



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO MANZANARES

2020

EQUIPO DE TRABAJO

CORPAMAG

Carlos Francisco Díaz Granados Martínez
Director

Paul Laguna Panetta
Secretario General

Karen Forero Bula
Subdirectora Técnica

Alfredo Martínez Gutiérrez
Subdirector Ambiental

Mario Ariza Monsalve
Subdirector de Educación Ambiental

Roxana Lastra Castañeda
Jefe Oficina de Planeación

Semiramis Sosa Tapias
Jefe oficina Jurídica

Luis Sepúlveda
Profesional Planeación

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Pablo Vera Salazar
Rector

Edwin Chacón Velásquez
Vicerrector de Extensión y Proyección Social

Yeison Gutiérrez Rojas, Jean Rogelio Cueto & Ramón Granados Peña
Autores

Carlos Fonseca Gamba
Apoyo Oferta Hídrica

Cesar Tamaris Turizo
Apoyo Biodiversidad Acuática

INVEMAR
Apoyo Calidad del Agua

Aqua Terra Engineers SAS
Apoyo Modelación de Calidad del Agua

Arturo Roza Celemin
Apoyo Ing. Ambiental y Sanitaria

Brayan C. Vargas Acosta
Esp. Implementación de SIG

CONTENIDO DEL DOCUMENTO

INTRODUCCIÓN	1
ASPECTOS GENERALES	3
JUSTIFICACIÓN DEL PORH.....	4
MARCO NORMATIVO DEL PORH	5
OBJETIVO GENERAL DEL PORH	8
MARCO METODOLÓGICO DEL PORH	9
FASE DE ACCIONES PREVIAS.....	10
LOCALIZACIÓN DEL CUERPO DE AGUA	11
ALISTAMIENTO INSTITUCIONAL	13
FASE 1. DECLARATORIA DE ORDENAMIENTO DEL CUERPO DE AGUA	31
DECLARATORIA DEL CUERPO DE AGUA	32
FASE 2. DIAGNÓSTICO.....	34
CARACTERIZACIÓN INICIAL	35
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN	36
DEFINICIÓN DE TRAMOS Y SECTORES.....	41
DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	43
TRABAJO DE CAMPO.....	47
CENSO DE USUARIOS Y CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN	48
DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE MONITOREO.....	54
CONSTRUCCIÓN DE LÍNEA BASE	65
CONSOLIDACIÓN DE USOS EXISTENTES DEL RECURSO HÍDRICO	66
ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL Y OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE E INDICADORES DE ESTADO.....	68
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO E INTERACCIONES CON AGUAS SUPERFICIALES	100
ELABORACIÓN DE PERFILES DE CALIDAD ACTUAL DE CADA CUERPO DE AGUA.....	106

ESTIMACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA E HIDROBIOLÓGICA	117
CLASIFICACIÓN DE LOS USOS ACTUALES	164
DEMANDA HIDRICA	165
ESTIMACIÓN DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL.....	171
ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS AL ESTADO Y PRESIÓN ACTUAL SOBRE EL RH	175
ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS DERIVADOS DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO	179
FASE 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS PONTENCIALES	190
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA	191
MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SIMULACIÓN DE ESCENARIOS	212
CLASIFICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE USOS POTENCIALES.....	241
ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	245
FASE 4 ELABORACIÓN DEL PORH	251
DEFINICIÓN O AJUSTE DE OBJETIVOS Y CRITERIOS DE CALIDAD POR USO .	252
DETERMINACIÓN DE PROHIBICIONES Y CONDICIONAMIENTOS	257
DEFINICIÓN O AJUSTE DE METAS QUINQUENALES DE REDUCCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES.....	262
ARTICULACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PORH CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS – POMCA	262
ARTICULACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PORH CON OTROS INSTRUMENTOS	265
ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO	266
ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS Y ACTIVIDADES	275
BIBLIOGRAFÍA	278
ANEXOS	283

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico para la formulación del PORH en Colombia, Fuente Guía para el ordenamiento del recurso hídrico continental superficial, 2018. Adaptado para este estudio....	9
Figura 2. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Manzanares en el departamento del Magdalena y su codificación hidrográfica según IDEAM establecida en el POMCA.	11
Figura 3. Red de drenaje del río Manzanares 1:25000.	12
Figura 4. Concesiones registradas en el sistema de información del recurso hídrico (SIRH) del IDEAM por parte de CORPAMAG.	14
Figura 5. Número de estudios realizados por componente en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.	22
Figura 6. Caracterización de actores realizado por el POMCA de la subzona hidrográfica 1501.	37
Figura 7. Punto de referencia A con referencia al perfil de elevaciones del Río Manzanares.	42
Figura 8. Ubicación del punto de referencia A en la cuenca del Río Manzanares.	42
Figura 9. Marco conceptual del modelo, Fuente (MADS, 2018).	44
Figura 10. Censo de usuarios del recurso hídrico del Río Manzanares.	48
Figura 11. Distribución de usuarios del recurso hídrico del Río Manzanares.	54
Figura 12. Red de monitoreo de Calidad del Agua en el Río Manzanares.	57
Figura 13. Proceso de recolecta del material biológico del sustrato.	62
Figura 14. Parcelas agrícolas ubicadas en la ronda hídrica del río Manzanares, sector Paso el Mango.	66
Figura 15. Ecohostales presentes en la ronda hídrica del río Manzanares, sector Paso el Mango.	67
Figura 16. Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones. Fuente IDEAM.	70
Figura 17. Localización de las estaciones utilizadas para el estudio.	71
Figura 18. Diagramas de cajas para cada una de las estaciones de precipitación.	73
Figura 19. Serie de caudales diarios estación Bocatoma Santa Marta y serie de precipitación mensual estación Minca (Arriba). Series mensuales de precipitación Apto Simón Bolívar y Parque Tayrona (Abajo).	74
Figura 20. Serie de caudal medio anual Bocatoma Santa Marta y serie de precipitación media anual Minca (Arriba). Series de precipitación media anual Apto Simón Bolívar y Parque Tayrona (Abajo).	75
Figura 21. Valores históricos del ONI en la región Niño 3.4.	76
Figura 22. Ciclo anual de caudal y variabilidad climática estación Bocatoma Santa Marta (arriba), ciclo anual de precipitación y variabilidad climática estación Minca (abajo).	77
Figura 23. Curvas de masa simple estación Bocatoma Santa Marta y Minca.	78
Figura 24. Cambio en la media de los datos estación Bocatoma Santa Marta y Minca.	79
Figura 25. Relación entre la precipitación media anual y la altitud de las estaciones.	80
Figura 26. Esquema del efecto orográfico en la precipitación.	81

Figura 27. Vista Isométrica de la localización de las estaciones y la cuenca del río Manzanares.	81
Figura 28. Relación logarítmica entre la precipitación media y la altitud para las tres estaciones seleccionadas.	82
Figura 29. Curva hipsométrica de la cuenca del río Manzanares y obtención de la altitud media.	82
Figura 30. Diagrama del modelo lluvia-escorrentía GR4J. Tomado de (Perrin et al., 2003).	85
Figura 31. Serie histórica de caudales simulados a nivel diario para el río Manzanares.	93
Figura 32. Curva de duración de caudales a nivel diario para el río Manzanares.	94
Figura 33. Ejemplo de volúmenes requeridos para obtención del IRH	95
Figura 34. Cálculo de IRH y caudal ecológico para el río Manzanares.	97
Figura 35. Unidades hidrogeológicas en la cuenca del Río Manzanares.	101
Figura 36. Zonas de Recarga en la cuenca del Río Manzanares.	105
Figura 37. Imágenes de la resolución 1965 del 2018 de CORPAMAG, por el cual se definen los objetivos de calidad de 12 corrientes en el departamento del Magdalena.	106
Figura 38. Perfil de temperaturas entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	107
Figura 39. Perfil del oxígeno disuelto entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	107
Figura 40. Perfil de conductividad entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	108
Figura 41. Perfil de pH entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	109
Figura 42. Perfil de alcalinidad entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	109
Figura 43. Perfil de carbono orgánico entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	110
Figura 44. Perfil de sólidos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	111
Figura 45. Perfil de turbidez entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	111
Figura 46. Perfil de amoníaco entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	112
Figura 47. Perfil de nitratos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	112
Figura 48. Perfil de nitritos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	113
Figura 49. Perfil del fósforo total entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	114
Figura 50. Perfil del cloruro entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	114
Figura 51. Perfil de hidrocarburos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	115
Figura 52. Perfil del hierro entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	115
Figura 53. Perfil de calcio entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	116
Figura 54. Perfil de magnesio entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.	116
Figura 55. Colecta de muestras de macroinvertebrados acuáticos en los sitios seleccionados.	121
Figura 56. Abundancia de las familias registradas en los tres sitios evaluados en el río Manzanares.	122
Figura 57. Análisis de Clasificación Cluster, basado en la abundancia de los taxones por sitio.	122
Figura 58. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en Bonda.	124
Figura 59. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en la Quebrada San Pedro.	125
Figura 60. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en P El Mayor.	126

Figura 61. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las abundancias de los organismos en las estaciones y algunas variables físicas y químicas medidas en laboratorio e in situ de los tres sitios evaluados del río Manzanares.....	129
Figura 62. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con los taxones dominantes y las variables ambientales con mayor ponderación.	130
Figura 63. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo con los puntajes obtenidos del Índice de Calidad Ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para tres sitios del río Manzanares y las concentraciones de fósforo total en cada estación.....	132
Figura 64. Abundancia de larva de zoea de la familia Palaemonidae registrada en los tres sectores Muestreados (Cascada de Bonda, puente El Mayor, Quinta de San Pedro Alejandrino).	134
Figura 65. Larva de zoea de la familia Palaemonidae registrada en los tres sectores Muestreados (Cascada de Bonda, puente El Mayor, Quinta de San Pedro Alejandrino).	135
Figura 66. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para las estaciones de agua asociadas. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	137
Figura 67. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrada para las estaciones de muestreo. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	137
Figura 68. Riqueza de especies por familia Fito planctónica registrada en las estaciones de muestreo.....	138
Figura 69. Abundancia por familia Fito planctónica registrada en las estaciones de muestreo.	138
Figura 70. Algunos géneros fitoplanctónicos registrado para las estaciones de muestreo.	139
Figura 71. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Bonda (La Cascada). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	140
Figura 72. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Bonda (La Cascada). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	141
Figura 73. Riqueza de especies por familia fitoplanctónica registrado para el sector Bonda (La Cascada).....	141
Figura 74. Abundancia por familia fitoplanctónica registrado para el sector Bonda (La Cascada).	142
Figura 75. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector El Mayor. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	143
Figura 76. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector El Mayor. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	143
Figura 77. Riqueza de especies por familia fitoplanctónica registrado para el sector El Mayor.	144
Figura 78. Abundancia por familia fitoplanctónica registrado para el sector El Mayor.....	144
Figura 79. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	145

Figura 80. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta-	146
Figura 81. Riqueza de especies por familia fitoplanctónica registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino.	146
Figura 82. Abundancia por familia fitoplanctónica registrada para el sector Q. San Pedro Alejandrino.	147
Figura 83. Índice de similaridad (Bray-curtis) aplicado a la comunidad fitoplanctónica. Estaciones: BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.	148
Figura 84. Porcentaje por grupo perifítico registrado para las estaciones de muestreo. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.	149
Figura 85. Número de especies por grupo perifítico registrado para las estaciones objeto de estudio. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	150
Figura 86. Riqueza de especies por familia perifítica registrada en las estaciones de muestreo.	150
Figura 87. Abundancia por familia perifítica registrada en las estaciones de muestreo.	151
Figura 88. Algunos géneros perifíticos registrados para las estaciones de muestreo.	152
Figura 89. Porcentaje por grupo Perifítico registrado para el sector Bonda (La Cascada). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	153
Figura 90. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector Bonda. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	154
Figura 91. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector Bonda (La Cascada).	154
Figura 92. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector Bonda (La Cascada).	155
Figura 93. Porcentaje por grupo perifítico registrado para el sector El Mayor (Puente El Mayor). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.	156
Figura 94. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector El Mayor (Puente El Mayor). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	156
Figura 95. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector El Mayor (Puente El Mayor).	157
Figura 96. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector El Mayor (Puente El Mayor).	157
Figura 97. Porcentaje por grupo perifítico registrado para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.	158
Figura 98. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.	159

Figura 99. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino).....	159
Figura 100. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino).....	160
Figura 101. Índice de similitud (Bray-curtis) aplicado a la comunidad perifítica de las estaciones objeto de estudio. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.	161
Figura 102. Análisis de Correspondencia (ACP) aplicado con las distintas variables evaluadas y la comunidad fitoplanctónica en cada estación de muestreo.	163
Figura 103. Análisis de Correspondencia (ACP) aplicado con las distintas variables evaluadas y la comunidad perifítica en cada estación de muestreo.....	163
Figura 104. Identificación de usos potenciales actuales del recurso hídrico del Río Manzanares.	165
Figura 105. Riesgos asociados a la reducción de la oferta hídrica del Río Manzanares.	177
Figura 106. Riesgos asociados a la disponibilidad del recurso hídrico del Río Manzanares.	179
Figura 107. número de quejas presentadas respecto al río Manzanares, presentadas a Corpamag en los últimos 7 años.....	180
Figura 108. Sector con mayor quejas presentadas respecto al río Manzanares, presentadas a Corpamag en los últimos 7 años.	180
Figura 109. Proyección de la demanda hídrica total, bajo diferentes escenarios durante el periodo 2020-2023.	194
Figura 110. Cambio en el test de medias para la serie de caudales en la estación Bocatoma-Santa Marta, en el río Manzanares.....	195
Figura 111. Variación anual de la demanda hídrica para el sector servicios (turismo) bajo diferentes escenarios.	198
Figura 112. Número de personas que ingresaron a la terminal aérea de la ciudad de Santa Marta.	199
Figura 113. No de visitantes al PNN Tayrona, que se pueden considerar visitantes turistas a la ciudad de Santa Marta.....	201
Figura 114. Proyección de la demanda hídrica total para el sector servicios (turismo efectivo) bajo diferentes escenarios, durante el periodo 2020-2023.....	202
Figura 115. Proyección de la demanda hídrica agrícola para la cuenca del río Manzanares, bajo diferentes escenarios de presión sobre el recurso hídrico.	206
Figura 116. Proyección de la demanda total en la cuenca del río Manzanares, bajo diferentes escenarios de gestión del recurso hídrico durante el periodo 2020-2023. A; escenario optimista, B; escenario Pesimista y C; Escenario probable.....	209
Figura 117. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario optimista, durante el periodo 2020-2023.	210
Figura 118. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario pesimista, durante el periodo 2020-2023.....	211
Figura 119. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario probable, durante el periodo 2020-2023.	211
Figura 120. Sección transversal en el inicio del tramo de simulación del río Manzanares.	214

Figura 121. Ubicación de vertimientos en el tramo de modelación del río Manzanares.	221
Figura 122. Calibración de la temperatura en el río Manzanares.	226
Figura 123. Calibración del oxígeno disuelto en el río Manzanares.	228
Figura 124. Calibración de la DBO ₅ en el agua del río Manzanares.	229
Figura 125. Calibración de solidos suspendidos totales en el río manzanares.	230
Figura 126. Comportamiento del OD con vertimientos.	231
Figura 127. Comportamiento de la DBO rápida con vertimientos.	232
Figura 128. OD disuelto en el escenario de vertimiento resolución 631 de 2015.	234
Figura 129. DBO en el escenario de vertimiento resolución 631 de 2015.	235
Figura 130. OD para el escenario de caudal medio anual del río.	236
Figura 131. DBO para el escenario de caudal medio anual del río.	237
Figura 132. OD para el escenario de remoción del 50%.	238
Figura 133. DBO para el escenario de remoción de 50%.	239
Figura 134. Mapa de clasificación de aguas conforme a lo establecido en el artículo 2.2.3.2.20.1. del Decreto 1076 de 2015.	243
Figura 135. Zonificación ambiental para la subzona hidrográfica 1501, hoja cartográfica 11IVB. "Pomca río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe".	243
Figura 136. Mapa de suelos de protección en el distrito de Santa Marta, Nuevo POT 2020.	244
Figura 137. Usos potenciales del río Manzanares.	245
Figura 138. Valores de ponderación de acuerdo con el coeficiente de determinación.	249
Figura 139. Modelo de regresión lineal con su R ² para encontrar el valor ponderado entre el ICE de Macroinvertebrados y el ICA.	249
Figura 140. Interpretación de los valores del IPPH.	250
Figura 141. Imagen de la priorización de proyectos en el POMCA de la subzona hidrográfica 1501.	264
Figura 142. Categorización del grado de cobertura vegetal para el IQR.	272
Figura 143. Categorización del criterio de la estructura de la vegetación para la evaluación del IQR.	273
Figura 144. Categorización de la calidad de la cobertura vegetal para la evaluación del IQR. .	273
Figura 145. Categorización del grado de alteración del cauce para la evaluación del IQR.	274

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Concesiones registradas por CORPAMAG en el SIRH para la cuenca del río Manzanares.	14
Tabla 2. Listado de personas y entidades que pertenecen al consejo de cuencas de la subzona hidrográfica "río piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe"	15
Tabla 3. listado de actores institucionales y gubernamentales para la cuenca del río Manzanares.	17
Tabla 4. Listado de actores pertenecientes a ONGs en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.	18
Tabla 5. Listado de actores comunales en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.	20
Tabla 6. Listado de estudios encontrados en la revisión bibliográfica de estudios hechos en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.....	23
Tabla 7. Estaciones hidrometereológicas activas que se ubican cercana a la cuenca del río Manzanares	27
Tabla 8. Usuarios del río Manzanares con permiso de vertimiento.....	29
Tabla 9. Actores preliminares identificados para el Ordenamiento del recurso hídrico del río Manzanares.	38
Tabla 10. Estructura de la estrategia de participación.....	40
Tabla 11. Usuarios legales de Captaciones en el río Manzanares registrados en el SIRH del IDEAM.	49
Tabla 12. Usuarios legales de captaciones subterráneas en la cuenca del río Manzanares.	49
Tabla 13. Usuarios legales con permiso de vertimiento en la cuenca del río Manzanares.....	49
Tabla 14. Ubicación geográfica de usuarios de Captaciones por legalizar sobre el río Manzanares.	49
Tabla 15. Ubicación geográfica de los usuarios de vertimientos por legalizar sobre el cauce del río Manzanares.....	51
Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua a medir en la fase diagnóstico.	58
Tabla 17. Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico- BMWP adaptado para el sitio de muestreo.	60
Tabla 18. Características de la valoración del índice BMWP.	61
Tabla 19. Información general de las estaciones utilizadas	72
Tabla 20. Datos promedio y desviación estándar de las variables en las estaciones analizadas ..	73
Tabla 21. Ecuaciones usadas por el modelo GR4J. Tomadas de (Perrin, Michel, & Andreassian, 2003).	86
Tabla 22. Coeficiente de correlación estaciones de precipitación.	87
Tabla 23. Factores de escala de precipitación media mensual.....	88
Tabla 24. Factor de escalamiento de precipitación media anual.	88
Tabla 25. Valores y diferencias medias mensuales multianuales de series de temperatura	89
Tabla 26. Factor de escala de temperatura media según altitud.	90
Tabla 27. Valores de Ra según latitud.	91

Tabla 28. Factor de conversión de unidades de Ra.....	91
Tabla 29. Valores de Ra corregidos por unidades.	91
Tabla 30. Clasificación de la cuenca según el IRH.	96
Tabla 31. Caudal ecológico río Manzanares por diferentes metodologías.	96
Tabla 32. Caudal concesionado en la cuenca del río Manzanares.	99
Tabla 33. Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del Río Manzanares.	100
Tabla 34. Distribución espacial de las zonas de recarga en la cuenca del Río Manzanares.	104
Tabla 35. Objetivo de calidad para el Río Manzanares res 1965 junio del 2018 de CORPAMAG.	106
Tabla 36. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.	117
Tabla 37. Estaciones de muestreo para el cálculo del ICA.	117
Tabla 38. Parámetros y valores para el cálculo del ICA.	118
Tabla 39. Valores promedio de los parámetros para la determinación del ICA del Río Manzanares.	118
Tabla 40. Valores del ICA acorde a la metodología IDEAM.	118
Tabla 41. Valores del ICA ponderado acorde a la metodología IDEAM.	119
Tabla 42. Valoración del ICA por tramo acorde a la metodología IDEAM.	119
Tabla 43. Índices de diversidad y composición de los macroinvertebrados acuáticos las estaciones evaluadas del río Manzanares.	123
Tabla 44. Puntuación asignada a las familias de macroinvertebrados acuáticos recolectados en los sitios evaluados del río Manzanares.	127
Tabla 45. Clasificación de la calidad ecológica de las aguas de los tres sitios evaluados del río Manzanares.	128
Tabla 46. Asignación de los pesos a cada taxón común en al menos más de dos sitios.	131
Tabla 47. Valores de los Índices de Calidad Ecológica de los sitios evaluados.	132
Tabla 48. Índices biológicos aplicados a la comunidad fitoplanctónica de las estaciones de muestreo. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.	148
Tabla 49. Índices biológicos aplicados a la comunidad perifítica de las estaciones objeto de estudio. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.	161
Tabla 50. Inventario de camas y habitaciones del sector turístico en la ciudad de Santa Marta.	169
Tabla 51. Estimación de la demanda agrícola con base a las coberturas de la tierra.	170
Tabla 52. Rangos y categorías del IUA. Fuente: (IDEAM, 2013).	172
Tabla 53. Categorías del Índice de Escasez.	174
Tabla 54. Estimación del Índice de Escasez del Río Manzanares.	174
Tabla 55. Categorías del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento, Fuente (MADS, 2018).	175
Tabla 56. Resultados de los tramos de estudio.	178
Tabla 57. Base de datos de quejas y reclamos presentadas ante CORPAMAG referentes a problemáticas en el Río Manzanares.	181
Tabla 58. Escenarios para la proyección de la demanda hídrica.	192
Tabla 59. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario optimista durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.	193

Tabla 60. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario pesimista durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.	193
Tabla 61. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario probable durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.	194
Tabla 62. Porcentaje de ocupación Hotelera en la ciudad de Santa Marta durante el periodo 2016-2019.....	196
Tabla 63. Número de visitantes hospedados con relación a la disponibilidad de camas.....	196
Tabla 64. Duración media de los visitantes en la ciudad de Santa Marta.	196
Tabla 65. Escenarios para el sector servicios (turismo).....	197
Tabla 66. Variación anual de la Demanda hídrica (m ³ /s) para el sector servicios (Turismo) bajo diferentes escenarios.	197
Tabla 67. Demanda hídrica total del sector servicios (turismo) bajo diferentes escenarios.	199
Tabla 68. No de visitantes que ingresaron por el terminal aéreo de la ciudad de Santa Marta, durante el periodo comprendido entre 2009-2019.	199
Tabla 69. número de visitantes total, de cruceros que llegan a la ciudad de Santa Marta, durante el periodo 2010-2019.	200
Tabla 70. No de visitantes que ingresaron al PNN Tayrona durante el periodo 2012-2019.	200
Tabla 71. Proyección del No de visitantes turistas durante el periodo 2020-2023.	201
Tabla 72. Proyección de la demanda hídrica total para el sector turismo efectivo, bajo diferentes escenarios durante el periodo 2020-2023.	202
Tabla 73. Demanda promedio de agua requerida para el sector servicios bajo diferentes escenarios, para el periodo 2020-2023.....	202
Tabla 74. Valores de eficiencia de los sistemas de riego.....	203
Tabla 75. Descripción de los escenarios para la estimación de la demanda hídrica en el sector agrícola.....	204
Tabla 76. Proyección de la demanda multisectorial total para el río Manzanares, bajo diferentes escenarios, durante el periodo 2020-2023.	207
Tabla 77. Características de la sección transversal en cada uno de los puntos de monitoreo. ...	213
Tabla 78. Características de la sección transversal levantada, en el río Manzanares.	213
Tabla 79. Valor de parámetros meteorológicos, usados en la modelación de calidad del agua del río Manzanares.....	214
Tabla 80. Serie de radiación solar horaria para el 31 de octubre de 2019.	215
Tabla 81. Longitud de mezcla para el tramo de estudio.	216
Tabla 82. Coordenadas de los puntos de monitoreo en el río Manzanares.....	217
Tabla 83. Valores de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS) y sólidos disueltos (SD) en el río Manzanares.	218
Tabla 84. Contenido de DBO y COT; en aguas del río Manzanares.	218
Tabla 85. Medición de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo total; y alcalinidad en aguas del río Manzanares.....	219
Tabla 86. Contenido de fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites (G y A), hidrocarburos disueltos y dispersos (HPDD), y cianuros en aguas del río Manzanares.....	219
Tabla 87. Contenido de metales disueltos en aguas del río Manzanares: Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Calcio (Ca), Magnesio (Mg).	220

Tabla 88. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra de agua residual.....	222
Tabla 89. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas.	223
Tabla 90. Cargas estimadas de contaminantes.....	224
Tabla 91. Constantes calibradas para el río Manzanares.	225
Tabla 92. Resumen de escenarios de modelación planteados.....	233
Tabla 93. Usos potenciales para el río Manzanares.....	244
Tabla 94. Valores del índice del uso del agua con la demanda proyectada bajo diferentes escenarios, y con aporte del río Piedras de 0.917lt/seg.....	247
Tabla 95. Objetivos de calidad para el río Manzanares en el corto, mediano y largo plazo.	253
Tabla 96. Prohibiciones de actividades conforme a los usos potenciales y los objetivos de calidad planteados para el río Manzanares.....	257
Tabla 97. Condicionamientos de actividades conforme a los usos potenciales y los objetivos de calidad planteados para el río Manzanares.	259
Tabla 98. Articulación del PORH con el POMCA.....	263
Tabla 99. Programa de monitoreo de la calidad del agua con enfoque físico-químico.....	267
Tabla 100. Programa de monitoreo de la calidad del agua con enfoque hidrobiológico.....	270
Tabla 101. categorización del tipo geomorfológico de la ribera para la evaluación del IQR.....	274
Tabla 102. Clasificación del IQR.....	275

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1. Graficas de las series históricas en diferente resolución para las estaciones analizadas.	284
Anexo 2. Informe de resultados de análisis físico-químicos de las muestras para calidad del agua, realizado por el INVEMAR.	309
Anexo 3. Respuesta de la ESSMAR, respecto a la solicitud de información sobre los consumos de agua en la ciudad de Santa Marta.....	333

INTRODUCCIÓN

La gestión del recurso hídrico ha sido uno de los epicentros de la sostenibilidad ambiental del mundo, desde 1977 en Mar del Plata-Argentina, se realizó la primera conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, donde sus principales metas planteadas para antes de finalizar el siglo XX era el de promover y preparar a las naciones para evitar una fuerte crisis del agua de dimensiones globales, además de evaluar el estado y su calidad, y su disponibilidad para satisfacer las necesidades socioeconómicas del Planeta.

