 por ciento.

La madera es durable, con una densidad básica del orden de 0,90 g/cm^3, siendo utilizada para postes, tablas, durmientes, leña y carbón.

Además de estos usos, plantaciones de algarrobo han sido establecidas para protección de los suelos contra la erosión, arborización de caminos, sombra, conservación y mejoramiento de las praderas y apoyo a la apicultura.

Puede ser también utilizado para la producción de taninos y resinas (Alcedo, 1988).

13.3.2.2.3. *Herbazal abierto arenoso*

- Composición florística y estructura

Se reportan cinco especies para el herbazal abierto arenoso, agrupadas en cinco familias y cinco órdenes.

El carácter de este herbazal con zonas arenosas presenta un gradiente que va desde las zonas de la planicie de inundación de las zonas estearinas con suelos salinizados a zonas de arenas de tierra firme, por lo cual se presentan áreas con dosel de bosques de mangle de hasta 12 m, arbustales dominados por especies del bosque seco de hasta 7 m y plantas herbáceas suculentas adaptadas a la vida en áreas secas de alturas promedio de 10 cm (Tabla 13.11).

Tabla 13.11. Especies del herbazal abierto arenoso

Orden	Familia	Especie
Caryophyllales	Portulacaceae	*Portulaca pilosa*
Malpighiales	Rhizophoraceae	*Rhizophora mangle*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
Lamiales	Acanthaceae	*Avicennia germinans*
Myrtales	Combretaceae	*Laguncularia racemosa*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de herbazales abiertos arenoso en un área efectiva de muestreos de 100 m^2 y elementos no leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta en el estrato arbóreo el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) con el 35% de la abundancia, seguido por el mangle prieto (*Avicennia germinans)* también con el 35%, para el estrato arbustivo domina el trupillo (*Prosopis juliflora*) con el 5% de la cobertura, mientras que *Portulaca pilosa* con el 10% representa el estrato herbáceo (Figura 13.12).

Figura 13.12. Herbazal abierto arenoso



13.3.2.2.4. *Herbazal denso de tierra firme no arbolado*

- Composición florística y Estructura

Para este herbazal denso de tierra firme no arbolado se reportan seis especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes.

La estructura de tipo herbazal presente una vegetación tipo prado con un estrato rasante bien desarrollado que se arraiga en las playas a continuación del manglar con especies como *Batis*

marítima, así como alrededor de las ciénagas con macrófitas tipo enraizadas como *Eleocharis elegans* y *Paspalum repens* (Tabla 13.12).

Tabla 13.12. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado

Orden	Familia	Especie
Poales	Poaceae	*Paspalum repens*
Brassicales	Bataceae	*Batis maritima*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*
Caryophyllales	Amaranthaceae	*Alternanthera paronychioides*
Lamiales	Lamiaceae	*Salvia sp*
Poales	Cyperaceae	*Eleocharis elegans*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de herbazales densos de tierra firme no arbolados en un área de muestreo de 100 m^2 y con elementos no leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta *Paspalum repens* con el 60% de la abundancia, seguido por *Batis maritima* con el 20% y por *Prosopis juliflora* con el 10% (Figura 13.13).

Figura 13.13. Herbazal denso de tierra firme no arbolado



En este caso se incluye al trupillo (*Prosopis juliflora)* ya que algunas de las parcelas caracterizadas se presentaron individuos con alturas inferiores a 1 m de alto, como posible efecto de la dinámica seccional de las inundaciones fluctuantes de las ciénagas.

13.3.2.2.5. *Herbazal denso de tierra firme con arbustos*

- Composición florística y Estructura

Para herbazales densos de tierra firme con arbustos se reportan siete especies, agrupadas en seis familias y seis órdenes.

La estructura de este tipo arbustal presenta especies de hasta 7 m de altura con un estrato rasante de herbazal con vegetación tipo prado que arraiga en las playas y alrededor de las ciénagas con macrófitas tipo enraizadas (Figura 13.14).

Figura 13.14. Herbazal denso de tierra firme con arbustos



Se destaca la presencia de la palma nolí (*Elaeis oleífera*) catalogada como *En Peligro (EN)* (Tabla 13.13) (Figura 13.15).

Figura 13.15. Palma noli (*Elaeis oleífera*) en Peligro

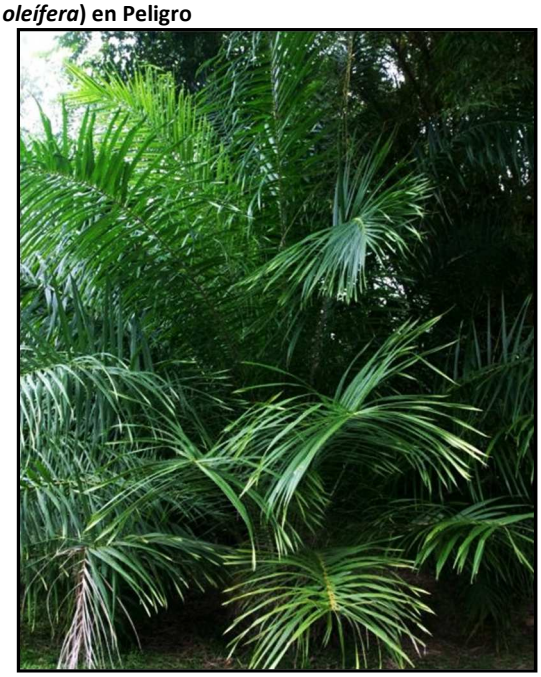


Tabla 13.13. Especies del Herbazal denso de tierra firme no arbolado

Orden	Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192/2014
Arecales	Arecaceae	*Elaeis oleifera*	EN	EN
	Arecaceae	*Copernicia tectorum*		
Brassicales	Bataceae	*Batis maritima*		
Ericales	Lecythidaceae	*Lecythis* sp		
Fabales	Fabaceae	*Pithecellobium lanceolatum*		
Magnoliales	Annonaceae	*Annona cherimola*		
Poales	Poaceae	*Paspalum sp*		

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de herbazales densos de tierra firme con arbustos en un área de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta *Pithecellobium lanceolatum* con el 45% de la abundancia, seguido por *Paspalum sp* y *Elaeis oleifera* con el 15% cada una y por *Lecythis sp* con el 10%.

13.3.2.2.6. *Herbazal denso inundable no arbolado*

- Composición florística y Estructura

Para el herbazal denso inundable no arbolado se reportan once especies, agrupadas en seis familias y cinco órdenes.

La estructura de tipo herbazal con especies rasantes donde domina el género *Portulaca*, es típico de zonas secas del caribe que arraiga en las playas y alrededor de las ciénagas, cuya característica principal es su carácter de suculentas, siendo una estrategia de crecimiento típica de herbáceas de regiones áridas (Figura 13.16).

Figura 13.16. Herbazal denso inundable no arbolado



Algunas de las especies de arbustales reportadas correspondieron con juveniles de zonas en estados sucesionales (Tabla 13.14).

Tabla 13.14. Especies del Herbazal denso inundable no arbolado

Orden	Familia	Especie
Brassicales	Bataceae	*Batis maritima*
	Capparaceae	*Cynophalla polyantha*
Caryophyllales	Portulacaceae	*Portulaca halimoides*
		Portulaca oleracea
		Portulaca sp
		Portulaca pilosa
Fabales	Fabaceae	*Pithecellobium lanceolatum*
		Senna bacillaris
		Prosopis juliflora
Poales	Poaceae	*Dactylis glomerata*
Rosales	Rosaceae	*Rubus sp*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de herbazales densos inundables no arbolados en un área de muestreo de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm), evidenció que la mayor cobertura relativa la presenta *Dactylis glomerata* con el 20% de la abundancia, seguido por *Batis maritima* con el 15% y por *Portulaca pilosa* con el 10%.

13.3.2.2.7. *Herbazal denso inundable arbolado*

- Composición florística y Estructura

Para el Herbazal denso inundable arbolado se reportan nueve especies, agrupadas en seis familias y cinco órdenes.

Para el estrato arbustivo se presenta una estructura con alturas de hasta 10 m con elementos dominantes de manzana de playa (*Crateva tapia*) y espino de vaca (*Pithecellobium lanceolatum*) (Figura 13.17).

Figura 13.17. Herbazal denso inundable arbolado



Para el estrato herbáceo especies rasantes donde dominan especies como la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y *Cynophalla polyantha* (Tabla 13.15).

Tabla 13.15. Especies del Herbazal denso inundable arbolado

Orden	Familia	Especie
Brassicales	Capparaceae	*Cynophalla polyantha*
	Bataceae	*Batis maritima*
	Capparaceae	*Crateva tapia*
Caryophyllales	Portulacaceae	*Portulaca oleracea*
Ericales	Lecythidaceae	*Lecythis minor*
Fabales	Fabaceae	*Pithecellobium lanceolatum*
		Prosopis juliflora
		Senna bacillaris
Rosales	Rosaceae	*Rubus sp*

- **Cobertura**

La caracterización para coberturas de herbazales densos inundables arbolados en un área muestreada de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm), mostró que la mayor cobertura relativa la presenta *Crateva tapia* con el 24% de la abundancia, seguido por *Pithecellobium lanceolatum* con el 23% y por *Portulaca oleracea* con el 15%.

13.3.2.2.8. *Zonas pantanosas – Macrófitas*

- Composición florística y Estructura

Para las Zonas pantanosas – Macrófitas se reportan 21 especies, agrupadas en 14 familias y 12 órdenes.

Teniendo en cuenta los objetivos de esta contribución, se han agrupado los resultados obtenidos según los criterios de formas de crecimiento y formas de vida, por lo cual se describen las comunidades acuática flotantes, enraizadas emergentes, de pantano, de playones y de llanura aluvial que están inmersas o bordean las ciénagas del área de estudio.

La vegetación acuática flotante incluyo principalmente los tapetes de *Eichhornia crassipes*, los cuales se presentaron extendidos desde las orillas hacia el espejo de agua de las ciénagas y se corresponde con la formación de los tapetes de *Eichhornia crassipes* presentada por Rangel & Córtez-Castillo (2013).

Figura 13.18. Zonas pantanosas con macrófitas



En la Vegetación acuática enraizada se presenta *Eleocharis interstincta* y *Paspalum repens* presentándose como enraizada emergente en sectores con una profundidad máxima de 0.5 m de las orillas.

Hay herbazales representados principalmente por *Portulaca pilosa, Ludwigia sp* y *Typha sp* sobre zonas pantanosas las cuales se encontraban en su mayoría en procesos de desecamiento, por lo cual eran comunidades muy empobrecidas.

La vegetación de pantano Matorral-herbazal de zonas pantanosas dominado por *Mimosa pigra* se extiende ampliamente desde el borde de los playones hasta limitar con vegetación de arbustales (Tabla 13.16).

Tabla 13.16. Especies de las Zonas pantanosas – Macrófitas

Orden	Familia	Especie
Alismatales	Araceae	*Lemna obscura*
		Lemna minor
		Pistia stratiotes
Apiales	Araliaceae	*Schefflera sp*
Asterales	Menyanthaceae	*Nymphoides sp*
Boraginales	Boraginaceae	*Heliotropium indicum*
Caryophyllales	Portulacaceae	*Portulaca pilosa*
Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes*
Cyperaceae	Eleocharis	*Eleocharis interstincta*
Fabales	Fabaceae	*Prosopis juliflora*

Orden	Familia	Especie
		Pithecellobium lanceolatum
		Mimosa sp
		Neptunia oleracea
		Neptunia oleracea
		Mimosa pigra
Lamiales	Lamiaceae	*Salvia sp*
Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia sp*
Poales	Poaceae	*Paspalum repens*
	Typhaceae	*Typha sp*
Solanales	Convolvulaceae	*Ipomoea aquatica*
	Solanaceae	*Solanum hazenii*

Fuente: Grupo consultor, 2016.

- Cobertura

La caracterización para coberturas de Zonas pantanosas – Macrófitas y algunos herbazales en un área de 100 m^2 y con elementos leñosos (CAP > 31 cm) mostró que la mayor cobertura relativa la presenta *Eleocharis interstincta* con el 21% de la abundancia, seguido por *Lemna minor* con el 11% y por *Mimosa pigra* e *Ipomoea aquatica* con el 10% cada una.

13.4. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial

Rangel (2012) reporta que para la región del caribe registra un total de 56 taxones en alguna categoría de amenaza; sin embargo, para los dos sectores que componen esta cuenca, se registran primero para los *Complejos Cenagosos* una (1) especie en categoría *Peligro Critico (CR)* y cinco (5) en categoría de *En Peligro (EN)*, mientras que segundo, para las *Llanuras de Caribe* se presentan cinco (5) en categoría *Peligro Critico (CR)*, doce (12) en categoría *En Peligro (EN)* y ocho en la categoría *Vulnerable (VU)* (Tabla 13.17).

Tabla 13.17. Especies con amenaza para la Cuenca Complejo Humedales CGSM

Familia	Especie	Categoría IUCN	Ciénagas	Llanura Caribe
Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*	EN	X	X
Arecaceae	*Astrocaryum malybo*	EN		X
	Attalea nucifera	VU		X
	Cryosophila kalbreyeri	VU		X
	Elaeis oleifera	EN	X	X
Bombacaceae	*Pachira quinata*	EN	X	X
Bromeliaceae	*Pitcairnia foreroi*	EN		X
Caesalpiniaceae	*Peltogyne purpurea*	VU		X

Familia	Especie	Categoría IUCN	Ciénagas	Llanura Caribe
	Prioria copaifera	EN	X	X
Caryocaraceae	*Caryocar amygdaliferum*	VU		X
Chrysobalanaceae	*Licania arborea*	EN	X	X
	Licania platypus	EN		X
	Parinari pachyphylla	EN		X
Dichapetalaceae	*Dichapetalum bernalii*	VU		X
Fabaceae	*Clathrotropis brunnea*	EN		X
Lecythidaceae	*Cariniana pyriformis*	CR		X
	Gustavia grandibracteata	VU		X
	Gustavia nana	VU		X
	Lecythis tuyrana	VU		X
Meliaceae	*Cedrela odorata*	EN		X
	Swietenia macrophylla	CR	X	X
Zamiaceae	*Chigua bernalii*	CR		X
	Chigua restrepoi	CR		X
Zygophyllaceae	*Bulnesia arborea*	EN		X
	Guaiacum officinale	CR		X

Fuente: Modificado de Rangel, 2012.

A nivel de cuenca se reportaron tres (3) especies incluidas en la categoría de amenaza *En Peligro (EN)* a nivel internacional (Tabla 13.18), en las coberturas de herbazal denso de tierra firme con arbustos, arbustal abierto mesofilo, arbustal denso y vegetación secundaria baja (Tabla 13.18).

Tabla 13.18. Especies de flora en amenaza en el complejo humedales CGSM

Familia	Especie	Categoría IUCN	Res. 192/2014	CITES
Apocynaceae	*Aspidosperma polyneuron*	EN	EN	No incluida
Arecaceae	*Elaeis oleifera*	EN	EN	No incluida
Zygophyllaceae	*Bulnesia arborea*	EN	EN	No incluida

Fuente: Grupo consultor, 2016

13.5. Conclusiones

Esta cuenca del complejo de humedales se caracteriza en la actualidad a nivel biótico por unas condiciones de alta intervención antrópica, lo cual se refleja en un porcentaje muy alto de zonas abiertas y transformadas en pastos para ganadería o en el secado de ciénagas para el mismo propósito.

Lo anterior refleja la fuerte presión que se da sobre los bosques secos de las planicies del caribe, de los cuales los remanentes que se presentan están muy entresacados y aprovechados maderablemente.

Esto incide directamente en la calidad del hábitat para la fauna, la cual se ve restringida a sobrevivir en fragmentos cada vez más pequeños y da como resultado la manifestación de las especies más comunes y bien adaptadas al disturbio, lo cual en términos de diversidad disminuye drásticamente sus valores y funcionalidad ecológica de la región.

A pesar de lo anterior, se destacan los bosques que circundan los complejos cenagosos, pues las interacciones entre ambos elementos ambientales, los pulsos de inundación y su respectivo ciclado de nutrientes hacen que sean hábitats y refugios de gran importancia para la fauna, lo cual es muy evidente en los recorridos y vivencias de comunidades.

Se suman a los complejos cenagosos las áreas de mangle, que a pesar de estar muy intervenidas y presentar altos grados de afectación básicamente derivados de los cambios en la salinidad provocada por los cambios antrópicos generados sobre la barrena del Parque Isla Salamanca, que a pesar de ello sigue siendo uno de los ecosistemas más productivos del mundo.

Es importante resaltar que en el marco del Pomca del complejo de humedales, es indispensable generar áreas de protección para no solamente estas diversas zonas con los variados tipos vegetales indicados en este informe sino para asegurar que se mantengan en la mayor extensión posible los servicios ecosistémicos y ambientales que ellos prestan y presentan para que puedan ser preservados y así mantener la integridad ecológica, ambiental, productiva y social de la cuenca del complejo de humedales en la ciénaga Grande de Santa Marta.

14. FAUNA

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 para la Cuenca de Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta - NSS (2906-01)* en el departamento del Magdalena (Figura 13.1).

En general, la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta - NSS (2906-01), deberá comprender las siguientes fases:

1. Aprestamiento
2. Diagnóstico
3. Prospectiva y Zonificación Ambiental
4. Formulación

14.1. *Objetivos Generales y Específicos*

Para la realización del diagnóstico de los aspectos faunísticos dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se pretenden los siguientes objetivos.

14.1.1. Objetivos Generales

- Realizar el diagnóstico del componente biótico dentro del área de la Cuenca Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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

14.1.2. 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 Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta
- 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

14.2. Metodología Para La Caracterización Faunística

14.2.1. Fase metodológica levantamiento de información secundaria

Para tener un conocimiento básico general de las especies de la fauna en la región, se usaron fuentes de información secundaria con registros de especies según localidades geográficas, regiones políticas y zonobiomas de los Departamentos involucrados 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 dicha información básica se organizó, programó y realizó el trabajo de campo (obtención 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.

14.2.2. Fase metodológica levantamiento de información primaria

Para la caracterización de la fauna terrestre y acuática (peces) se utilizó la denominada *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 se ejecutaron en áreas de interés faunístico, previstas por la distribución de la vegetación, teniendo en cuenta las coberturas vegetales representativas de la zona donde se realizaron las mismas parcelas para la caracterización de la flora (36 parcelas para el presente Pomca del Complejo Humedales CGSM), al ser áreas de alimentación, desplazamiento, refugio, zonas de reproducción, micro hábitats, entre otras.

14.2.2.1. *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 horas.

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
- 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 son 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.

A 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, junto con rastrillos y ganchos herpetológicos para facilitar la exploración en refugios.

B Aves

Las observaciones y registros auditivos diurnos fueron 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.

C Mamíferos

Se hicieron observaciones 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 la fauna 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.

D Peces

Estas observaciones de acompañamiento se hicieron en 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 estos registros se obtuvo información sobre especies apreciadas por su valor sociocultural y económico, migraciones reproductivas, artes de pesca y esfuerzos de capturas.