Posterior a esto, se han declarado los decenios en función del recurso hídrico con diferentes enfoques, el primero fue “*Decenio internacional del agua potable y el saneamiento ambiental 1981-1990*”; luego continuó en la cumbre de la tierra en Río de Janeiro, Brasil para 1992, y se realizaron esfuerzos durante el decenio para ayudar a países en desarrollo al acceso al agua potable; Luego ya en el nuevo milenio, se declaró “*El decenio internacional de acción Agua para la Vida*”; y más recientemente se ha declarado el “*Decenio Internacional agua para el desarrollo sostenible 2018-2028*” que inició el 22 de Marzo, día en el cual se celebra el día mundial del agua. Todo esto más los esfuerzos realizados en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible y el acuerdo de Paris del 2015.

Por tanto, el mundo se ha planteado durante más de 4 décadas la necesidad de abordar el tema del agua como uno de los objetivos vitales para garantizar la sostenibilidad ambiental y en tiempos más recientes como una necesidad vital para la humanidad, tal es el caso que en los objetivos del milenio quedó planteado el sexto lugar como “*Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*” teniendo en cuenta que hoy los desafíos son, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef):

2,1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura; 4,5 billones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura; 340 000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas; la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada 10 personas; el 90% de los desastres naturales están relacionados con el agua; el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas; alrededor de dos tercios de los ríos transfronterizos del mundo no tienen un marco de gestión cooperativa; la agricultura representa el 70% de la extracción mundial de agua; aproximadamente el 75% de todas las extracciones de agua industrial se utilizan para la producción de energía

De otro lado, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), a través de la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales, define el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), así:
(...) es el instrumento de planificación que permite en ejercicio de la autoridad ambiental, intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de dichos cuerpos de agua (MADS, 2018).

La problemática actual del río Manzanares, está asociada a sus cuencas media y baja, donde se encuentra asentada la mayor parte de la población urbana del distrito de Santa Marta, ya que las aguas residuales y los residuos sólidos de los habitantes son arrojados a la corriente, generando fuertes niveles de contaminación, además de la ocupación del cauce permanente del río, lo cual genera problemáticas ambientales, sociales y sumado a eso, los impactos a la vida y salud humana cuando se presentan los eventos de crecidas de caudales.

ASPECTOS GENERALES

JUSTIFICACIÓN DEL PORH

El departamento del Magdalena, es uno de las regiones en el país que presenta una alta riqueza hídrica, representado sobre todo en los cuerpos de agua que descienden la Sierra Nevada de Santa Marta, el curso del río Magdalena que recorre aproximadamente 89 kilómetros hacia su desembocadura, las aguas lenticas de ciénagas (1527) según la cartografía 1:25000 del IGAC que en total suman unas 128.000 ha a lo largo del delta del río Magdalena junto con el mayor cuerpo de agua estuarina de Colombia como lo es la Ciénaga Grande de Santa Marta (44.000 ha), y la gran extensión de paramos que se encuentra sobre los 3000 msnm de la SNSM. Sin embargo, esta riqueza hídrica hoy se encuentra muy vulnerable frente a los desafíos que el cambio climático ha mostrado, y los cambios en los usos del suelo que se han generado en las últimas décadas, con consecuencias en mayor demanda por el incremento de actividades socioeconómicas productivas, disminución de la oferta y afectación de la calidad en algunos casos por el inadecuado manejo de residuos sólidos y vertimientos residuales, industriales y agrícolas.

Para el caso de la ciudad de Santa Marta, que solo cuenta con el recurso hídrico de los ríos Piedras, Manzanares y Gaira, de la cual depende para los diferentes usos (Agua para consumo humano, agrícola, industrial, minero y comercial, y de usos recreativos), ha venido presentado problemáticas que han afectado a la población por el desabastecimiento y su calidad. Es por esto que Corpamag, inició el proceso del plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Manzanares, el cual se convierte en el instrumento de planificación que le permite fijar la destinación y uso del agua, establece las normas, las condiciones y el programa de seguimiento para alcanzar y mantener los usos potenciales, además de conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies, en un horizonte mínimo de diez años.

Es por esto, que este instrumento de ordenamiento ambiental, permitirá a Corpamag, iniciar su proceso de garantizar la seguridad hídrica de la ciudad de Santa Marta, para salvaguardar el acceso de agua en cantidad y calidad que permita mantener el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, previniendo la contaminación y los riesgos asociados al recurso hídrico como (Sequias o Crecientes súbitas) y a su vez preservando los ecosistemas y los servicios que ellos proveen a las comunidades que sobre su ronda hídrica conviven.

MARCO NORMATIVO DEL PORH

La normatividad que refiere al ordenamiento de los recursos hídricos a nivel de Colombia viene dictándose desde la implementación del código nacional de los recursos naturales Decreto-Ley 2811 de 1974, en su artículo 134 y 274. Y así, sucesivamente el país ha adoptado una serie de normativas, que han contribuido a formular una política de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, que conlleve al ordenamiento ambiental de los cuerpos de agua, dicha normativa se relaciona a continuación.

El Decreto 1541 de 1978, 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, el cual normativiza como debe ser preservada y utilizada el agua sin importar el estado en el que se encuentre, con el objeto de mantener su calidad y teniendo en cuenta cuales son de dominio público y cuáles de dominio privado.

La Ley 9 de 1979, por medio de la cual se dictaminan las medidas necesarias que ayuden a preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en Colombia; dentro de estas reglamentaciones está la implementación de normas para la protección de la calidad de agua, mediante medidas de control sobre los vertimientos líquidos, la separación y clasificación de basuras, y sobre los residuos sólidos entre otros, con el objetivo de proteger el medio ambiente para brindar a la comunidad condiciones que le proporcionen una mejor calidad de vida.

Decreto 1875 de 1979, por medio del cual se dictan normas para prevenir la contaminación del medio marino por acción directa o indirecta del hombre, que puedan ocasionar daños a la vida marina e incluso para la vida humana, además de obstaculizar las actividades marítimas y causar el deterioro de la calidad de las aguas.

Decreto 1594 de 1984, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 relacionados con los usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 1604 de 2002, por el cual se reglamenta el parágrafo 3° del artículo 33 de la Ley 99 de 1993, teniendo como objetivo concentrar y definir políticas para el ordenamiento y manejo del recurso hídrico del país.

En el Decreto 1729 de 2002; por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993; el cual trata acerca de las delimitaciones de las cuencas hidrográficas.

Decreto 3100 de 2003 por medio del cual se normaliza el cobro de tasas retributivas por el uso directo del agua de las cuencas que se consideren prioritarias por sus condiciones ambientales.

Decreto 155 de 2004, Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 tiene como objetivo asignar tasas por utilización de aguas estuarinas y superficiales incluyendo acuíferos litorales, sin embargo, se excluye las aguas marítimas.

En ausencia de planes de ordenamiento en el año 2004 mediante el Decreto 3440 se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se establece que las tasas retributivas serán establecidas por los organismos ambientales correspondientes, teniendo en cuenta los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan.

Resolución 1433 de 2004, por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, que trata de Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, por medio de proyectos y actividades que incluyan la recolección, transporte, y el tratamiento de aguas, con el objeto de que las descargas residuales vayan a parar directamente al sistema de alcantarillado.

Con la Resolución 2145 de 2005, se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004, mediante la cual las autoridades ambientales deben establecer los objetivos de calidad de los cuerpos de agua por medio de Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.

Decreto 4742 de 2005, modificación del artículo 12 del Decreto 155 de 2004, en el cual se reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993; el cual reglamenta las tasas retributivas por captaciones hechas.

La Resolución 872 de 2006, establece la metodología para calcular índices de escasez para las aguas subterráneas que se indican en el Decreto 155 de 2004.

Decreto 1900 de 2006, por el cual se reglamenta el párrafo del Artículo 43 de la Ley 99 de 1993; se disponen las medidas de mitigación a tener en cuenta al realizar proyectos de inversión que de un modo u otro hagan uso del recurso hídrico.

Decreto 1323 de 2007, Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico –SIRH, ente encargado del registro y manejo de bases de datos, estadística, e información documental y bibliográfica acerca del recurso hídrico.

Decreto 1324 de 2007, por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, el cual es encargado de hacer un inventario de las personas tanto naturales como jurídicas que utilizan los recursos hídricos de la nación en las cuencas que son consideradas prioritarias.

El Decreto 1575 de 2007, tiene como objetivo crear un Sistema de Protección y Control de la Calidad del Agua, con el fin de prevenir y controlar cualquier riesgo que pueda afectar la salud humana.

Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se determinan las características que debe presentar el agua y como se puede tener un manejo adecuado para el control y vigilancia de su calidad a fin de que sea apta para el consumo humano.

Decreto 3930 de 2010, por cual se decreta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI- Parte III -Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974, el cual establece cuales son las disposiciones con respecto al uso y ordenamiento del recurso hídrico, y los vertimientos que se puedan dar en éstos.

El Decreto 1640 de 2012, tiene como objeto la reglamentación de los instrumentos de planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferas.

Resolución 0631 de 2015, se establecen los valores máximos de los límites permitidos para vertimientos o cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillados públicos.

En el año 2014, el Minambiente publicó la primera versión de la Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (Minambiente, 2014), cuyos lineamientos fueron aplicados y validados en diferentes ejercicios realizados por la DGIRH, en diversas zonas del país con condiciones contrastantes desde el punto de vista climático, social, morfológico, etc.

Y el decreto 1076 del 2015, que expide el decreto único reglamentario para el sector ambiente y desarrollo Sostenible.

Por último, la resolución 0751 del 2018 del MADS, que adopta la Guía para la Formulación de los Planes de ordenamiento del Recurso hídrico Continental y superficial.

OBJETIVO GENERAL DEL PORH

Formular el plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Manzanares, para establecer las normas de preservación de la calidad del recurso hídrico, las condiciones y el programa de seguimiento para alcanzar y mantener los usos actuales y potenciales del agua, además de conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies que albergan estos ecosistemas y sus servicios ecosistémicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PORH

Realizar las acciones previas de alistamiento institucional para el inicio del mismo.

Establecer las condiciones actuales del cuerpo de agua en ordenamiento, mediante las herramientas técnicas de la oferta, la demanda y la calidad del recurso hídrico, así como los riesgos asociados.

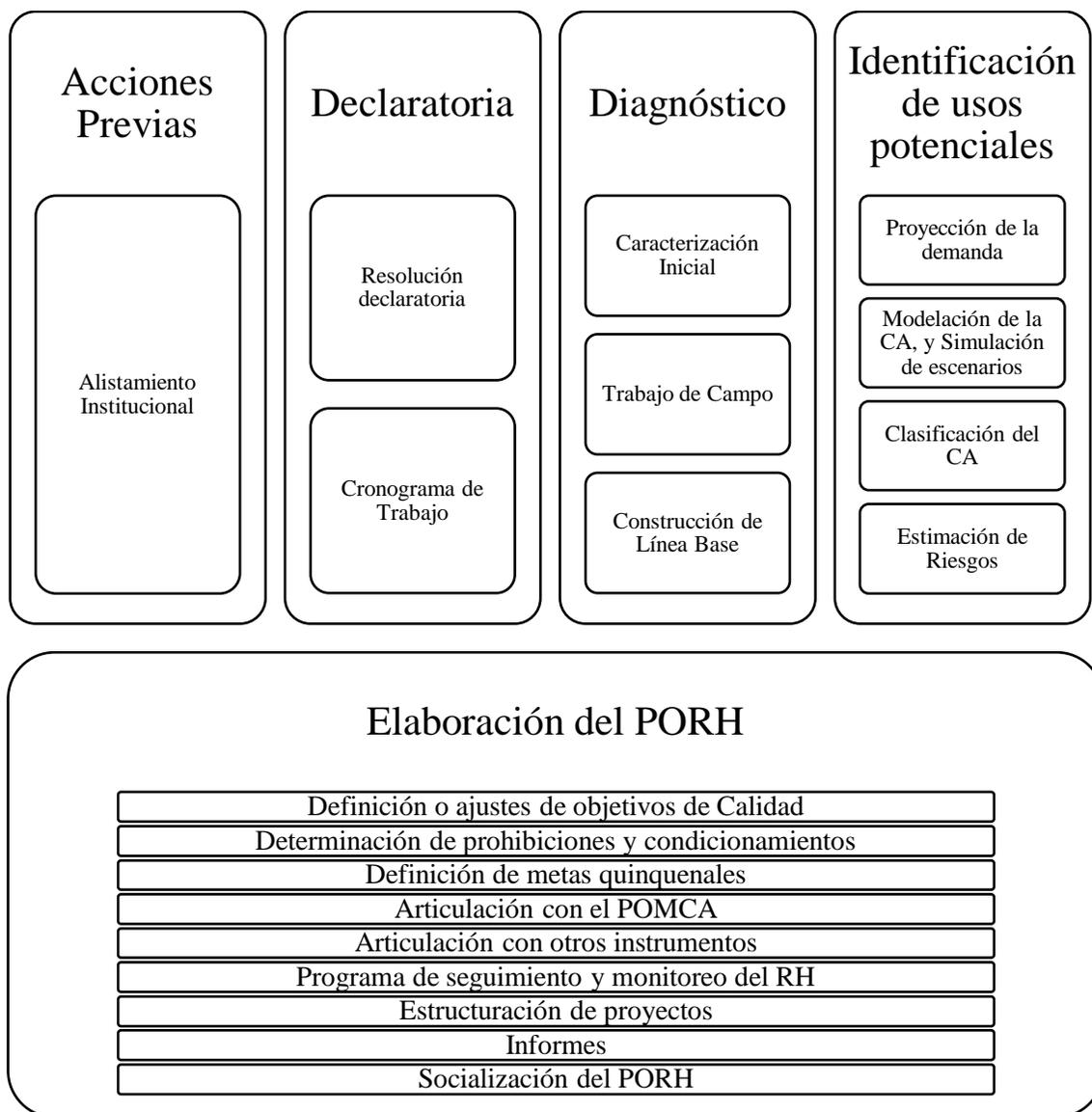
Determinar los usos potenciales del cuerpo de agua en ordenación.

Formular las políticas, planes y programas que permiten restaurar las condiciones no aptas del recurso hídrico, y que, en un horizonte de tiempo de 10 años, el escenario deseado permita garantizar la seguridad hídrica a los diferentes usuarios del recurso hídrico ordenado.

MARCO METODOLÓGICO DEL PORH

La formulación de los PORH, viene enmarcado en la guía nacional para la formulación de los PORH, el cual fue adoptado en la resolución 751 del 2018¹, y se esquematiza el proceso de la siguiente manera;

Figura 1. Esquema metodológico para la formulación del PORH en Colombia, Fuente Guía para el ordenamiento del recurso hídrico continental superficial, 2018. Adaptado para este estudio.



Nota. Guía para el ordenamiento del recurso hídrico continental superficial, 2018. Adaptado para este estudio.

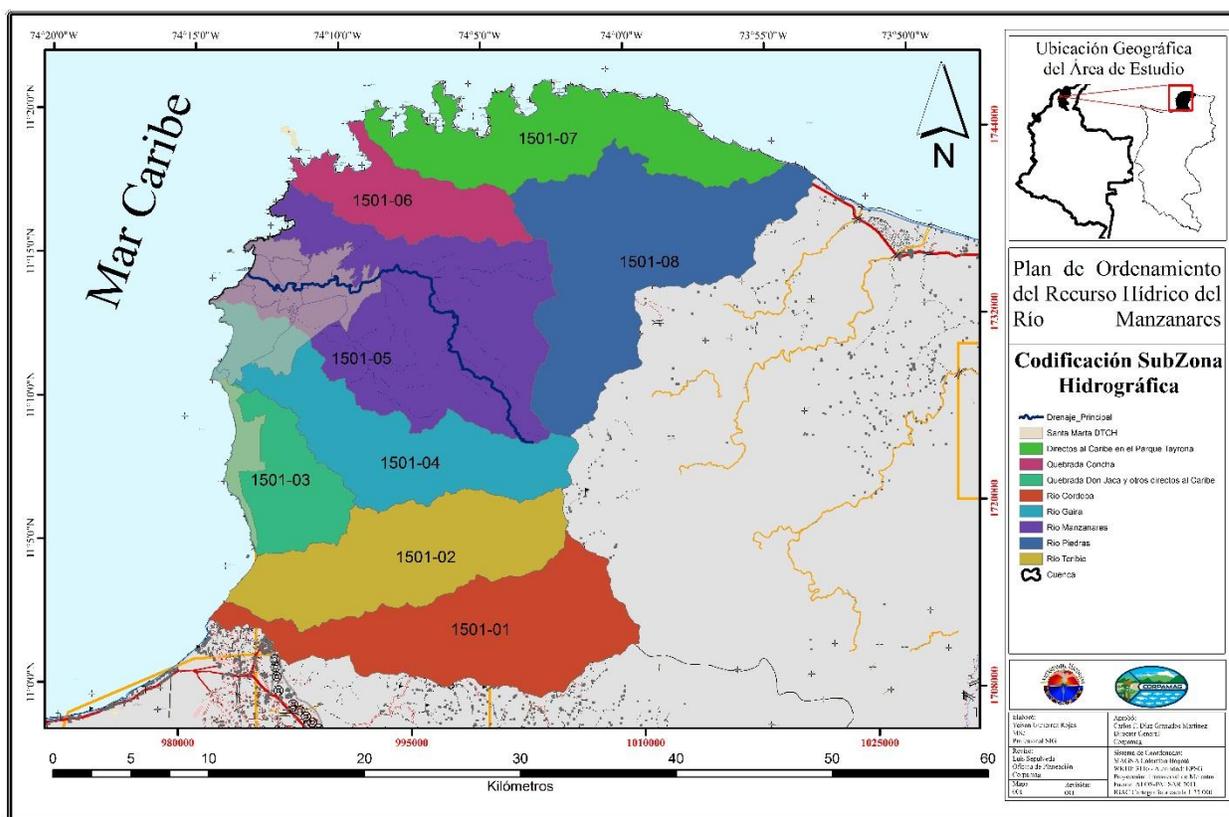
¹ Resolución 751 del 09 de mayo del 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se adopta la Guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico continental superficial – PORH y se dictan otras disposiciones.

FASE DE ACCIONES PREVIAS

LOCALIZACIÓN DEL CUERPO DE AGUA

La cuenca del río Manzanares se encuentra ubicada en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, aproximadamente entre las coordenadas: 11°08'N y 11°16'N de latitud, y 74°13'W y 74°02'W de longitud. El río nace en la cuchilla de San Lorenzo, a una altura aproximada de 2395 msnm y desemboca en el mar Caribe en la playa conocida como Los Cocos junto a la bahía de Santa Marta. Al Este limita con la cuenca hidrográfica del río Piedras, al Oeste con el Mar Caribe, al Norte con el Parque Tayrona y al Sur con la cuenca hidrográfica del río Gaira (Figura 2). Esta cuenca se encuentra codificada como 150105 según lo establecido en el POMCA de la subzona hidrográfica “río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe”²

Figura 2. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Manzanares en el departamento del Magdalena y su codificación hidrográfica según IDEAM establecida en el POMCA.

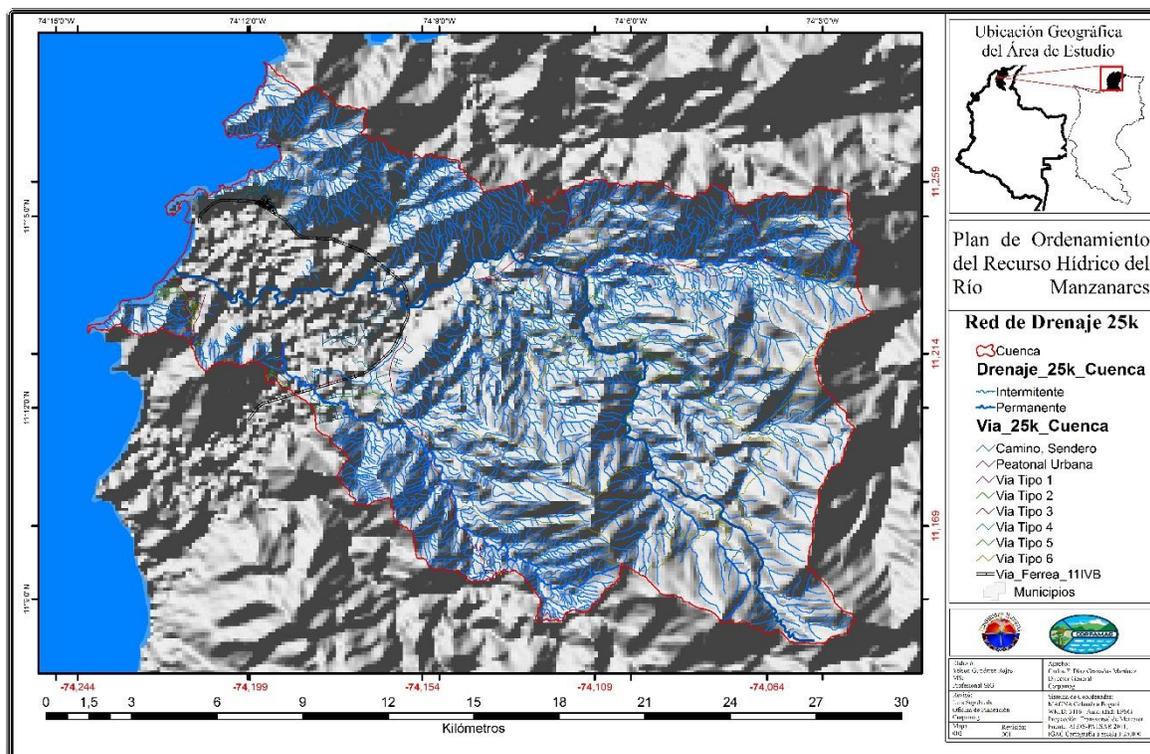


Nota. Tomado del IDEAM y establecido en el POMCA.

² Formulación POMCA río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe, Plan de ordenación y manejo de la cuenca Hidrográfica, Fase de diagnóstico, documento general, Vol 1, Caracterización básica y del sistema físico-biótico, Corpamag. <https://www.corpamag.gov.co/index.php/es/procesos-pomcas/documentacion-pomcas>.

La cuenca (150105) cuenta con aproximadamente 20.218,51 hectáreas. La longitud del río Manzanares es de 34,22 kilómetros y presenta un caudal promedio anual de 2,7 m³/s (teórico). Los principales afluentes del río Manzanares son: quebrada Tamacá, quebrada La Tigra, quebrada Seca, quebrada Mojada, Quebrada Onaca, Quebrada Matogiro entre otras. Sus principales centros poblados son Bonda y la ciudad de Santa Marta.

Figura 3. Red de drenaje del río Manzanares 1:25000.



Nota. Elaborado por los autores.

La problemática actual del río Manzanares, está asociada a sus cuencas media y baja, donde se encuentra asentada la mayor parte de la población urbana del distrito de Santa Marta, ya que las aguas residuales y los residuos sólidos de los habitantes son arrojados a la corriente, generando fuertes niveles de contaminación, además de la ocupación del cauce permanente del río, lo cual genera problemáticas ambientales, sociales y sumado a eso, los impactos a la vida y salud humana cuando se presentan los eventos de crecidas de caudales.

ALISTAMIENTO INSTITUCIONAL

CONFORMACIÓN DE LA COMISIÓN CONJUNTA

De acuerdo a lo establecido en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015, las comisiones conjuntas, son instancias de coordinación que se conforman cuando dos o más Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible tengan jurisdicción sobre cuencas hidrográficas comunes, ya sea a nivel de una cuenca hidrográfica, de una subzona hidrográfica o su nivel subsiguiente; y teniendo en cuenta la ubicación de la cuenca del río Manzanares, y aunque se ubica político-administrativo en el DTCH de Santa Marta, y que a su vez presenta una autoridad ambiental distrital como es el Departamento Administrativo Distrital para la Sostenibilidad Ambiental (DADSA), la competencia en el manejo ambiental de la cuenca en su totalidad del territorio, es de responsabilidad absoluta de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), por tal motivo la comisión conjunta no es aplicable para la cuenca del Manzanares, ya que no comparte territorio con otra entidad administrativa.