14.2.2.2. *Métodos de observación indirecta*
Se registró evidencia de toda 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 literatura especializada para cada grupo. Los registros indirectos se realizaron en los mismos transectos de observación directa.

14.2.2.3. *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.

14.2.3. Área de estudio Complejo humedales CGSM

Tal como se indicó en el numeral de flora, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) corresponde a la llanura deltaica derecha del río Magdalena y su plataforma continental localizada en la parte norte de Colombia.

Es uno de los humedales costeros más grandes de Latinoamérica, incluyendo arrecifes de coral y manglares y cuenta con dos tipos de formaciones vegetales: bosque muy seco tropical y bosque seco tropical con bosque ripario, ciénagas, pantanos.

Al interior de dichas formaciones vegetales se caracterizaron en total 15 coberturas vegetales naturales mediante 36 parcelas que abarcaron vegetación de tierra firme como bosques, vegetaciones arbustivas, herbáceas así como vegetación acuática de humedades, pantanos, playones y llanura aluvial y en ellas se realizaron los trabajos de caracterización de la fauna cuyos resultados se reportan en la presente sección a continuación.

14.3. Composición De La Fauna En La Cuenca

14.3.1. Información Secundaria fauna

14.3.1.1. *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 & Hoyos, 2012).

Igualmente, Muños & Hoyos (op cit.) 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 Carnívora con 19 especies, 15 géneros y seis familias.

Por su parte, respecto a la riqueza según distribución de tamaños se presenta:

- ✓ <u>Medianos y Grandes Mamíferos (MGM)</u>
  Con 62 especies (32,98%): Carnivora, 19; Rodentia, once; Primates, diez; Didelphimorphia, seis; Cetartiodactyla, Pilosa, cinco; Cingulata, tres; Lagomorpha, dos y Perissodactyla, una especie
- ✓ <u>Pequeños Mamíferos No Voladores (PMNV)</u>
  Presentan 22 especies (11,70%): Rodentia, 17; Didelphimorphia, cinco especies
- ✓ <u>Pequeños Mamíferos Voladores (PMV)</u>
  Alcanzan 103 especies (54,79%), orden Chiroptera

14.3.1.2. *Aves*
El grupo de la macrofauna mejor conocido en Colombia es el de las aves, el cual es considerado el más rico con cerca de 1.871 especies (Stiles, 1998).

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 han reportado registros de al menos 617 especies distribuidas en 364 géneros, 69 familias y 20 órdenes, donde 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 especies-10 géneros); los géneros Dendroica (ocho especies) y Calidris (siete especies) figuran entre los más diversos.

De forma específica para el área de esta cuenca del complejo de humedales de la CGSM, según las categorías definidas por Bernal-Gonzales *et al.*, (2012) en las unidades climáticas de los 600 a 1000 mm de lluvias anuales, entre los municipios de Ciénaga a Pivijay, se han encontrado 459 especies que pertenecen a 288 géneros y 65 familias.

Entre las familias mejor representadas se encuentra Tyrannidae (75 especies – 45 géneros), Accipitridae (20- 15), Ardeidae (19-11) y Psittacidae (18 especies -7 géneros) donde 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 correspondientes a las aves migratorias y endémicas, se hallaron registros para 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 donde *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 sobresale por su distribución *Coccyzus americanus* que se encuentra en toda la región kientars que 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) mientras que 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).

14.3.1.3. *Reptiles*

Los reptiles es uno de los grupos faunísticos muy poco estudiados, pero de gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas.

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.

Con base en la información recopilada por Carvajal-Cogollo *et al.,* (2012) para el Caribe Colombiano, se determinó que para las Tierras Bajas del Caribe (0-1000 msnm) 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 especies, seguido de las serpientes con nueve. Las familias más ricas en especies fueron Colubridae y Dipsadidae mientras que la riqueza genérica estuvo dominada por las serpientes (49 especies).

El género más diverso fue Anolis con 15 especies y 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 ocurrió 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 especies de serpientes y una de tortuga, la mayoría de las especies pertenecen al género Anolis con sietes especies.

De estas, para el área de las planicies donde se encuentra esta cuenca del complejo de humedales CGSM se presentan cinco especies endémicas: *Amphisbaena medemi, Trilepida dugandi, Cnemidophorus arenivagus, Micrurus camilae* y *Mesoclemmys dalhi*.

14.3.1.4. *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, todos ambientes propicios para presencia y dispersión de anfibios.

Para el caso de los anfibios en esta región 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 (TBC), por si solas no forman una unidad eco geográfica 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 eco geográfica B, que 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 todo este panorama de fauna de anfibios, para el Departamento del Magdalena, en las zonas de tierras bajas como las de esta cuenca del complejo de humedales CGSM, la riqueza específica de anfibios es solamente de apenas 25 especies, asociadas principalmente a los humedales.

14.3.2. Información Primaria fauna

A continuación se presentan las caracterizaciones de las especies registradas en las parcelas de vegetación analizadas dentro del complejo de humedales CGSM; sin embargo, hay que destacar también que dichas observaciones fueron enriquecidas con algunas 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 levantó información de los encuentros informales con los pobladores de la región y residentes de los sitios de trabajo, con los cuales se realizó la confirmación de la presencia de algunas de las especies reportadas por medio de guías de campo y de la literatura científica con la descripción de la presencia y/o distribución de las especies.

14.3.2.1. *Mamíferos*

Para el grupo de los mamíferos en la cuenca del complejo de humedales CGSM se registraron un total de 28 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 grupos 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 complejo humedales CGSM

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
	Mormopidae	*Pteronotus parnellii*	Murciélago de Parnell	Visual
	Phyllostomidae	*Artibeus lituratus*	Murciélago frutero	Visual
		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

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Tipo de observación
		Lontra longicaudis	Nutria	Encuesta
	Procyonidae	*Procyon cancrivorus*	Zorro patón	Rastro/Encuesta
Artiodactyla	Tayassuidae	*Pecari tajacu*	Zaino de collar	Rastro/Encuesta
	Cervidae	*Mazama sanctaemartae*	Venado rojo	Rastro/Encuesta
Primates	Aotidae	*Aotus griseimembra*	Mono nocturno	Visual/Encuesta
	Atelidae	*Alouatta seniculus*	Mono aullador	Visual/Encuesta
Rodentia	Sciuridae	*Sciurus granatensis*	Ardilla	Visual/Encuesta
	Rodentia	*Ratón 1*	Ratón 1	Visual
		Ratón 2	Ratón 2	Visual
	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, 17 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.

A nivel de hábitat para la cuenca del complejo de humedales CGSM, los escasos remanentes boscosos que se presentan junto con los cuerpos de agua lóticos (ríos o quebradas) y lenticos (ciénagas) son de gran importancia para los mamíferos ya que brindan muchos de los requerimientos de hábitat de la mastofauna al ofrecer alimento, zonas de refugio, zonas de desplazamiento y zonas para reproducción.

En estas áreas remanentes se presenta la presencia evidente de algunas especies de primates, carnívoros, murciélagos, roedores medianos y pequeños y una gran variedad de herbívoros de porte mediano.

Por su parte, para las coberturas de vegetación secundaria, pastizales, arbustales y herbazales se encontró que son poco usadas por las especies de mamíferos, siendo áreas utilizadas principalmente por algunas pocas especies generalistas, en las cuales se destacan principalmente

conejos (*Sylvilagus floridanus*), zorro patones (*Procyon cancrivorus*) y zorro perros (*Cerdocyon thous*).

Para el caso de los conejos, los pastizales limpios presenta la mejor adecuabilidad del hábitat (*habitat suitability*), con zonas tipo "*sabana*" donde tienen una gran disponibilidad de alimento, refugio y visibilidad para evitar ser depredados, mientras que los zorros patones aprovechan en la temporada de lluvias todos los caños y pozos que se forman en estas coberturas para buscar alimento.

Estos tipos de hábitat presentan unas condiciones de adecuabilidad de hábitat baja para el resto de la mastofauna, dada su homogeneidad y baja diversidad en términos de una vegetación que no ofrece recursos de alimento y condiciones adecuadas de suelo, así como de falta de refugios o buena altura del dosel, por lo cual no se presentan especies frugívoras o pequeños mamíferos que requieren de la hojarascas y suelos con una capa orgánica para construir sus madrigueras.

14.3.2.1.2. *Relación mamíferos – Coberturas vegetales*

Para las 15 coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia para la mastofauna que las coberturas con una estructura boscosa (Bosque abierto, bosque ripario y bosque fragmentado con 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

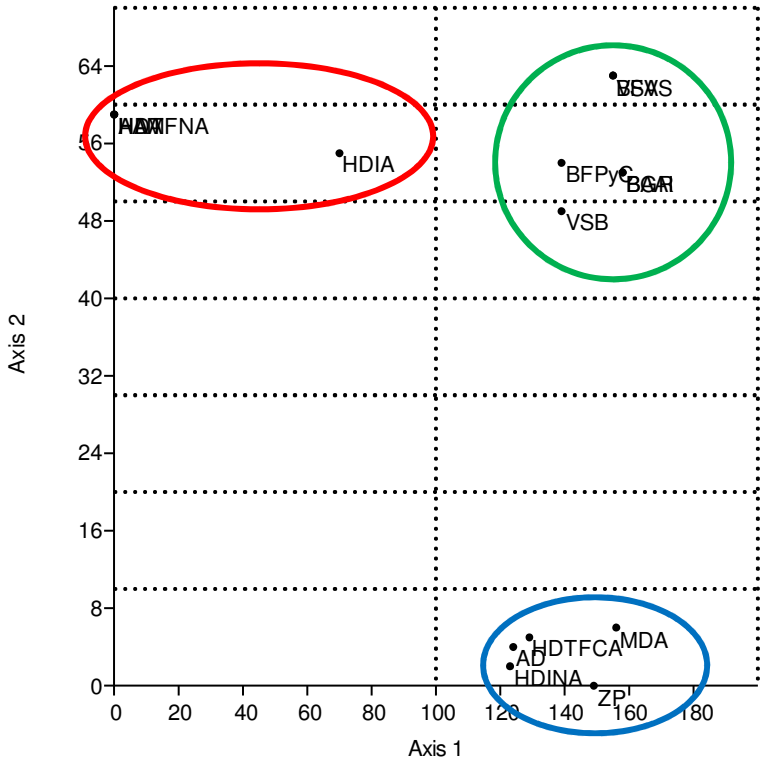
Cobertura Vegetal	Riqueza de Mamíferos
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	30
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	36
Bosque de galería y ripario	37
Vegetación secundaria alta	36
Vegetación secundaria baja	30
Bosque abierto alto inundable	37
Herbazal abierto arenoso	10
Arbustal denso	25
Arbustal abierto mesófilo	10
Manglar denso alto	27
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	10
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	27
Herbazal denso inundable no arbolado	21
Herbazal denso inundable arbolado	13
Zonas pantanosas	29

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 SOGAMOSO).

El cual evidenció en el gradiente ambiental la preferencia de la mastofauna por tres tipos de hábitat, siendo el primero el representado por las zonas con un buen desarrollo del dosel, como lo son los bosques riparios y bosques abiertos en las cuales se presentaron casi todas las especies de mamíferos observadas (círculo en verde), en segundo lugar las zonas abiertas (herbazales y arbustales abiertos) solo presentaron pocas especies conocidas por ser cosmopolitas y adaptadas fácilmente a la antropización (círculo rojo), en último lugar se presentan especies propias de los bosques pero con una alta dependencia hacia las zonas pantanosas o bosques de manglar (círculo azul), de forma tal que pueden aprovechar recursos alimenticios propios de la productividad primaria y secundaria de los cuerpos de agua.

Por su parte, este análisis presenta robustez estadística con un autovalor (eugenval) del primer eje que explica el 87,25% 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



14.3.2.1.3. *Registro fotográfico*

A continuación se muestra un registro fotográfico de las especies de mamíferos observados durante los trabajos de campo y recorridos en la cuenca del complejo de humedales CGSM (Figura 14.2).

Figura 14.2. Especies de la mastofauna



A: Huellas de Nutria, B: Huellas de Zorro Patón, C: Monos Aulladores, D: chucha Mantequera, E: Mono Nocturno y F: Puerco Espín

14.3.2.2. *Aves*

La composición de la avifauna registrada en la cuenca del complejo de humedales CGSM registró un total de 67 especies para la zona de la cuenca estudiada (Tabla 14.3).

Este listado incluye además la abundancia y el tipo de registro de las especies bien sea por observación directa y/o reportes de residentes y pobladores.

Tabla 14.3. **Composición, riqueza y abundancia avifauna complejo humedales**

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	**Familia**	**Especie**		
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
		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
	Momotidae	*Momotus subrufescens*	Barranquero coronado	Visual

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	**Familia**	**Especie**		
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
		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

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	**Familia**	**Especie**		
		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 la zona está conformada por 15 órdenes y 32 familias para las 67 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 avifaunistica 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, constituyendo el grupo más diverso y de mayor radiación adaptativa en la actualidad.

Este orden 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, *et al*., 2004), lo cual justifica su representatividad en la cuenca del complejo de de humedales de CGSM.

Seguidamente, los órdenes Psittaciformes y Pelecaniformes fueron de mayor importancia 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.

La presencia de zonas abiertas y vegetación herbácea (pastos limpios y enmalezados, áreas de cultivos, etc.), permiten el predominio de este orden Pelecaniformes en el área de estudio de la cuenca del complejo de humedales CGSM, siendo además una cantidad importante de todas 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 las diversas zonas de la cuenca del complejo de humedales CGSM.

Las aves consideradas comunes y abundantes de registrar para la cuenca del complejo de humedales CGSM y objeto del presente proyecto son, en general, especies cosmopolitas y con amplios rangos de distribución en todo el país, por lo que se consideran altamente tolerantes a cualquier tipo de ambientes ya sean conservados (ej. bosques densos), zonas parcialmente intervenidas (p.ej. 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 observadas e identificadas en el presente trabajo, las cuales son consideradas en una categoría no necesariamente correspondan a esa condición en otras regiones del país y viceversa, lo cual depende de la frecuencia con que estas se registran.

14.3.2.2.1. *Relación aves – Coberturas vegetales*

Para las 15 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, el bosque ripario o las zonas pantanosas de las ciénagas, mostrándose esto congruente con la composición de especies de este grupo (Tabla 14.4).

La cobertura con baja preferencia por las aves fue la 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.

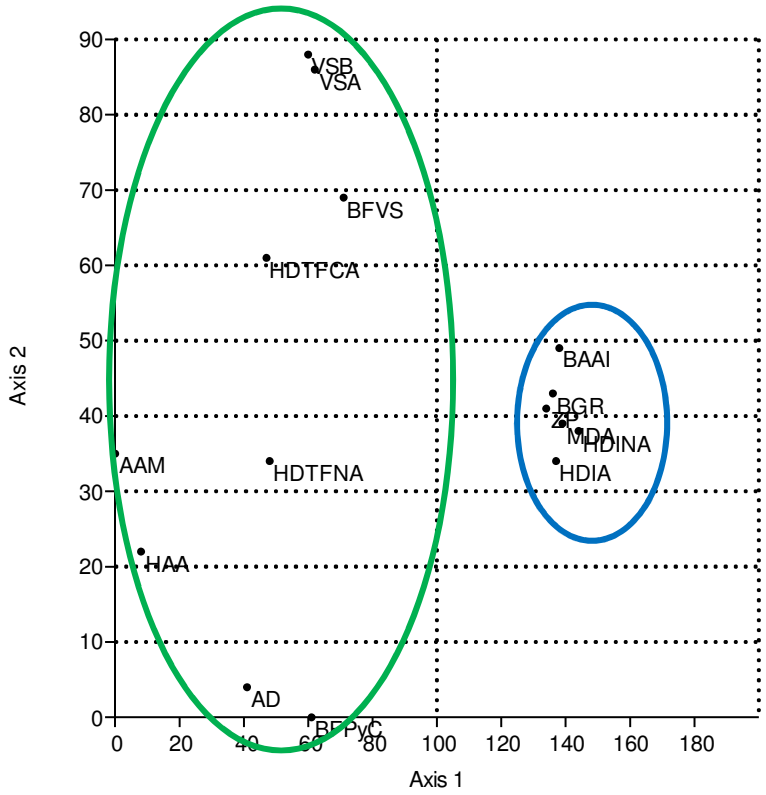
Tabla 14.4. Riqueza de aves por cobertura vegetal

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 abierto alto inundable	47
Herbazal abierto arenoso	30
Arbustal denso	33
Arbustal abierto mesófilo	30
Manglar denso alto	46
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	37
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	42
Herbazal denso inundable no arbolado	43
Herbazal denso inundable arbolado	51
Zonas pantanosas	50

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 14.3) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO FAUNA CGSM) 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 cuerpos de agua (círculo azul), donde las especies representantes se correlacionan con la dinámica ecológica de un área inundada, donde son importantes los cuerpos de agua dulce (ciénagas), los estuarios (mezcla de agua dulce y salada) y el mar.

Este análisis presenta una robustez estadística con un autovalor (eugenval) del primer eje que explica el 81,13% de la varianza de los datos.

Figura 14.3. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de aves



14.3.2.2.2. *Registro fotográfico*

A continuación se presenta un registro fotográfico de algunas de las especies de aves más destacadas en el área de la cuenca del complejo de humedales CGSM (Figura 14.4 a Figura 14.9).



Figura 14.4. Columbina talpacoti



Figura 14.5. *Actitis macularius* observada en el mar



Figura 14.6. Gampsonyx swainsonii



Figura 14.7. Milvago chimachima



Figura 14.8. Chloroceryle amazona



Figura 14.9. Pelecanus occidentalis

14.3.2.3. *Reptiles*

Para la cuenca del complejo de humedales CGSM se registraron un total de diez especies, que se agrupan en siete familias y tres órdenes taxonómicos (Tabla 14.5

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

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. Reptiles reportados para la cuenca complejo de humedales

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 en la cuenca del complejo de humedales CGSM 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 esto con el hecho de que las serpientes son más crípticas que los lagartos, generalmente no presentan poblaciones de tamaño grande y están más sometidas a presión antropogénica (Castaño-M, *et al.,* 2004).

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-M, *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.

La segunda especie (Geko cabeciamarillo) 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.* (2014), 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.