IDENTIFICACIÓN DE ACTORES RELEVANTES PARA EL ORDENAMIENTO

Para la cuenca del río Manzanares, se identifican como actores relevante a todos aquellas personas (naturales o jurídicas) que son usuarios permanente respecto a captaciones o vertimientos, en este caso, se tiene como captaciones a la empresa de servicios públicos de Santa Marta, como la ESSMAR quien tiene la captación de agua para abastecer la ciudad, y la empresa de la Junta de Acción Comunal del Corregimiento de BONDA, la cual también realiza captación, pero se aclara que la captación de ellos es directamente realizada de la tubería de transporta el agua de la captación ya realizada por la empresa de servicios públicos de Santa Marta. Al revisar la información contenida en el Sistema de Información del Recurso Hídrico del IDEAM, se logra establecer que CORPAMAG tiene las siguientes concesiones de agua en su jurisdicción.

Figura 4. Concesiones registradas en el sistema de información del recurso hídrico (SIRH) del IDEAM por parte de CORPAMAG.

Opciones	Ver	Separar						
Tipo	Nombre	Tramo/Sector	Área	Zona	Subzona	Tipo de tramite	Nro. de tramites	Caudal (l/s)
Quebrada	OJO DE AGUA MANZANAR	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	1	0.5
Quebrada	DONAMA	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	1	0.817
Quebrada	LA TIGRERA	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	1	1.5
Río	ARACATACA-EJERCICIO	TRAMO ÚNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Ancho y Otros Dire	Concesiones	1	2.0
Río	ARACATACA-EJERCICIO	TRAMO ÚNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Ancho y Otros Dire	Permisos de Vertimiento	1	10.0
Río	MANZANARES	TRAMO ÚNICO RIO MA	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	4	12.0
Río	PIEDRAS	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	7	24.0
Río	TORIBIO	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	7	285.18
Río	MANZANARES	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	3	344.0
Río	CORDOBA	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	6	923.2
Río	ARIGUANÍ	UNICO	Magdalena Cauca	Cesar	Río Ariguaní	Concesiones	18	1180.0
Río	FRIO	UNICO	Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Cga Grande de Santa M	Concesiones	25	3854.59
Río	ARACATACA	UNICO	Caribe	Caribe - Guajira	Río Piedras - Río Manza	Concesiones	33	6701.86
Río	FUNDACION	UNICO	Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Cga Grande de Santa M	Concesiones	29	12038.51

Nota. Plataforma del SIRH del IDEAM.

Y para la cuenca del río Manzanares se logra establecer que ha concesionado aproximadamente 360 L/seg como se muestra en el siguiente cuadro, producto del filtro de la información del SIRH.

Tabla 1. Concesiones registradas por CORPAMAG en el SIRH para la cuenca del río Manzanares.

Cuenca	nombre	Caudal Concesionado (L/s)	Trámites
	OJO DE AGUA		
Manzanares	MANZANARES	0,5	1
	DONAMA	0,817	1
	LA TIGRERA	1,5	1
	MANZANARES	12	4
	MANZANARES	344	3
Total		358,817	10

Nota. Elaborado por los autores.

Por otro lado, en la subzona hidrográfica se cuenta con formulación de POMCA, y este a su vez, cuanta con el consejo de cuenca, integrado por 19 consejeros (Tabla 2), entre los que se destacan los delegados de las Alcaldías de Santa Marta Y Ciénaga, asociaciones campesinas, ONGs ambientales, e Instituciones de educación superior, a continuación, se presentan el listado de los consejeros de que lo integran;

Tabla 2. Listado de personas y entidades que pertenecen al consejo de cuencas de la subzona hidrográfica "río piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe"

N°	Municipio	Nombre y Apellidos	Nombre de Organización	Número de Actor Resolución 0509 del 2013	Nombre del Tipo de Actor de Acuerdo a la Resolución 0509 del 2013	Teléfono	Correo Electrónico
1	Ciénaga	Yolanda Verona Luna	Asociación de Campesinos de Bocatoma - ASOCBOCATOMA	3	Organizaciones Que Asocien o Agremien Campesinos	3004706485/ 3175637084	asobocatoma@gmail.com
2	Regional	Adriana María Pérez Guzmán	Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI-	4	Organizaciones Que Asocien o Agremien Sectores Productivos	3108917201/ 4-3115154	avives@andi.com.co; amperguz@gmail.com
3	Regional	Anuar Escaf Mendoza	Asociación de Bananeros del Magdalena y La Guajira - ASBAMA	4	Organizaciones Que Asocien o Agremien Sectores Productivos	4212907- 4234236	direccionejecutiva@asbama.com informacion@asbama.com
4	Santa Marta	José Francisco Díaz Rocca	Cooperativa de Caficultores y Agricultores de La Sierra Nevada de Santa Marta - COOAGRONEVADA	4	Organizaciones Que Asocien o Agremien Sectores Productivos	3157049581/ 3175030395	gerencia@cooagronevada.com; jofradi20@hotmail.com
5	Santa Marta	Ana Cristina Díaz Granados Iragorri	Metroagua	5	Personas Prestadoras de Servicios de Acueducto y Alcantarillado	3006528667	adiazgranados@metroagua.com.co
6	Santa Marta	Armando Navarro	Acueducto de Corregimiento de Bonda "Aguas de Bonda"	5	Personas Prestadoras del Servicio de Acueducto y Alcantarillado	3128398173	aguasdebonda@hotmail.com
7	Regional	Sara Cervantes Martínez	Aguas del Magdalena	5	Personas Prestadoras del Servicio de Acueducto y Alcantarillado	4357025/300 7220965/315 7220965	gerente.amg@gmail.com; scervantes@aguasdelmagdalena.com; saracervantesmartinez@hotmail.com
8	Santa Marta	Yeison Gutiérrez Rojas	Fundación para La Investigación en Biodiversidad del Caribe Colombiano - Riwisaka	6	Organizaciones No Gubernamentales cuyo Objeto Exclusivo sea la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables	3017071840- 4299215	riwisaka@gmail.com; yeisongu@gmail.com
9	Santa Marta	Bibiana Salamanca	Fundación Bachaqueros	6	Organizaciones No Gubernamentales cuyo Objeto Exclusivo sea la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables	3163198651	fundacion.bachaqueros@gmail.com; bibiana_salamanca@yahoo.com

10	Santa Marta	Harold Estrada Forero	Fundación Salva Tu Río	6	Organizaciones No Gubernamentales cuyo Objeto Exclusivo sea la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables	3175890069/ 3006931996/	fundacionsalvaturio@gmail.com
11	Ciénaga	Yonis Enrique Villazón	Junta de Acción Comunal Vereda Bajo Agualindas	7	Juntas de Acción Comunal	3132950206	
12	Santa Marta	Tatiana Jaramillo Orozco	Junta de Acción Comunal Corregimiento de Minca	7	Juntas de Acción Comunal	3135575820/ 3024381240/ 3005548745	tati.soldeminca@gmail.com
13	Santa Marta	Margarita Rosa Montoya Hernández	Junta de Acción Comunal Vereda Paso del Mango	7	Juntas de Acción Comunal	3205087314	mrmh03@hotmail.com
14	Regional	Javier Alfredo Rodríguez Barrios	Universidad del Magdalena	8	Instituciones de Educación Superior	3002661553	jrodriguez@unimagdalena.edu.co
15	Santa Marta	Rafael Alejandro Martínez	Alcaldía Municipal de Santa Marta	9	Municipios con jurisdicción en la cuenca.	3002886475 (UMATA) Isis Navarro	mrafael70@gmail.com
16	Ciénaga	Edgardo de Jesús Pérez Díaz	Alcaldía municipal de Ciénaga	9	Municipios con jurisdicción en la cuenca.		edgarperezdiaz@hotmail.com
17	Regional	Eddie Camilo Vargas Muñoz	Cruz Roja Colombiana Seccional Magdalena	11	Los Demás , Que Resulten del Análisis de Actores	3016336259	vargascamilo1026@hotmail.com
18	Santa Marta	Alex Enrique Pineda Mora	Institución Educativa Distrital de Bonda	11	Los Demás , Que Resulten del Análisis de Actores	3043884644/ 3017280574	alandex2014@gmail.com
19	Regional	Diego Alonso Arcila	Sociedad Portuaria Puerto Nuevo S.A	11	Los Demás , Que Resulten del Análisis de Actores	3017327603- 3205645907	diego.arcila@prodeco.com.co

Nota. Elaborado por la oficina de Planeación de Corpamag.

Por otro lado, es importante señalar, que en el proceso de formulación del POMCA, se han identificado otros actores relevantes o grupos de actores (Tabla 3,

Tabla 4, y Tabla 5), como los institucionales, las ONGs, y los comunitarios, en donde podemos describir en el siguiente cuadro a continuación:

Tabla 3. listado de actores institucionales y gubernamentales para la cuenca del río Manzanares.

Nombre	Entidad	Dirección	e-mail
RAFAEL ALEJANDRO MARTINEZ	Alcalde Santa Marta DTCH	Calle 14 No. 2-49 - Palacio Municipal	alcalde@santamarta- magdalena.gov.co
RAUL PACHECO GRANADOS	Secretario de Gobierno	Calle 24 3 - 99 Edif Banco de Bogotá Piso 14	<a href="mailto:gobierno@santamarta-
magdalena.gov.co">gobierno@santamarta- magdalena.gov.co
DIANA SIERRA RIATIGA	Secretaria de Planeación	Calle 17 N° 3 - 120 Casa Madame Agustine	<a href="mailto:planeacion@santamarta-
magdalena.gov.co">planeacion@santamarta- magdalena.gov.co
SANDER RODRÍGUEZ PEÑA	Gerente de Infraestructura Oficina para la Gestión del Riesgo y el	Calle 24 3 - 99 Edif Banco de Bogotá Piso 14	<a href="mailto:gerenciadeproyectos@santamarta-
a-magdalena.gov.co">gerenciadeproyectos@santamart a-magdalena.gov.co
JAIME AVENDAÑO	Cambio Climático Empresa de Servicios Públicos	Calle 24 3 - 99 Edif Banco de Bogotá Piso 14	<a href="mailto:gestiondelriesgosmr@santamarta-
magdalena.gov.co">gestiondelriesgosmr@santamarta -magdalena.gov.co
INGRID AGUIRRE	Domiciliarios – ESSMAR Sistema	Km 7 No 12-418 Bodegas de Gaira	<a href="mailto:gerencia@espasantamarta.gov.c
o">gerencia@espasantamarta.gov.c o
LADYS URQUIJO ARDILA	Estrategico de Transporte Público - SETP	Calle 24 3 - 99 Edif Banco de Bogotá Piso 9	info@setpsantamarta.gov.co
RAFAEL DE LAVALLE	UMATA Policia	Calle 26 No. 2 B – 38	<a href="mailto:umata@santamarta-
magdalena.gov.co">umata@santamarta- magdalena.gov.co
MAURO GONZALEZ CHADAN	Ambiental de Santa Marta Personero	Calle 22 No. 1 C – 74	mesan.gupae@policia.gov.co
ROSADO TAYLOR	Distrital de Santa Marta Procurador 13	Calle 26 No. 2 B – 38	<a href="mailto:crosadopersoneriasantamarta@h
otmail.com">crosadopersoneriasantamarta@h otmail.com
JORGE EDUADOR ESCOBAR SILEBI	Judicial II Ambiental y Agrario del Magdalena	Calle 15 No. 3 – 25	<a href="mailto:regional.magdalena@procuradur
ia.gov.co">regional.magdalena@procuradur ia.gov.co

Nombre	Entidad	Dirección	e-mail
EDUARDO VELEZ SOTO	Defensa Civil del Magdalena Oficina de Medio Ambiente,	Carrera 16 C No. 16 – 40	secmagdalena@defensacivil.gov.co
LILIBETH LADRON DE GUEVARA	Gobernación del Magdalena	Carrera 1 C Con Calle 22 Museo San Juan de Dios	medioambiente@magdalena.gov.co

Nota. Elaborado por el POMCA.

Tabla 4. Listado de actores pertenecientes a ONGs en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.

Nombre	Entidad	Dirección	e-mail
LUCAS ECHEVERRI ROBLEDO	Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta	Calle 17 No. 3-83	lecheverri@prosierra.org
CRISTAL DEL MAR ANGEL JARAMILLO	Fundación Herencia Ambiental	Calle 102 No. 3 - 50 Urbanización Villa Trinitaria (Sector Pozos Colorados)	direccion@herenciaambiental.org
SALVADOR BALDEBLANQUEZ	Fundación Salvemos El Rio	Av. Del Rio Calle 29 No 7A-05 Loc 1	salvemoselrio@hotmail.com
JUAN SEBASTIAN VALENCIA	Fundación Eco-Zion		fundacionecozion@gmail.com
CARLOS ANDRES VANEGAS SILVA	Fundación Diskoncept	Calle 19 No. 4-100 Rodadero	diskoncept@gmail.com
LUCAS ECHEVERRI ROBLEDO	Fundación Pro Sierra Nevada De Santa Marta	Calle 17 No. 3-83	lecheverri@prosierra.org
ANA SILVIA MARIA ARRIETA	Corporación para el desarrollo personal y comunitario encuentro	AV 9 No. 29 H2-104 CASA 12 Condominio Cañaverál	corpoencuentro@gmail.com
GUSTAVO CRUZ RENGIFO	Asociación de Promotores Ecológicos de La Sierra Nevada de Santa Marta - ASOPROMO	Cra. 32 A No. 13 B 26 Barrio Galicia	racastro@asopromo.org

Nombre	Entidad	Dirección	e-mail
JULIO BOLAÑO RUIZ	Fundación Ambiental Ciudad Verde	Calle 14 No. 4- 45 OF 48 C.C. Royal Plaza	ciudadverde7@hotmail.com
LEONARDO ORTIZ RAMIREZ	Fundación Pro Zona del Rio	Calle 12 No. 21- 97 Olivos	prozonadelrio@gmail.com
JESUS MARIA SOTO GALARZA	Fundación de Recuperación Ambiental Colombiana	Cra. 24A No. 19- 35 Barrio Siete de Agosto	funderac01@hotmail.com
ALEXIS EMILIO CAMPO MENDOZA	Fundación para las soluciones Ambientales y Desarrollo Social	Cra. 3 No. 17-27 Ed. Rex Oficina 311	ong.ekosia@gmail.com
ALONSO USUGA	Asociación de Organizaciones Asociativas Agroturísticas y Sostenible de Bosques de la Sierra Nevada de Santa Marta	Km 36-42 Via Parque Tayrona Finca San Rafael Vereda Cañaveral	guardabosquesdelasierra@hotmail.com
BILLY BETANCUR CASTRO	Fundación Brutalwave	Cra. 14 No. 29- 47 Bavaria Club Casa 23	b-betancur@hotmail.com
JOSE LUIS DIAZ GRANADOS TRIBIN	Fundación ECOLEGA	Cra. 1 No. 28-1 Apto. 303 Ed. Marbella 1	joseluisdgt@yahoo.com
JOSE MARIA URIBE GOMEZ	Fundación Ambiental Bosques Secos de Colombia	Calle 133 No. 1- 80 Apto 510 Bello Horizonte	fundacionambientalbs@gmail.com
NATALIA RAMIREZ	Fundación Herencia Ambiental	Calle 102 No 3 - 50 Urbanización Villa Trinitaria (Sector Pozos Colorados)	asistentecientifica@herenciaambiental.com
BIBIANA SALAMANCA	Fundación Bachaqueros	Troncal del Caribe Km 3 Barrio Socorro CS 5	fundacionbachaqueros@gmail.com
JUAN GUILLERMO VELEZ	Fundación Piedra Donama	Calle 9A No 9 - 15 Pescaito	masinga803@yahoo.com

Nota. Elaborado por el POMCA.

Tabla 5. Listado de actores comunales en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.

Nombre	Entidad	Dirección	Teléfono	e-mail
VIRGINIA DE BARROS	Presidente JAC Barrio Taminaka	Calle 28 A No 6B-03	3013502327	rubielarodrigueza@hotmail.com
JORGE E. ACOSTA MEJIA	Presidente JAC Barrio Minuto de Dios	MZ3 CASA 4	3005709677	jorgeacosta62@hotmail.com
CARLOS ALTAMAR CARRILLO	Presidente JAC Barrio Las Vegas	Calle 29 C #24-09	3003441759	
GLORIA BONNET	Presidente JAC Barrio Simón Bolívar	CRA,22ª No.29D-35	3146128886	
JOSÉ TOBÍAS MERIÑO	Presidente JAC Barrio Las Malvinas	Kra.25 No.29C-59	3135365375	
OSCAR AMARIS TURIZO	Presidente JAC Barrio Villa del río Etapa I	Av. Del río No.27ª-05	3206341781	
SALVADOR ROJAS	Presidente JAC Barrio Villa del Río Etapa III	Calle 29 A # 17 – 27	3134747187	
ARMANDO CANDANOZA	Presidente JAC Barrio San Pedro Alejandrino	Carrera 28F No.24C-41	3014052198	arcagull1960@gmail.com
CLARA HERNANDEZ VASQUEZ	Presidente JAC Barrio Tayrona	Calle 25 No.50-15	3004795356	claraesther75@gmail.com
LUIS EDEL BAYONA ARIAS	Presidente JAC Barrio Timayui I	MZ. V CASA 22	3153489667	luisbayona@gmail.com
RODOLFO CEBALLOS	Presidente JAC Barrio Timayui III	MA E CASA 20	3016690158	rodolfoceballos13@gmail.com
LAURIEL A. MOLINA TOLEDO	Presidente JAC Barrio Manzanares	Calle 30 No 5- 59	3015942186	
LUIS MARTINEZ TEJEDA	Presidente JAC Barrio Las Américas	Calle 32 No 16 A-03	3008818556	beatrizlider2012@hotmail.com

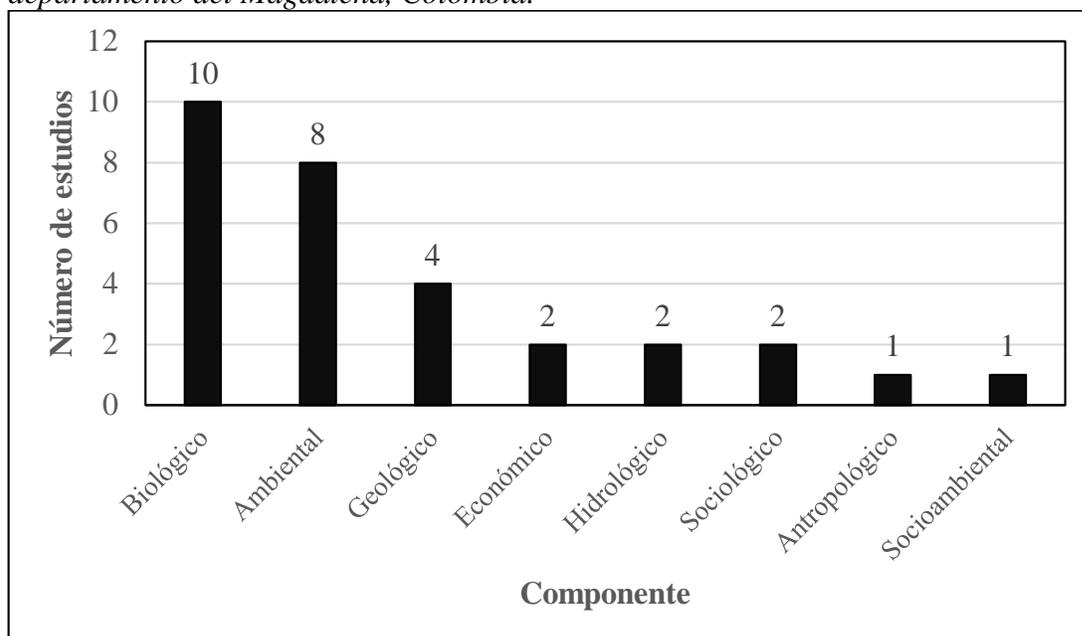
Nombre	Entidad	Dirección	Teléfono	e-mail
SOFIA MUÑOZ	Presidente JAC Urb Alejandría (Sector Ciudadela)	Manzana CH casa 14	3016209501	sofymu@yahoo.es
HUGO NELSON RONCALLO	Presidente JAC El Bosque (Jardines de Paz)	TRANVS 9B #35-68	3046495122	hugopaujuanes@hotmail.com
SELIA BORJA VEGA	Presidente JAC Barrio Mamatoco	Tranvs.5 No.38-22	3016368511	seliaborja@hotmail.com
OFELIA SANTACRUZ ACEVEDO	Presidente JAC Barrios Cantilito II y III	Manzana J casa 30 Cantilito III	3103617439	acevedoofe@hotmail.com
JAVIER PINEDA	Presidente JAC Barrio Cantilito I	MANZANA Y CASA 4	3192972129	
HERNÁN BLANCO NIÑO	Presidente JAC Urb Nuevo Milenio	Manzana Ñ CASA 14	3104264517	hblancogm@hotmail.com
MARIA MARTA GONZALES	Presidente JACs Urbanización Privilegio, Ribera del Río y Portal del Arcoíris	Manzana 5 casa 9 Urbanización Privilegio	304303190	
MARÍA DE LOS REMEDIOS CHILIGUIT	Presidente JAC Barrio El Mayor	Carrera 18 A No. 29D-131	3015793946	chiliguit@hotmail.com
SAUL MARTINEZ GARCIA	Presidente JAC Bonda	Carreara 23 B No 4-44 Bonda	3016650534	saulmartinezg27@gmail.com
AURELIO ROSALES	Presidente Federación de Juntas de Acciones Comunales de Santa Marta		3013570615	aureliorosales57@hotmail.com

Nota. Elaborado por el POMCA.

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INSTRUMENTOS EXISTENTES

Teniendo en cuenta, que la cuenca se encuentra en Formulación de su POMCA, a la fecha del 2018, existe un documento que recoge una serie de documentos con información precisa sobre los diferentes ítems, de Oferta hídrica, demanda hídrica, calidad del agua, pero que del resultado del mismo POMCA se debe arrojar información precisa como zonificación ambiental entre otros. Sin embargo, conforme a una revisión exhaustiva de diferentes bases de datos y bibliotecas, se logró consultar los diferentes estudios realizados en estas cuencas, se consultaron diferentes estudios realizados en el Río Manzanares. En el transcurso y realización de las consultas, estas fueron obtenidas de fuentes heterogéneas como: Las bases de datos de la biblioteca de la Universidad del Magdalena, GrupLAC de Colciencias, IDEAM, INVEMAR, CORPAMAG, Scielo, Banco de la República, Alcaldías del departamento y otros recursos de internet. Se elaboró un listado que contiene la información de cada uno de los estudios donde se describen la cuenca objetivo, la temática, el año, el título y los autores de cada uno (Tabla 6). Se realizaron gráficas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) explicativas y una descripción del nivel conocimiento que se tiene a nivel de los componentes que se han tocado en cada una de las investigaciones adelantadas y del número de trabajos de que han desarrollado, hay que tener en cuenta que a la fecha son varios los estudios que se encuentran en marcha y otros que concluyeron (incluso hace años) se encuentran en fase de publicación de sus resultados por lo que la presente revisión responde a una visión exacta, más no precisa (instantánea), del grado de conocimiento que se tiene de la cuenca.

Figura 5. Número de estudios realizados por componente en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.



Nota. Elaborado por los autores.

Fueron encontrados un total de 30 registros de estudios realizados en la cuenca, lo que la posiciona como la segunda cuenca más estudiada a nivel departamental después de la del río Gaira, algunos estudios encontrados fueron efectuados en otras cuencas al tiempo, el componente más estudiado es el Biológico con un total de 10 trabajos seguido por componente Ambiental con 8 registros y el Geológico con 4, los componentes que menos estudios reportan son el Antropológico y el Socioambiental, con un registro cada uno.

Tabla 6. Listado de estudios encontrados en la revisión bibliográfica de estudios hechos en la cuenca del río Manzanares, departamento del Magdalena, Colombia.

Tipo	Año	Autor(es)	Título
Biológico	1962	Pérez C.	Estudio ecológico para el manejo de las cuencas de los ríos Gaira y Manzanares de la Sierra Nevada de Santa Marta. Trabajo elaborado para la Corporación Autónoma Regional de los valles del Magdalena y del Sinú- CVM
Biológico	1970	Herrmann, Reimer	Las causas de la sequía climática en la región costera de Santa Marta Colombia
Biológico	1987	Escobar-Nieves, Alfonso	Estudio de las comunidades macrobenticas en el río manzanares y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua
Biológico	1989	Escobar-Nieve, Alfonso Rafael	Estudio de efecto ambiental para el área de influencia del proyecto transvase de las aguas del río Piedras a la cuenca del río Manzanares para el acueducto de la Ciudad de Santa Marta
Biológico	1997	Morillo-González del Tánago, M.; Giménez- Mirú, A.; García de Jalún-Lastra, D.	Evolución de las poblaciones piscícolas del río Manzanares aguas abajo del embalse de El Pardo
Geológico	2000	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM	Movimientos en masa dañinos ocurridos en Colombia durante el Fenómeno Frío del Pacífico (La Niña) 1999 - 2000
Ambiental	2002	Cantillo-Guerrero, Miguel Alberto	Descripción de los residuos sólidos arrastrados por el río Manzanares a la Bahía de Santa Marta
Económico	2002	Universidad del Magdalena	Río Manzanares, Recuperación Fluvial e Integral y Propuesta de Manejo en su Zona Baja y Urbana. Tomo 6. Estudio Socioeconómico
Hidrológico	2004	Manjarrés-García, Gustavo; Manjarrés- Pinzón, Gustavo	Contribución al conocimiento hidrobiológico de la parte baja de los ríos de la vertiente Noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia
Ambiental	2007	Díaz-Rocca, Luz Helena; Causado-Rodríguez, Edwin	La insostenibilidad del desarrollo urbano: El caso de Santa Marta - Colombia
Ambiental	2007	Ramos-Ortega, Lina María; Vidal, Luis A.; Vilardy Q., Sandra; Saavedra-Díaz, Lina	Análisis De La Contaminación Microbiológica (Coliformes Totales Y Fecales) En La Bahía De Santa Marta, Caribe Colombiano

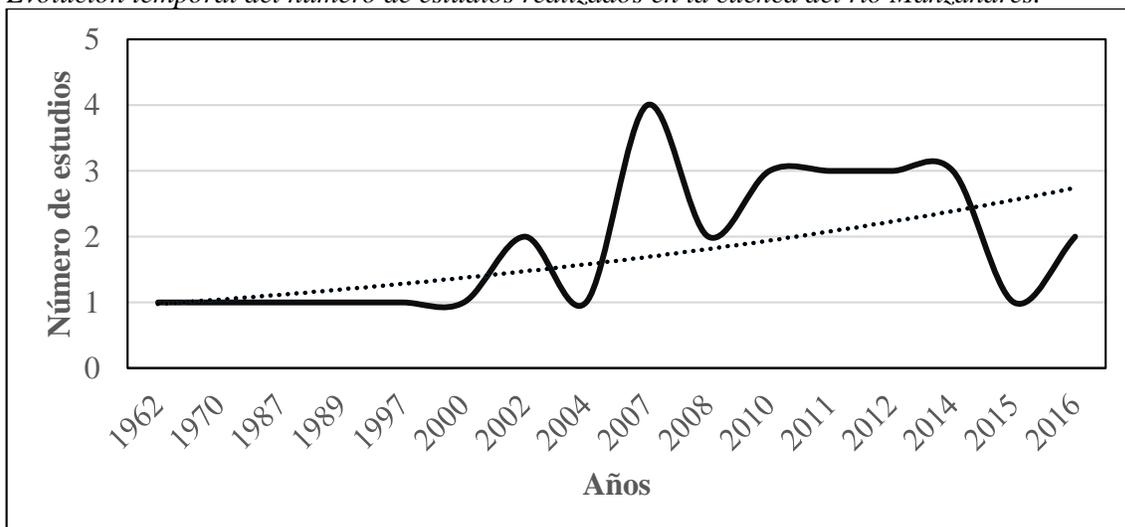
Tipo	Año	Autor(es)	Título
Ambiental	2007	Alvis Camacho, Elian Daviad	Desarrollo de un modelo computacional para la modelación y simulación del oxígeno disuelto del río manzanares
Hidrológico	2007	Guizao-Rodríguez, Juan Carlos	Simulación de calidad del agua del Río Manzanares utilizando el modelo QUAL2K
Geológico	2008	Mejía-Herrera, Pablo; Santa-Escobar, Mónica; Ordóñez-Carmona, Oswaldo; Pimentel, Marcio	Consideraciones petrográficas, geoquímicas y geocronológicas de la parte occidental del batolito de Santa Marta
Biológico	2008	Lubo-Argumedo, Eddi; Hernández-Berdugo, Tatiana	Determinación de la distribución espacial y temporal de las especies de macroinvertebrados y su relación con el estado de las aguas del río Manzanares
Biológico	2010	Cantillo-Guerrero, Miguel Alberto	Macroinvertebrados Bénticos de La Quebrada La Tigrera, Cuenca Del Río Manzanares- Santa Marta Colombia
Económico	2010	Espitia-Avilez, Diego; Cardoso, Andrea	Análisis de Oferta y Demanda de Bienes y Servicios Ambientales en la Sierra Nevada De Santa Marta (Cuenca Ríos Guatapurí, Tapias y Manzanares)
Socioambiental	2010	Grupo de Investigaciones en Sistemas Ambientales e Hidráulicos (GISAH)	Interventoría socio-ambiental de la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas (POMCA) de los ríos Piedras, Manzanares, Gaira, Córdoba, Frío, Tucurinca, Aracataca, Fundación y Ariguaní, y las ciénagas Cerro de San Antonio
Geológico	2011	Morales-Giraldo, David Fernando; Guzmán-Ospitia, Georgina	Análisis mineralógico de sedimentos en zonas de playa entre Costa verde y la bahía de Taganga (departamento del Magdalena)
Ambiental	2011	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, José Benito Vives de Andrés - INVEMAR	Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano
Ambiental	2011	Romero-Borja, Isaac; Luna-Fontalvo, Jorge Alberto; Ponce-Obregón, Wilmer	Calidad Sanitaria De Las Fuentes Hídricas De La Cuenca Baja Del Río Manzanares, Santa Marta, Colombia
Geológico	2012	Babilonia-Franco, Kellys Johana; García-Álvarez, Leonardo Andrés	Diagnóstico de las geoamenazas que afectan las cuencas hidrográficas de los ríos Gaira, Manzanares y Piedras y su incidencia en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCA)
Sociológico	2012	Rodríguez-Barrios, Andrés	Estudio de opinión pública sobre la problemática ambiental del río manzanares en el barrio las Malvinas
Sociológico	2012	Universidad Sergio Arboleda	Experiencias en educación ambiental para la sustentabilidad del municipio de Santa Marta, el caso del río Manzanares

Tipo	Año	Autor(es)	Título
Ambiental	2014	Noguera-Facuseh, Jorge Luis	Parque lineal río Manzanares: proyecto de recuperación y regeneración de la ronda del río Manzanares como pieza urbana de Santa Marta
Biológico	2014	Caicedo, Martín; Londoño, Rosana; Quiroga, Sigmer	Catálogo taxonómico de los ositos de agua (tardígrada) de la cuenca baja de los ríos Manzanares y Gaira, Santa Marta, Colombia
Antropológico	2014	Universidad de los Andes	Estudio para el Fortalecimiento de la Infraestructura Sanitaria de Santa Marta para los Requerimientos Proyectados en los Próximos 50 Años - PRODUCTO II.1: Evaluación antropológica
Biológico	2015	Serna-M., Daniel José; Tamaris-Turizo, Cesar Enrique; Gutiérrez-Moreno, Luis Carlos	Distribución espacial y temporal de larvas de Trichoptera (Insecta) en el río Manzanares, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)
Ambiental	2016	Parques Nacionales Naturales de Colombia	Construcción y diseño del plan maestro de protección y restauración del Parque Nacional Natural Tayrona
Biológico	2016	Barros-Núñez, Esteffany P.; Granados-Martínez, Cristian E.	Ephemeroptera asociados a ocho ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia

Nota. Elaborado por los autores.

Se puede observar que la tendencia general de publicaciones va al incremento de documentos, es notable la existencia de un pico en el año 2007, y una tendencia a la baja en el período 2014-2016, esto (de momento) es atribuible a la espera de publicaciones que están por ser divulgadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Evolución temporal del número de estudios realizados en la cuenca del río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS, HIDROBIOLÓGICAS Y DE CALIDAD HÍDRICA EXISTENTES

Para la cuenca del río Manzanares, se resalta que a pesar de ser una cuenca abastecedora de agua para consumo humano de la ciudad de Santa Marta, no es una cuenca instrumentalizada para análisis climáticos o hidrológicos, por el contrario en la actualidad carece de una estación limnimétrica o Limnigráfica que permita conocer la variación de su caudal, y que estuvo activa durante más de 30 años al servicio del IDEAM, se destaca que en ella NO se encuentran estaciones hidrometereológicas del IDEAM, pero que a sus alrededores en cuencas vecinas como la del río Gaira y del río Piedra, y en el PNN Tayrona, se encuentran algunas estaciones que se muestran a continuación (Tabla 7);

Por último, Corpamag en el año 2012 realizó las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas al río Manzanares, para definir los objetivos de calidad, los cuales se encuentran inmerso bajo el acto administrativo No. 2428 de 2012, proferido por Dirección General de CORPAMAG, así mismo la Autoridad Ambiental durante el periodo 2014-2017, ha venido realizando caracterizaciones de los ríos (control y seguimiento) a través del LABORATORIO acreditado ante el IDEAM, NANCY FLOREZ GARCIA, realizando monitoreo constante a parámetros de calidad, en tres estaciones en la parte baja, a los siguientes parámetros, Oxígeno, Conductividad, pH, Temperatura, Solidos (Suspendidos, Totales, Volátiles etc), grasas y aceites, y Coliformes, en función de los objetivos de calidad establecidos para esta corriente, se resalta que todos los parámetros evaluados no cumplen con la normatividad que regula la calidad del agua.

Tabla 7. Estaciones hidrometereológicas activas que se ubican cercana a la cuenca del río Manzanares

Código	Nombre	Categoría	Tecnología	Estado	Instalación	Altitud	Observación	Suspensión
15015120	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA - AUT	Climática Principal	Automática con Telemetría	Activa	2007-09-12 19:00	7	Cambio de tecnología por instalación o repotenciación de estaciones proyecto Fondo de Adaptación	
15017030	MINCA - AUT	Limnigráfica	Automática con Telemetría	Activa	1965-05-14 19:00	650	Cambio de tecnología por instalación o repotenciación de estaciones proyecto Fondo de Adaptación	
15015060	SAN LORENZO AEROPUERTO	Climática Principal Sinóptica	Automática con Telemetría	Activa	1969-01-14 19:00	2200	Cambio de tecnología por instalación o repotenciación de estaciones proyecto Fondo de Adaptación	
15015050	SIMON BOLIVAR	Principal	Convencional	Activa	1952-06-15	4		
15010010	MINCA IDEAM SANTA	Pluviométrica	Convencional	Activa	1962-11-15	640		
15010501	MARTA	Pluviométrica	Convencional	Activa	2007-06-24 19:00	20	Estación no presentaba fecha de instalación	
15017020	REVUELTA LA	Limnigráfica	Convencional	Activa	1965-05-15	50		
15017060	BOCATOMA SANTA MARTA	Limnigráfica	Convencional	Activa	1973-10-14 19:00	60	De acuerdo con el orfeo 20187050000733 enviado por el coordinador del área operativa 05, donde pide poner en estado suspendido varias estaciones de su jurisdicción, pero se reactivan algunas de ellas De acuerdo con el orfeo 20187050000733 enviado por el coordinador del área operativa 05, donde pide poner en estado suspendido varias estaciones de su jurisdicción, pero se reactivan algunas de ellas	
15010040	VISTA NIEVES	Pluviométrica	Convencional	Activa	1973-09-14 19:00	20		

15015000	SAN ISIDRO BONDA 54 - AUT	Climática Principal	Automática con Telemetría	Activa	2016-12-13	581	Solicitado mediante correo electrónico del 20180704 Solicitado mediante correo electrónico por Jorge A. González, coordinador área operativa 11
15017001	RIO MANZANARES 60 ALERTAS - AUT	Limnigráfica	Automática con Telemetría	Activa	2018-09-16 19:00	453	

Nota. Tomado del catálogo de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM y adaptado por los autores.

IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE USUARIOS DEL RECURSO HÍDRICO Y CLASIFICACIÓN DE LOS USOS ACTUALES

Con base en la revisión de la información se logra establecer que en la cuenca se encuentra usuarios de captación de la empresa de servicios públicos de Santa Marta, que tiene una concesión de agua de 344 l/seg tal como se describe en el cuadro (Tabla 1), y existen dos usuarios con permiso de vertimientos (Tabla 8) que son;

Tabla 8. Usuarios del río Manzanares con permiso de vertimiento.

PREDIO	NUEVO	USUARIO	CAUDAL
VERT - POLLOS HUCANA	POLLOS HUCANA Y CIA LTDA EN RESTRUCTURACION	PROCESADORA DE POLLOS HUCANA	3,07
VERT - AVICOLA ALTAIR	JURADO RAMOS & CIA S A.S	JURADO RAMOS & CIA SAS	0,50

Nota. Oficina de la subdirección ambiental de Corpamag.

REVISIÓN DE INFORMACIÓN ASOCIADA A CONFLICTOS POR USO DEL RECURSO HÍDRICO

A la fecha no se tiene información de conflictos or uso del recurso hídrico, mediante un análisis riguroso de quejas y/o peticiones frente a la autoridad ambiental, sin embargo es de amplio conocimiento que la cuenca viene siendo afectada drásticamente por la invasión u ocupación de sus cauces, alteración de la cobertura vegetal, disminución de la oferta hídrica, sobreexplotación del recurso agua por altos consumos de agua en la parte media, con fines agrícolas, alteración de su geomorfología y de su lecho por explotación minera de arena, vertimientos de aguas residuales en la parte baja, afectación de la calidad, sequía del río, inundaciones en época de lluvias, entre otros conflictos que el río presenta, pero que no se sistematiza la información excepto por el control de inundaciones.

PREDISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD Y CANTIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

El pre-diseño del plan de monitoreo, estará en función de las condiciones hidrológicas del río, del censo de usuarios por vertimientos y del proceso o escenario a modelar, teniendo en cuenta que los principales conflictos del río se describen hacia la parte baja del río que es el tramo que

atraviesa la ciudad de Santa Marta, las estaciones de muestreo de calidad físico-química e hidrobiológica se ubicaran en la parte media-baja, y baja.

PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

El presupuesto para la formulación del Plan de Ordenamiento del recurso hídrico del río Manzanares, se estableció en (\$ 200.000.000) DOSCIENTOS MILLONES DE PESOS aproximadamente.

**FASE 1. DECLARATORIA DE
ORDENAMIENTO DEL CUERPO DE
AGUA**

DECLARATORIA DEL CUERPO DE AGUA

La Corporación Autónoma Regional del Magdalena- CORPAMAG-, mediante la resolución 0025 de 09 de enero del 2019, declaro en ordenamiento del recurso hídrico la corriente del río Manzanares.



EL DIRECTOR GENERAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA -CORPAMAG,

Quien en ejercicio de sus facultades legales y estatutarias que les confieren el Decreto ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993 y la Ley 1450 del 2011, y

CONSIDERANDO

Que el artículo 79° de la Constitución Política establece que "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines".

Que el artículo 80° de la misma Carta, determinó que "El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados...".

Que el Decreto Ley 2811 de 1974 "Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente" disponiendo en su artículo 86 Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado literal d: "Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho".

Que, también el artículo 45° del Decreto Ley 2811 de 1994 en su literal d) señala: La actividad administrativa en relación con el manejo de los recursos naturales renovables se sujetará a las siguientes reglas: (...) d) Los planes y programas sobre protección ambiental y manejo de los recursos naturales renovables deberán estar integrados con los planes y programas generales de desarrollo económico y social, de modo que se dé a los problemas correspondientes un enfoque común y se busquen soluciones conjuntas, sujetas a un régimen de prioridades en la aplicación de políticas de manejo ecológico y de utilización de dos o más recursos en competencia, o a la competencia entre diversos usos de un mismo recurso".

Que en igual sentido, los artículos 48° y 49° del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente establecieron en materia de priorización:

Avenida del libertador No. 32-201 Barrio Tayrona
Corredor: (37) (5) 4211395 – 4213089 – 4211680 – 4211344 Fax: ext. 117
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia
www.corpamag.gov.co – email: contacto@corpamag.gov.co

PR.GD.020 Versión 13_1711/2017



Art 48° "...Además de las normas especiales contenidas en el presente libro, al determinar prioridades para el aprovechamiento de las diversas categorías de recursos naturales se tendrán en cuenta la conveniencia de la preservación ambiental, la necesidad de mantener suficientes reservas de recursos cuya escasez fuere o pudiere llegar a ser crítica y la circunstancia de los beneficios y costos económicos y sociales de cada proyecto".

Art. 49° "Las prioridades referentes a los diversos usos y al otorgamiento de permisos, concesiones o autorizaciones sobre un mismo recurso, serán señaladas previamente, con carácter general y para cada región del país, según necesidades de orden ecológico, económico y social. Deberá siempre tenerse en cuenta la necesidad de atender a la subsistencia de los moradores de la región, y a su desarrollo económico y social".

Que por su parte, el artículo 5° de la Ley 99 de 1993, mediante el cual se definen las funciones del Ministerio del Medio Ambiente, estableció que le corresponde a éste formular la Política Nacional en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y además, establecerá las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio y de los mares adyacentes, para asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del medio ambiente; así mismo, expedirá y actualizará el estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio para su apropiado ordenamiento y las regulaciones nacionales sobre el uso del suelo en lo concerniente a sus aspectos ambientales y fijará las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial.

Que así mismo, el artículo 7°, *ibidem*, estableció que el ordenamiento ambiental del territorio es "la función atribuida al Estado de regular y orientar el proceso de diseño y planificación del uso del territorio y de los recursos naturales renovables de la Nación a fin de garantizar su adecuada explotación y desarrollo sostenible".

Que el artículo 31° numeral 18, *ibidem*, establece como función de las Corporaciones Autónomas Regionales, la del manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales.

Que el Decreto 050 del 2018, "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca

Avenida del libertador No. 32-201 Barrio Tayrona
Corredor: (37) (5) 4211395 – 4213089 – 4211680 – 4211344 Fax: ext. 117
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia
www.corpamag.gov.co – email: contacto@corpamag.gov.co

PR.GD.020 Versión 13_1711/2017



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL MAGDALENA
NIT. 800.099.287-4

1400-37

RESOLUCIÓN No. 025
(09 ENE. 2019)

POR LA CUAL SE DECLARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO SOBRE LA CORRIENTE DEL RIO MANZANARES (1501-05) EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA (SZH - 1501) "CUENCA DE LOS RIOS PIEDRAS, MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE"

Que de acuerdo a lo establecido en el Plan de Acción institucional 2016- 2019 "Magdalena ambiental Compromiso de todos", La Corporación Autónoma Regional del Magdalena -CORPAMAG-, aportando a la gestión integral del recurso hídrico, priorizó el plan de ordenación de recurso hídrico para la corriente hídrica del río Manzanares en el distrito de Santa Marta.

Que, en mérito de lo expuesto,

RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO. Declarar el ordenamiento del recurso hídrico sobre la corriente del río Manzanares (1501-05) en la Subzona Hidrográfica (SZH-1501) "Cuenca de los Rios Piedras, Manzanares Y Otros Directos Al Caribe", de conformidad con lo establecido en la parte considerativa del presente acto administrativo.

Parágrafo 1: El objeto de la presente declaratoria es dar inicio al proceso Plan de ordenamiento del recurso hídrico, tal como lo establece el artículo 3 del decreto 050 del 2018.

ARTÍCULO SEGUNDO. De conformidad con el mapa de Zonificación Hidrográfica de Colombia del IDEAM y verificando el sistema de Información geográfica con que se cuenta, la cuenca hidrográfica del río Manzanares - SZH 1501 Área Hidrográfica Nivel I (02) tiene un área total preliminar de 18999.03 ha, y su delimitación, con base en cartografía oficial 1:25.000 del IGAC, con coordenadas Magna Sirgas que conforman los límites extremos de la cuenca son las siguientes:

Puntos	Norte		Sur		Oriente		Occidente	
	x_cood_m	y_cood_m	x_cood_m	y_cood_m	x_cood_m	y_cood_m	x_cood_m	y_cood_m
1	898617.43	1739543.95	1003626.47	1723811.47	1093700.67	1730541.65	962070.70	1732527.36
2	898696.03	1739896.09	1000078.00	1724139.00	1084125.50	1734893.72	963071.91	1733465.75
3	892627.89	1737569.82	997290.97	1725852.05	1064432.47	1733122.95	963893.01	1733684.68
4	893263.74	1739860.13	994812.82	1724170.17	1003115.59	1732470.14	985029.07	1735676.98

Avenida del Libertador No. 32-201 Barrio Teyrona
Commutador: (57) (5) 4211595 - 4213089 - 4211980 - 4211344 Fax: ext. 117
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia
www.corpamag.gov.co - email: corla@corpamag.gov.co

FR.GD.020

Versión 13_17/11/2017



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL MAGDALENA
NIT. 800.099.287-4

1400-37

RESOLUCIÓN No. 025
(09 ENE. 2019)

POR LA CUAL SE DECLARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO SOBRE LA CORRIENTE DEL RIO MANZANARES (1501-05) EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA (SZH - 1501) "CUENCA DE LOS RIOS PIEDRAS, MANZANARES Y OTROS DIRECTOS AL CARIBE"

conservación que sean necesarias para evitar o detener el deterioro de los recursos naturales renovables de la Subzona Hidrográfica.

ARTÍCULO QUINTO: Con el fin de garantizar el derecho de participación de los usuarios de la Subzona Hidrográfica 1501 denominada "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe se tendrá en cuenta las peticiones, quejas, sugerencias o reclamos, y los resultados de la implementación de la estrategia de participación que se realice durante el proceso del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

ARTÍCULO SEXTO: Ordenar la publicación de la presente declaratoria en un diario de amplia circulación regional, así como en la página web de la corporación.

ARTÍCULO SEPTIMO: Comunicar y remitir copia de la presente providencia al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, a la Gobernación del MAGDALENA, a la Procuraduría Delegada Para Asuntos Ambientales y Agrarios en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena y al Distrito Turístico Cultural e Histórico de Santa Marta localizados en el área geográfica de del área hidrográfica nivel I (150105) llamada cuenca del río manzanares, que pertenece a la subzona hidrográfica 1501 denominada "Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe.

ARTÍCULO OCTAVO: La presente resolución rige a partir de la fecha de su Publicación en el Diario Oficial de Colombia por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena CORPAMAG.

Dada en Santa Marta, a los 09 días del mes de Enero de 2019.

PUBLIQUESE, COMUNIQUESE Y CUMPLASE

Carlo
CARLOS FRANCISCO DIAZ GRANADOS MARTÍNEZ
Director General

Proyectó: Luis Sepúlveda
Revisó: Rosina Lozano
Aprobó: Semraris Guzmán

Avenida del Libertador No. 32-201 Barrio Teyrona
Commutador: (57) (5) 4211595 - 4213089 - 4211980 - 4211344 Fax: ext. 117
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia
www.corpamag.gov.co - email: corla@corpamag.gov.co

FR.GD.020

Versión 13_17/11/2017

FASE 2. DIAGNÓSTICO

CARACTERIZACIÓN INICIAL

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN

Colombia, como Estado Social de Derecho, es un país que garantiza la participación de los ciudadanos en la toma de decisiones que puedan afectarlos. Esto aplica también al sector ambiental, dado que se cuenta con una normativa suficientemente amplia para garantizar este derecho a la toda la ciudadanía. La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) en el año 2011, abrió un espacio fundamental en materia de participación asociada al recurso hídrico. Dicha política definió como uno de sus principios que: “la gestión del agua se orientará bajo un enfoque participativo y multisectorial, incluyendo a entidades públicas, sectores productivos y demás usuarios del recurso, y se desarrollará de forma transparente y gradual propendiendo por la equidad social” (MAVDT, 2010).

Como parte del contrato 204 del 2018 realizado entre la Corporación Autónoma Regional del Magdalena y la Universidad del Magdalena, cuyo objeto es la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares, en este documento se pretende abordar de manera detallada los medios, fines, alcances, herramientas y cronograma de la estrategia de participación que se desarrollará para este proceso por la Universidad del Magdalena.

Como Objetivo general, se pretende desarrollar la estrategia de participación que apoyará la Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares en el departamento del Magdalena que reconozca las diferencias culturales existentes sobre la base de actores que se identifiquen. Para esto se desarrollarán las siguientes actividades específicas.

Realizar la identificación de la mayor cantidad de actores que tengan relación directa sobre el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Formular una estrategia de participación activa y efectiva que permita orientar y mejorar la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Definir los medios, recursos y herramientas que apoyaran la estrategia de participación en el intercambio de información para la definición del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Identificación de actores representativos y relevantes para el ordenamiento

Tomando como referencia la identificación de actores realizado por el POMCA río Piedras río Manzanares y otros directos al caribe (subzona hidrográfica 1501 IDEAM), se tienen en cuenta los criterios definidos para la identificación de actores. Pero modificado a la cuenca del río Manzanares, y son:

Afectados por problemáticas ambientales actuales dentro de la ronda hídrica.

Afectados por los problemas potenciales en la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Afectados por la propuesta de solución (proyectos, programas) que plantee el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Actores que conocen o trabajan en pro de mantener las potencialidades del río Manzanares.

Tienen interés en la propuesta, aunque no sean afectados directamente por las disposiciones de la definición del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Actores que tienen información, conocimiento o experiencia en los temas que se desarrollan en el proceso de planificación y gestión del recurso hídrico.

Actores necesarios para la aprobación y adopción Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

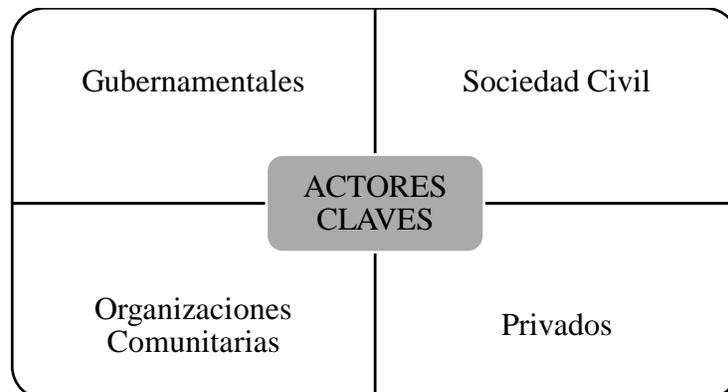
Actores que consideran que tienen derecho a estar involucrados en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares.

Consejo de cuenca

Estrategia de participación

La estrategia de participación a implementar en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares que pertenecen a la subzona hidrográfica 150105, busca garantizar el concurso activo de los actores identificados que tengan relación directa con los impactos que se generen de éste proceso, para esto se trabajará con el mismo enfoque que se adelantó con el POMCA en formulación de la subzona hidrográfica, a partir de los grupos de actores ya identificados.