14.3.2.3.1. *Relación reptiles – Coberturas vegetales*

Para las 15 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 (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 abierto alto inundable	5
Herbazal abierto arenoso	4
Arbustal denso	5
Arbustal abierto mesófilo	4
Manglar denso alto	5
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	5
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	7
Herbazal denso inundable no arbolado	5
Herbazal denso inundable arbolado	8
Zonas pantanosas	5

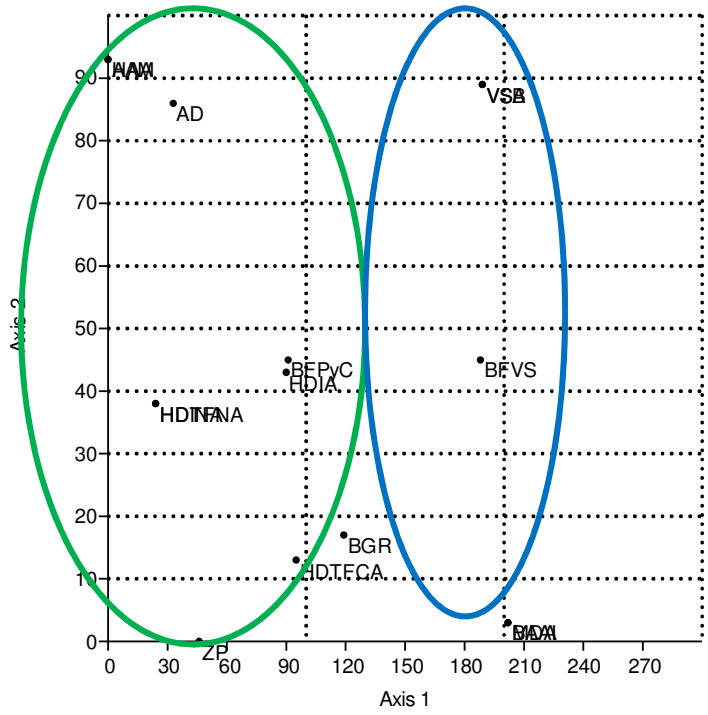
Esta preferencia del hábitat es evidenciada por la presencia en las coberturas boscosas de los lagartos *Anolis tropidogaster*, *Gonatodes albigularis* y *Tretioscincus bifasciatus* los cuales como se mencionó anteriormente, requieren de bosques con un buen dosel y hojarasca como requerimientos del hábitat 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 14.10) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO FAUNA CGSM), el cual evidenció en el gradiente ambiental la preferencia por los dos tipos de coberturas descritos.

Figura 14.10. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de reptiles



14.3.2.4. *Anfibios*

Para el caso de la cuenca del complejo de humedales CGSM se registraron un total de nueve especies, las cuales se agrupan en cinco familias y un solo orden taxonómico (Anura) (Tabla 14.7).

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 paisajes con coberturas abiertas donde se expresan familias como Hylidae, Leptodactylidae y Bufonidae, propias de la composición de la mayoría de zonas bajas del país (Acosta, 2015).

Tabla 14.7. Especies de anfibios reportadas en complejo humedales CGSM

Taxonomía			Nombre común	Tipo de observación
Orden	**Familia**	**Especie**		
Anura	Bufonidae	*Rhinella marina*	Sapo	Visual
	Craugastoridae	*Craugastor longirostris*	Ranita	Visual
	Hylidae	*Hypsiboas crepitans*	Rana platanera	Visual
		Hypsiboas pugnax	Rana platanera	Visual
		Scinax rubra	Rana 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 y con posterior liberación pues no estaba contemplada su retención ni colección. 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.

Las especies asociadas a las 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.

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.

14.3.2.4.1. *Relación anfibios – Coberturas vegetales*

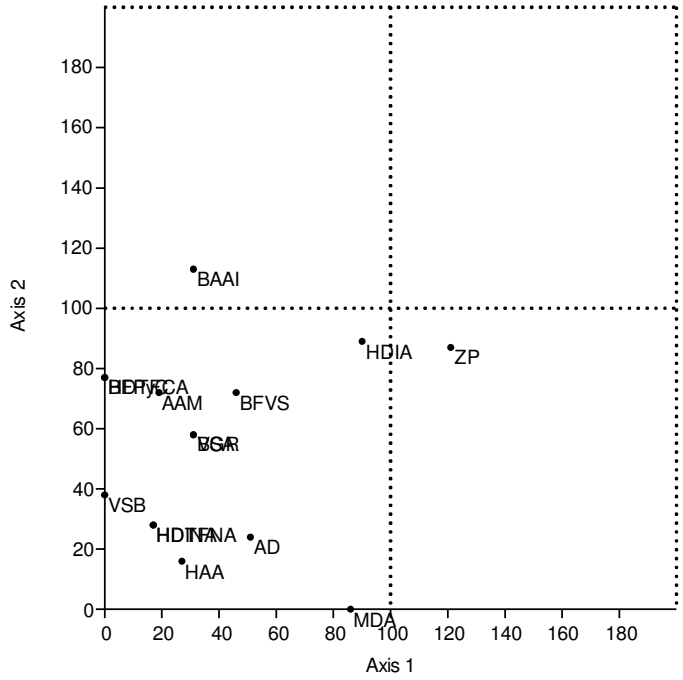
Para las 15 coberturas vegetales principales caracterizadas en la vegetación y flora, se aprecia una alta homogeneidad en el uso del hábitat, lo cual como se describe arriba es efecto de la presencia de especies de amplia distribución en el país, con requerimientos mínimos de hábitat, habitando tanto 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 abierto alto inundable	7
Herbazal abierto arenoso	6
Arbustal denso	7
Arbustal abierto mesófilo	5
Manglar denso alto	6
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	6
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	6
Herbazal denso inundable no arbolado	6
Herbazal denso inundable arbolado	7
Zonas pantanosas	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 14.11) con base en una matriz de riqueza contra coberturas vegetales (ANEXO FAUNA CGSM) 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 76,21% de la varianza de los datos.

Figura 14.11. Análisis de correspondencia linealizado (Detrended correspondence analysis DCA) para las coberturas y las especies de anfibios



14.3.2.4.2. *Registro fotográfico*

A continuación se hace un registro fotográfico de algunos de las especies la herpetofauna observadas durante los trabajos de campo en la cuenca del complejo de humedales CGSM (Figura 14.12 a Figura 14.19).



Figura 14.12. Cnemidophorus lemniscatus en cultivo de coco



Figura 14.13. *Anolis tropidogaster* en vegetación secundaria



Figura 14.14. *Gonatodes albigularis* en vegetación secundaria



Figura 14.15. Corallus ruschenbergerii en manglar



Figura 14.16. Caparazón de *Eretmochelys imbricata,* trofeo de caza



Figura 14.17. *Tretioscincus bifasciatus* en vegetación secundaria



Figura 14.18. *Leptodactylus insularum* en jagueys de pastizal



Figura 14.19. Rhinella marina en pastizales

14.4. Identificación De Especies Endémicas, En Categorías De Amenaza O De Valor Especial

14.4.1. Especies amenazadas de Mamíferos

En el Caribe colombiano se encuentran 18 especies de mamíferos en alguna de las Categorías de Amenaza; sin embargo, el área de esta cuenca coincide con la distribución de seis especies, de las cuales a nivel nacional una (1) está en categoría de *En Peligro (EN)* y cuatro (4) en categoría *Vulnerable (VU)* (Tabla 14.9).

Tabla 14.9. Mastofauna en amenaza, Complejo Humedales CGSM

Especie	Categoría IUCN	Resl 192 de 2014	Complejo humedales
Trichechus manatus	VU	EN	X
Panthera onca	NT	VU	X
Lontra longicaudis	NT	VU	X
Leptonycteris curasoae	VU	-	X
Myrmecophaga tridactyla artata	VU	VU	X
Aotus griseimembra	VU	VU	X

Fuente: Modificado de Rangel, 2012

En cuanto a especies reportadas en las categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica, se reporta la presencia de dos especies en categorías de amenaza según 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 14.10).

Tabla 14.10. Especies de mamíferos en amenaza nacional e internacional

Orden	Familia	Especie	IUCN	Res. 192/2014	CITES	Restringidas
Carnivora	Felidae	*Leopardus pardalis*			I	
		Puma concolor			II	
	Canidae	*Cerdocyon thous*			II	
	Mustelidae	*Eira barbara*			III	
		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 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 sin fines comerciales; II y III: Comercio permitido pero controlado.

Se aprecia 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 en estado *Vulnerable (VU)* de extinción para Colombia y dentro de las causas de su vulnerabilidad se incluye la 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 en 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 (Res. 192/2014) 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.

14.4.2. Especies amenazadas de Aves

Según la IUCN (2011) de las 917 especies registradas para el Caribe, 24 están incluidas en las categorías de amenaza donde de la correspondiente a *Estado Crítico* (CR) hay tres especies, en *Peligro (EN)* se encuentran 12 especies y en *Vulnerable (VU)* están nueve especies.

A nivel nacional, 29 especies se encuentran en estas mismas categorías, cuatro en estado *Crítico (CR)*, 11 en *Peligro (EN)* y 14 *Vulnerables (VU)*; las especies restantes se encuentran en las categorías de *Preocupación Menor (LC)* y *Casi Amenazadas (NT)* y solo *Neocrex colombiana* posee *Datos Deficientes (DD)*.

Se hallaron 193 especies incluidas en los apéndices de CITES (2011), la mayoría de estas en el apéndice II (140) y solo *Ara ambiguus* se encuentra en los tres apéndices (I, II y III).

En cuanto a las especies incluidas en la categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica, Colombia es conocida a nivel mundial por ser mega diverso 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.

Con base en lo anterior, se hizo una revisión de las especies registradas para la zona del proyecto de la cuenca del complejo de humedales CGSM**,** listado en el que se consigna el grado de amenaza a nivel global y/o nacional, CITES así como endemismo (Tabla 14.11).

Tabla 14.11. Especies amenazadas, CITES, endemismos y/o importancia ecológica

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

Familia	Especie	Nombre común	IUCN	MADS	CITES	Endemismo
Falconidae	*Herpetotheres cachinnans*	Halcón reidor			II	
	Milvago chimachima	Pigua			II	
Psittacidae	*Brotogeris jugularis*	Periquito palmero			II	
	Pionus menstruus	Cotorra cabeciazul			II	
	Amazona amazonica	Loro caternica			II	
	Forpus conspicillatus	Perico cascabelito			II	CE
Corvidae	*Cyanocorax affinis*	Chau-Chau, charan				CE

Categoría IUCN: CR: En Peligro Crítico; **EN:** En Peligro; **VU:** Vulnerable; **NT:** Casi Amenazado; **LC:** Preocupación Menor; **NI:** No incluida
CITES: Convención sobre Comercio Internacional Especies Amenazadas 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, para el presente estudio en la cuenca del complejo de humedales CGSM 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 del complejo de humedales CGSM 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).

Esta especie 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 como es 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 que corresponden al apéndice II de esta convención.

Si bien dicho apéndice agrupa aquellas no necesariamente amenazadas, se busca ejercer un control en su comercio para evitar un riesgo adicional y más desfavorable para las especies; en el presente trabajo se agruparon aves que por sus coloraciones, vocalizaciones o usos ornamentales (mascotas)

están sujetas a actividades constantes de comercio, siendo el caso de las 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 reportadas o indicadas en alguna resolución nacional de veda expedidas en su momento por el 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.

De igual forma, las apreciaciones respecto al uso de la avifauna por parte de las poblaciones locales, sugiere una importancia atribuida a su utilidad y es, por tanto, un elemento más de los recursos naturales al servicio del hombre.

En este sentido, algunas especies registradas en la zona del proyecto 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.

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 MADS. 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.

Otras aves como loras y pericos de la familia Psittacidae *(Brotogeris jugularis, Pionus menstruus, Amazona amazónica, Forpus conspicillatus, Eupsittula pertinax)* 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.

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 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 la cuenca del complejo de humedales CGSM de acuerdo con el listado de especies focales elaborado para el departamento de Córdoba y los criterios tenidos en cuenta para dicho listado.

En este contexto las especies sombrillas o focales para la cuenca del complejo de humedales CGSM 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 como 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.

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.

14.4.3. Especies amenazadas de Reptiles

En la región Caribe se calificaron bajo categorías de amenaza a 16 especies, nueve de tortugas, seis de lagartos y una de serpiente.

En las categorías de *Peligro Crítico (CR)*, *En Peligro (EN)* y *Vulnerable (VU)* están las tortugas *C. carbonaria, K. leucostomum, K. scopioides, M. dahli, P. lewyana, R. melanosterna* y *T. callirostris*, cuya calificación está dada principalmente por una obvia reducción observada en el tamaño poblacional por cacería para consumo y/o comercio y para los lagartos *A. concolor, A. pinchoti, A. menta, A. paravertebralis* y *A. umbrivagus* y la serpiente *C. andresensis*, especies que son endémicas de la región y su calificación se debe principalmente a que se distribuyen en un área pequeña, fuertemente fragmentada y con grandes posibilidades de seguir disminuyendo en el futuro.

La situación de *Chelonoidis carbonaria* (Morrocoy) en la zona Caribe llevó a que sea la única tortuga del país considerada como en *Peligro Crítico (CR)*, lo cual indica que de seguir las condiciones actuales, dentro de algunos años tendría que ser declarada extinta en estado silvestre.

Para el caso de las especies de reptiles en Categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica, se ha reportado la presencia de cuatro especies de reptiles incluidas

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 (http://www.cites.org), 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 14.12).

Tabla 14.12. Listado taxonómico de reptiles en categorías de amenaza

Familia	Especie	Nombre común	IUCN	MADS	CITES	Endemismo
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, 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 residentes 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.

14.4.4. Especies amenazadas de Anfibios

En cuanto a especies de anfibios que hayan sido reportadas e incluidas en las categorías de amenaza, apéndices CITES, endemismos y/o de importancia ecológica cabe decir que ninguna de las especies de anfibios registradas en el área se encuentra en listados de amenaza nacional (Res. 192/2014), internacional (IUCN), listados CITES o con distribución de endemismo para Colombia.

14.5. Conclusiones

En la cuenca del complejo de humedales hay a nivel biótico unas condiciones de muy alta intervención antrópica lo cual se refleja en amplias zonas abiertas y transformadas en pastos para uso ganadero y donde hay sido muy usual el secado de ciénagas para el mismo propósito y otros colaterales que globalmente han afectado los ecosistemas básicos del sistema cenagoso.

Ello ha ocasionado una fuerte presión sobre los bosques secos de las planicies del caribe, de los cuales los remanentes en la actualidad están muy entresacados y aprovechados para el recurso maderable.

Esto ha incidido directa y notablemente en la calidad de los hábitats para los diferentes grupos de la macrofauna, la cual se ve restringida a residir y sobrevivir en aquellos fragmentos cada vez más pequeños lo cual da como resultado una manifestación clara de dominancia de algunas de especies muy comunes y genéricas bien adaptadas al disturbio, lo cual en términos de diversidad disminuye drásticamente sus valores y funcionalidad ecológica de la región.

A pesar de lo anterior, se destacan aquellos bosques que circundan los complejos cenagosos, pues las interacciones entre ambos elementos ambientales, los pulsos de inundación y su respectivo ciclado de nutrientes hacen que sean mejores hábitats y refugios con gran importancia para la fauna, lo cual es muy evidente en los recorridos efectuados y las vivencias manifestadas por las comunidades residentes.

Es importante resaltar que en el marco del Pomca del complejo de humedales, es indispensable generar y ampliar diversas áreas de protección para promover no solamente zonas con variados tipos vegetales (indicados en este informe) sino para asegurar que se mantengan en la mayor extensión posible hábitats para la fauna y los servicios ecosistémicos y ambientales que ella presta que deben ser preservados para así mantener la integridad ecológica, ambiental, productiva y social de la cuenca del complejo de humedales en la ciénaga Grande de Santa Marta.

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 este sistema (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

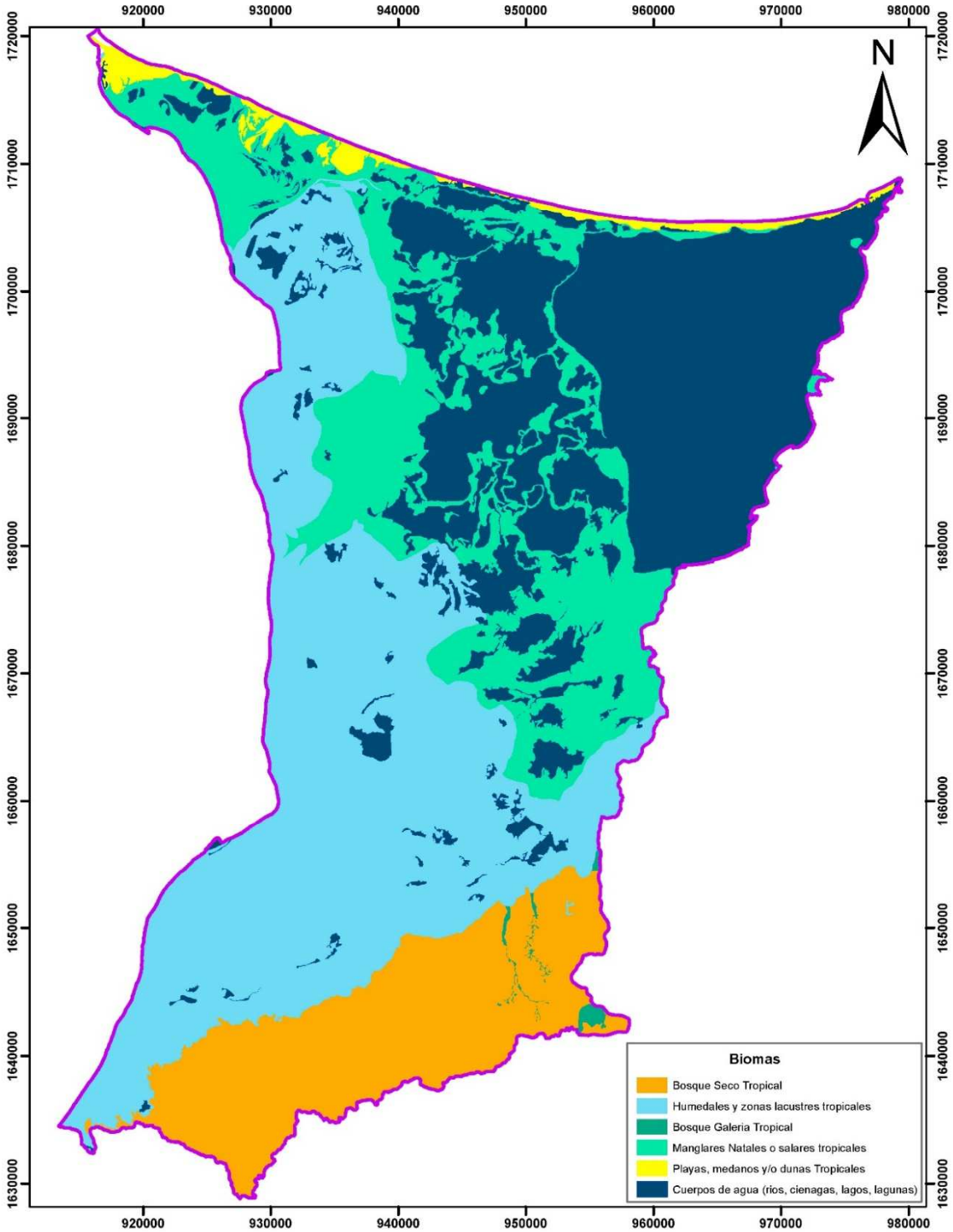
A partir de la información cartográfica disponible en el Atlas-SINAP realizado por Latorre et al. (2014), se presentan las unidades ecológicas (Biomas) potenciales presentes en la Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta como punto de partida en el establecimiento de Áreas 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 seis tipos de biomas potenciales; los Humedales y zonas lacustres tropicales que representan la mayoría del área con el 35% de la cuenca, seguido muy de cerca por los Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas) con el 31,5%, luego se encuentra el bioma de los Bosques de mangle tropical-natales correspondiente al 18,4%, el Bosque seco tropical con el 13,2%, las Playas, médanos y/o dunas tropicales con el 1,6%, y por último el Bosque galería tropical correspondiente al 0,3% de la totalidad de la cuenca (Figura 15.1).