Figura 6. Caracterización de actores realizado por el POMCA de la subzona hidrográfica 1501.



Nota. Elaborado por el Pomca del río Manzanares.

Con base en la identificación y el mapa de actores que se realizó para la formulación del PORH y siguiendo los aportes y el trabajo ya adelantado por el POMCA, se procedió a que la Corporación, informó a los interesados del desarrollo del proceso, con su respectivo cronograma. Para ello se utilizaron los medios de comunicación efectivos para que los actores identificados como relevantes tengan conocimiento del inicio del proceso Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares. En la (Tabla 9), se presenta un listado de los principales actores relevantes para el proceso del PORH del río Manzanares.

Tabla 9. Actores preliminares identificados para el Ordenamiento del recurso hídrico del río Manzanares.

GRUPO	ACTORES
Instituciones	Alcalde Santa Marta DTCH
	Secretario de Gobierno
	Secretaria de Planeación
	Gerente de Infraestructura
	Oficina para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático
	Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios – ESSMAR
	Sistema Estratégico de Transporte Público - SETP
	UMATA
	Policía Ambiental de Santa Marta
	Personero Distrital de Santa Marta
	Procurador 13 Judicial II Ambiental y Agrario del Magdalena
	Defensa Civil del Magdalena
	Oficina de Medio Ambiente, Gobernación del Magdalena
ONGs	Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta
	Fundación Herencia Ambiental
	Fundación Salvemos El Río
	Fundación Eco-Zion
	Fundación Diskoncept
	Fundación Pro Sierra Nevada De Santa Marta
	Corporación para el desarrollo personal y comunitario encuentro
	Asociación de Promotores Ecológicos de La Sierra Nevada de Santa Marta - ASOPROMO
	Fundación Ambiental Ciudad Verde
	Fundación Pro Zona del Río
	Fundación de Recuperación Ambiental Colombiana
	Fundación para las soluciones Ambientales y Desarrollo Social
Asociación de Organizaciones Asociativas Agroturísticas y Sostenible de Bosques de la Sierra Nevada de Santa Marta	
Fundación Brutalwave	
Fundación ECOLEGA	

Fundación Ambiental Bosques Secos de Colombia
Fundación Herencia Ambiental
Fundación Bachaqueros
Fundación Piedra Donama

JACs
Presidente JAC Barrio Taminaka
Presidente JAC Barrio Minuto de Dios
Presidente JAC Barrio Las Vegas
Presidente JAC Barrio Simón Bolívar
Presidente JAC Barrio Las Malvinas
Presidente JAC Barrio Villa del río Etapa I
Presidente JAC Barrio Villa del Río Etapa III
Presidente JAC Barrio San Pedro Alejandrino
Presidente JAC Barrio Tayrona
Presidente JAC Barrio Timayui I
Presidente JAC Barrio Timayui III
Presidente JAC Barrio Manzanares
Presidente JAC Barrio Las Américas
Presidente JAC Urb Alejandría (Sector Ciudadela)
Presidente JAC El Bosque (Jardines de Paz)
Presidente JAC Barrio Mamatoco
Presidente JAC Barrios Cantilito II y III
Presidente JAC Barrio Cantilito I
Presidente JAC Urb Nuevo Milenio
Presidente JACs Urbanización Privilegio, Ribera del Río y Portal del Arcoíris
Presidente JAC Barrio El Mayor
Presidente JAC Bonda
Presidente Federación de Juntas de Acciones Comunales de Santa Marta

Sector Privado
Comité de Cafeteros
Sector Minero
ASHOFRUCOL
Gremio Lavaderos de Carros
Universidades
Prestadores de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado Santa Marta y Bonda

Nota. Elaborado por los autores.

Medios y herramientas para la estrategia de participación

A partir de la definición del contenido principal que describe el proceso de la formulación Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares, de manera técnica y social, se procederá a socializar mediante talleres participativos, en las instalaciones de la Corporación a los grupos de

actores identificados, **en tres momentos**, uno al inicio del proceso luego de la declaratoria del Proceso, otro a la entrega del documento diagnóstico del PORH, y una final resultado del proceso de Identificación de usos potenciales y Formulación del PORH, estos momentos se utilizarán para informar sobre el inicio, avance y resultado final del PORH, pero además se utilizará como herramienta clave para validar y retroalimentar la información generada, y los proyectos necesarios que requiera el recurso natural (Río Manzanares) para mejorar sus condiciones respecto a la Oferta, demanda y Calidad del agua del río. La estructura de la estrategia se detalla en la siguiente (Tabla 10).

Tabla 10. Estructura de la estrategia de participación a realizar.

Momento	Medios	Herramientas
Inicio	Convocatorias directas mediante oficio remitido	Se realizará un taller por cada grupo de actor, mediante el diálogo directo con cada participante, y se socializará el objetivo, el propósito y la metodología para abordar el proceso, además se describirá los impactos generados por cada grupo de actor.
	Divulgación en página de internet de la Corporación	
	Diálogos telefónicos	
Avance	Cartelera Murales	Se realizará un taller por cada grupo de actor, mediante el diálogo directo con cada participante, y se socializará el resultado logrado del diagnóstico del PORH.
	Convocatorias directas mediante oficio remitido	
	Divulgación en página de internet de la Corporación	
Final	Diálogos telefónicos	Se realizará un taller final donde se describe los principales resultados logrados del proceso de identificación de los principales usos identificados, los usos potenciales, las restricciones que se den, el programa de monitoreo y seguimiento, y los programas y proyectos resultados del PORH.
	Convocatorias directas mediante oficio remitido	
	Divulgación en página de internet de la Corporación	
	Cartelera Murales	

Nota. Elaborado por los autores.

Evaluación de la estrategia de participación

Como todo proceso, es relevante establecer el nivel de aceptación o desaprobación de la gestión a desarrollar concerniente al Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares, es por esto, que para esta estrategia, se pretende medir y evaluar la percepción de los actores involucrados en éste proceso, que le permita a la Corporación Autónoma Regional del Magdalena determinar si la estrategia de participación en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares, presentó la aceptabilidad que requiere para iniciar el proceso.

Esta evaluación del proceso se realizará mediante la estrategia de una encuesta de satisfacción de tipo cualitativa, que a su vez los resultados de la misma serán convertidos a indicadores cuantitativos, y mediante el índice de percepción se obtendrá un porcentaje de satisfacción, dicha encuesta abordará de manera directa el contenido del taller, la estrategia utilizada, el espacio físico, la comprensión del lector y su nivel de participación durante los talleres a realizar por cada grupo de actores identificados.

DEFINICIÓN DE TRAMOS Y SECTORES

Oferta hídrica: la unidad de análisis es la cuenca de la subzona hidrográfica, la cual es la cuenca entera del Manzanares.

Demanda hídrica: la unidad de análisis es la cuenca de la subzona hidrográfica, la cual es la cuenca entera del Manzanares, pero, además se realizó énfasis sobre los consumos donde existe una fuerte presión del recurso, que en este caso obedece a la zona urbanizada de la cuenca la cual es la ciudad de Santa Marta.

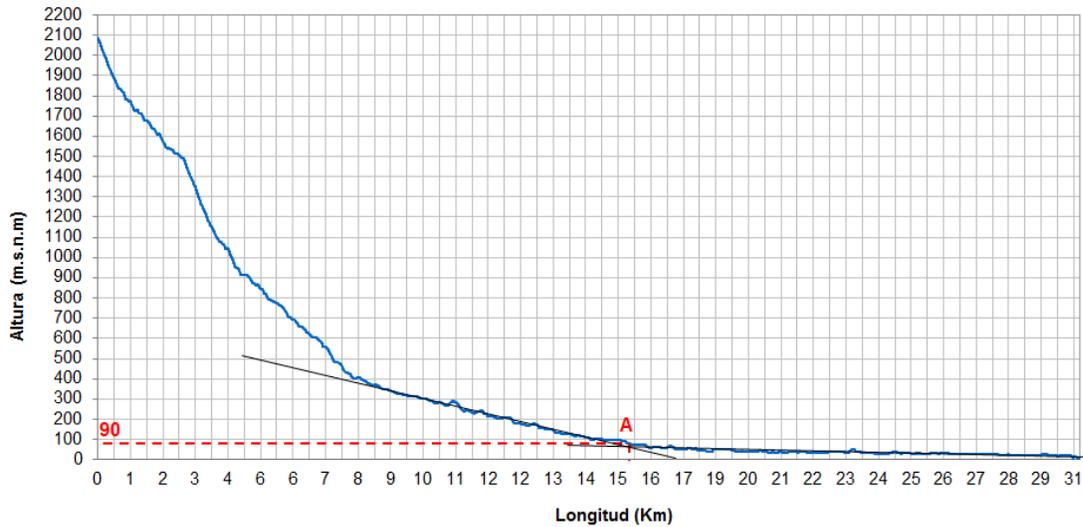
Calidad del agua: Para este objetivo, se consideró la geomorfología del cauce del río, el censo de usuarios, el perfil longitudinal del río, y las características hidrológicas del cuerpo de agua en ordenación, estos criterios permiten valorar la situación inicial del cuerpo de agua, lo que nos evidencia lo siguiente.

Perfil Longitudinal del río; a partir del perfil longitudinal , del río, se identificó el punto de cambio de pendientes que marca la transición entre la cuenca media y la cuenca baja. Para ello se trazaron dos rectas paralelas al perfil longitudinal del río, una en la parte baja y otra en la parte media, el punto de intersección entre las dos rectas marca el fin de la cuenca media y el inicio de la cuenca baja, tal como se muestra en (Figura 7 y Figura 8). El tramo obtenido aguas abajo del punto A, que se ubica en la cota 90 msnm, tiene una longitud aproximada de 15 Km y una pendiente promedio de 0.005 m/m.

Hidrología del río; Teniendo en cuenta la información descrita en el POMCA, se logra establecer que esta cuenca hidrográfica, presenta una condición climática bimodal tetra-estacional, con dos períodos (mayor y menor) de sequía y dos de lluvia, lo que en la hidrología permite definir el escurrimiento de esta conforme al comportamiento de la

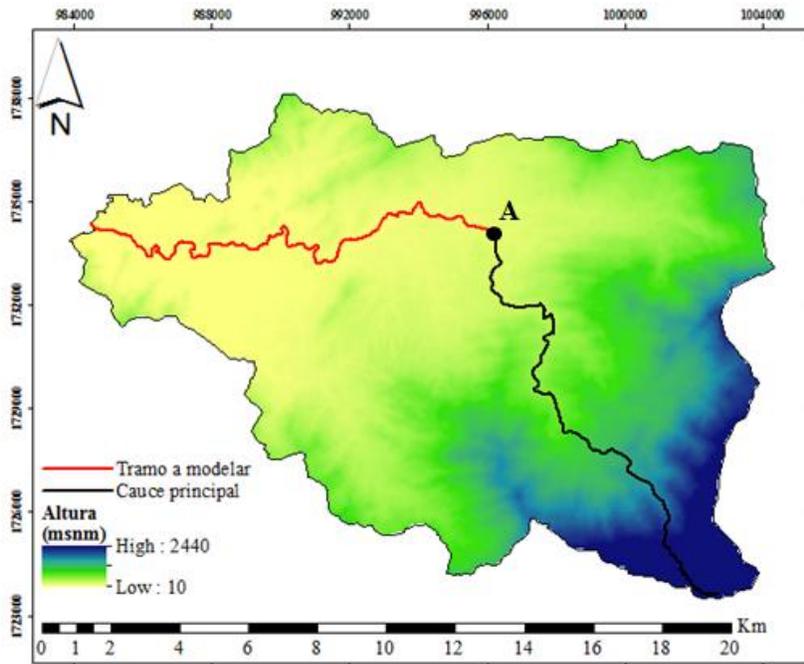
precipitación y de la capacidad de infiltración de los suelos. Para esta cuenca se tiene que sus picos de mayor escurrimiento se concentran para los meses de agosto a noviembre, y los menores de enero a abril.

Figura 7. Punto de referencia A con referencia al perfil de elevaciones del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 8. Ubicación del punto de referencia A en la cuenca del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Teniendo en cuenta el censo de usuarios y el perfil longitudinal, se logra establecer que el tramo a modelar para la calidad del agua, se enmarca en los últimos 12 kilómetros del río, que es donde se presenta la concentración de usuarios por vertimientos arrojados al cuerpo de agua, y que la geomorfología del cauce es de tipo de un río de planicie, y que la velocidad de la masa del agua, con base en el perfil es menor lo que resulta en una baja capacidad de asimilación de contaminantes por parte del cuerpo de agua, es te tramo se identifica en (Figura 8).

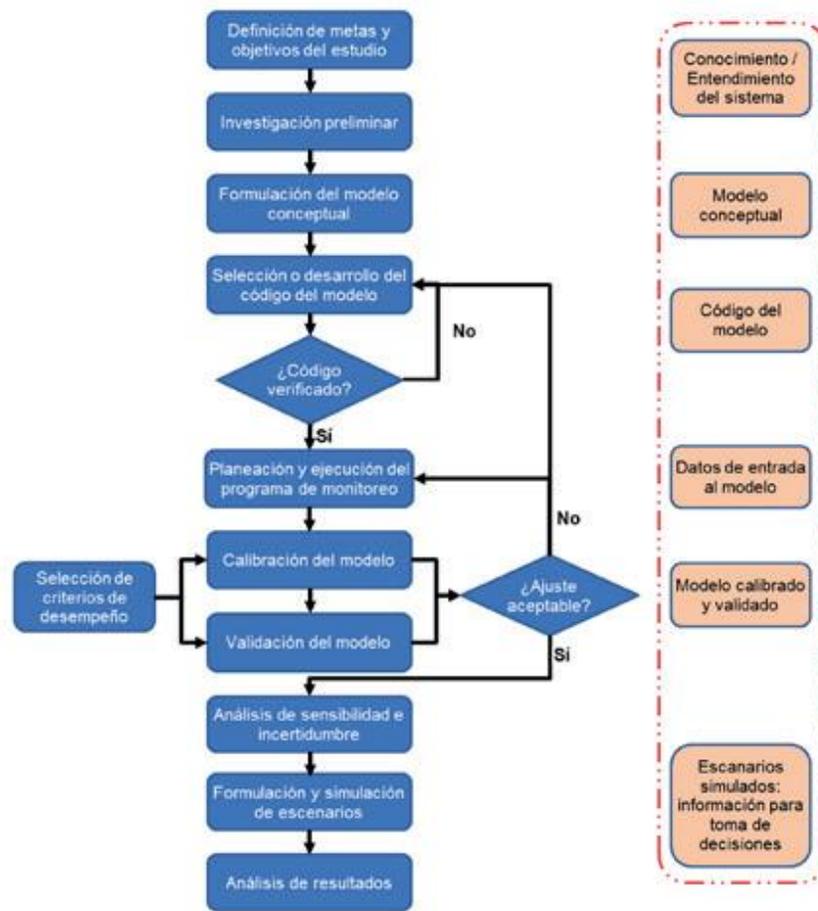
DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

En este paso se definen los parámetros y escenarios a considerar, de manera que el plan de monitoreo a ejecutar, las actividades de campo y la recolección de datos respondan a las necesidades de información requeridas para alimentar el modelo. Esta actividad incluye:

Establecimiento del protocolo o marco de modelación

El protocolo de monitoreo a realizar para llevar a cabo la modelación de la calidad del agua del río Manzanares es el estipulado en (MADS, 2018) (Figura 9).

Figura 9. Marco conceptual del modelo, Fuente (MADS, 2018).



Nota. Tomado del MADS (2018).

Teniendo en cuenta el diagrama de flujo mostrado en la (Figura 9), es necesario seguir una serie de “pasos” que permitan desarrollar de manera correcta la modelación del cuerpo de agua, en este caso, del río Manzanares. En ese orden de ideas, definir las metas y objetivos para los cuales se realiza la información es el primer paso, este es fundamental pues con esto se pueden determinar la cantidad de campañas, puntos a medir, variables a modelar, modelo y ecuaciones a emplear, así como que tipo de calibración y validación deber llevarse a cabo. Con lo anterior en mente, el propósito principal es el de fijar el destino y uso del agua del río Manzanares, así como establecer las normas, condiciones y el programa de seguimiento que logren alcanzar y mantener los usos potenciales, además de conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies para un mínimo de diez años.

Una vez entendido el propósito de la modelación, los siguientes pasos a seguir según el diagrama de flujo de la Figura 1 se desarrollan en los siguientes literales con el fin de dar una explicación sobre qué herramientas y estrategias se llevarán a cabo para lograr cumplir el objetivo planteado.

Definición de procesos y variables a simular

Los procesos y variables para modelar la calidad del agua en el río Manzanares, siguiendo lo descrito (MADS, 2018) y son: Temperatura, Oxígeno disuelto, pH, Conductividad, Hidráulica entendida como: volumen de agua (i.e. caudal), velocidad media y máxima en sección transversal, ancho, profundidad media, área transversal, n de Manning., Geomorfología: Formas de fondo, material de lecho., Nutrientes: Fosforo y nitrógeno, Sedimentos, Coliformes fecales y totales, Cobertura de micrófitas y perifíton.

Las variables y procesos mencionados han sido seleccionados por su importancia y representación de los principales fenómenos que ocurren en el río Manzanares. Tanto la temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad indican y regulan procesos como el intercambio de calor, reacciones, sedimentación o cantidad de iones disueltos en el cauce. Por otra parte, variables hidráulicas y geomorfológicas son necesarias para caracterizar de manera adecuada el cauce con el fin de conocer si se trata de un río de montaña o planicie. De igual manera, variables como los nutrientes o la cantidad de perifíton son requeridas para conocer el potencial de eutroficación del río en diferentes condiciones hidrológicas. No obstante, se modelan todas las variables y procesos listados en (MADS, 2018), tanto para determinantes medibles in situ como para determinantes convencionales. Todo con la finalidad, como se mencionó anteriormente, de determinar cargas contaminantes y principales efectos sobre el sistema.

Determinación de la condición climática y estacional a simular

Conforme a lo expuesto en (MADS, 2018) y (MADS, 2018), es necesario llevar a cabo la simulación de dos condiciones climatológicas. Se deben realizar los muestreos en condición de clima seco para determinar bien sea el caudal medio o mínimo, adicionalmente, un segundo muestreo en condición húmeda o de transición para determinar caudales máximos de retorno. Estas condiciones seleccionadas corresponden al mínimo de muestreos exigidos. Cabe resaltar que esto se debe a las limitaciones económicas y de tiempo con las que se cuenta, además, cada campaña proporcionará información tanto para alimentar y calibrar el modelo como para su posterior validación y simulación de escenarios.

Selección o desarrollo del código del modelo

Debido a que el propósito principal de la modelación es el de conocer el impacto de los diferentes vertimientos a lo largo del río Manzanares, se debe escoger un modelo y código que permitan calcular de manera adecuada dichos impactos sobre el cauce. Cabe mencionar que es necesario escoger dos modelos, uno que permita modelar los determinantes convencionales y otro que permita modelar los metales y sustancias tóxicas.

Para el caso de los determinantes convencionales, es suficiente con un modelo unidimensional de estado estable pues no se evidencian aportes de caudal lateral y, además, se ha realizado un reconocimiento previo de los vertimientos y sus caudales, lo que permite contar con información precisa de las cargas contaminantes que llegan al río. Por otra parte, para el caso de los metales y sustancias tóxicas, se prefiere un modelo dinámico que integre la hidráulica del cauce, lo anterior para representar los procesos de sedimentación, adsorción, absorción y volatilización de dichas sustancias de manera correcta, así como la especiación de estas.

Criterios de selección

Una vez planteadas las necesidades y requerimientos que deben cumplir los modelos, se han seleccionado el modelo QUAL2KW y el modelo WASP (Water Quality Analysis and Simulation Program; EPA, 2017) en su versión 8.0 para realizar la modelación de los diferentes procesos y variables asociadas a la calidad del agua en el río Manzanares.

El modelo QUAL2KW se selecciona por su gran capacidad de simulación y fácil obtención y empleabilidad. Además, este modelo cuenta con un módulo de calibración que permite encontrar, a través de algoritmos genéticos, las tasas que mejor representan los fenómenos y procesos del cauce de estudio, más aún, es un modelo ampliamente usado tanto en la académica como en el ámbito laboral, haciéndolo uno de los más estudiados y documentados.

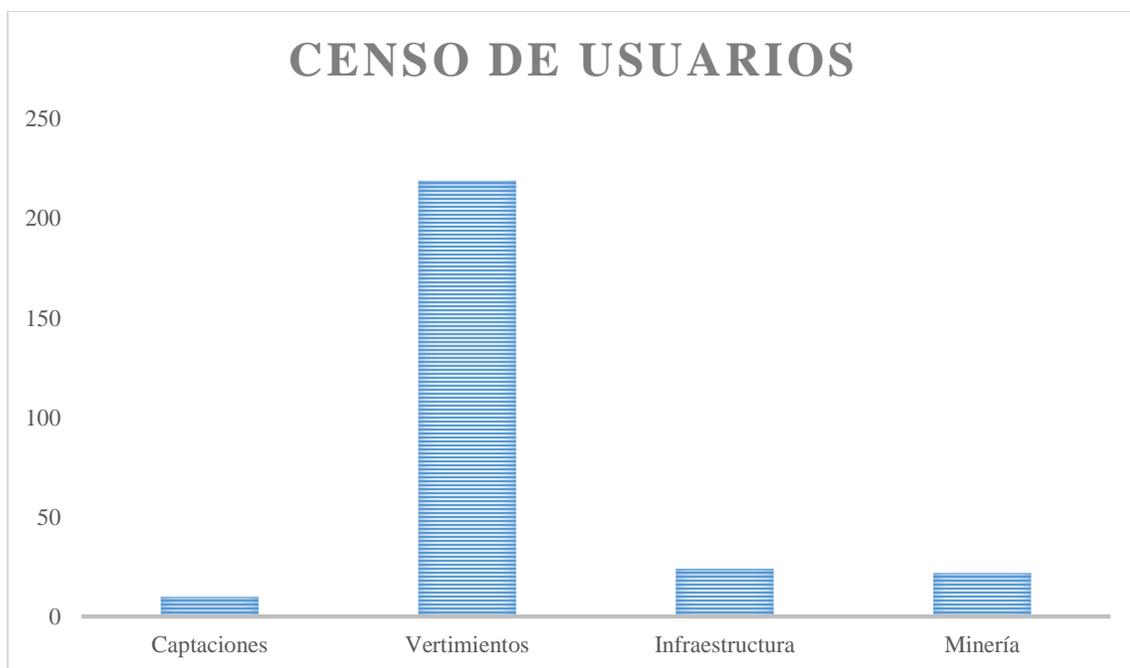
Por otra parte, el modelo WASP, desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) es capaz de modelar de manera dinámica tanto determinantes convencionales como metales y, en su última versión, nanomateriales. Este modelo ha sido ampliamente estudiado y perfeccionado al igual que el modelo QUAL2K. Su utilidad a la hora de representar la calidad del agua con la integración de modelos hidráulicos es suficiente para determinar el impacto de metales y sustancias tóxicas presentes en los cuerpos de agua.

TRABAJO DE CAMPO

CENSO DE USUARIOS Y CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Resulta del levantamiento en campo de los usuarios del recurso hídrico a lo largo del cauce principal del río Manzanares, logrando la identificación de 275 posibles usuarios del recurso hídrico, distribuidos de la siguiente manera (Figura 10). Se resalta que el censo solo se realizó sobre la corriente principal, y que los afluentes conocidas como Quebrada Girocasaca, Tamacá y Vira Vira, no fueron objetos de verificación, debido a que son corrientes intermitentes y su caudal solo depende de los procesos de precipitación, por tal motivo el censo solo centro sobre la corriente principal la cual es una corriente permanente.

Figura 10. Censo de usuarios del recurso hídrico del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Los usuarios del recurso hídrico del censo realizado sobre el cauce principal del río manzanares se encuentran ubicados sobre los últimos 12 kilómetros finales (Figura 11), evidenciando una concentración de los mismos sobre un tramo del cuerpo de agua, que permite dilucidar los posibles efectos que estos usuarios generan al cuerpo de agua, con base a su ubicación y tipo, para así, inferir de manera el tramo con mayor impacto en su calidad del agua. A continuación, se presenta el listado de usuarios legales y por legalizar de captaciones en el río Manzanares.

Tabla 11. Usuarios legales de Captaciones en el río Manzanares registrados en el SIRH del IDEAM.

Cuenca	Nombre	Caudal concesionado (l/s)	Trámites
Manzanares	Ojo de agua		
	manzanares	0,5	1
	Donama	0,817	1
	La tigrera	1,5	1
	Manzanares	12	4
	Manzanares	344	3

Nota. Fuente Plataforma del SIRH del MADS.

Tabla 12. Usuarios legales de captaciones subterráneas en la cuenca del río Manzanares.

Usuario	Expediente	Resolución	Predio	Corregimiento	Tipo de pozo
Multiplo de cinco s.a	4381	1498	RECOVECO	BONDA	Pozo profundo
Multiplo de cinco s.a	4381	1498	MATA DE PLATANO	BONDA	Pozo profundo
Inmobiliaria atlas ltda.	4050	2227	SANTA MONICA	BONDA	Pozo profundo
Jardines memorial esperanza s.a.s	3954	1300	LA FORTUNA	BONDA	Pozo artesanal
Condominio mendihuaca caribbean resort	3957	1179	CONDIMINIO MENDIHUACA	BONDA	Pozo artesanal

Nota. Fuente Plataforma del SIRH del MADS.