15.1.1. 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta este ocupa 97.407,73 ha, representando el mayor bioma potencial de la zona, 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



15.1.2. 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 87.676,61 ha, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.3. 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 potencial bioma se encuentra en 51.095,61 ha del total de la cuenca, para la delimitación de este se tomó como referencia la cartografía de CORINE Land Cover disponible en el Atlas SINAP.

15.1.4. 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 36.722,12 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.

15.1.5. 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 4.553,07 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.

15.1.6. 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 bosque 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 el menos representativos de la respectiva cuenca con 832,71 ha, 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta 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).

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).

La unidad administrativa de Parques Nacionales Naturales tiene como misión "Garantizar la conservación *in situ* de la diversidad biofísica y cultural presente en los ecosistemas representativos del país, desarrollando políticas, programas, planes, normas y procedimientos que apunten a lograr la sustentabilidad de los componentes natural, social-cultural y económico del país, con el fin de permitir la continuidad de procesos evolutivos en dichos ecosistemas y brindar la oferta ambiental sobre la cual se sustente el desarrollo de las comunidades humanas" (PNNC, 2017).

Dentro de la cuenca solo se encuentran dos áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), correspondientes a la Vía Parque Isla de Salamanca y al Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta. Estas áreas prestan importantes servicios ecosistémicos entre los que se destacan el hábitat para la biodiversidad, la regulación hídrica, ciclado de nutrientes, servicios de aprovisionamiento, entre los que se destaca la pesca; así como servicios culturales que van desde el disfrute escénico en la vía parque, hasta la formación de importantes movimientos culturales de la región Caribe enmarcados dentro su folclore.

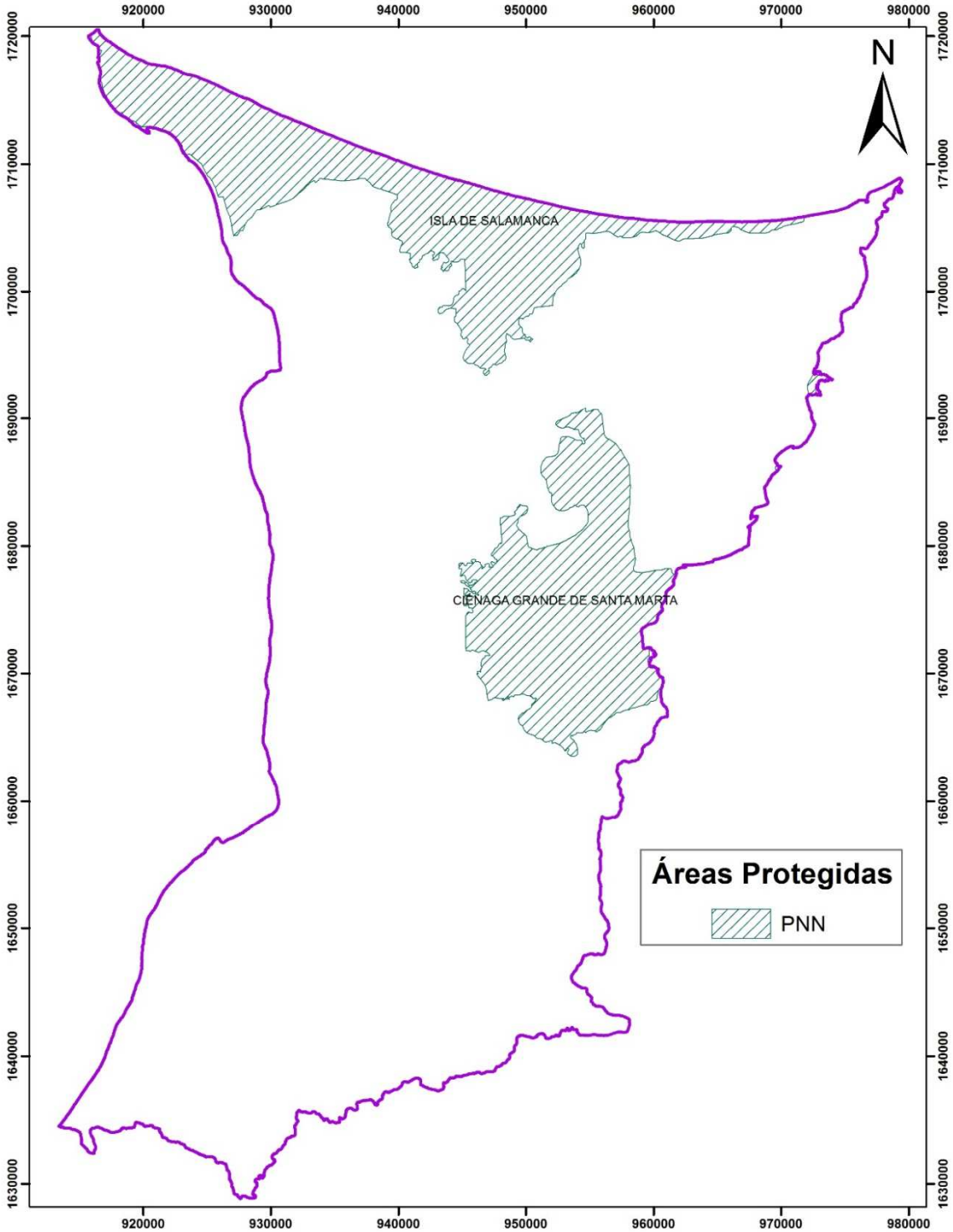
15.2.1.1. *Vía Parque Isla de Salamanca*

Creada en 1969 bajo la Resolución 292 del 18 de agosto del mismo año, con el objetivo principal de conservar la flora, la fauna, los complejos geomorfológicos y las manifestaciones históricas y culturales con fines educativos, científicos, estéticos y recreativos. Esta isla recibió el nombre de "Vía Parque" debido a que permite observar los paisajes de bosques de manglar, ciénagas y playas desde la carretera que comunica las ciudades de Barranquilla y Santa Marta. El área fue declarada Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) y junto con el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta fueron declaradas como Sitios Ramsar de importancia mundial en 1998, y como Reservas de la Biosfera por la UNESCO en 2000 (PNNC, 2017).

Esta "isla" es en realidad una agregación de pequeñas islas, formadas por la acumulación de sedimentos del delta del río Magdalena, establecidas sobre el fondo de una antigua bahía y comunicadas por pequeños canales que integran una barrera, que separa la Ciénaga Grande de Santa Marta del mar Caribe. El parque está ubicado en los municipios de Sitionuevo y Puebloviejo con un área total de 57.608,63 ha de las cuales 28.119,80 se encuentran dentro de la presente cuenca y corresponden al 10,1% de su totalidad (Figura 15.2).

El Vía Parque está constituido por una planicie costera por debajo de los cinco m.s.n.m., formada por valles de fondo plano drenados por arroyos que aportan agua dulce a las lagunas costeras; es posible encontrar una gran variedad de vegetación correspondiente a agua dulce, es el caso del monte espinoso de follaje caduco con altura entre tres y seis metros con predominancia de especies como el olivo (*Capparis odoratissima*), sin embargo la vegetación representativa de la zona son las formaciones de manglares (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicenia germinans*), y en las formaciones pantanosas se destacan las especies como la lechuga de agua, las hierbas de agua dulce y el bosque de pantano (PNNC, 2017).

Figura 15.2. Áreas protegidas presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



La riqueza faunística del parque está dada por la presencia de 140 especies de peces, pertenecientes a 52 familias, 35 especies de reptiles de los que cabe resaltar la boa (*Boa constrictor*), el caimán aguja (*Crocodrylus acutus*), la serpiente cascabel (*Crotalus durissus*), la tortuga cana y verde (*Dermochelys coriácea* y *Chelonia* sp. respectivamente); 33 especies de mamíferos pertenecientes a 14 familias entre los cuales se encuentra el gato de monte (*Herpailurus proteus*), el hurón (*Galicitis vittata*), el manatí (*Trichechus manatus*), el mico de noche (*Aotus* sp.), el mono colorado (*Alouatta seniculus seniculus*), la nutría (*Lutra longicaudis*), el ocelote (*Leopardus* sp.) y gran variedad de zorros (*Procyon lotor, Cerdocyon thous aquilus, Procyon cancrivorus*). Sin embargo, son las aves el grupo de mayor estudio y más conocido del área, ya que este se considera un hábitat de gran importancia en el Caribe como sitio de alimentación y descanso para la migración, se ha registrado 119 especies de aves de las cuales dos son endémicas de la región del Caribe colombiano, el colibrí cienaguero (*Lepidopyga lilliae*) y el golofio (*Molothrus armenti*) (PNNC, 2017).

Según el Sistema de PNN (2017), en el Vía Parque Isla de Salamanca se encuentra los ecosistemas primordiales de bosques de manglar, bosques semisecos tropicales, bosques mixtos y el monte espinoso; y esta área protegida tiene como objetivos principales: 1. Conservar muestras de mosaicos ecosistémicos estuarinos y marinos de la Ciénaga Grande de Santa Marta tales como el manglar, las lagunas costeras, el bosque seco, el bosque subxerofítico y fondos sedimentarios, como hábitats especializados de recursos hidrobiológicos, fauna migratoria, residente y endémica y/o en algún grado de amenaza y 2. Contribuir a la generación, protección y mantenimiento de bienes y servicios como pesca, recreación, captación y filtración de sedimentos y ciclo de nutrientes, para apoyar el desarrollo humano de la zona.

15.2.1.2. *Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta*

La definición legal de los Santuarios de Flora y Fauna establece que son áreas dedicadas a preservar especies o comunidades vegetales y de animales silvestres para conservar recursos genéticos de la flora y fauna nacional. En 1977 según el Acuerdo No 168 del 6 de junio de 1977 el INDERENA crea el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta (SFF CGSM), con una extensión superficiaria de 23.000 ha; posteriormente, el Ministerio del Medio Ambiente emite la resolución 0471 del 8 de junio de 1998, donde se realindera el área protegida, con una ampliación de 3.810 ha, para un total de 26.810 (PNNC, 2017). De la totalidad del santuario 24.637,44 ha hacen parte de la presente cuenca correspondiente al 8,8% de su totalidad (Figura 15.2).

La ampliación del Santuario en el sector oriental específicamente, se realizó considerando la ubicación del mayor desarrollo de los ecosistemas de Manglar, influenciados por los ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, esto con el fin de mantener la autorregulación ecológica, controlar la sedimentación y salinización del complejo lagunar de las ciénagas, con esta realinderación se esperaba contribuir con el ordenamiento ambiental territorial y lograr su consolidación como una ecorregión, con el establecimiento de categorías de protección y uso múltiple de los recursos naturales; de acuerdo a esto, en el santuario quedan prohibidas actividades diferentes a las de conservación, recuperación y control, investigación y educación.

La Ciénaga Grande de Santa Marta y todo el complejo lagunar se originó como una bahía costera, modificada por la formación gradual de una barra o flecha, actualmente Isla de Salamanca, y la acumulación progresiva de los sedimentos aportados por los brazos deltaicos del río Magdalena y los que provienen del sector occidental de la Sierra nevada de Santa Marta; por lo tanto, el santuario está formado por estas acumulaciones progresivas y a su vez conformado por ecosistemas de manglar, ciénagas, ríos, caños y áreas pantanosas; la ciénaga hace parte de un complejo de aguas de más de 100 ciénagas que presentan diferentes niveles de sedimentación y salinidad (PNNC, 2017).

El área protegida del santuario es una microrregión ubicada en la parte Sur de la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el Departamento del Magdalena, en jurisdicción de los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo, Remolino, Pivijay y el Retén. El área limita al norte con: Caño Grande, la parte sur de la CGSM y la desembocadura del río Sevilla en el municipio de Pueblo viejo; al sur con: parte de los municipios de Remolino y Pivijay; al este con: parte de los municipios Pueblo Viejo, Reten y Pivijay y al oeste con: Sitio Nuevo y Remolino (PNNC, 2017).

Dentro del santuario se encuentran gran cantidad de ecosistemas de gran importancia, entre ellos los manglares, el bosque seco tropical y el bosque ripario cada uno de ellos con determinadas características, en el caso de los Manglares, está compuesto principalmente por tres especies *Avicennia germinans* (mangle salado), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle amarillo) y eventualmente por una cuarta especie, *Conocarpus erectus* (mangle bobo); dependiendo de la estacionalidad y la variación en la pendiente se puede encontrar otra vegetación asociada a este ecosistema, como el helecho de mangle (*Acrostichum* cf. *Aereum*) y la enea (*Typha dominguensis*). En cuanto al bosque seco tropical, se caracteriza por la dominancia de un árbol pequeño llamado chaparro (*Curatella americana*) y asociado a este se encuentra el peralejo (*Byrsonima* sp.); en general en el paisaje de llanura se observan arboles muy apreciados por su madera como la teca, la caoba, la ceiba tolua y el cedro. Para el bosque ripario se encuentran asociaciones de suán, pivijay y cantagalllos (PNNC, 2017).

El santuario presenta condiciones óptimas para la estabilidad de la riqueza faunística, dentro de esta cabe resaltar el grupo de mamíferos con la presencia del ponche (*Hydrochaeris hydrochaeris*), el mono aullador (*Alouatta seniculus seniculus*), el mico cariblanco o maicero (*Cebus albifrons*), el ratón silvestre (*Oryzomys concolor concolor*), el manatí (*Trichechus manatus*), la nutría (*Lutra longicaudis*), el tigre (*Leo onca centralis*) y gran variedad de zorros (*Procyon lotor, Procyon cancrivorus proteus*). Dentro del grupo de reptiles sobresalen la babilla (*Caimán crocodilus fuscus*), el caimán aguja (*Crocodylus acutus*), las iguanas (*Iguana iguana*), la cascabel (*Crotalus durissus*), la mapaná rabo seco (*Bothrops atrox*), la boa (*Boa constrictor constrictor*) y la tortuga icotea (*Chrysemys scripta*) (PNNC, 2017).

La fauna íctica es una de las principales riquezas del santuario, se dice que hay más de 53 especies, 29 dulceacuícolas y 24 estuarinas, entre las primeras se destacan el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), el bagre tigre (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), el nicuro (*Pimelodus clarias*) y el moncholo (*Hoplias malabaricus*), cabe resaltar la presencia abundante de mojarra lora

(*Oreochromis* cf. *niloticus*)que es un especie considerada invasora; para el grupo de las estuarinas las más representativas son el sábalo (*Tarpon atlanticus*), el róbalo (*Centropomus undecimalis*), el chivo cabezón (*Ariopsis bonillai*) y la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*) (PNNC, 2017).

Uno de los grandes beneficios ambientales que otorga el santuario, es la gran importancia que tiene esta zona para las aves, no solo las permanentes sino como refugio para las especies migratorias; algunas que vale la pena mencionar son: el pato cuervo o longuillo (*Phalacrocorax olivaceus olivaceus*), el pato aguja (*Anhinga anhinga*), la chavarria (*Chauna chavaria*), el gallito de ciénaga (*Jacana jacana*), el gavilán indio viejo (*Busarllus nigricollis nigricollis*), el gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), el alcaldito (*Himantopus mexicanus*), el garzón soldado (*Jabiru mycteria*), el pato cucharo (*Platalea ajaja*), el pisingo (*Dendroyigna autumnalis*), el pisisia (*Dendrócygna bicolor*) y las diferentes garzas (*Ardea cocoi, Egretta alba, Egretta thula*). Últimamente se ha reportado el regreso del flamenco rosado (*Phoenicoptherus ruber*) (PNNC, 2017).

A raíz de todas estas características presentes en el SFF CGSM, se ha establecido como objetivo principal, Propender la recuperación del modelo hidráulico del complejo lagunar con el fin de garantizar el estado de conservación de la biodiversidad de flora y fauna y la productividad pesquera, para mantener el flujo de nutrientes y cumplir con los protocolos internacionales de Reserva de Biosfera y Sitio Ramsar, para lo cual se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Proteger las especies de aves residentes, sitios de llegada de aves migratorias y de importancia cultural que se encuentran en el SFF CGSM.
- Proteger la generación de bienes y servicios ambientales del mosaico ecosistémico de manglar, ciénagas, pantanos y demás cuerpos de agua del Santuario.
- Proteger la biodiversidad del mosaico ecosistémico de manglar, ciénagas, pantanos y cuerpos de agua y especies asociadas, que conforman el SFF CGSM.

En general las áreas protegidas que se encentran presentes en el área de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta comprenden un área de 52.757,24 ha correspondientes al 19% del total; se destacan por la inmensa cantidad de servicios ecosistémicos prestados allí, entre los más importantes esta la retención de sedimentos y tóxicos, la estabilización de la línea de costa, la protección contra tormentas e inundaciones, la productividad pesquera, hábitat para la vida silvestre y como base natural del sustento de comunidades humanas con características culturales singulares; sin embargo a pesar de su importancia, estas áreas están siendo víctimas de grandes problemas como sedimentación y contaminación, efectos de la agroindustria y la actividad pecuaria en lugares equivocados, obras civiles y expansión de la frontera agrícola (PNNC y MinAmbiente, 2016).