Tabla 13. Usuarios legales con permiso de vertimiento en la cuenca del río Manzanares.

PREDIO	NUEVO	USUARIO	CAUDAL
Vert - pollos hucana	Pollos hucana y cia ltda en restructuracion	Procesadora de pollos hucana	3,07
Vert - avicola altair	Jurado ramos & cia s a.s	Jurado ramos & cia sas	0,50

Nota. Fuente de los datos, oficina de la subdirección ambiental de Corpamag.

Tabla 14. Ubicación geográfica de usuarios de Captaciones por legalizar sobre el río Manzanares.

OBJECTID	Elevation	X_cood	Y_cood
1	37	-74,127139	11,238556
2	37	-74,127417	11,238194
3	175	-74,099167	11,211611
4	394	-74,092194	11,181667
5	394	-74,094111	11,183889
6	394	-74,097639	11,191583
7	394	-74,100972	11,195583

8	394	-74,09975	11,200472
9	394	-74,099806	11,200694
10	394	-74,099555	11,201778

Nota. Elaborado por los autores.

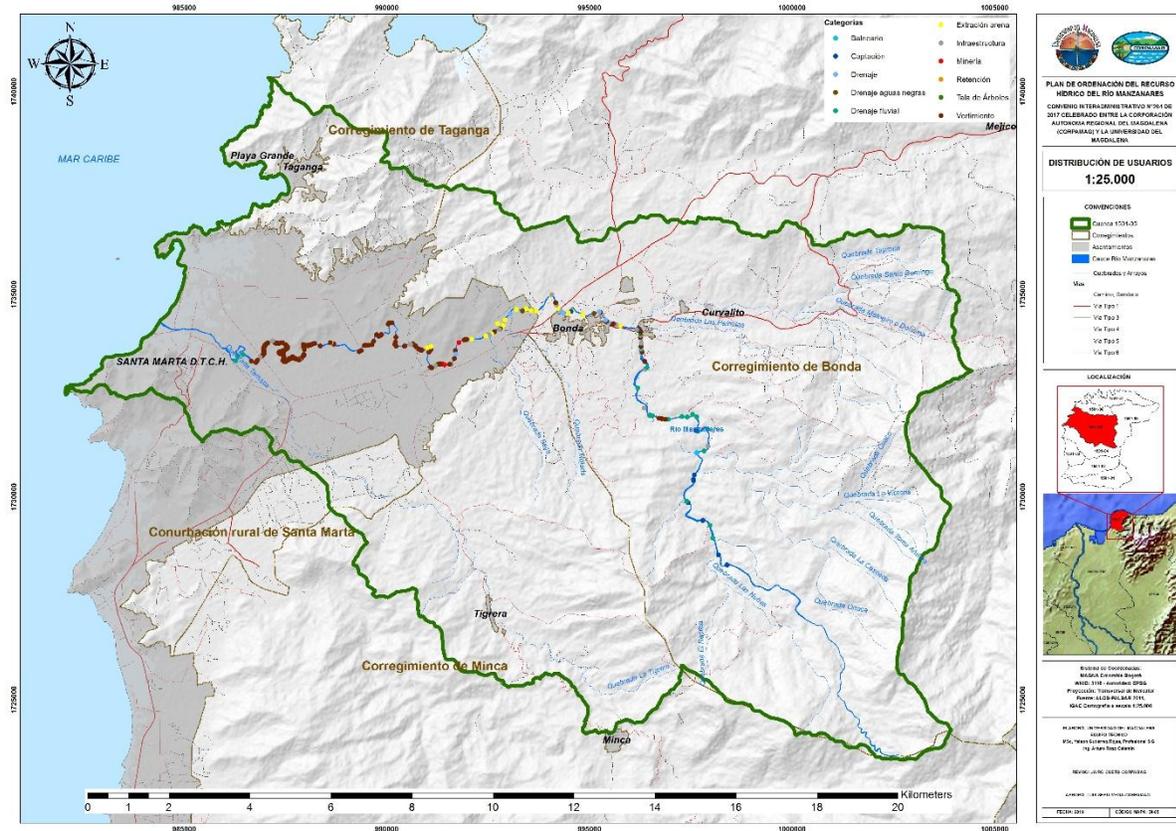
Tabla 15. Ubicación geográfica de los usuarios de vertimientos por legalizar sobre el cauce del río Manzanares.

OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood
1	79	-74,11225	11,234361	171	22	-74,19	11,227778	272	21	-74,196917	11,229667
2	79	-74,112194	11,234417	172	22	-74,190167	11,227917	273	19	-74,196917	11,229583
4	72	-74,110778	11,227083	173	22	-74,190222	11,227944	274	20	-74,196833	11,229333
6	72	-74,111389	11,229111	174	23	-74,190306	11,228056	275	17	-74,196889	11,229222
10	69	-74,111583	11,230389	175	23	-74,190417	11,228056	276	18	-74,196861	11,229167
14	68	-74,111778	11,232389	176	23	-74,190472	11,228	277	19	-74,196861	11,228972
17	66	-74,111667	11,233639	177	23	-74,190472	11,227972	278	19	-74,196833	11,228917
22	47	-74,117889	11,235444	178	5	-74,190556	11,227917	279	17	-74,196806	11,228833
23	46	-74,118139	11,235333	179	23	-74,190639	11,227889	280	18	-74,196889	11,22875
25	44	-74,119417	11,236028	180	20	-74,190694	11,227833	281	17	-74,196917	11,228694
26	43	-74,119444	11,236083	181	21	-74,190778	11,227778	282	18	-74,197056	11,228555
30	42	-74,120806	11,238	182	21	-74,19075	11,227778	283	16	-74,197194	11,228361
44	37	-74,130917	11,240139	183	20	-74,190806	11,227722	284	17	-74,197306	11,228306
58	29	-74,143444	11,234361	184	21	-74,190833	11,22775	287	19	-74,198278	11,227333
60	27	-74,144778	11,233667	185	19	-74,190861	11,227722	288	18	-74,198472	11,227111
67	21	-74,151028	11,231944	186	18	-74,190889	11,227694	289	18	-74,198639	11,226833
68	23	-74,151583	11,231889	187	18	-74,191	11,227639	290	8	-74,199694	11,227111
72	24	-74,153583	11,229472	188	18	-74,191083	11,227611	308	125	-74,106083	11,214139
73	24	-74,153583	11,229444	189	17	-74,191167	11,227611	309	121	-74,106889	11,214278
75	20	-74,153833	11,227667	190	17	-74,191194	11,227611	310	118	-74,107528	11,214389
76	20	-74,154694	11,226389	191	17	-74,191333	11,227472				
78	20	-74,154861	11,226417	192	17	-74,191305	11,227472				
81	21	-74,157	11,2265	193	18	-74,191333	11,227472				
82	21	-74,157472	11,226417	194	17	-74,191333	11,227417				
83	22	-170,174555	11,226278	195	17	-74,191389	11,227389				
85	25	-74,158917	11,225639	196	15	-74,191417	11,227361				
86	26	-74,159194	11,225778	197	18	-74,191444	11,227361				
87	25	-74,159556	11,229111	198	19	-74,191472	11,227305				
88	25	-74,159389	11,229417	199	11	-74,1915	11,227278				
89	24	-74,159111	11,229667	200	19	-74,191472	11,227278				
92	26	-74,161167	11,229556	201	19	-74,191583	11,227222				
93	27	-74,161333	11,229528	202	19	-74,191861	11,227028				

OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood
94	28	-74,161861	11,229805	203	19	-74,191944	11,227				
95	30	-74,162556	11,230361	204	19	-74,191972	11,226972				
96	31	-74,162528	11,230417	205	20	-74,191972	11,226972				
97	30	-74,162639	11,230555	206	26	-74,192167	11,226972				
98	30	-74,163222	11,230944	207	26	-74,19225	11,227				
100	29	-74,164972	11,230472	208	27	-74,192361	11,227028				
101	28,878492	-74,165069	11,230469	209	30	-74,192389	11,227111				
102	28,831839	-74,165078	11,230468	210	30	-74,192389	11,227111				
103	22	-74,166944	11,230444	211	31	-74,192528	11,227194				
104	20	-74,16725	11,230833	212	32	-74,1925	11,227444				
105	20,014334	-74,167164	11,23137	213	27	-74,192361	11,228083				
106	20,09831	-74,167136	11,231385	214	27	-74,192444	11,228611				
107	19,669098	-74,166996	11,232437	215	26	-74,192639	11,228667				
108	23	-74,167889	11,235667	216	26	-74,192778	11,228694				
109	21	-74,168528	11,235667	217	26	-74,192833	11,228722				
110	21	-74,168611	11,235583	218	25	-74,192944	11,228806				
111	21	-74,16875	11,235361	219	25	-74,193083	11,228778				
113	16	-74,170306	11,233028	220	25	-74,193167	11,22875				
114	15	-74,1705	11,232861	221	24	-74,193417	11,228889				
115	15	-74,170917	11,232694	222	65	-74,193472	11,229056				
116	14	-74,171361	11,233	223	64	-74,193333	11,229167				
117	16	-74,172083	11,2315	224	63	-74,192583	11,229389				
118	15	-74,172444	11,230806	225	65	-74,192555	11,229417				
119	14	-74,173167	11,230639	226	64	-74,192167	11,229528				
120	13	-74,173722	11,230667	227	64	-74,192111	11,229556				
121	13	-74,173972	11,230639	228	64	-74,192083	11,229639				
122	13	-74,174139	11,230583	229	65	-74,191889	11,229833				
123	14	-74,174139	11,230583	230	66	-74,19175	11,229917				
125	12	-74,174889	11,229444	231	67	-74,191722	11,229917				
126	13	-74,175306	11,22925	232	68	-74,191667	11,229917				
129	52	-74,181056	11,230778	233	68	-74,191611	11,229972				
131	49	-74,181056	11,230972	234	67	-74,191556	11,229972				
133	48	-74,181833	11,23125	235	66	-74,191528	11,230306				
134	47	-74,184083	11,2305	236	65	-74,191722	11,230472				

OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood	OBJECTID	Elevation	X_Cood	Y_Cood
135	45	-74,185417	11,231055	237	64	-74,19175	11,230472				
136	46	-74,1855	11,231028	238	65	-74,191722	11,230444				
137	44	-74,185667	11,231	239	65	-74,191694	11,230444				
138	43	-74,186055	11,230833	240	64	-74,191778	11,230528				
139	44	-74,186361	11,230667	241	64	-74,191833	11,230528				
140	44	-74,1865	11,230694	242	65	-74,191861	11,230611				
141	42	-74,186889	11,230555	243	65	-74,191806	11,230611				
142	45	-74,187028	11,230639	244	65	-74,191944	11,23075				
143	45	-74,187194	11,230667	245	53	-74,192583	11,231167				
144	45	-74,187944	11,230861	246	50	-74,192806	11,23125				
145	41	-74,187917	11,230694	247	45	-74,193389	11,231083				
146	41	-74,187889	11,2305	248	43	-74,193528	11,231055				
147	40	-74,187806	11,230222	249	42	-74,193611	11,231083				
148	40	-74,187778	11,230028	250	41	-74,193694	11,231111				
149	40	-74,187694	11,229667	251	41	-74,193806	11,231111				
150	44	-74,187861	11,228389	252	40	-74,193833	11,231083				
151	45	-74,187833	11,228583	253	39	-74,194111	11,231111				
152	30	-74,188444	11,227805	254	41	-74,194333	11,231194				
153	27	-74,188444	11,227778	256	27	-74,196	11,231167				
154	21	-74,188444	11,227694	257	26	-74,196139	11,231055				
155	21	-74,188417	11,227694	258	28	-74,196389	11,230889				
156	20	-74,188389	11,227722	259	27	-74,196417	11,230778				
157	20	-74,1885	11,227667	260	24	-74,196583	11,230722				
158	18	-74,188611	11,227556	261	24	-74,196611	11,230667				
159	18	-74,188722	11,227472	262	23	-74,196611	11,230639				
161	18	-74,188944	11,227417	263	22	-74,196639	11,230555				
162	17	-74,189083	11,227444	264	22	-74,196667	11,230472				
163	18	-74,189139	11,227444	265	22	-74,19675	11,230417				
164	11	-74,189333	11,227556	266	21	-74,196806	11,230306				
165	18	-74,189389	11,227583	267	21	-74,196806	11,23025				
166	20	-74,189528	11,227583	268	21	-74,196833	11,230222				
167	21	-74,189639	11,227611	269	20	-74,196972	11,229917				
168	21	-74,189806	11,227667	270	21	-74,196944	11,229861				
169	21	-74,189889	11,227694	271	21	-74,196917	11,22975				

Figura 11. Distribución de usuarios del recurso hídrico del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE MONITOREO

Características del modelo (procesos y parámetros de calidad del agua, escala espacial y escala temporal)

Restricciones y limitaciones del modelo

Una vez seleccionados los modelos a emplear para cumplir con los objetivos planteados para la modelación del río Manzanares, es importante aclarar las restricciones y limitaciones con las que cuenta cada uno de los modelos, ya sean de carácter computacional o por la presencia o ausencia de herramientas que permitan representar los procesos y fenómenos propios del tramo de estudio.

Para el caso del modelo QUAL2K, este es un modelo unidimensional de estado estable que, como se indica, no es posible realizar modelos en tres dimensiones, aunque no sea una limitante para el caso de este estudio, suele ser un problema en casos donde se requiere. Por otra parte, no cuenta con un módulo dedicado a sustancias tóxicas o metales pesados. Por otra parte, su

calibración suele ser compleja debido al coste computacional que representa. Por lo demás, es un modelo gratuito y ampliamente usado y documentado.

Para el caso del modelo WASP, este es un modelo capaz de simular condiciones tanto en estado estable como cuasi-dinámico y dinámico, puede emplearse para todo tipo de corrientes, embalses o lagos y es posible integrar modelos hidráulicos como HEC-RAS. Cuenta también con módulos exclusivos para metales, sustancias tóxicas y determinantes convencionales. Su principal limitación es que no incluye un módulo de calibración que permita determinar las tasas representativas del sistema, esto suele ser un problema importante pues la calibración es imprescindible a la hora de utilizar cualquier modelo de calidad del agua.

Aplicaciones previas

Los modelos antes descritos se han empleado en diferentes ámbitos, desarrollados en principio por académicos, estos modelos han desempeñado un papel muy importante en diferentes estudios a nivel mundial y local. En el caso de Colombia, el modelo QUAL2K ha sido ampliamente utilizado para la determinación de cargas contaminantes y para simular el impacto de diferentes tipos de vertimientos. El modelo WASP, aunque usado a nivel internacional, es bastante nuevo en Colombia, pero su principal uso es el de determinar las cargas contaminantes e impactos provenientes de vertimientos mineros o industriales que cuenten con metales pesados y sustancias tóxicas.

Costos asociados al uso del modelo

Tanto el modelo QUAL2K como el modelo WASP son de libre uso y descarga. Se han desarrollado para diferentes plataformas y cuentan con manuales de usuario de fácil acceso. No obstante, aunque los costos económicos no son mayores, el costo computacional y cantidad de tiempo que debe dedicarse a la implementación de los modelos suele ser alta. Por lo anterior, se requiere que tanto los experimentos con trazadores como las campañas de muestreo arrojen resultados que puedan alimentar de manera satisfactoria al modelo y, posteriormente, logren calibrar y validar de manera correcta.

Definición de requisitos de información adicional para la implementación del modelo

Esquemas que indiquen: entradas, salidas, fuentes, sumideros y procesos fisicoquímicos y biológicas dominantes identificados en el sistema a modelar.

Definición de criterios para la calibración y validación del modelo

Para llevar a cabo la calibración y posterior validación del modelo de calidad del agua es necesario tener en cuenta la cantidad de variables, función objetivo y método de calibración a emplear. En este orden de ideas, el modelo QUAL2KW cuenta con un módulo de calibración propio que permite llevar a cabo este análisis. En este módulo se describen las tasas y parámetros que deben ser calibrados (*i.e.* velocidades de sedimentación, tasas de hidrólisis, tasas de oxidación, tasas de nitrificación, desnitrificación y tasas decaimiento), de igual forma, es importante recordar que las tasas a calibrar tienen sentido físico, esto para la selección del rango sobre el cual van a ser calibradas. Generalmente, las tasas suelen oscilar entre 0 y 2 m/d o $1/d$, así pues, tasas de oxidación nos indica que en un día puede llegar a oxidarse entre el 0 y el 100% del total de la materia orgánica disponible.

De igual manera, el modelo QUAL2K emplea un algoritmo genético y simulaciones de Monte Carlo que le permiten evaluar cada tasa sobre el rango escogido. Cabe resaltar que, además del algoritmo genético (calibración objetiva), es posible calibrar de forma subjetiva para las tasas mencionadas, esto se emplea como una aproximación empírica a los valores para posteriormente emplear la calibración objetiva y encontrar los valores representativos del tramo de estudio. Sumado a esto, es necesario plantear una función objetivo que evalúe la robustez del modelo y que tan buena es la aproximación entre los valores simulados y los valores observados a través de las campañas de muestreo.

Existe una gran variedad de funciones objetivo que permiten representar de manera adecuada la calidad de la calibración. Para el caso de modelación de la calidad del agua se usan típicamente la función RMSE (Root Mean Square Error) y el coeficiente de Nash (R^2). Las dos funciones objetivo predicen que tan bueno es el ajuste del modelo en función de los datos modelos y observados por el mismo, así pues, se pueden plantear las siguientes ecuaciones para cada una de las funciones,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Debido a que la función RMSE resulta en valores no normalizados, es necesario realizar un proceso adicional para obtener valores que sean comparables y que, al mismo tiempo, sean adimensionales. Esto se logra al dividir el resultado de cada parámetro entre el promedio de los valores observados,

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\overline{X_{obs}}}$$

Cabe resaltar que el rango de la función es subjetivo, debido a que se mide un error, se espera que los valores obtenidos sean muy cercanos a cero, sin embargo, es criterio del modelador decidir si el ajuste alcanzado es correcto en relación a las necesidades del modelo y del proyecto.

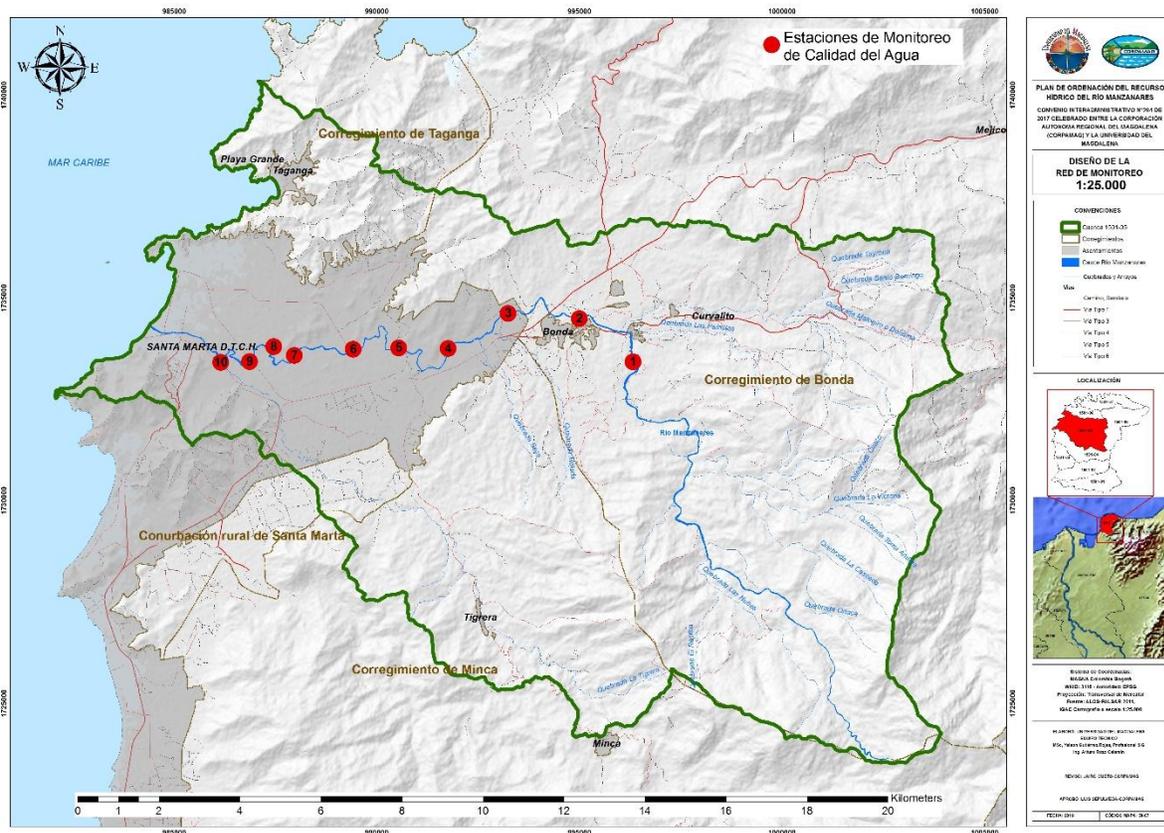
Ahora bien, al igual que para la función RMSE, el coeficiente de Nash mide el ajuste entre los datos modelados y observados y, además, entre los datos observados y el promedio de los mismos. Esta función es comúnmente usada en escenarios donde se cuenta con una cantidad considerable de mediciones ya que esto permite realizar un ajuste mejor sobre los datos observados. De igual forma, el coeficiente de Nash tiene un rango entre menos infinito y 1 lo que, en la mayoría de los casos, suele ser una medida mucho más intuitiva y conocida.

Por último, la validación del modelo se realiza una vez obtenida la calibración de las tasas como se ha explicado anteriormente. Se deben emplear datos de una campaña de medición diferente a los usados para la calibración, estos datos permiten rectificar si la calibración realizada y el modelo son correctos y representan todos los procesos y reacciones propias del tramo de estudio.

Diseño del plan de monitoreo

Para esta etapa, se realizará dos campañas de muestreo, una durante la época seca (Marzo) y otra durante la transición de seca mayor a lluvia menor (Mayo), con el fin de poder tener indicadores de estado acorde a la variabilidad climática de la cuenca, esto se realizará en las diferentes estaciones que se relacionan en (Figura 12).

Figura 12. Red de monitoreo de Calidad del Agua en el Río Manzanares



Nota. Elaborado por los autores.

Para tal fin, con las campañas de muestreo, se busca realizar el análisis de los siguientes parámetros;

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua a medir en la fase diagnóstico.

Carácter	Parámetros	Unidades
Físicos	Ph	[Unidades de Ph]
	Conductividad Eléctrica	[S/m]
	Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]
	Temperatura del Agua	[C]
Fisicoquímicos Básicos	Alcalinidad	[mg/L CaCO ₃]
	Dureza Total	[mg/L CaCO ₃]
	DBO Total	[mg/L O ₂]
	DBO Filtrada	[mg/L O ₂]
	DQO Total	[mg/L O ₂]
	DQO Filtrada	[mg/L O ₂]
	Sólidos Suspendidos Totales	[mg/L]
	Sólidos Suspendidos Volátiles	[mg/L]
	Sólidos Sedimentables	[mg/L]
	Sólidos Disueltos Totales	[mg/L]
	Turbiedad	UNT
	Nitrógeno Total	[mg/L N]
	Nitrógeno Amoniacal	[mg/L N-NH]
	Nitritos	[mg/L N-NO ₃]
	Nitratos	[mg/L N-NO ₂]
	Fosforo Total	[mg/L P]
	Ortofosfatos	[mg/L P-PO ₄]
	Grasas y Aceites	[mg/L]
	SAAM	[mg/L]
	Fenoles	[mg/L]
Hidrocarburos Totales del Petróleo	[mg/L]	
Iones	Clorofila-a1	[mg/L Chl-a]
	Cloruros	[mg/L Cl ⁻]
	Sulfatos	[mg/L SO ₄]
	Cianuro	
Metales/Metaloides	Hierro	[mg/L]
	Mercurio	[mg/L]
	Plomo	[mg/L]

Nota. Guía nacional para la modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales.

Para el caso de los parámetros biológicos se realizará conforme a los diferentes componentes;

Metodología macroinvertebrados

Recolecta de material biológico

El análisis de los macroinvertebrados en los tramos (alto, medio y bajo) del río Manzanares se realizará mediante el uso de una red surber, se recolectarán organismos adheridos a la grava (piedras de pequeño tamaño) del lecho de la corriente y la hojarasca (material alóctono presentes en el cuerpo de agua). La red cuenta con un área de 0,09 m² y 300 µm de diámetro de poro, la cual se ubicará contra corriente para evitar la pérdida de organismos y para tener un área de referencia. Adicionalmente se medirán variables fisicoquímicas *in situ* como la Temperatura del agua, pH, Sólidos Disueltos. Las muestras biológicas, tomadas en cada tramo, serán almacenadas en bolsas de calibre grueso, fijadas con alcohol al 96% (Zuñiga & Cardona, 2009) y debidamente rotuladas con los datos que describan las condiciones generales de cada tramo.

Fase de Laboratorio

Las muestras se procesarán siguiendo los procedimientos recomendados por (Dominguez & Fernandez, 2009), los cuales se describen a continuación:

Las muestras se tamizarán (200 µm de poro) y enjuagarán para eliminar el exceso de materia e inorgánica y orgánica fina. Luego se procederá a separarlas usando bandejas plásticas de color blanco (para mejorar el contraste), y pinzas entomológicas punta fina. Finalmente, se almacenarán en viales de vidrio con alcohol al 96 % con los respectivos rótulos con la información de cada muestra.