15.3. Áreas Complementarias Para La Conservación

En el Decreto 2372 de 2010 reconoce estas áreas, que 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

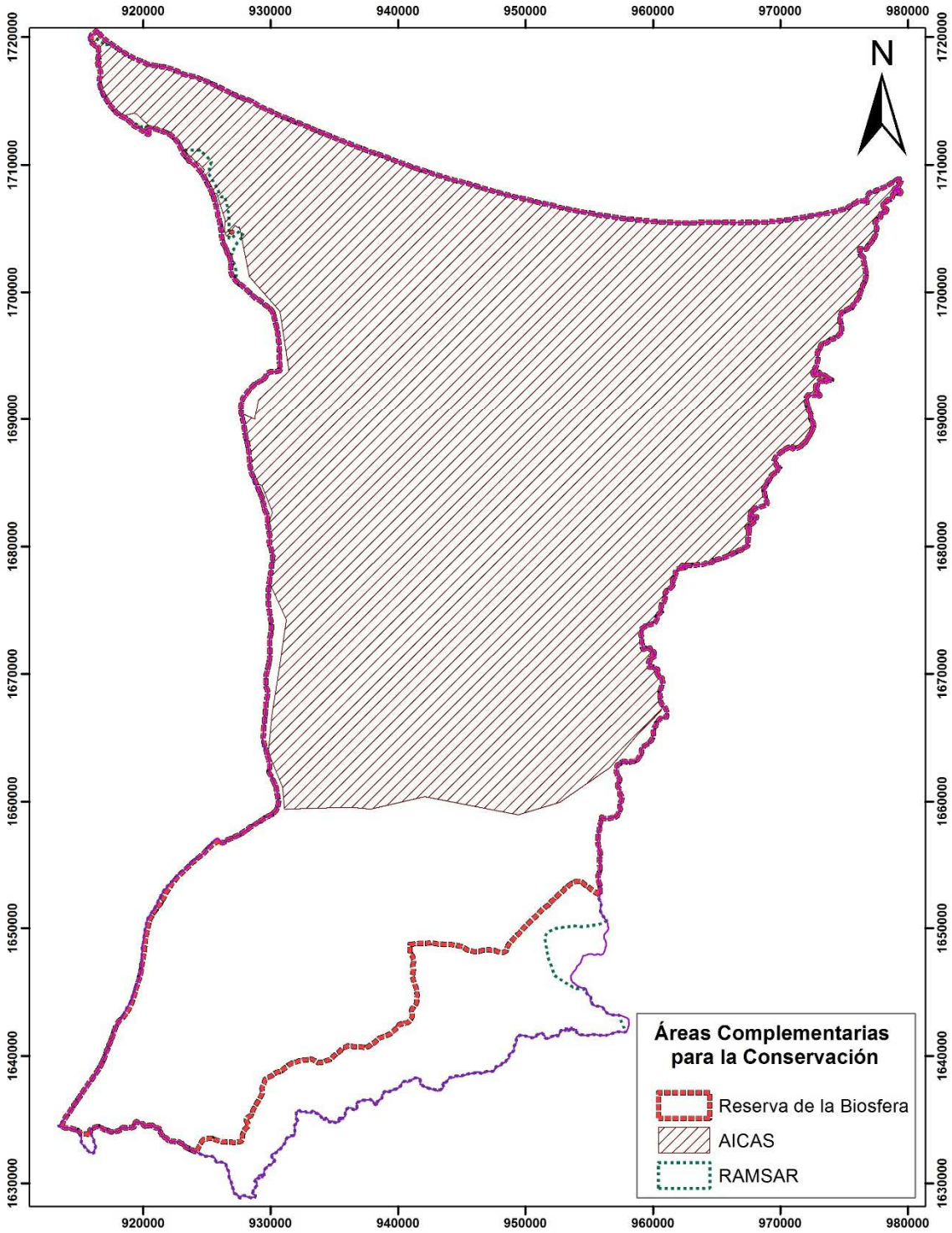
generales de conservación del país. En la formulación de planes de ordenación y manejo de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, se identifican áreas complementarias para la conservación de distinción internacional sitios Ramsar, Reservas de la Biósfera, AICAS, Patrimonio de la humanidad, entre otras; y de distinción nacional 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 presente cuenca casi la totalidad se encuentra en áreas de distinción internacional, el sitio Ramsar del Sistema Delta Estuarino del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, la Reserva de la Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta y un Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICAS).

15.3.1. Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta

La Convención de Ramsar es un tratado intergubernamental que sirve como marco de acción nacional y cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. El Sistema Delta del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, fue declarado como zona Ramsar el 18 de mayo de 1998 mediante el Decreto 224 de 1998, se considera el humedal estuarino más importante del país, ya que contiene a la laguna costera más grande de Colombia. El sitio cuenta con un área total de 400.000 ha, de las cuales 276.014,82 se encuentran dentro de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, correspondientes al 99,1% del total (Figura 15.3).

El sitio es un sistema costero estuarino con 20 lagunas de salinidad variable, con varios ríos que atraviesan el área y extensas zonas de mangles. Es de gran importancia por su ecosistema de manglar, que es el más grande sobre la costa Caribe de Colombia y de Latinoamérica, el cual también sirve como hábitat y lugar de cría de invierno para una amplia variedad de especies de aves, tiene además al menos dos especies de aves endémicas, y es también un lugar de desove para muchas especies de peces. Parte de este sitio está incluido dentro de los Parques Nacionales, siendo de carácter público con restricciones de uso; un área grande es usada para la pesca privada y comercial, la cual es importante para la comunidad alrededor de la ciénaga, donde también son cosechados mariscos y cangrejos, mientras las zonas más altas son usadas para la agricultura (Ramsar, 2017). Inmersas en esta delimitación se encuentran las áreas protegidas antes mencionadas (Parque Nacionales Naturales), por lo que es de entenderse que el sitio Ramsar presenta los mismos grados de importancia asociada a los mismos servicios ecosistémicos vistos anteriormente.

Figura 15.3. Áreas complementarias para la conservación presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



A pesar de su relevancia ecológica, al Ciénaga Grande ha sufrido durante las últimas décadas un deterioro ambiental grave debido a las actividades humanas; las principales actividades ilegales que están destruyendo el lugar incluyen: incendios forestales provocados, deforestación de grandes extensiones de terreno para ganadería y agricultura, quema y tala de mangle y la presencia de más de 27 kilómetros de diques construidos de forma ilegal. El impacto que causa este deterioro es considerado de magnitud global, ya que los manglares de la ciénaga son los encargados de capturar grandes cantidades de dióxido de carbono presente en la atmosfera, lo que hace parte de la lucha contra el cambio climático. La Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente – AIDA y sus socios buscan patrocinar para que el gobierno nacional cumpla sus obligaciones no solo nacionales si no de nivel internacional, de proteger la Ciénaga Grande de Santa Marta que representa gran importancia para gran variedad de flora y fauna, para las comunidades locales, pero sobre todo para el clima mundial (AIDA, 2017).

Expertos de la Convención Ramsar, visitaron la ciénaga después de la solicitud de un grupo de investigadores que incluía la AIDA, el Grupo de Litigio de Interés Público de la Universidad del Norte y la Clínica de Conservación Ambiental de la Universidad de Florida; a partir de esta visita se recomienda que el gobierno colombiano incluya este sitio en el Registro Montreux, un listado donde se encuentran los entornos bajo amenaza grave que requieren atención prioritaria, el cual permite que los gobiernos obtengan apoyo especial y prioritario para la preservación del humedal.

15.3.2. Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta

Las Reservas de Biosfera son zonas de ecosistemas terrestres, costeros/marinos o una combinación de todos, 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 Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta fue declarada en el año 2000, cuenta con una superficie de 493.150 ha de las cuales 255.662, 42 hacen parte de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta correspondientes al 91,8% de la totalidad (Figura 15.3); se extiende en el departamento del Magdalena en los municipios de Ciénaga, Pueblo viejo, Sitio Nuevo, Remolino, Salamina, El Piñón, Cerro de San Antonio, Pivijay, El Retén y Aracataca. Entre las actividades humanas dentro de la reserva se incluyen la pesca artesanal; la agricultura comercial de banano, palma africana, café, arroz, cacao, frutales y hortalizas y agricultura en pequeña escala, así como la ganadería, la explotación de sal y la producción de ladrillos para la construcción y la zoocría comercial de algunas especies de la fauna silvestre como la babilla, iguana y caimán del Magdalena (RedMaB, 2107).

La reserva de biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta, corresponde a la llanura deltaica derecha del río Magdalena y su plataforma continental. Está localizada en la parte norte de Colombia y es uno de los humedales costeros más grandes de Latinoamérica, incluye ecosistemas como arrecifes de coral y manglares. De la totalidad de su cobertura 130.000 ha son agua divididas en 73.000 ha de ciénagas y caños y 57.000 ha de área marina; comprende el PNN Isla de Salamanca y el Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta. Teniendo en cuenta criterios geomorfológicos, hidrológicos y de procesos actuantes, se subdivide en cinco unidades geomorfológicas: Llanura de inundación del río Magdalena (área pantanosa que circunda al complejo lagunar, son zonas planas inundables periódicamente por el río Magdalena), Sistema lagunar del delta actual (pantanos y lagunas, pantanos de manglar y canales), Sistema lagunar marginal (pantanos y lagunas, pantanos de manglar, salares y canales), Playa e Isla barrera (playas, playas barrera entre el mar y las lagunas interiores, salares o playones salinos, pantanos de manglares y dunas que presentan escarpes de erosión y manglares derribados) y Llanura aluvial del piedemonte (área plana, homogénea con ríos y diques artificiales). La Reserva de Biosfera cuenta con dos tipos de formaciones vegetales: bosque muy seco tropical y bosque seco tropical que cuenta con bosque ripario, ciénagas, pantanos, bosque seco tropical, bosque subxerofítico y manglares (RedMaB, 2107).

La áreas protegidas del Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta y el Vía Parque Isla de Salamanca, componen las Zonas Núcleo de la Reserva de Biosfera y el Sitio Ramsar del Complejo Deltaico Estuarino Ciénaga Grande de Santa Marta, estas delimitaciones conforman un conjunto representativo y funcional de humedales en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas SINANP, lo que hace necesario la articulación entre el SINAP y las categorías de conservación de distinción internacional, y hace necesario tomar como base fundamental y de referencia las características de la ecorregión y sus conectividades con la subregión Sierra Nevada de Santa Marta (PNNC, 2017).

15.3.3. Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICA) Ciénaga Grande, Isla de Salamanca y Sabana Grande

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 cuenta con 163 especies de colibríes 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), la zona AICA esta categorizada 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.

A4 Congregaciones. Un sitio puede calificar en uno o más de los siguientes cuatro criterios: **i)** Sitio reconocido o pensado para albergar de manera regular más del 1% de una población biogeográfica de una especie congregacional de ave acuática. **ii)** Sitio reconocido o pensado para albergar de manera regular más del 1% de la población global de un ave marina congregacional o una especie terrestre. **iii)** Sitio reconocido o pensado para albergar de manera regular más de 20.000 aves acuáticas o más de 10.000 pares de aves marinas de una o más especies. **iv)** Sitio reconocido o pensado para exceder los umbrales establecidos para las especies migratorias en los sitios de cuello de botella.

Para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra el área AICA Ciénaga Grande, Isla de Salamanca y Sabana Grande identificada con el código CO008, se ubica entre los departamentos del Atlántico y Magdalena y cuenta con una extensión aproximada de 400.000 ha, de las cuales 255.662,42 se encuentran dentro de la cuenca, correspondientes al 91,8% del total de esta (Figura 15.3). Está constituida por las dos áreas protegidas anteriormente nombradas, el Vía Parque Isla de Salamanca (VIPIS) y el Santuario de Flora y Fauna de la Ciénaga Grande de Santa Marta (SFF CGSM); también alberga el conjunto de caños y ciénagas del complejo lagunar del mismo nombre y los humedales de Sabanagrande ubicados en el margen occidental del río Magdalena. El área presenta zonas de categoría IBAs A1, A2, A3, A4i y A4iii (Ruíz-Guerra et al., 2012).

Según Ruíz-Guerra et al. (2012), las características climáticas de la zona representan condiciones de gran valor para la avifauna, se trata de un clima tropical árido con un periodo de seis a siete meses secos, un déficit hídrico anual promedio de 1.031 mm al año y una temperatura entre 28 y 30°C, con bajas precipitaciones; la humedad relativa media anual esta alrededor del 75% con un potencial de evapotranspiración total anual de 1.707 mm. También sobresalen el conjunto de ecosistemas que favorecen la presencia de aves locales y migratorias; por las características de suelo húmedo cenagoso y la presencia de sal en sus aguas domina el ecosistema de manglar (colorado, salado y amarillo), también sobresalen los cultivos de palma y banano y extensiones donde se realizan actividades ganaderas, en todo estos ecosistemas las aves también se distribuyen.

La avifauna de esta zona se destaca por su singularidad y la riqueza en especies terrestres y acuáticas, migratorias y residentes, varias de estas especies se encuentran en algún grado de interés de conservación dentro del ámbito nacional e internacional; se destacan especies amenazadas en Colombia como el colibrí cienaguero (*Lepidopyga lilliae*), la chavarría (*Chauna chavaria*), el flamenco (*Phoenicopterus ruber*), el chamón del Caribe (*Molothrus armenti*) y los patos brasilero y negro (*Sarkiodiornis melanotos, Netta erythrophthalma*), por otra parte esta ecorregión también alberga las mayores concentraciones de individuos del pato cariblanco y careto (*Anas bahamensis, Anas discors*) y del cormorán neotropical (*Phalacrocorax brasilianus*) (Ruíz-Guerra et al., 2012).

En general las áreas complementarias para la conservación presentes en la cuenca están catalogadas por ser de distinción internacional, lo que refleja la importancia ecosistémica sumergida en estas, sin embargo el deterioro de esta zona es causante de preocupación en los planos de investigación a nivel nacional debido a las grandes presiones y amenazas que existen sobre ella, la mayoría de estas relacionadas con acuicultura, deforestación y explotación no sustentable de los recursos naturales de la ciénaga.

15.3.4. Suelos de protección

Están definidos como cualquier zona o área de terreno localizados dentro de los suelos urbano, 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).

Los suelos de protección descritos en los planes y esquemas de ordenamiento territorial son, en su mayoría, áreas de restricción de uso asociadas al recurso hídrico y zonas de amenazas naturales, incluyendo en algunos casos áreas protegidas, las cuales normalmente son definidas desde el orden nacional, como es el caso de la Ciénaga Grande de Santa Marta. La mayor parte de los planes y esquemas incluyen franjas de protección del recurso hídrico, las cuales varían de acuerdo al orden de la corriente o determinaciones propias del municipio, estas franjas van desde los 0 hasta los 150 m, siendo en algunos casos limitadas a tramos particulares, generalmente del casco urbano.

En la Tabla 15.1 se compilan las descripciones de los suelos de protección asociados a ecosistemas estratégicos; no se incluyen suelos de protección asociados a infraestructuras como vías, cementerios, lagunas de oxidación, oleoductos o botaderos. 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 15.1. Suelos de protección municipal

Municipio	Suelo de protección
Cerro de San Antonio EOT 1999-2008	**Áreas de protección de ecosistemas estratégicos:** • Río Magdalena: una franja de suelo de hasta 100 metros a partir de la orilla actual a lo largo del territorio municipal. • Caño Cerro de San Antonio: una franja de suelo de hasta 30 metros en ambas orillas. • Ciénaga Cerro de San Antonio: una franja de suelo de hasta 30 metros desde la orilla • En los restantes cuerpos de agua interiores del municipio: una franja de suelo de hasta 30 metros a partir de la orilla actual. **Áreas naturales protegidas:** • Zona de Protección del Sistema Hídrico Municipal: Localizada a lo largo de las riberas de los cuerpos de agua municipales, teniendo en cuenta los retiros antes mencionados, abarcando una franja de hasta 100 metros. PARÁGRAFO. 1. Quedan comprendidas dentro de la jurisdicción de la Zona de Protección del Sistema Hídrico Municipal, los terrenos e islas localizadas dentro de la

Municipio	Suelo de protección
	ciénaga de Cerro de San Antonio y quedarán sometidos a la reglamentación que sobre esta zona tenga a lugar. • Zona de Reforestación de Bosques: Como áreas de reservas forestales en sus categorías de Área Forestal Protectora – Productora, el Esquema de Ordenamiento Territorial acoge las áreas señaladas en el Plano No. 38. el cual hace parte integral del presente Acuerdo. • Reservas Naturales de la Sociedad Civil. El Esquema de Ordenamiento Territorial propone declarar como áreas de reserva natural de la sociedad civil al "Acuario" y la Quebrada de Concepción.
El Piñón EOT 2000-2009	**Áreas de protección y conservación:** • Recuperación y protección de las áreas erosionadas de colinas y valles, ubicadas respectivamente en Las Pavitas y al este de Veranillo y Montería. Estas áreas tienen alta susceptibilidad a la erosión por tener pendiente que van del 12 al 25%; con una superficie de 2.800 has. • Conservación de las Áreas Arboladas de la ribera del río Magdalena, como fuente de material genético de bosque natural y una pequeña área alrededor del poblado Los Cerritos, a ambos lados de la Quebrada El Mundo, con un área total de 3.230 has. • Conservación y protección del recurso hídrico, la mayor parte ubicado en la Planicie Inundable, con el río Magdalena y el Caño Schiller; el resto está en la Planicie Aluvial compuesta por la Quebrada El Mundo y una serie de caños y arroyos. Este recurso es fundamental tanto para el consumo humano como para la implementación de actividades de agrícolas, pecuarias y pesqueras. • La protección de cauces del río, quebradas, caños, arroyos y orillares de ciénagas con el fin de mantener su cobertura vegetal.
El Retén EOT 2000-2008	**Suelos de Protección para Fuentes Hídricas:** • Fuentes Hídricas de Primer Orden: una franja de protección total de 120 metros, 60 a cada margen. • Fuentes Hídricas de Segundo Orden: en fuentes hídricas secundarias tales como la Quebrada Ají, Quebrada Chirina, Quebrada Santa Ana, Quebrada Honda, Caño Los Micos, Caño La Palma, Caño El Chuval, Caño Pueblo Viejo, Caño Pancú, Canal Los Ases, Canal Corralito, se debe dejar una franja de protección total de 100 metros, 50 en cada margen. • Fuentes Hídricas de Tercer Orden: tales como, arroyos, quebradas, caños, manantiales y riachuelos, una franja de protección de total de 80 metros, 40 a cada margen. **Conservación de humedales:** • En humedales como es el caso del complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, se debe dejar una franja de protección total de 150 metros en su radio de acción. **Suelos de Conservación Ambiental:** • Son aquellos suelos existentes en el municipio destinados para la conservación, protección y recuperación de los recursos naturales y los valores ambientales. En estos se enmarcan los ríos, quebradas, canales, que vierten a la Ciénaga Grande de Santa Marta; y la zona aledaña a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estas zonas deben tener un tratamiento especial en cuanto a la protección y delimitación, y en algunos casos, estudios que permitan ver sus posibles alternativas de desarrollo. **Suelos de Protección para zonas de Riesgos Naturales:** • Son aquellos suelos establecidos como de alto riesgo dada la vulnerabilidad y la amenaza para la población, ya que están expuestos a inundaciones, como los fenómenos más comunes. En este sentido, el EOT reglamenta que en zonas de este tipo, el municipio no establecerá redes de servicios masivos domiciliarios, ni extenderá redes para las viviendas. Se ubican en esta categoría las zonas aledañas a la Ciénaga Grande de Santa Marta, las zonas propensas a inundaciones por efectos de los desbordamientos de los ríos Fundación, Aracataca, quebrada Ají y de los canales Patía I, Patía II.

Municipio	Suelo de protección
Pivijay PBOT 2000-2009	**Protección para Fuentes Hídricas** • Para el desarrollo de actividades cercanas a fuentes hídricas de primer orden, tales como el Cario Schiller, se debe dejar una franja de protección total de 100 metros, de los cuales 30 metros pertenecen a lo establecido por el Estado a través del Código de Recursos Naturales, 30 metros dejados por el propietario del predio y una franja reglamentada por el EOT de 40 metros. • Para desarrollar algún tipo de actividad en zonas cercanas a fuentes hídricas de segundo y tercer orden tales como quebradas, arroyos, riachuelos y manantiales, se debe dejar una franja de protección de 80 metros, de los cuales 30 metros pertenecen a lo establecido por el Código de Recursos Naturales, 20 metros dejados por el propietario del predio y 30 metros reglamentados por el PBOT. **Protección para Humedales** • para desarrollar algún tipo de actividades en zonas aledañas a Humedales, tales como el complejo lagunar de la Ciénaga de Medialuna se debe dejar una franja de protección total de 130 metros en su radio de acción, de los cuales 100 metros corresponden a lo establecido por el Estado a través del Código de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) y una franja reglamentada por el P.B.O.T de 30 metros para protección hídrica municipal
Pueblo Viejo EOT 2005-2017	**Suelo de protección urbano:** • **Suelo de protección ambiental:** Correspondiente a las zonas de crecimiento de manglar en el borde de la barra bañada por la Ciénaga Grande se Santa Marta. • **Suelo de protección de playa:** Comprende la franja de 50m que bordea la costa del área urbana municipal. **Suelos de protección rural:** • Zona de vía parque Isla de Salamanca • Zona de Santuario de Flora y Fauna de la Ciénaga Grande de Santa Marta • Zona del borde de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la llanura aluvial de desborde. • Zona de ronda hidráulica (30m a ambos lados) de los ríos y cuerpos de agua. • Cuerpos de agua (Ciénaga Grande de Santa Marta, Ciénaga El Chino y Sevillano)
Salamina EOT 1999-2009	**Zona forestal protectora de aguas** • Zona de reserva y conservación ambiental de la ronda del río Magdalena: conformada por la zona de inundación periódica del lecho del río Magdalena, tiene una longitud de 19,8Km y un área de 1.485ha. • Zona forestal protectora de aguas del Caño Renegado: Ronda del caño en un ancho mínimo de 50m desde sus dos riveras u orillas, con un área de 1.310ha. • Zona forestal protectora de aguas del Martinica o Salado: Ronda del caño en un ancho mínimo de 50m desde sus dos riveras u orillas, con un área de 164ha.
Sitio Nuevo EOT 2200-2009	• La zona inundable de la planicie de desborde del Río Magdalena en el sentido norte-sur de la zona urbana. • La zona centro-occidente de la zona urbana de la cabecera municipal en donde se presentan problemas de represamiento causados por la topografía de los terrenos y por la falta de encauzamiento de las aguas pluviales.

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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se identificó la presencia de Ecosistemas estratégicos (humedales, manglares, bosques, etc.) y otras áreas de interés para la conservación.

15.4.1. Humedales

Los humedales son ecosistemas intermedio entre el medio acuático y terrestre, presenta porciones húmedas, semihúmedas y secas que se caracterizan por la singularidad de la flora y fauna presente; el Convenio de Ramsar define a los humedales como "extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas". La importancia ecológica de estos cuerpos de agua radica en los servicios y bienes ecosistémicos que prestan como, la mitigación de inundaciones, recarga de aguas subterráneas, la mejora de calidad de agua, el apoyo a la diversidad biológica, criaderos de peces, entre otros. Los principales problemas que afrontan estos ecosistemas estratégicos incluyen la desecación de los suelos por acondicionamiento a actividades agrícolas, la práctica de actividades ganaderas en la orilla de estos, el uso indiscriminado para riego, la ausencia de una franja forestal protectora, sin mencionar algunos de menor afectación (Vilardy et al., 2014).

El sistema hidrográfico de la subregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta está regido por la estructura piramidal de la Sierra Nevada de Santa Marta, que por su ubicación y al ser la montaña tropical más alta a nivel del mar, funciona como un regulador climático regional que amortigua los efectos de los vientos Alisios y genera gran variedad de tipos climáticos. En el caso específico del SFF CGSM, recibe influencia de los ríos de la vertiente occidental que deposita a la Ciénaga Grande de Santa Marta, entre estos ríos se destacan Fundación, Aracataca, Tucurinca, Sevilla, Frío, junto con el Magdalena el cual es el principal responsable de los procesos hidrodinámicos de la ecorregión, actuando de manera crucial en el equilibrio de los niveles de salinidad en el complejo lagunar (PNNC, 2017).

Existen diversos cuerpos de agua representativos de la zona entre las ciénagas se encuentran La Aguja, Tigrera, Soledad, Contrabando, Tamcá, Juncal, Mendegua, La Mata, Las Piedras, Don Miguel y San Juan, acompañadas de los caños Pancú, Mengajo, Ají, El Jobo, El Salado, Refugio, Alfandoque, Brazo Palenque, El Cojo, Condazo, Frayle, Santana, Los Palos, La Lechuga, El Ratón, Las Puercas y El Manguito.

Para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta el ecosistema de humedales ocupa un 68,6% con 191.082,28 ha dentro de la cuenca (Figura 15.4), se identificaron como áreas prioritarias la cuenca de los caños Hondo y El Loro, Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller. En comparación con la potencialidad de los biomas presentes en la cuenca, los humedales y cuerpos de agua ocupan un gran terreno dentro del área, sin embargo este ecosistema ha sido gravemente alterado disminuyendo su cobertura a partir de todas las actividades económicas que se realizan en la zona.

15.4.2. 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se determinaron 39.643,25 ha de este ecosistema correspondientes al 14,2% de la cuenca (Figura 15.4), en comparación con la potencialidad de biomas presentes en la cuenca, los bosques de este tipo a diferencia de los secos no representan un gran ocurrencia, sin embargo este ecosistema presenta un alto grado de importancia por los diversos servicios ecosistémicos anteriormente nombrados, y al igual que todo el complejo ha sido alterado por diferentes actividades antrópicas como sobrexplotación, incendios y fragmentación del ecosistema.

15.4.3. 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, para minería 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).

El bosque seco es uno de los ecosistemas más amenazados en el trópico, las características climáticas del bosque seco favorecen la explotación ganadera, además hacen fácil el manejo de las malezas y las plagas, por lo que se facilita la deforestación de este tipo de vegetación para múltiples propósitos. Por tal razón la mayoría de los bosques secos tropicales han sido talados y quemados para la explotación del suelo (Marulanda et al, 2003).

En la región sólo se conservan pequeños fragmentos de este bosque, rodeados de una matriz de potreros, rastrojos y cultivos. Por ello, en varias regiones este tipo de vegetación se encuentra catalogada como de máxima pérdida de hábitat, máxima fragmentación y alta tasa de conversión,

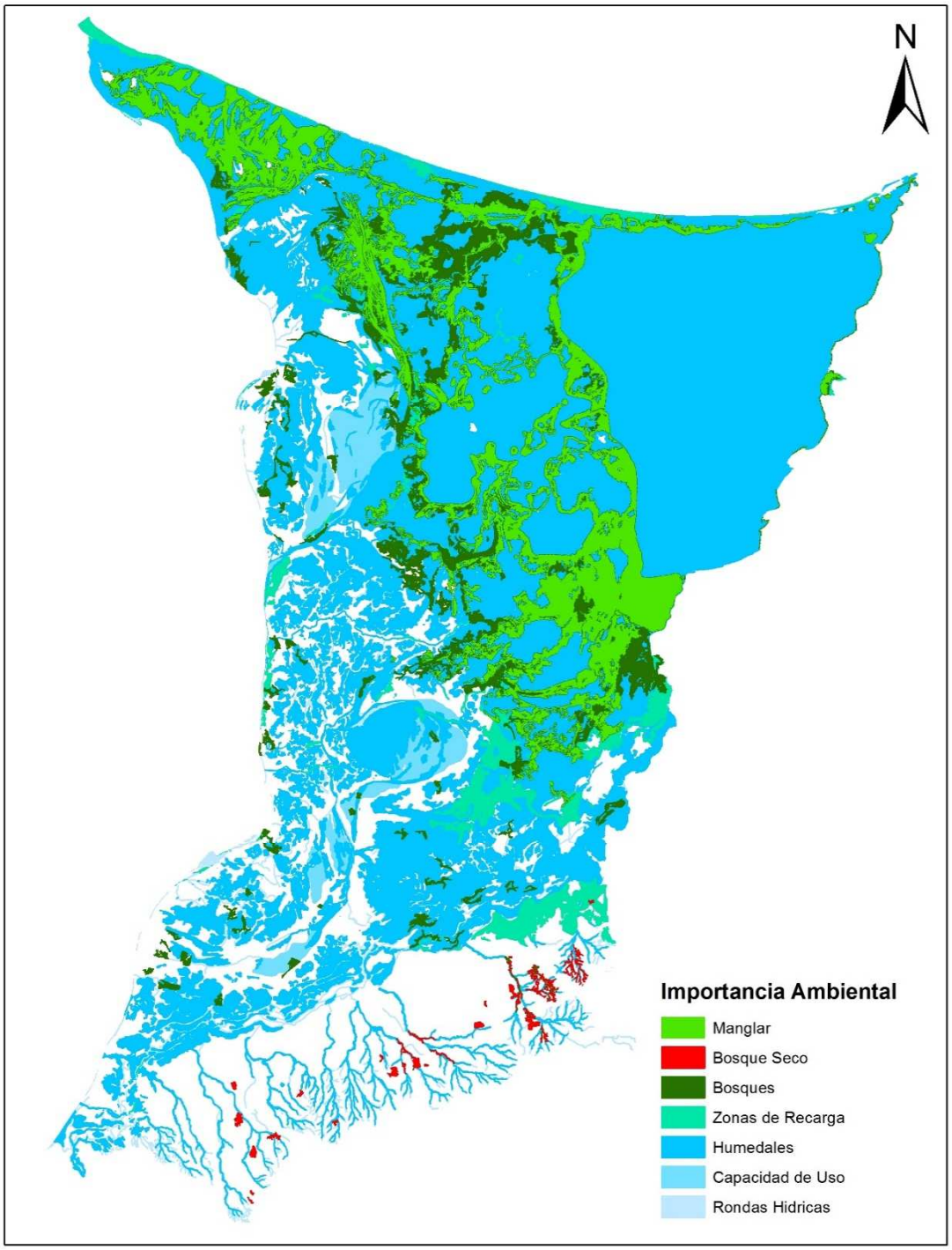
estando en pésimo estado de conservación, por lo cual se clasifica en la categoría de "estado crítico". Dentro de la cuenca desde de la delimitación que se elaboró a partir del índice de áreas prístinas cruzando el bosque denso con el seco, estos ecosistemas se encuentran de forma relictual y aislados en la zona sur de la cuenca, con un área de 578,88 ha que corresponden al 0,2% del total (Figura 15.4), por lo que se constituyen como los ecosistemas más amenazados de la cuenca, convirtiéndose por lo tanto en una prioridad en la formulación del POMCA.

15.4.4. 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 bióxido 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; son fuentes de innumerables recursos como madera para construcción y leña, hierbas medicinales, y los usan para extraer sal y taninos. (Victorino, 2012).

Figura 15.4. Áreas de importancia ambiental presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



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 a enclaves áridos y semiáridos, este tipo de vegetación se encuentra en un alto grado de degradación y en la presente cuenca este ecosistema se limita a 27.751,02 ha correspondientes al 10% del área total (Figura 15.4), en comparación con el bioma potencial de manglar, este ecosistema presenta un alto grado de degradación en la zona por las causas anteriormente nombradas.

15.4.5. 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 y 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se determinaron 6.810,75 ha correspondientes a este tipo de áreas que ocupan un 2,4% de la totalidad de la cuenca (Figura 15.4); para esta delimitación se utilizaron las capas 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.

15.4.6. 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 4,2% del total del área de la cuenca con 11.759,57 ha (Figura 15.4).

15.4.7. 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta se determinaron 11.241,70 ha correspondientes al 4% 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.

15.5. Áreas De Reglamentación Especial

Dentro de estas áreas se encuentran aquellas definidas como territorios étnicos, áreas de patrimonio cultural e interés arqueológico. En el área de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta no hay registro de este tipo de zonas.

15.6. Análisis Porcentual

La descripción porcentual de las diferentes áreas y ecosistemas estratégicos ha sido incluida dentro los diferentes numerales que constituyen el presente capítulo; sin embargo debido a la importancia a nivel mundial de la cuenca, establecida por los diferentes reconocimientos de tipo internacionales, resulta relevante incluir un análisis de superposición de las diferentes figuras de manejo. Dicho análisis se resume en la Tabla 15.2 y Tabla 15.3, en las cuales además se detalla el área y porcentaje de cada figura de manejo dentro de la cuenca.

Tabla 15.2. Área de superposición de áreas protegidas y áreas complementarias en hectáreas

Áreas especiales (ha)				Ramsar		No Ramsar		Total general
				276.014,8		2.408,6		
				AICA	No AICA	AICA	No AICA	
PNN	Ciénaga Grande de Santa Marta	23.966,6	Biosfera	23.966,6				23.966,6
			No Biosfera					
	Isla de Salamanca	28.119,8	Biosfera	27.692,5	128,3	276,6	19,3	28.116,7
			No Biosfera	1,6		1,6		3,1
	No PNN	226.337,0	Biosfera	138.529,9	64.452,2	184,1	413,0	203.579,1
			No Biosfera	12,6	21.231,2	0,9	1.513,2	22.757,9
Total general				190.203,2	85.811,6	463,2	1.945,5	278.423,4
			Total Biosfera	255.662,4				
			Total No Biosfera	22.761,0				

Tabla 15.3. Porcentaje de superposición de áreas protegidas y áreas complementarias

Áreas especiales (%)				Ramsar		No Ramsar		Total general
				99,13%		0,87%		
				AICA	No AICA	AICA	No AICA	
PNN	Ciénaga Grande de Santa Marta	8,61%	Biosfera	8,61%				8,61%
			No Biosfera	0,00%				0,00%
	Isla de Salamanca	10,10%	Biosfera	9,95%	0,05%	0,10%	0,01%	10,10%
			No Biosfera	0,0006%		0,0006%		0,0011%
	No PNN	81,29%	Biosfera	49,76%	23,15%	0,07%	0,15%	73,12%
			No Biosfera	0,0045%	7,63%	0,0003%	0,54%	8,17%
Total general				68,31%	30,82%	0,17%	0,70%	100,00%
			Total Biosfera	91,83%				
			Total No Biosfera	8,17%				

En las tablas se observa que si bien más del 99% de la cuenca se encuentra dentro de algún tipo de área especial, solo el 18,7% de la cuenca se encuentra realmente protegida mediante la figura de parques nacionales, y un porcentaje similar (18,5%) se encuentra incluido dentro de todas las figuras de manejo. Esta claridad es importante, pues a pesar que las declaratorias de reserva de biosfera,

sitio Ramsar y AICA otorgan un carácter prioritario que permite establecer algunas medidas de manejo y destinar recursos a la sostenibilidad de la cuenca; algunos de los ecosistemas estratégicos de la cuenca, en estado crítico y con una alta presión antrópica, como es el caso del bosque seco tropical, se encuentran totalmente desprotegidos, invisibilizados por otros ecosistemas como el manglar y las ciénagas, los cuales si cuentan con protección dentro de los parques nacionales. Por lo tanto la principal recomendación y conclusión del presente capítulo es que se establezcan como prioritarias las intervenciones encaminadas a la protección y restauración del bosque seco tropical, particularmente de la cuenca de Arroyo Pacheco y otros directos al Caño Schiller.

El complejo de humedales de la Ciénaga Grande de Santa Marta representa un área de gran importancia a nivel nacional e internacional, es por este motivo que ha sido altamente estudiado y analizado, determinando su alto grado de degradación. Esta área no se limita a sus funciones ecológicas, también es un invaluable prestador de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, entre estos se destaca la Retención de sedimentos tóxicos, la Estabilización de la línea costera, la Protección contra tormentas e inundaciones, la Productividad pesquera, el Hábitat para la vida silvestre y como Base natural del sustento de comunidades humanas con características culturales singulares (PNNC y MinAmbiente, 2016)

De una manera más estricta Vilardy y González (2011) a partir de un análisis en busca de la integración entre el sistema social y el natural, establecieron seis categorías de servicios de abastecimiento, tres de servicios culturales y cinco de servicios de regulación. Dentro de los de abastecimiento se encuentran Alimento, Materiales, Abastecimiento relacionado con el bosque, con las plantas y con los animales y el Soporte físico; en los servicios culturales está Didáctico, Disfrute e Identidad; por ultimo en los de regulación se encuentran los de Prevención, de Refugio, de Reproducción, como Sumidero y el relacionado a los Ciclos.

A pesar de la importancia radical de la zona existe un cumulo de causas estructurales que provocan grandes afectaciones ambientales, estas principales causas se enmarcan en un modelo de desarrollo insostenible ambientalmente, la aplicación desarticulada de políticas sectoriales sumado a la intervención institucional realizada de la misma manera, un control ambiental inefectivo y la planeación y ordenamiento territorial que no corresponde a las características ambientales limitantes del territorio. Todos estos factores asociados a numerosos factores de cambio tanto naturales (El Niño y La Niña) como antrópicos han provocado que el sistema se encuentre en un estado grave ambiental y socialmente, que se viene dando desde los años 80 hasta la actualidad. Los actos institucionales que se han llevado a cabo para intentar rehabilitar el ciclo hidrológico natural del complejo, se han enfocado de manera muy sectorial limitando su impacto, esto debido a que han dejado en un segundo plano los aspectos sociales y culturales (PNNC y MinAmbiente, 2016; Vilardy y González 2011).

Algunas de las presiones directas que sufre este complejo están asociadas a la sedimentación y contaminación que llegan a partir de toda la descarga nacional proveniente del río Magdalena, también hay grandes afectaciones por la agroindustria y la actividad pecuaria que se llevan a cabo en lugares equivocados y en general las obras civiles adyacentes a la ciénaga; estas actividades traen

efectos negativos sobre las condiciones ambientales que resultan en el deterioro de los servicios ecosistémicos, algunos de estos efectos incluyen el deterioro de la calidad del agua, el incremento en la incidencia de incendios, el aumento de la salinidad superficial e intersticial, mayor intrusión de la cuña salina, mortandad de peces y mortalidad de mangle, causando pérdida de biodiversidad. Todos estos problemas ambientales causan un trauma a nivel cultural y social, donde los problemas de mayor gravedad causados por el deterioro ambiental se relacionan con la perdida de seguridad y soberanía alimentaria, las migraciones y desplazamientos y la perdida de la valoración cultural del territorio (PNNC y MinAmbiente, 2016).

Vilardy y González (2011), explican la importancia que existe de tratar la problemática del complejo lagunar desde una perspectiva integral que acople no solo el análisis de los sistemas biofísicos si no que incluya de manera directa el sistema social a escalas multitemporales y multiespaciales, ya que a lo largo de los diferentes estudios realizados se ha vislumbrado como se condicionan mutuamente convirtiéndolo en un sistema socio-ecológico. Esta integralidad en la toma de decisiones ampliara el conocimiento de la región incorporando lo que se denomina como conocimiento ecológico tradicional que muchas veces ha sido pasado por alto.