La etapa de identificación del material biológico se realizará utilizando un estereoscopio, las estructuras bucales de algunos insectos como los Ephemeroptera, serán analizados en un microscopio óptico (aumentos de 10X y 40X). Para el proceso de identificación de macroinvertebrados acuáticos se utilizarán las claves taxonómicas de (Merritt & Cummins, 2008) (Domínguez, Molineri, Pescador, Hubbard, & Nieto, 2006) y (Dominguez & Fernandez, 2009), entre otros.

Análisis de Datos

Para evaluar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se estimará la riqueza específica, se aplicarán los índices de Shannon y dominancia de Simpson. Se realizará un análisis descriptivo con graficas de barras en Excel representando las abundancias de macroinvertebrados. El paquete estadístico utilizado para el análisis fue PAST ver. 2.17c. A su vez, para evaluar la calidad del agua se utilizará el Índice BMWP: El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System) fue propuesto con la finalidad de ser utilizado como metodología para evaluar la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos; sin embargo, este índice solo permite comparar situaciones de calidad, pero no emitir juicios respecto de la misma (Roldan, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col., 2003), en la (Tabla 17) se agrupan los macroinvertebrados por familias en categorías ubicados de acuerdo con la puntuación o valencia ecológica ponderados de 1 a 10 puntos. En la (Tabla 18) se presentan las clases correspondientes a los niveles de calidad, según el puntaje obtenido en la sumatoria de las diferentes valencias ecológicas para cada familia encontrada en las muestras analizadas, adicionalmente se define su característica y un color para usos en la cartografía.

Tabla 17. Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico- BMWP adaptado para el sitio de muestreo.

Orden	Familias	Nivel ecológico
<i>Acari</i>	<i>Hidracnidae</i>	
<i>Coleóptera</i>	<i>Ptilodactylidae, Psephenidae</i>	
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Oligoneuridae</i>	10
<i>Plecóptera</i>	<i>Perlidae</i>	
<i>Trichoptera</i>	<i>Calamoceratidae, Hydroptilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae</i>	
<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiidae</i>	9
<i>Lepidoptera</i>	<i>Pyralidae</i>	
<i>Trichoptera</i>	<i>Philopotamidae, Hidrobiosidae, Xiphocentropodidae</i>	
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	
<i>Hemíptera</i>	<i>Veliidae</i>	8
<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>	
<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae</i>	
<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	
<i>Díptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohyphidae</i>	
<i>Hemíptera</i>	<i>Naucoridae</i>	

<i>Trichoptera</i>	<i>Polycentropodidae</i>	
<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>	6
<i>Odonata</i>	<i>Libellulidae</i>	
<i>Díptera</i>	<i>Empididae</i>	5
<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae, Tipulidae</i>	4
<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2

Nota. (Roldan, 2003)

Tabla 18. Características de la valoración del índice BMWP.

Clase	Rango BMWP	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro 
II	101- 120	Buena	Aguas Limpias	Azul Claro 
III	61- 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde 
IV	36- 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo 
V	16- 35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja 
VI	≤ 15	Muy Critica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo 

Nota. (Roldan, 2003)

Metodología perifíton

Fase de Campo

Se establecerán tres tramos de muestreo que abarquen la zona baja, media y alta del río Manzanares. Se realizará una campaña de muestreo para la época climática de lluvia y una para sequía. En cada tramo de muestreo se identificarán dos zonas caracterizadas por el caudal, zonas de rápidos y lentos, en estas zonas se medirán variables hidráulicas, variables ambientales (pH, oxígeno disuelto, temperatura y porcentaje de oxígeno disuelto) y variables biológicas (riqueza, abundancia y diversidad).

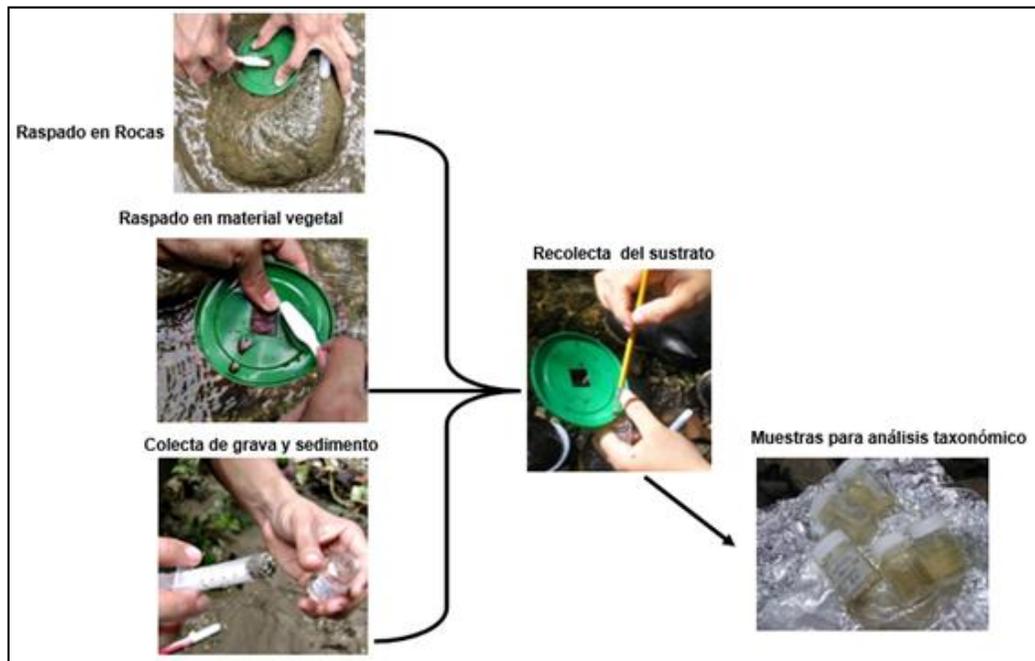
Las variables hidráulicas medidas serán la velocidad de la corriente y caudal, las cuales serán medidas con ayuda de un correntómetro, las variables físicas que se medirán en campo son la

temperatura (° C), oxígeno disuelto (mg/l), porcentaje de saturación de oxígeno (%), y pH, para esto se utilizará una sonda multiparámetrica.

Recolecta de muestras biológicas

En cada tramo se delimitará un segmento de 200 m de longitud. Se recolectarán cinco réplicas de cada sustrato de forma aleatoria (Barbour, Gettitsen, Snyder, & Stribling, 1999). El dispositivo de muestreo consistirá en un cuadrante plástico con un área de 2 cm² (Figura 13), que se ubicará sobre los sustratos correspondientes a material vegetal (Hojas o macrófitas) y rocas, posteriormente se realizará un raspado con un cepillo (de uso dental), que abarcará el área del dispositivo. Este procedimiento permitirá retirar el sedimento y las microalgas (Hauer & Lamberty, 1996). Las muestras, se integrarán por sustrato hasta obtener una con un volumen de 50 ml, la mezcla será fijada con lugol (Edler & Elbrachter, 2010) y se almacenará para su posterior análisis.

Figura 13. Proceso de recolecta del material biológico del sustrato.



Nota. Elaborado por los autores.

Determinación cualitativa y cuantitativa

Para la determinación taxonómica y del tipo de hábito de los especímenes encontrados se utilizará un microscopio óptico Nikon elipse 200 con cámara integrada y se seguirá la siguiente bibliografía: para géneros Bourrelly (1972), para Cyanobacteria se utilizará (Geitler, 1932),

(Komarek & Anagnostidis, 2005) para Bacillariophyceae Lange-Bertalot (2001), (Lance-Bertalot & Krammer, 1987).

Para cuantificación de los organismos, cada raspado de sustrato se mezclará con 10 ml de agua hasta obtener 50 ml el cual será fijado con lugol al 1% de concentración. En el laboratorio, se empleará el método por sedimentación de Utermöhl (Edler & Elbrachter, 2010), se sedimentarán 10 ml por 24 horas, para contabilizar a los organismos pertenecientes al nanofitoplancton (menor de 20 μm) y microfitoplancton mayores de 20 μm (Dussart, 1965), (Malone, 1980), con la ayuda de un microscopio invertido Nikon se revisará un transepto horizontal y otro vertical a lo largo del fondo de la cámara de sedimentación. Posteriormente se hará una revisión completa del fondo de la cámara, para registrar especies con bajas abundancias. El conteo se hará hasta llegar a los 100 individuos de la especie más frecuente de acuerdo con (Lund, Kipling, & Le Cren, 1958).

Análisis de datos

Para el análisis biológico se procederá con las densidades de microalgas del perifíton morfoespecie identificada, se calcularán abundancias relativas para cada grupo taxonómico y se elaborarán gráficas para determinar el comportamiento en general del ensamble microalgal para cada tramo del río por época climática. De igual forma, para cada uno de los tramos se calcularán los índices de entropía de Shannon-Wiener (H') y uniformidad de Pielou (J'), el software utilizado para estos análisis fue STATGRAPHICS Centurion; a su vez, se determinará el número efectivo de especies (Chao y Jost 2015) mediante iNEXT online (Hsieh, Ma, & Chao, 2016).

Para la valoración del patrón espacio-temporal en el ensamble de microalgas, inicialmente se realizará una ordenación multivariada de los taxones y de los grupos (la técnica de ordenación dependerá de la relación entre las variables), con el propósito de identificar estructuras o gradientes en los datos. Lo anterior será complementado con dendogramas de similitud (la distancia a utilizar y el método de agrupación dependerán de las relaciones entre las variables y las observaciones). De igual forma se realizarán técnicas para relacionar a las variables ambientales con el ensamble algal, destacando al BIOENV y al Análisis de correspondencia canónica. El programa utilizado para este análisis será R en la versión más reciente.

Logística de los muestreos

La logística de los muestreos de calidad del agua obedece a realizarlos de acuerdo al movimiento de la misma masa de agua, de tal manera que se ubicaran en concordancia con lo estipulado según el análisis del ensayo de los trazadores. Por otro lado, teniendo en cuenta que el tramo a modelar se ubica la cota 350 msnm hacia aguas abajo, lo cual representa 25 km de los 32 que tiene el río Manzanares en Longitud, lo que equivale a modelar aproximadamente el 78% de todo el río, ya que aguas arriba del río presenta condiciones óptimas de calidad del agua, y teniendo

en cuenta la geomorfología del terreno debido a su alta pendiente y buena cobertura vegetal, además de la poca intervención sobre la parte de esta cuenca.

Por último, y de acuerdo con lo dispuesto por la Guía Nacional de Modelación de Calidad del Agua, trabajará con el Laboratorio del INVEMAR, el cual se encuentra acreditado por el IDEAM, con resolución 0646 del 2016³.

³ Resolución 0646 del 20 de abril del 2016 del IDEAM, por el cual se otorga la acreditación a la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina – LABCAM – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, Para producir información cuantitativa, física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes.

CONSTRUCCIÓN DE LÍNEA BASE

CONSOLIDACIÓN DE USOS EXISTENTES DEL RECURSO HÍDRICO

Con base en lo establecido en el artículo 2.2.3.3.2.1. del decreto 1076 del 2015 del MADS⁴, que establece los usos del recurso hídrico de las aguas superficiales y subterráneas, y teniendo en cuenta la visita a campo que se realizó a lo largo del río Manzanares para realizar el censo de usuarios, se puede establecer que los usos que se presentan de manera directa y con la experticia del profesional especializado en cuencas hidrográficas, se describen a continuación;

Uso para preservación de flora y fauna; este uso se concentra en la parte alta del río, sobre la cota 400 hasta su nacimiento.

Uso para consumo humano; la cual es una de las fuentes abastecedoras del acueducto de la ciudad de Santa Marta, y aporta un 30% del agua como fuente abastecedora, esta captación se conoce como Bocatoma Paso el Mango.

Uso Agrícola; este uso es el de mayor relevancia (Figura 14), debido a la actividad agrícola de la cuenca, pero en su mayoría abastece a pequeños agricultores, pero que en conjunto representa una alta demanda para la cuenca.

Figura 14. Parcelas agrícolas ubicadas en la ronda hídrica del río Manzanares, sector Paso el Mango.



Nota. Fotografías tomadas por los autores con un dron Phantom 4 pro.

⁴ Decreto 1076 del 26 mayo del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

Uso Recreativo; aunque el decreto no define en esta categorización la utilización del recurso hídrico, la implementación de balnearios, o posadas turísticas, y teniendo en cuenta que la ciudad de Santa Marta se caracteriza por ser un destino turístico, y con mayor auge los hoteles ecoturísticos (Figura 15; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se viene presentando una presencia de un número considerable de eco-hoteles, sobre el sector de Paso el Mango, que tienen un uso directo del recurso hídrico y sobre su ronda hídrica. Además, es importante señalar que históricamente el sector conocido como Bonda, ha sido uno de los destinos turísticos como balneario para los samarios.

Figura 15. Ecohostales presentes en la ronda hídrica del río Manzanares, sector Paso el Mango.





Nota. Fotografías tomadas por los autores con un dron Phantom 4 pro.

Teniendo en cuenta el resultado de la visita de campo y la identificación con base en el decreto 1976 del 2015, para el río Manzanares, los usos presentes son Consumo Humano, Agrícola, Preservación de flora y fauna, y recreativo, toda vez, que no se presentan industrias, no es navegable por su bajo caudal, no es pecuario ya que, aunque existen actividades pecuarias, no son relevantes para la misma, ni de pesca o maricultura.

ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL Y OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE E INDICADORES DE ESTADO

Como parte de los estudios para la realización del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) del departamento del Magdalena, se presenta la estimación de la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Manzanares, teniendo como base el documento (IDEAM, 2013).

La oferta hídrica superficial hace referencia al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un período determinado de tiempo. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos (IDEAM, 2013).

La oferta hídrica superficial puede ser sintetizada y espacializada por medio de diferentes metodologías (Figura 16), tales como lecturas de información directa de caudal en las fuentes objeto de estudio, balance hídrico de largo plazo, modelos lluvia-escurrentía, Índice de Aridez, entre otros; los cuales relacionan variables hidrometeorológicas con las condiciones físicas y morfométricas del terreno.

Conceptos clave

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS): es el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficie de suelo, que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos y/o en los cuerpos de agua lénticos.

Oferta Hídrica Disponible (OHTD): es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la OHTS el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales, y en alguna medida, un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental), (IDEAM, 2013).

Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD): es la OHTD más los volúmenes de agua de caudales de retorno asociados a diferentes usos, incluye la suma o resta de caudales de trasvase que ingresen a la cuenca o salgan de ella. Esta es la oferta que se utiliza para el cálculo del Índice de Uso de Agua (IUA).

Oferta Hídrica Regional Aprovechable (OHRA): es el volumen de agua que resulta de sustraer del volumen de agua promedio medido en la estación hidrométrica de referencia, representativa de la unidad de análisis considerada, el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental.

Año hidrológico medio: está definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de caudales medios.

Año hidrológico húmedo: está definido por los caudales máximos de los medios mensuales multianuales de la serie de caudales medios mensuales.

Año hidrológico seco: son los caudales mínimos mensuales de las series de caudales medios; los cuales se identifican con el año típico seco.

Caudal de retorno: es el porcentaje del caudal extraído por los diferentes sectores usuarios que es devuelto a los cauces o cuerpo de agua en el período de tiempo considerado.

Según el documento (IDEAM, 2013), se debe seguir la siguiente metodología para la evaluación de la oferta hídrica superficial.

Figura 16. Procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial en las regiones. Fuente IDEAM.



Nota. Tomado del documento lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua.

Para este caso, el procedimiento corresponde al de cuencas intervenidas, ya que la cuenca del río Manzanares tiene una presión alta en el uso de agua, por las diferentes actividades que se desarrollan en ella se extrae un volumen de agua permanente y constante. La oferta hídrica superficial puede obtenerse directamente de series de caudal en la corriente estudiada, sin embargo, cuando no se cuenta con dicha información, es necesario acudir a métodos indirectos de cálculo, tales como balance hídrico y modelos lluvia escorrentía. Tal como se verá a continuación, para el caso de la oferta hídrica del río Manzanares se acudió a métodos indirectos de cálculo, ya que a pesar de que existe una estación limnimétrica (estación Bocatoma Santa Marta) en la cuenca, esta se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca, es decir que más de la mitad de los aportes hídricos quedan por fuera de su alcance, y por lo tanto no es representativa para el total del área estudiada.

Análisis de la información hidrometeorológica

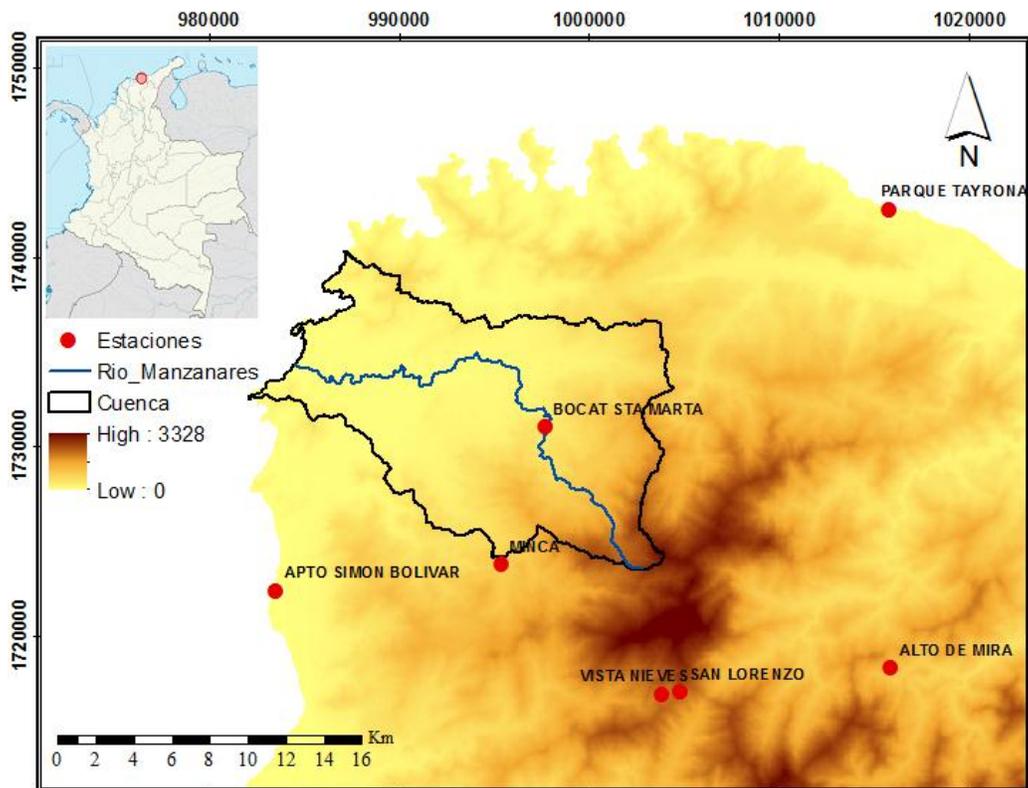
Gran parte de los estudios relacionados con el recurso hídrico, requieren del registro, procesamiento y análisis de información para caracterizar las condiciones hidroclimáticas de una región a lo largo del año o un período de tiempo particular. Lo anterior se logra observando el comportamiento histórico de diferentes variables hidrometeorológicas, e identificando patrones y ciclos según sea el caso.

Sin embargo, existen diversas fuentes de error asociadas a esta información, tales como fallas en los equipos, cambios de tecnología, reubicación de las estaciones de medición, errores humanos en la toma y procesamiento de información, ausencia de datos, entre otros. Para identificar dichos errores en las series históricas, existen técnicas estadísticas que han dado excelentes resultados en diferentes estudios, las cuales prueban la homogeneidad (Uniformidad) y consistencia (Calidad) de dicha información.

Para el presente estudio se solicitó información de diferentes variables hidrometeorológicas al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cercanas a la cuenca del río Manzanares. Las estaciones que contaban con algún tipo de información disponible fueron las 7 que se muestran en (Figura 17 y Tabla 19).

Como primera medida se hará una descripción general de las series, posteriormente se identificará el ciclo anual y la variabilidad climática de acuerdo con el fenómeno ENSO (El Niño y La Niña), y finalmente se hará el análisis a partir de curvas de masa y pruebas estadísticas para detectar cambios en la media de los datos.

Figura 17. Localización de las estaciones utilizadas para el estudio



Nota. Elaborado por los autores.

En la (Tabla 19), se describe de manera general la información de cada una de las estaciones, tal como altitud, longitud de la serie, porcentaje de datos faltantes, entre otras. Allí se observa que la mayoría de las estaciones cuenta con registros muy completos (porcentaje de datos faltantes menor a 15% a excepción de la estación Apto Simón Bolívar y Parque Tayrona) y de longitudes ideales para ser utilizadas en estudios hidrológicos (mayor a 30 años).

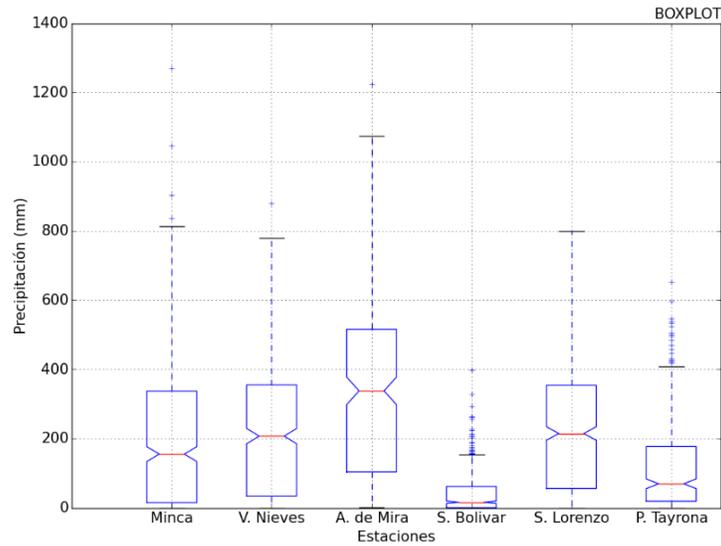
Tabla 19. Información general de las estaciones utilizadas

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Tipo y resolución	Fecha inicial	Fecha Final	Long. Registro (años)	Datos faltantes (%)
BOCATOMA SANTA MARTA	453	Limnigráfica, diaria	02-1980	12-2015	36	11.5
MINCA	640	Pluviométrica, mensual	01-1969	04-2017	48	3.62
VISTA NIEVES	2000	Pluviométrica, mensual	09-1973	05-2017	44	0.95
ALTO DE MIRA	1080	Climática, mensual	08-1987	05-2011	24	9.09
APTO SIMÓN BOLÍVAR	4	Sinóptica, mensual	06-1952	05-2017	65	15.9
SAN LORENZO	2200	Climática, mensual	01-1969	05-2017	48	3.27
PARQUE TAYRONA	30	Climática, mensual	02-1978	01-2011	33	20.96

Nota. Tomado del catálogo nacional de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM.

Como forma general de apreciar gráficamente los datos de precipitación las estaciones utilizadas, a continuación, se muestra un diagrama de cajas o boxplot (Figura 18), en donde se puede observar la distribución de los valores identificando la mediana, cuartiles y valores atípicos en cada serie.

Figura 18. Diagramas de cajas para cada una de las estaciones de precipitación



Nota. Elaborado por los autores.

En (Tabla 20), se presentan los valores promedio de las variables de caudal y precipitación para las 7 estaciones analizadas, junto con los valores de la desviación estándar.

Tabla 20. Datos promedio y desviación estándar de las variables en las estaciones analizadas

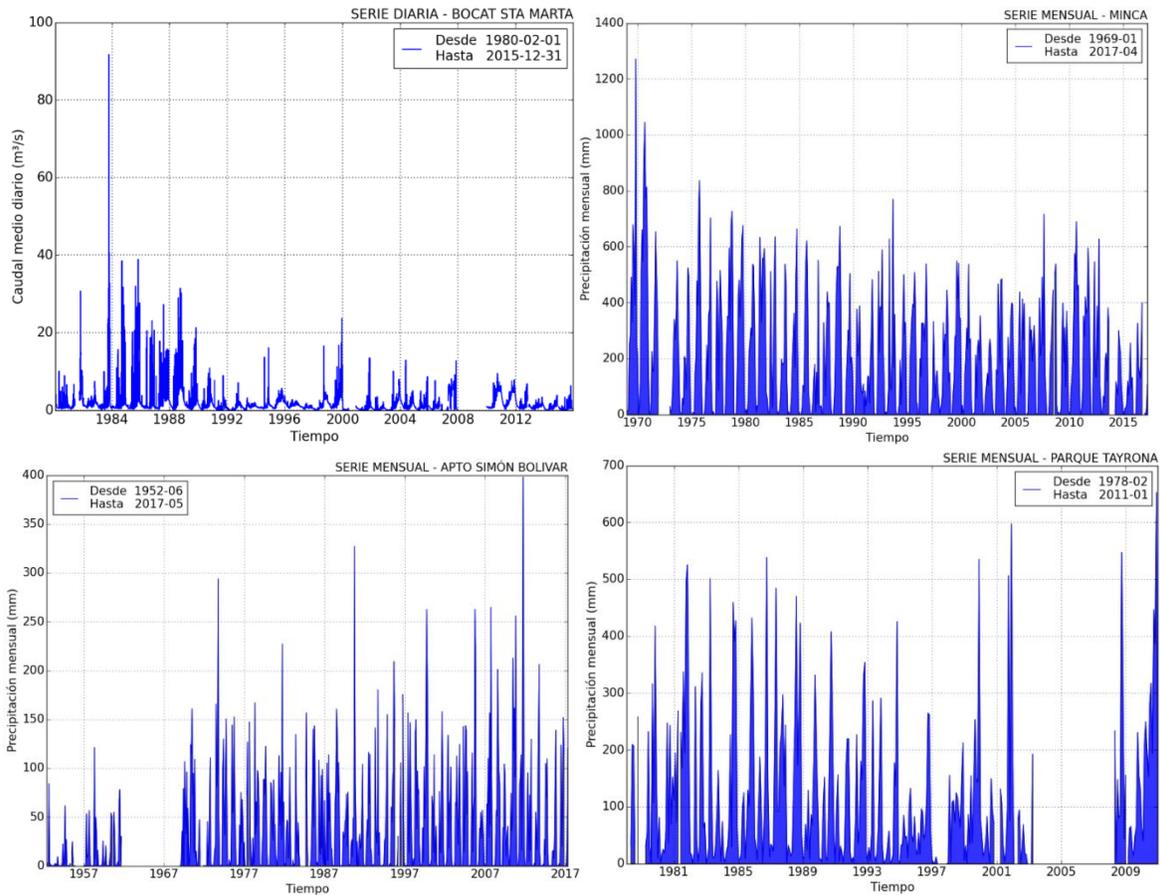
Estación	Promedio	Desviación estándar
BOCATOMA SANTA MARTA	1.8 m ³ /s/día	3 m ³ /s/día
MINCA	205.07 mm/mes	206.08 mm/mes
VISTA NIEVES	214.05 mm/mes	178.09 mm/mes
ALTO DE MIRA	338.02 mm/mes	242 mm/mes
APTO SIMÓN BOLÍVAR	39.06 mm/mes	54.6 mm/mes
SAN LORENZO	222.9 mm/mes	176.2 mm/mes
PARQUE TAYRONA	117.4 mm/mes	132.4 mm/mes

Nota. Elaborado por los autores.