15.7. Justificación De La Inclusión Del Sistema Delta Estuarino Río Magdalena, Ciénaga Grande De Santa Marta En El Registro Montreux

Colombia ha adquirido una serie de compromisos a partir de la declaratoria como sitio Ramsar del Sistema Delta del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta el 18 de mayo de 1998 mediante el Decreto 224 de 1998. Las condiciones y nivel de deterioro de la Ciénaga Grande hace imperativo implementar acciones eficaces que se lleven a cabo no solo por las entidades Estatales, si no por toda la comunidad y las organizaciones no gubernamentales, esto con el fin de promover un interés conservativo, en busca de solucionar o al menos aminorar las difíciles condiciones que está enfrentando la CGSM.

A partir de estos análisis se ha exhortado al Estado colombiano que de acuerdo a los lineamientos establecidos dentro del Tratado, se incluya al humedal “Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta” en el Registro de Montreaux. Este registro constituye un reconocimiento de los sitios incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional donde, han ocurrido, están ocurriendo o pueden ocurrir cambios en las características ecológicas, como consecuencia de desarrollos tecnológicos, contaminación o interferencia humana (UN et al., 2014).

Existen tres maneras para la inclusión de sitios Ramsar en el Registro Montreaux por las partes contratantes: 1). Con base a la información suministrada en los informes nacionales para las reuniones de la Conferencia; 2). Declaraciones realizadas por las partes contratantes en las reuniones de la Conferencia y 3). Como respuesta a la sugerencia de la Oficina de Convención cuando ésta ha sido alertada sobre la conveniencia de incluir en el Registro a determinado sitio.

De acuerdo con las precisiones acerca de las condiciones para ingresar en el Registro, este sitio Ramsar cumple con las condiciones necesarias para hacer parte de este listado. Las acciones que se han llevado a cabo en las últimas décadas no han sido suficientemente eficientes para realizar una

recuperación de los ecosistemas afectados, en este caso los de mayor grado de afectación son los manglares, los cambios en las características ecológicas que se dieron con la obra de la vía Barranquilla – Ciénaga represento un de los peores efectos ambientales en la historia nacional. Esta obra produjo una alteración de escala gigantesca en el intercambio de aguas dulces y marinas en donde se presenta la mayor vertiente del río Magdalena en los años 50's. Este barrera física detiene el intercambio puso en peligro inminente la comunidad de manglares presente en el ambiente estuarino propio de las lagunas costeras; el estancamiento de las aguas y la falta de intercambio de los niveles de salinidad de las aguas del ecosistema de manglares ponen en riesgo la sobrevivencia del ecosistema de manglar, el cual se establece como el principal aportante de la calidad del ecosistema. En la actualidad la expansión de estas vías, implica una mayor afectación sobre estos ecosistemas que se encuentran cada vez más deteriorados. El problema en este caso es que las obras que se harían con base a la sostenibilidad ambiental de la ciénaga implican costos superiores que el gobierno no está dispuesto a asumir.

Es el caso de la vía La Prosperidad la cual ha sido objeto de muchos análisis respecto a los efectos que causa sobre las comunidades pertenecientes al complejo de la ciénaga grande, la cual ha estado sujeta a cantidad de críticas de diferente índole, incluido el efecto ambiental que traerá su construcción; la vía que conectara a Palermo y Plato, ubicada al margen derecho del río, pareciera no haber tenido en cuenta dentro de los estudios los efectos negativos que podría causar su estructura en el momento de que se den caudales extremos, se dice que en caso de que existan eventos como el ocurrido en noviembre de 2010 la afectación para diversas poblaciones podría ser muy grande, entre estas se encuentra Ponedera, Palmar de Varela, Santo Tomás, Sabanagrande, Soledad y Barranquilla. Se asegura que la vía dique pude comportarse como una barrera artificial en la margen derecha del río, modificando los flujos de agua y el nivel del río Magdalena, inundando áreas que no presentan este tipo de situación sin la construcción de la vía.

Al tratarse de una obra de mejoramiento, el proyecto no requiere una licencia ambiental, por lo que se exigía para su construcción un mínimo de estudios de tipos hidráulicos, ambientales, sociales y económicos que aseguraran que no se cayera en efectos negativos; sin embargo estos estudios carecen de peso investigativo y algunos ambientalistas no están de acuerdo con el aseguramiento de amigable con el ambiente. Los diseños no tienen en cuenta las dinámicas de este territorio como planicie de inundación conformada por un mosaico de caños, ciénagas y pantanos, que fue el primer error en su fase de construcción inicial durante los 70's y 80´s; está perdida de conexión entre el río Magdalena y el complejo de humedales aportó a la pérdida del bosque de manglar más grande del país, considerada como tragedia ambiental, acompañada de una crisis social y económica.

La importancia de incluir a la Sistema delta estuarino río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta en el registro Montreux radica en la necesidad que presenta este complejo de ser recuperado y darle peso y uso a todas las investigaciones que se han llevado a cabo en este importante ecosistema. Según el Doctor Horst Salzwedel asegura que la ciénaga no ha mejorado en absoluto desde su primera visita en 1980 y una década después cuando sus estudios determinaron que los ganaderos, los palmeros, los agricultores y la carretera construida en la década de los 50 y que ahora quieren ensanchar habían destruido el ecosistema. Colombia tenía la obligación internacional de

proteger este ecosistema para servicio del mundo, el científico insistió en la necesidad de escuchar a los científicos que tiene más claro la condición del sistema y no sacrificarlo por los gastos que pueda representar una mejor planificación ambiental, también considera que es necesario aprender de los errores pasados y no cometerlos dos veces.

La inclusión de la Ciénaga en el Registro Montreux permitirá la obtención de recursos económicos mediante fondos otorgados por la Ramsar Wetland Conservation Fund, como también la asesoría técnica del Grupo de Examen científico y Técnico de la Convención Ramsar; lo que en este caso sería más significativo en el momento de tomar decisiones por parte de las autoridades nacionales.

15.8. 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 15.4 ilustra los valores para las posibilidades de cada uno de los índices:

Tabla 15.4. 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 15.5

Tabla 15.5. 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 40% del área Medianamente transformada y más del 24% en estado de conservación (Tabla 15.6). Para el grupo de bosques naturales se observa un 84,4% de estos ecosistemas en estado de conservación y en un 12,4% medianamente transformados; mientras que las áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva el 42,4% se encuentra medianamente transformada y un 39,1% en estado de conservación. Estos dos tipos de vegetación se encuentran en más del 80% entre medianamente transformados y conservados.

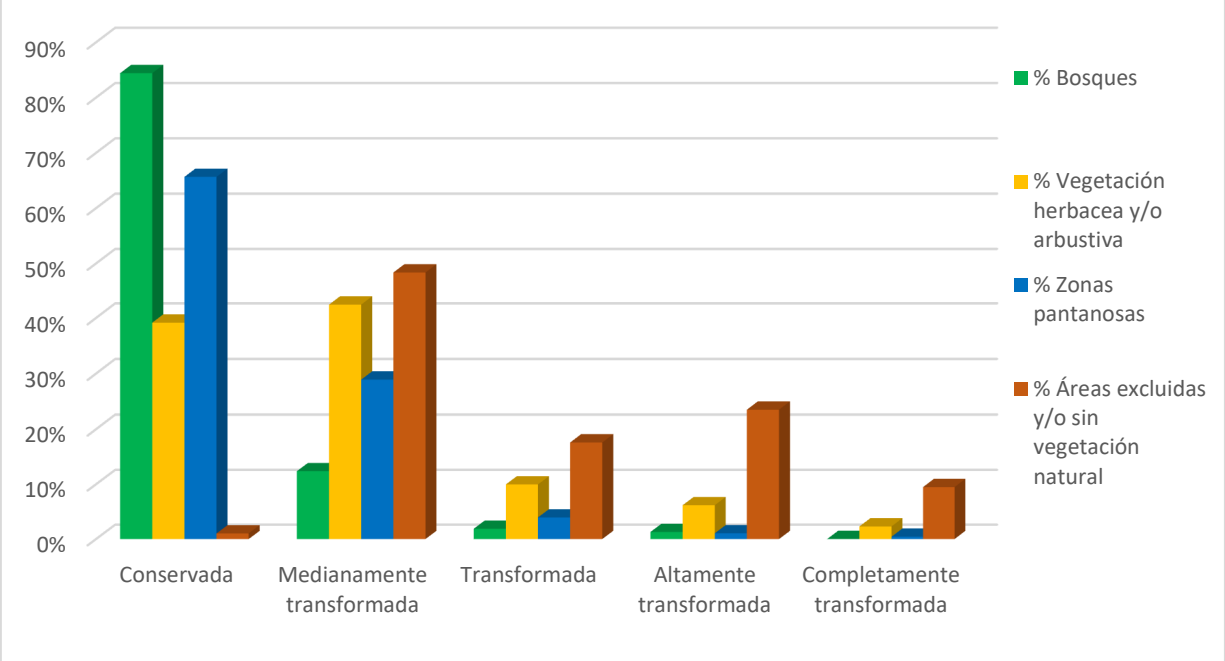
Por otro lado se encuentran las áreas pantanosas que de acuerdo al IEACN, se determinó que se encuentran en un 65,7% en estado de conservación (Figura 15.5), esto es de gran importancia ya que las zonas pantanosas están asociadas a las áreas que fueron anteriormente ocupadas por cuerpos de agua, y que 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 15.6. Análisis de resultados del IEACN en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta

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	33.429,19	84,4	19.663,42	39,1	12.979,26	65,7	1.746,65	1,0	67.818,52	24,4
Medianamente transformada	4.907,74	12,4	21.292,45	42,4	5.715,21	28,9	81.649,25	48,4	113.564,64	40,8
Transformada	742,63	1,9	5.005,45	10,0	781,02	3,9	29.727,09	17,6	36.256,20	13,0
Altamente transformada	513,06	1,3	3.101,31	6,2	208,54	1,0	39.696,79	23,5	43.519,70	15,6
Completamente transformada	8,38	0,02	1.158,56	2,1	84,44	0,4	16.012,98	9,5	17.264,36	6,2
Total general	**39.600,99**	**100,0**	**50.221,19**	**100,0**	**19.768,47**	**100,0**	**168.832,76**	**100,0**	**278.423,42**	**100,0**

Las áreas sin vegetación por otro lado según el IEACN se encuentran en mayor grado de transformación, presentando un 48,4% medianamente transformadas y el 23,5% altamente transformadas; estas zonas de alta perturbación están representadas por el bioma potencial de bosque seco.

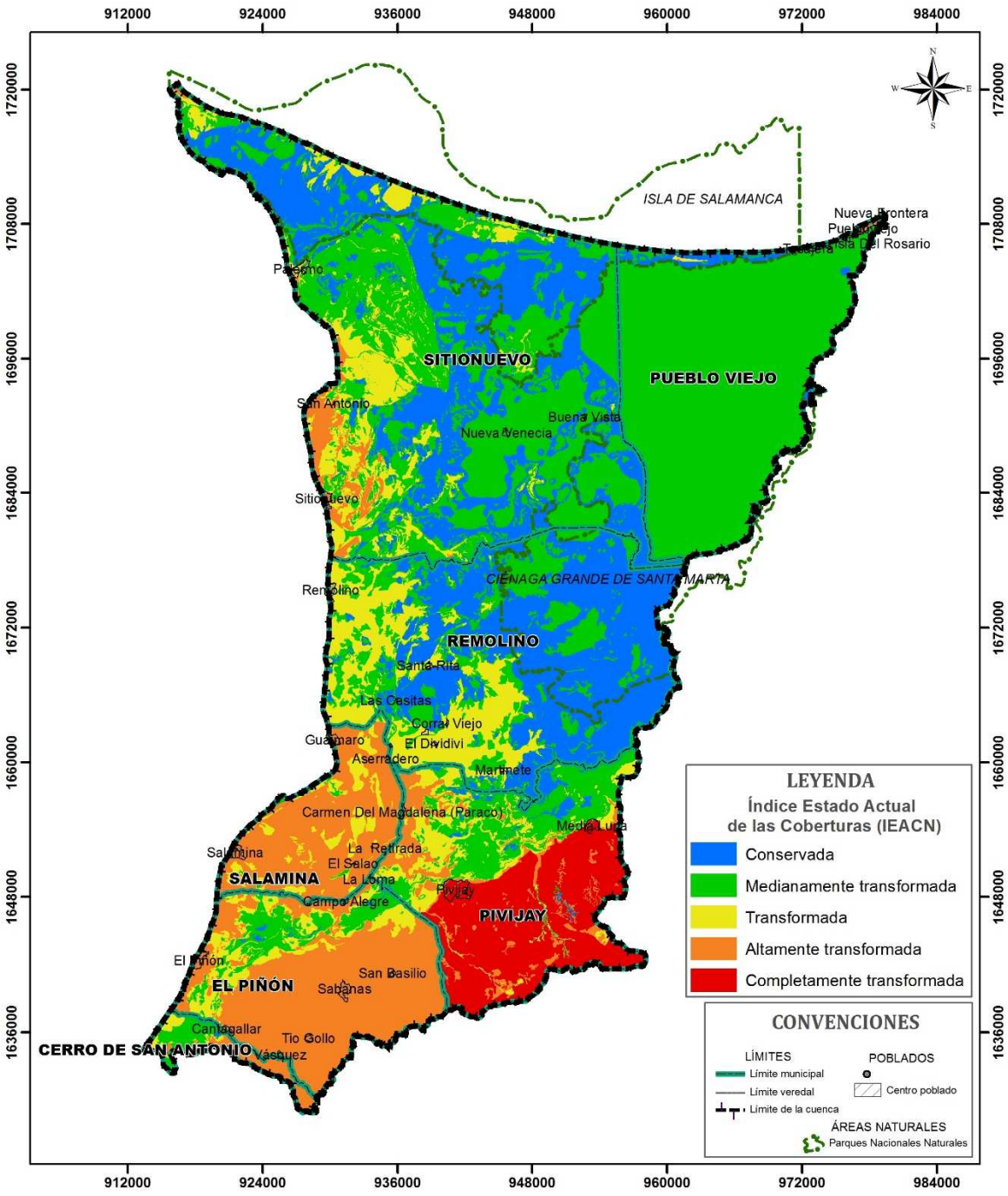
Figura 15.5. Gráfico de resultados IEACN para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



De acuerdo al IEACN en la cuenca (Figura 15.6), se refleja que las áreas con mayores grados de conservación están asociadas a los ecosistemas de manglar (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. De manera particular cabe resaltar que el manglar como ecosistema soporta en diferentes fases del ciclo de vida a numerosas especies de peces, crustáceos y moluscos (en el sistema acuático), así como a numerosos representantes de otras clases faunísticas (mamíferos, aves, reptiles y anfibios; PNNC, 2017).

Por otra parte se puede identificar que el área que representa mayor grado de transformación corresponde al bioma potencial de Bosque seco tropical (Figura 15.1), estas zonas se caracterizan por presentar suelos relativamente fértiles, lo que podría explicar que haya sido fuertemente intervenido para la realización de actividades económicas como la producción agrícola y ganadera y este considerado el ecosistema de mayor degradación del área.

Figura 15.6. Mapa IEACN para la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



15.9. Ecosistemas Marinos

La Cuenca Hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta presenta desembocadura directamente al mar, esta zona costero marina, hace parte de la Unidad Ambiental Costera del río Magdalena, complejo Canal del Dique – Sistema lagunar de La Ciénaga Grande de Santa Marta, que va desde la boca del río Córdoba hasta el delta del Canal del Dique (inclusive) en el departamento de Bolívar, incluyendo el archipiélago de Islas del Rosario (INVEMAR, 2016).

Sin embargo el Vía Parque Isla de Salamanca no reporta presencia de ecosistemas marinos; en su Plan de manejo (2005 – 2009) se hace mención de sistemas como playones y fondos sedimentarios, pero se considera que no hay conocimiento de los biomas marinos presentes por la falta de estudios y tampoco se involucra la formación coralina del Banco de las Animas (PNNC, 2017; PNNC, 2004). En 1995 en el Proyecto de Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta PRO-CIÉNAGA, se hace mención de la existencia de un núcleo rocoso en el extremo occidental de la plataforma sedimentaria marina de la ecorregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta, que se presumía de origen coralino; sin embargo, no existió ningún estudio ni referencia de ningún tipo que identificara este tipo de ecosistema que muy probablemente determinaba la presencia de corales en la zona específica (CORPAMAG, 1995).

A continuación se hace una descripción de los ecosistemas marinos que se presumen presentes en el área de influencia de la presente cuenca, que no fueron evaluados en el proceso de diagnóstico por estar fuera del área delimitada para la cuenca y debido a que presentan su propio instrumento de manejo:

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: 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).

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).

Los sistemas costeros en general sufren de los mismos tensores y presiones que se ejercen sobre todo el litoral a nivel nacional; los fondos blandos 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).

De igual manera sucede con las playas a nivel nacional, el estado de estas no se ha estudiado profundamente pero sus principales problemas están relacionados con contaminación por desechos orgánicos e inorgánicos, blindaje de la playa, compactación y extracción de la arena y erosión costera; en algunos casos la iluminación artificial y la actividad portuaria han tenido graves efectos sobre este ecosistema. Para el caso de la VIPIS se dice que las mayores afectaciones están relacionadas con la contaminación por desechos orgánicos y la erosión (Ceballos, 2002).

15.10. Consideraciones Finales

El Sistema Nacional de Áreas protegidas destaca la importancia de los parques presentes en la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, ya que es considerada el complejo lagunar más grande del país y los servicios ecosistémicos asociados a esta representan grandes beneficios no solo a nivel nacional sino internacionalmente reconocidos. Entre estos servicios cabe destacar el mantenimiento de la diversidad biológica que ha sido demostrado con base a exhaustivos estudios.

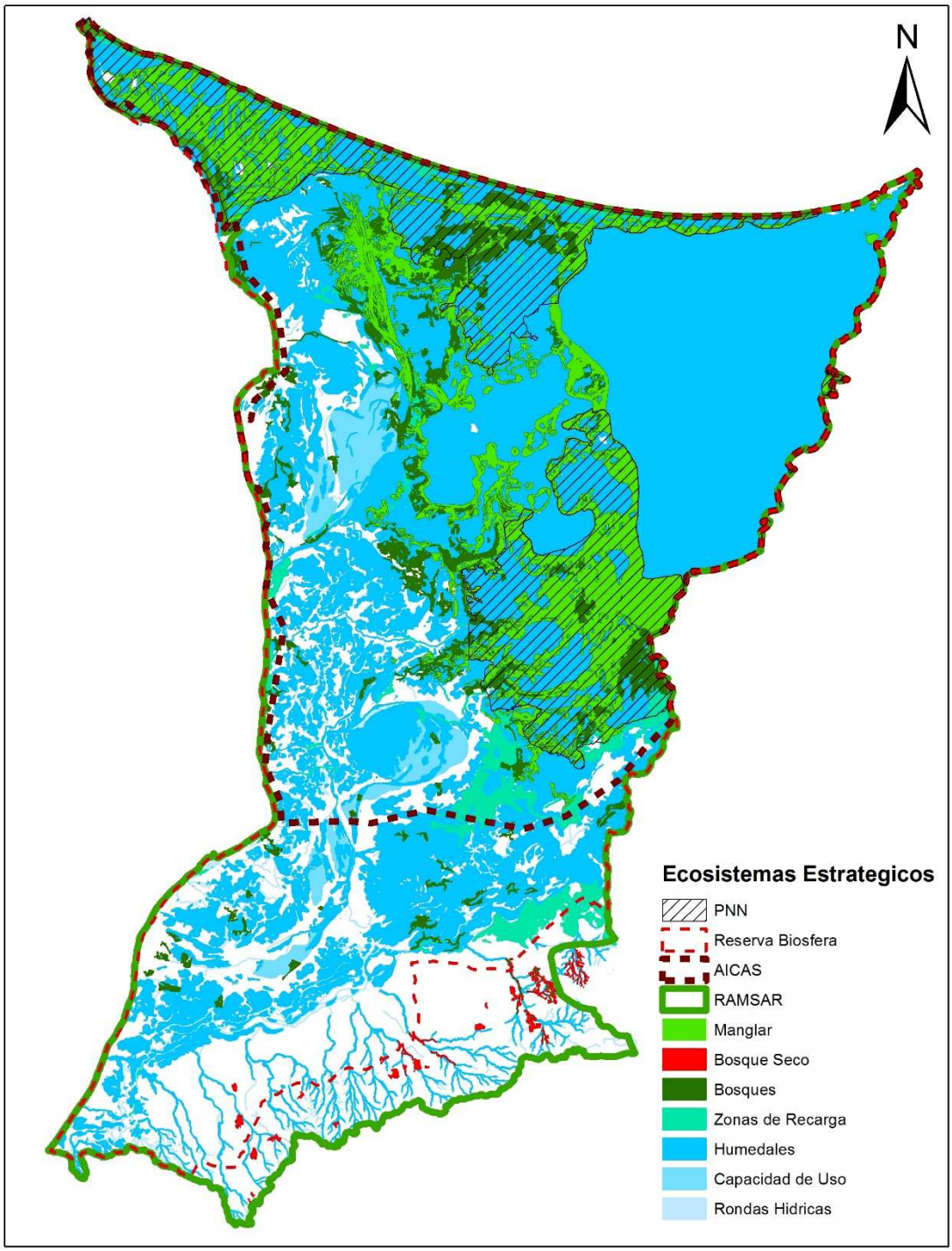
El deterioro de los ecosistemas de la cuenca puede estar determinado por la falta de injerencia en el cumplimiento de las normas establecidas para las áreas complementarias para la conservación, esta clasificación incluye áreas que abarcan casi la totalidad de la cuenca debido a su importancia ecológica, 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. La integralidad de los sistemas de conservación nacional e internacional contribuiría al buen manejo de las áreas de distinción e importancia internacional.

La determinación de los ecosistemas estratégicos presentes en la cuenca (Figura 15.7), permiten observar que el caso especial de los bosques secos tropicales se encuentran en estado gravemente degradado, lo que se explicaría con su situación desprotegida fuera de las áreas de parques nacionales, en comparación con otros ecosistemas como el manglar y la ciénaga que en teoría están sujetos a la protección de esta normativa, por lo tanto se considera como de orden primordial buscar

mecanismos de protección dirigidos hacia los importantes servicios ambientales prestados por el bosque seco tropical.

Por otra parte la influencia que tiene el manejo y ordenación de la cuenca del complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta, 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 complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta



BIBLIOGRAFIA.

Alcaldía Municipal de Pivijay. (2000). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pivijay.* Pivijay: Alcaldía Municipal de Pivijay.

Alcaldía Municipal de Remolino. (2012 - 2015). *Plan de Desarrollo Municipal.* Remolino, Magdalena: Alcaldía Municipal de Remolino.

COPETE RÍOS, J. A., & OBREGÓN NEIRA, N. (2009). *CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMICALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN RADAR METEOROLÓGICO CONCEBIDO PARA EL ESTUDIO DEL DRENAJE URBANO.* Bogot{a: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P,. (2013). *Plan de manejo ambiental para el humedal Ciénaga Buenavista.* Departamento del Magdalena: Universidad de Cartagena.

CORPAMAG, Aguas del Magdalena S.A. E.S.P. (2013). *Plan de manejo ambiental para el humedal Caño Schiller.* Departamento del Magdalena: Universidad de Cartagena.

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.*

Hamed, K. H. (2009). Enhancing the effectiveness of prewhitening in trend analysis of hydrologic data. *Journal of Hydrology, 368*, 143-155.

MinAmbiente, Corpamag, & Invemar. (2001). *Plan de Manejo para el Sitio Ramsar y Reserva de la Biosfera, Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena, Ciénaga Grande De Santa Marta.* Bogotá.

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. (2014). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico.* Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEREOLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM.

Montealegre, J. E. (2014). *Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico.* Bogotá: 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.

Múnera, J. C. (2003). *Dinámica Hidrológica de la Ciénaga Grande de Santa Marta.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

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

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes, 16*, 1807-1829.

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 hydologic frecuency 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

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.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

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.

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.

Cañada, R. (2008). Sistemas y análisis de la información geográfica. Alfaomega.
COPETE RÍOS, J. A., & OBREGÓN NEIRA, N. (2009). CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMICALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN RADAR METEOROLÓGICO CONCEBIDO PARA EL ESTUDIO DEL DRENAJE URBANO. Bogot{a: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

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.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

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. (2014). Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEREOLOGIA 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.

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

Pulido, A. (1979). Contribución al conocimiento de la hidrología del prebetico nororiental (Provincias de Valencia y Alicante). Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

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

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.

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.

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

Barrera R. Geología de las Planchas 16-17 Galerazamba y Barranquilla. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.

Barrera R., Reyes G., Guzmán G., Et al. Geología de la Plancha 31 Campo de La Cruz. Ingeominas, Bogotá, 2001.

Hernández M. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga. Ingeominas, Bogotá, 2003.

Hernández M., Maldonado I., Gonzales J. Et al. Geología de las Planchas 25- Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.

Reyes G., Zapata G. Geología de la Plancha 24-Sabanalarga. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá, 2001.

Simon A. 1981. Bases para el plan regional de ecodesarrollo del complejo estuárico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INDERENA-PNUMA-UNEP.

http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegeologia/article/viewFile/910/1267

http://thepanamaobserver.com/ciudad/terremoto-fallas-sismicas/

http://www2.sgc.gov.co/Geologia/Mapa-geologico-de-Colombia/Archivos/00_Gomez-et-al-2015_Compilando-la-geologia-de-Colo.asp

Bernal, G., & Betancur, J. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 25(1), 49-76.

Danies, M. (2011). Colombia. Ciénaga Grande de Santa Marta. Santa Marta: CORPAMAG.

DigitalGlobe. (8 de Enero de 2012). Imagen satelital. ESRI.

DigitalGlobe. (4 de Abril de 2016). Imagen satelital. ESRI.

GeoEye. (18 de Agosto de 2002). Imagen satelital. ESRI.

IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

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.

Ministerio del Medio Ambiente. (1998). Decreto 224 "Por el cual se designa un humedal para ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997". Bogotá.

Molina, R. (s.f.). Centro de Geociencias. Recuperado de Universidad Nacional Autónoma de México: http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/geologia%20fisica/documents/rios1.pdf

Múnera, J., Vélez, J. P., Cardona, Y., & Montoya, J. (2003). Taller de ciencias del mar "dinámica hidrologica de la cienaga grande de santa marta mediante técnicas de sensores remotos". Medellín.

UAESPNN. (2004). Plan de Manejo Vía Parque Isla de Salamanca. Barranquilla: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

UAESPNN. (2011). Plan de manejo Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

Alfonso, L. (14 de Noviembre de 2014). HidroCHEP. Recuperado 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: Limusa.

Bernal, G., y Betancur, J. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 25(1), 49-76.

Breña, A., y Jacobo, M. (2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Busnelli, J., y Horta, L. (2014). Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucuman. Asociación Geológica Argentina, 11-20.

Campos, A. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.

Chow Ven, T. C., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

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

FAO (1996). Planificación y ordenación de cuencas hidrográficas con ayuda de computadora. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fuentes, J. D. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional de Tancítaro. México: Instituto Nacional de Ecología.

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

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.

IDEAM. (2013). Lineamientos y aspectos metodológicos para la Evaluación Regional del Agua ERA. Bogotá, Colombia: 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.

Múnera, J., Vélez, J. P., Cardona, Y., y Montoya, J. (2003). Taller de ciencias del mar "dinámica hidrologica de la cienaga grande de santa marta mediante técnicas de sensores remotos". ResearchGate.

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.). Geomorfología de cuencas. Universidad de Los Andes Venezuela. Recuperado de RedULA: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf

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.

Aparicio, F. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Méxido D.F: LIMUSA S.A.

Bernal, G. (1996). Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del Río Magdalena con énfasis en el sistema Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 19-48.

Bernal, G., & Betancur, J. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 25(1), 49-76.

Campos, H. (1990). LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. Caldasia, 16(77), 231-244.

Chow Ven, T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

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, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

INVEMAR. (2004). Los manglares de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente y futuro. Santa Marta: Instituto de lnvestigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" INVEMAR.

INVEMAR; CORPAMAG; MinAmbiente. (2008). MONITOREO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y LOS CAMBIOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE LAS COMUNIDADES VEGETALES Y DE LOS RECURSOS PESQUEROS DURANTE LA REHABILITACIÓN DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA. Santa Marta.

INVEMAR; CORPAMAG; MinAmbiente. (2014). Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta: INFORME TÉCNICO. Santa Marta: INVEMAR.

MinAmbiente, CORPAMAG, & INVEMAR. (2004). PLAN DE MANEJO PARA EL SITIO RAMSAR Y RESERVA DE LA BIOSFERA, SISTEMA DELTA ESTUARINO DEL RIO MAGDALENA, CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA. Santa Marta: Unión Gráfica LTDA.

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 (Vol. II). Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial .

Rivera-Monroy, V., Twilley, R., Mancera, E., Alcantara-Eguren, A., Castañeda-Moya, E., Casas, O., . . . Viloría, E. (2006). AVENTURAS Y DESVENTURAS EN MACONDO: REHABILITACIÓN DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA. ECOTROPICOS, 19(2), 72-93.

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.

Serrano, L., Botero, L., Cardona, P., & Mancera-Pineda, J. (1995). Estructura delmanglar en el delta del Río Magdalena-Ciénaga Grande de Santa Marta, una zona tensionada por alteraciones del equilibrio hídrico. Instituto colombo-alemán de investigaciones científicas Punta de Betín, 135-164.

Torres, L., Schlüter, A., & López, M. (2016). Collective action in a tropical estuarine lagoon: adapting Ostrom's SES framework to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. International Journal of the Commons, 10(1), 334-362.

Vilardy, S., González, J., Martín, B., Renán, W., Oteros, E., Silva, F., . . . Cuadrado, B. (2011). Repensando la Ciénaga: Nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad de la Ciánaga Grande de Santa Marta. (S. Vilardy, & J. González, Edits.) Santa Marta, Colombia: Universidad del Magdalena y Universidad Autónoma de Madrid.

Vilardy, S., González, J., Martín-López, B., Oteros-Rosas, E., & Montes, C. (2012). Los servicios de los ecosistemas de la Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 19, 66-83.

Wiedemann, H. (Octubre de 1973). Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: Physical Parameters and Geological History. Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín, 7, 85-119.

Barbosa, S. (2013). Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas). Tesis (Magister en Ingeniería). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, 151p.

Bedoya, G., Gamboa, M., Torres, A., Mazo, I., Suárez, E. (2015). Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 25 - Fundación. INGEOMINAS: Bogotá.

Bernal, G. (1996). Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del Rio Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. En: Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, vol. 25 N° 1 Santa Marta, Enero/Diciembre de 1996.

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. INGEOMINAS: Bogotá.

CORMAGDALENA (2007). Atlas cuenca del Río Grande de La Magdalena. CORMAGDALENA: Barranquilla, 283 p.

Hernández, M.; Maldonado, I.; González, J.; Clavijo, J. y Reyes, G. (2003). Geología de las planchas 25 Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil, escala 1:100.000, memoria explicativa. INGEOMINAS: Bogotá D.C.

Hernández, M. (1996). Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, escala 1:100.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS: Bogotá, 93 p.

IDEAM (2010). Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. IDEAM: Bogotá D.C.

IDEAM (2001). Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del Río Magdalena. IDEAM: Bogotá D.C., 68 p

Molina, L.; Pérez, F.; Martínez, J.; Franco, J.; Marín, L.; González, J. y Carvajal, H. (1996). Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe colombiano. INGEOMINAS: Cartagena, 109 p.

Posada, P; Blanca, O. y Henao, W. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del caribe colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales N° 13, Santa Marta, 124 p.

Reyes, H.; Montenegro, B. y Gómez, P. (2004). Tectonoestratigrafía y Evolución geológica del Valle Inferior del Magdalena. Boletín de geología, Vol. 26, N° 42, Ene-jun de 2004, págs.: 19-38. Revistas-UIS.

Serrano, L.; Botero, L.; Cardona, P. y Mancera J. (1995). Estructura del manglar en el delta exterior del río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta, una zona tensionada por alteraciones del equilibrio hídrico. En: Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, vol. 24 N° 1 Santa Marta Enero /Diciembre 1995.

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 Land Cover 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 Land Cover 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.*

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 Land Cover 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 Land Cover 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.*

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: Ciénaga Grande, Isla de Salamanca and Sabana Grande RAMSAR biosphere reserve. Recuperado de http://www.birdlife.org. 20/12/2016.

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, I.; 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

Ramsar. Sistema de Información sobre Sitios Ramsar. Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta. Recuperado de https://rsis.ramsar.org/es/ris/951.

Red de Comités MaB y Reservas de Biosfera de Iberoamérica y El Caribe. Ficha de reserva Ciénaga Grande de Santa Marta. Recuperado de http://proyectos.inecol.edu.mx. 20/12/2016.

Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Parques Nacionales. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/. 20/12/2016.

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.

AIDA – Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente. (2017). Informes Anuales. Conservando la Ciénaga Grande de Santa Marta. Ramsar pide a Colombia incluir a la Ciénaga Grande en la lista de humedales con daños graves. En línea: http://www.aida-americas.org/es/

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/

Ceballos, C. (2002). Distribución de playas de anidación y sus riesgos para la conservación de las tortugas marinas en el caribe colombiano.

CORPAMAG – Corporación Autónoma Regional del Magdalena. (1995). Proyecto de Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta PRO-CIÉNAGA. Cooperación República de Colombia – República Federal de Alemania. Plan de Manejo Ambiental de la Subregión Ciénaga Grande de Santa Marta 1995 – 1998. Santa Marta.

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.

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.

Márquez, G. (2003). Ecosistemas Estratégicos de Colombia. 65 p.

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.

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. (2004). Plan de Manejo 2005 – 2009 Vía Parque Isla de Salamanca. Dirección Territorial Costa Atlántica. Barranquilla Atlántico. 135 p.

PNNC-Parques Nacionales Naturales de Colombia & MinAmbiente. (2016). Estado del Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta. En línea: http://www.cco.gov.co/docs/eventos/2016-08-19/p03-2016-08-19.pdf

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.

Ramsar. (2017). Sistema de Información sobre Sitios Ramsar. Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta. En línea: https://rsis.ramsar.org/es/ris/951.

RedMaB-Red de Comités MaB y Reservas de Biosfera de Iberoamérica y El Caribe (2017). Ficha de reserva Ciénaga Grande de Santa Marta. En línea: http://proyectos.inecol.edu.mx.

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.

Ruiz-Guerra, C., Eusse-González, D., Johnston-González, R., Castillo, L. F., Angulo C. & González, A. F. (2012). Distribución de aves acuáticas de la Ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta, Costa Caribe colombiana. CALIDRIS, Asociación para el Estudio y la Conservación de las Aves Acuáticas en Colombia y la Dirección Territorial Caribe de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Santiago de Cali, Colombia, 24 p.

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.

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

UN – Universidad del Norte, AIDA - Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente & UF – University of Florida. (2014). Informe Técnico sobre el sitio Ramsar Número 951, "Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta". Magdalena, Colombia. 37 p.

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.

Vilardy, S. & González, J. A. (Eds). (2011). Repensando la Ciénaga: Nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Universidad del Magdalena y Universidad Autónoma de Madrid. Santa Marta, Colombia. 228 p.

Vilardy, S., Jaramillo, Ú., Flórez, C., Cortés-Duque, J., Estupiñán, L., Rodríguez, J., Acevedo, O., Samacá, W., Santos, A., Peláez, S. & Aponte, C. (2014). Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 100 p.

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_Datos_Clima
ANEXO 2	Bases_ Datos_tratados
ANEXO 3	ONI_PP
ANEXO 4	IDF Ecopetrol
ANEXO 5	ONI_T
ANEXO 6	Gráficas ONI
ANEXO 7	PP_DistMaximas
ANEXO 8	Coeficientes_ IDFSubc
ANEXO 9	Balance hidro_Subcuenca
ANEXO 10	Salidas_Isoyetas
ANEXO 11	Salidas_Temp

Capítulo 3. Geología

ANEXO 1	Tabla Estaciones Geología
ANEXO 2	Fotos Estaciones de Campo
ANEXO 3	Mapas y Salidas

Capítulo 4. Hidrogeología

ANEXO 1	Mapa de hidrogeología con fines de ordenación.
ANEXO 2	Tabla puntos hidrogeológicos.
ANEXO 3	Mapa de perímetros de protección
ANEXO 4	Mapa de zonas de importancia Hidrogeológica

Capítulo.5. Hidrografía

ANEXO 1	Mapa Hidrográfico (CN_MP_DG_021_1) (CN_MP_DG_021_2)

Capítulo 6. Morfometría

ANEXO 1	Parámetros generales
ANEXO 2	Tiempos de concentración

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	CDC
ANEXO 8.3	Histogramas
ANEXO 8.4	Evap
ANEXO 8.5	Caudales Caracteristicos
ANEXO 8.6	Demandas hídricas
ANEXO 8.7	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 2	Resultados de análisis de laboratorio
ANEXO 3	Calculos
ANEXO 4	Mapa ICA
ANEXO 5	Mapa IACAL

Capítulo 10 Geomorfología

ANEXO 1	Formatos de campo
ANEXO 2	Fotos de campo
ANEXO 3	GPS
ANEXO 4	Mapas
ANEXO 5	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 SF-01
ANEXO 7	Resultados laboratorio de suelos SQ-01
ANEXO 8	Mapa Geomorfopedológico
ANEXO 9	Mapa Geomorfopedológico
ANEXO 10	Mapa Geomorfopedológico

ANEXO 11	Mapa Usos Principales Propuestos (1)
ANEXO 12	Mapa Usos Principales Propuestos
ANEXO 13	Mapa Usos Principales Propuestos

Capítulo 12. Cobertura y uso de las tierras (

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