Series históricas

A modo de ejemplo, a continuación, se presentan algunas graficas de las series históricas en diferente resolución para las estaciones analizadas. El total de las gráficas para todas las estaciones se presenta en el Anexo 1.

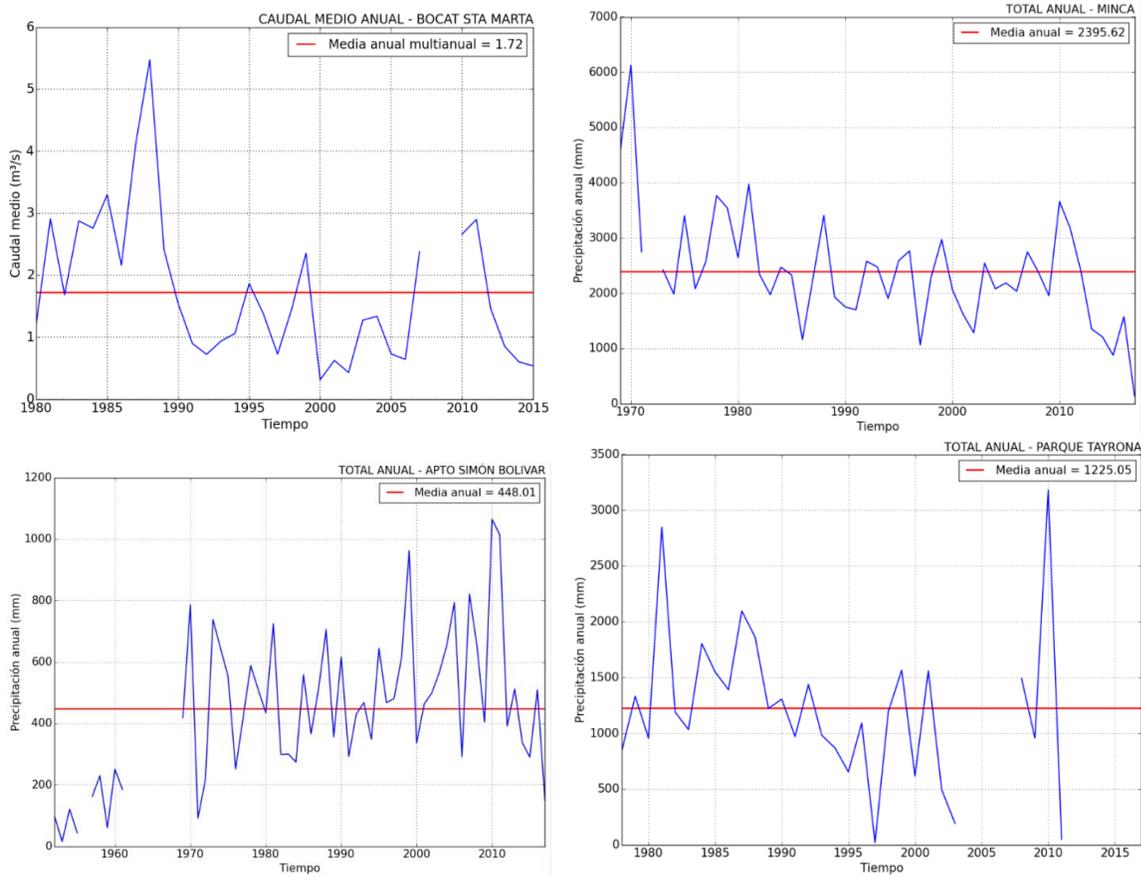
Figura 19. Serie de caudales diarios estación Bocatoma Santa Marta y serie de precipitación mensual estación Minca (Arriba). Series mensuales de precipitación Apto Simón Bolívar y Parque Tayrona (Abajo).



Nota. Elaborado por los autores.

En la (Figura 19), se presentan las gráficas de valores totales anuales de caudal y precipitación para algunas de las estaciones analizadas, por ejemplo el caudal medio anual en la estación Bocatoma Santa Marta es de 1.72 m³/s, la precipitación media anual en la estación Minca es 2395.62 mm, 448.01 en la estación Apto Simón Bolívar y 1225.05 en la estación Parque Tayrona (Figura 20).

Figura 20. Serie de caudal medio anual Bocatoma Santa Marta y serie de precipitación media anual Minca (Arriba). Series de precipitación media anual Apto Simón Bolívar y Parque Tayrona (Abajo).



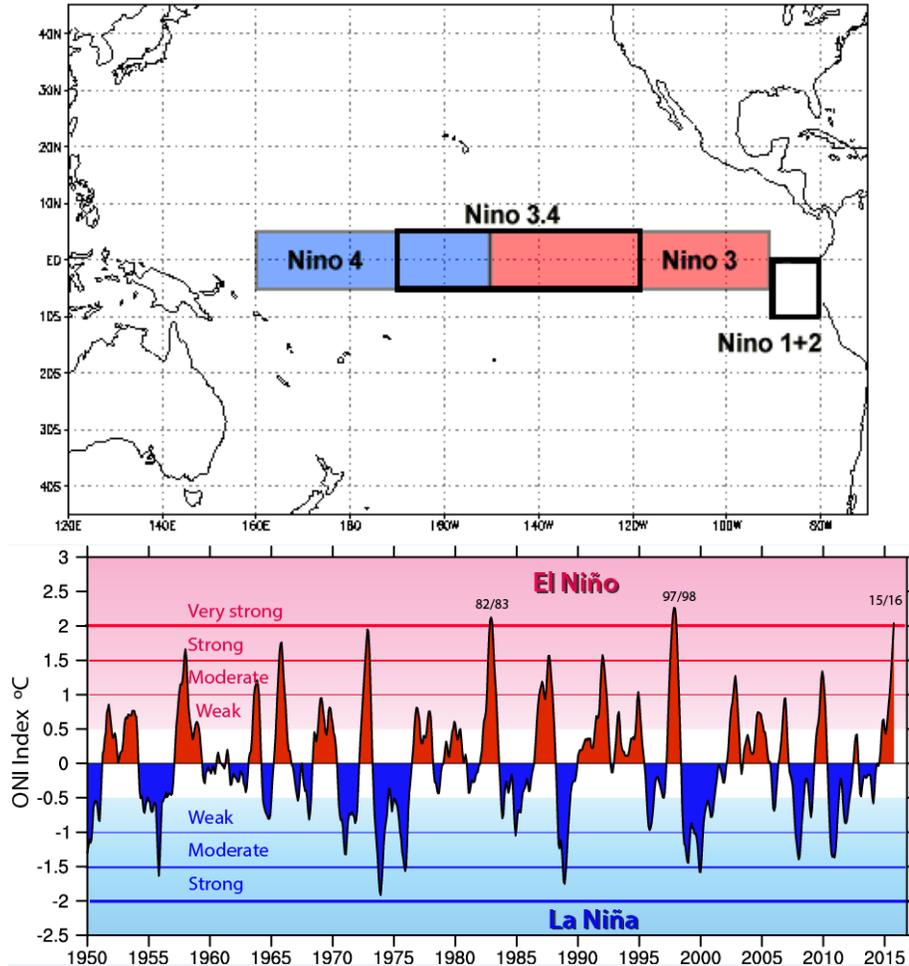
Nota. Elaborado por los autores.

Ciclo anual y variabilidad climática

El ciclo anual representa el comportamiento histórico promedio de una variable hidrometeorológica a lo largo del año. A partir de las series mensuales se generó el ciclo anual de precipitación y caudal promediando multianualmente los valores de cada mes.

Como parte de los análisis, se realizó una comparación de condiciones hidroclimáticas contrastantes (Seca, húmeda y normal), separando las series mensuales de cada estación según los valores históricos del Índice Oceánico del Niño (ONI), el cual da una medida de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 del océano pacífico, tal como se muestra en (Figura 21).

Figura 21. Valores históricos del ONI en la región Niño 3.4

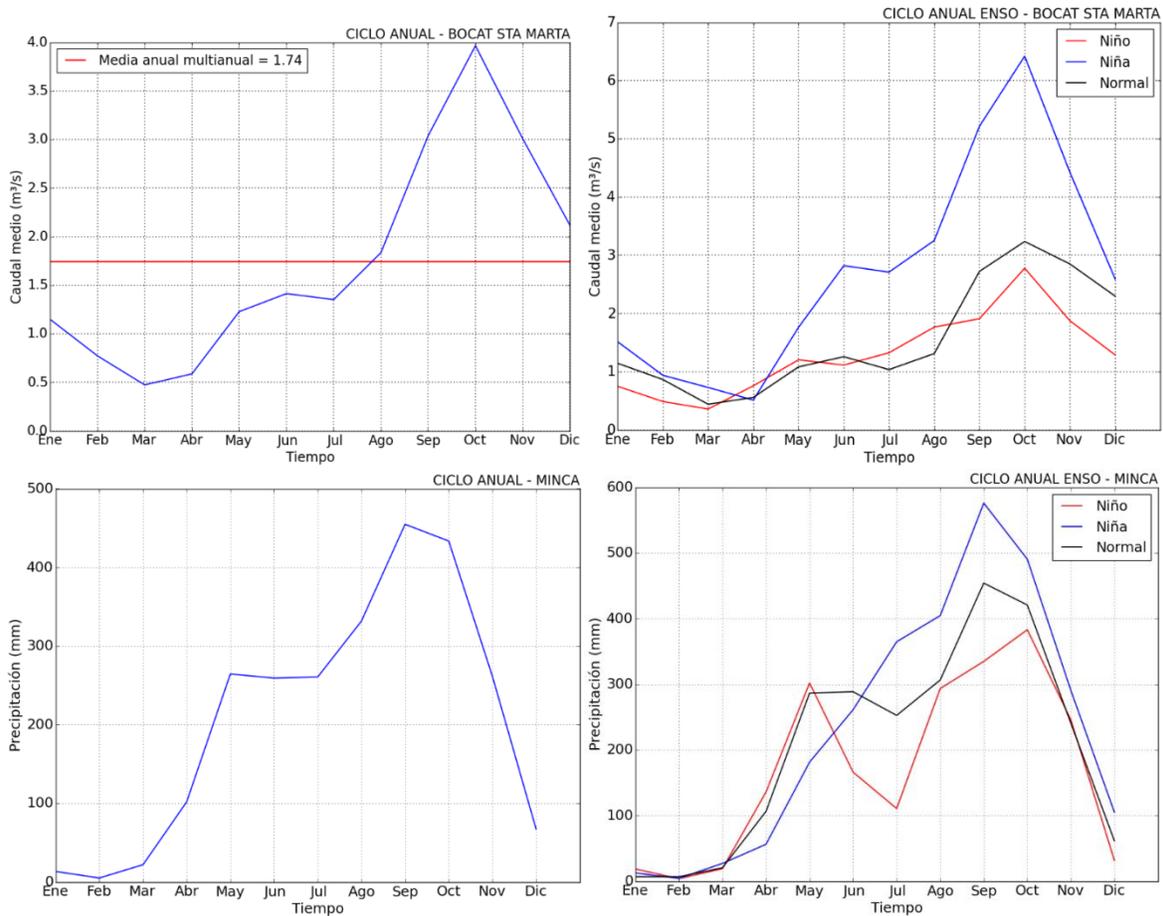


Nota. Tomado del NOAA/ESRI- University of Colorado

En la (Figura 21) se muestran los valores históricos del índice ONI desde 1950 hasta 2017 (en rojo valores positivos y en azul valores negativos). El valor del ONI se obtiene del promedio trimestral de las anomalías de temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4. Cuando el valor del ONI se mantiene por encima de $+0.5^{\circ}\text{C}$ en por lo menos 5 meses se considera la ocurrencia de Un Niño, mientras que si está por debajo de -0.5°C se considera la ocurrencia de Una Nina, en otro caso se considera un comportamiento normal.

El procedimiento consiste en separar las series mensuales según el índice ONI (condición normal, seca y húmeda) y graficar el ciclo anual para cada una de ellas, tal como se muestra a continuación.

Figura 22. Ciclo anual de caudal y variabilidad climática estación Bocatoma Santa Marta (arriba), ciclo anual de precipitación y variabilidad climática estación Minca (abajo).



Nota. Elaborado por los autores.

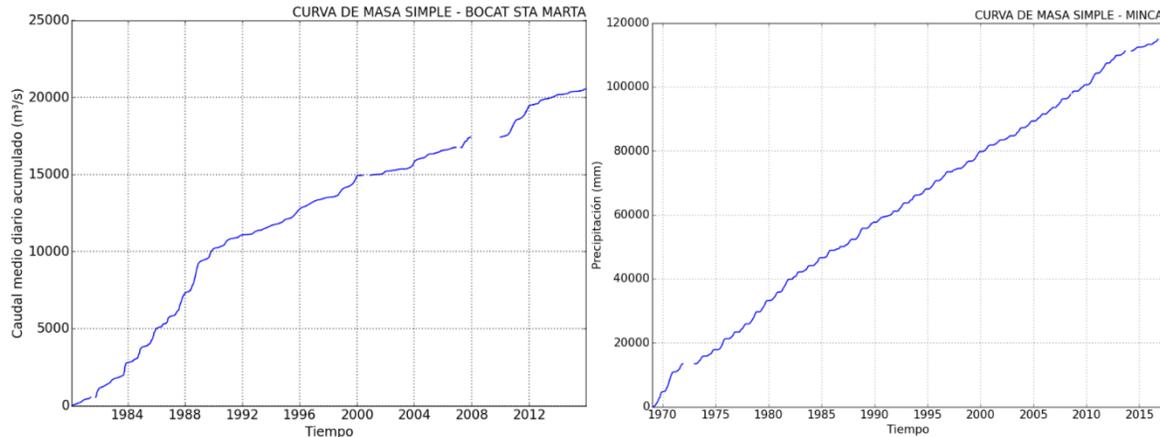
En la (Figura 22), se observa un comportamiento monomodal en el ciclo anual de caudal y precipitación para la región del caribe colombiano, con un período invernal hacia septiembre-octubre. Lo anterior corresponde al comportamiento normal de lluvias en esta región influenciada por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En las dos estaciones, la envolvente de precipitación para condición húmeda (La Niña) se encuentra por encima de la condición normal y de la condición El Niño, así mismo, la condición seca (El Niño) se encuentra por debajo de las otras dos, representando los valores en temporada de verano.

Curvas de masa simple

Una de las metodologías usadas para evaluar la consistencia o calidad de una serie de datos hidrometeorológicos es la Curva de Masa Simple, la cual es el resultado de la suma acumulada

de la variable analizada en todo el período de registro. Para que la información consignada en los registros sea consistente es necesario que la Curva tenga una pendiente constante y creciente a lo largo del tiempo. En la (Figura 23), se presenta el ejemplo para dos de las estaciones analizadas.

Figura 23. Curvas de masa simple estación Bocatoma Santa Marta y Minca.



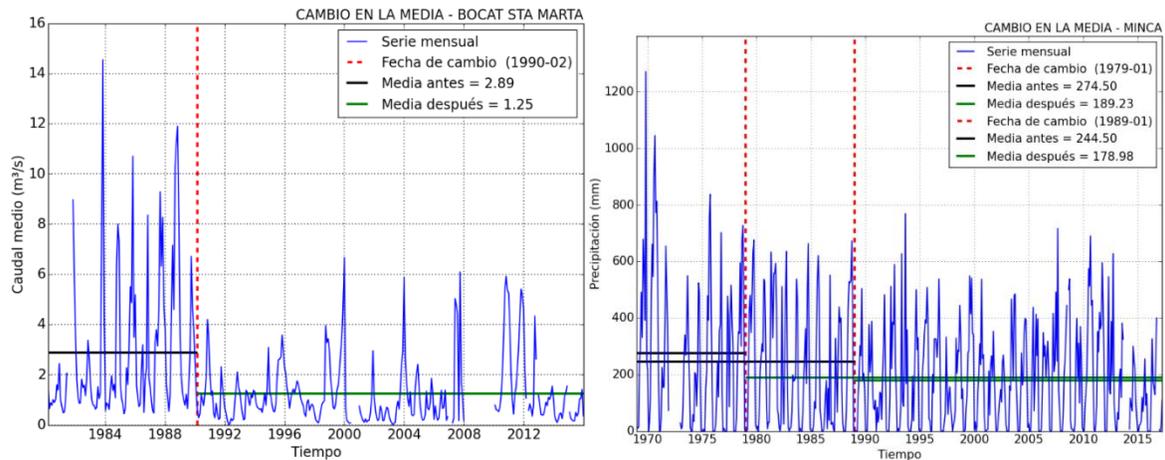
Nota. Elaborado por los autores.

La curva de masa simple para la estación Bocatoma Santa Marta presenta una pendiente no constante a lo largo del tiempo y algunos saltos hacia el año 2010, por otro lado, para la estación Minca, la curva de masa simple presente una pendiente relativamente constante y homogénea a través del tiempo.

Test de cambio en la media

La prueba estadística de suma de rangos de Wilcoxon o Mann-Whitney permite identificar cambios significativos en el valor medio de una serie de datos. Esta prueba que es no paramétrica y robusta posibilita la comparación en la media de una serie, evaluando si estas son significativamente diferentes. Para llevar a cabo la prueba es necesario plantear una hipótesis nula, que en este caso es que las medias móviles de las series son iguales. Además, la prueba se ejecutó con ventanas móviles de análisis de 10 años y con un nivel de confiabilidad del 95%. Para todos los casos se trabajó con la serie de datos a nivel mensual, ya que es una serie más homogénea y no presenta tanta variación como la serie diaria.

Figura 24. Cambio en la media de los datos estación Bocatoma Santa Marta y Minca



Nota. Elaborado por los autores.

La (Figura 24), muestra dos ejemplos de cambio en la media de los datos históricos. En el primer caso, la estación de caudales Bocatoma Santa Marta, el test identificó un cambio en la media para febrero de 1990, pasando de 2.89 m³/s a 1.25 m³/s, es decir que el caudal medio del río Manzanares disminuyó en casi 50 %, lo cual se aprecia a simple vista en la gráfica. Para el segundo caso, la estación de precipitación Minca, se identificaron dos cambios en la media de los datos, el primero de ellos en enero de 1979 y el segundo en enero de 1989, observando una disminución progresiva en las lluvias pasando de 274.5 mm/mes a 178.98 mm/mes.

Balace hídrico de largo plazo

El balance hídrico superficial es una de las primeras metodologías que debe usarse para abordar temas relacionados con la oferta y disponibilidad de agua en una región. Este consiste en determinar la cantidad de agua que existe en diferentes estados dentro de un volumen de control, teniendo como fundamento el balance de materia y la ecuación de continuidad. Básicamente es un balance entre las entradas y las salidas de agua en una unidad de análisis, que para este caso es la cuenca hidrográfica.

El balance hídrico de largo plazo permite trabajar con los valores promedio de las variables involucradas en el balance de agua. El resultado se muestra de manera puntual para valores medios anuales y de manera espacial en mapas para algunas de estas variables.

Para formular el balance hídrico, se considera la ecuación diferencial de conservación de masa dentro de una cuenca hidrográfica, que se define como:

$$\frac{dS}{dt} = P(t) - ETR(t) - ESC(t)$$

Donde dS/dt representa el almacenamiento de agua en el suelo y en los acuíferos, $P(t)$ y $ETR(t)$ son la precipitación y la evapotranspiración real en la cuenca y $ESC(t)$ representa la esorrentía de la cuenca. Todas las variables se encuentran en función del tiempo (t). Al integrar la ecuación de balance hídrico en el largo plazo (mayor a 15 años), el cambio en el almacenamiento se vuelve despreciable en comparación con los demás términos (dt se hace grande), y los valores de $P(t)$, $ETR(t)$ y $ESC(t)$, se pueden reemplazar por los valores promedio de largo plazo (Álvarez, Vélez, & Poveda, 2008). Según lo anterior, se tiene:

$$ESC = P - ETR$$

Donde ESC es la esorrentía promedio en mm, P es la precipitación promedio en mm y ETR es la evapotranspiración real promedio en mm.

A nivel diario y mensual, el almacenamiento de agua en las cuencas no siempre es conocido, como tampoco los valores de aportes, retornos, transvases e infiltración, de ahí que la ecuación de balance simplificada no se considera representativa a dicha escala, mientras que en el largo plazo estas variables no se tienen en cuenta. A continuación, se presenta el balance hídrico superficial de largo plazo en la cuenca del río Manzanares.

Precipitación media anual

Debido a que no se cuenta con estaciones de medición de precipitación dentro de la cuenca del río Manzanares, es necesario apoyarse en la información de las estaciones más cercanas a la cuenca, para ello se presenta un análisis de precipitación media vs altitud de las estaciones cercanas con el fin de definir un patrón de precipitación en la cuenca, tal como se muestra en (Figura 25).

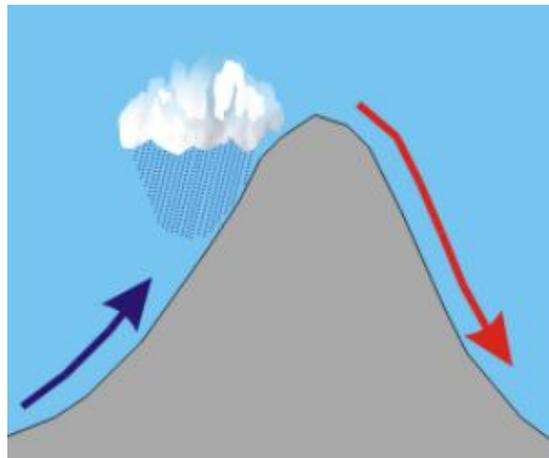
Figura 25. Relación entre la precipitación media anual y la altitud de las estaciones.



Nota. Elaborado por los autores.

No existe un patrón homogéneo en el comportamiento de la precipitación en función de la altitud para las estaciones analizadas. Sin embargo, muchos estudios han demostrado que existe gran relación entre la cantidad de lluvia y la altitud de una región perteneciente a una misma ladera, lo cual se conoce como precipitación orográfica (Figura 26), y muestra un esquema de transporte ascendente de aire húmedo (azul oscuro) al encontrarse con un obstáculo orográfico; precipitación durante el ascenso en el lado de barlovento y descenso de aire seco y cálido en el lado de sotavento

Figura 26. Esquema del efecto orográfico en la precipitación



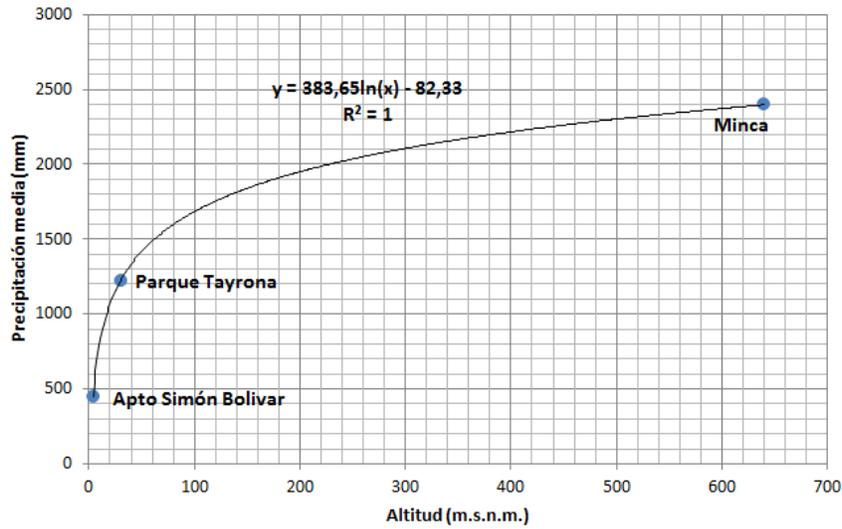
Según lo anterior y lo mostrado en la (Figura 27), Las estaciones Vista Nieves, San Lorenzo y Alto de Mira pertenecen a una ladera diferente a la que pertenecen las estaciones Minca y Apto Simón Bolívar, por lo tanto, las tres primeras, pueden obviarse en el análisis, con lo cual se obtiene la relación mostrada en la (Figura 28).

Figura 27. Vista Isométrica de la localización de las estaciones y la cuenca del río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

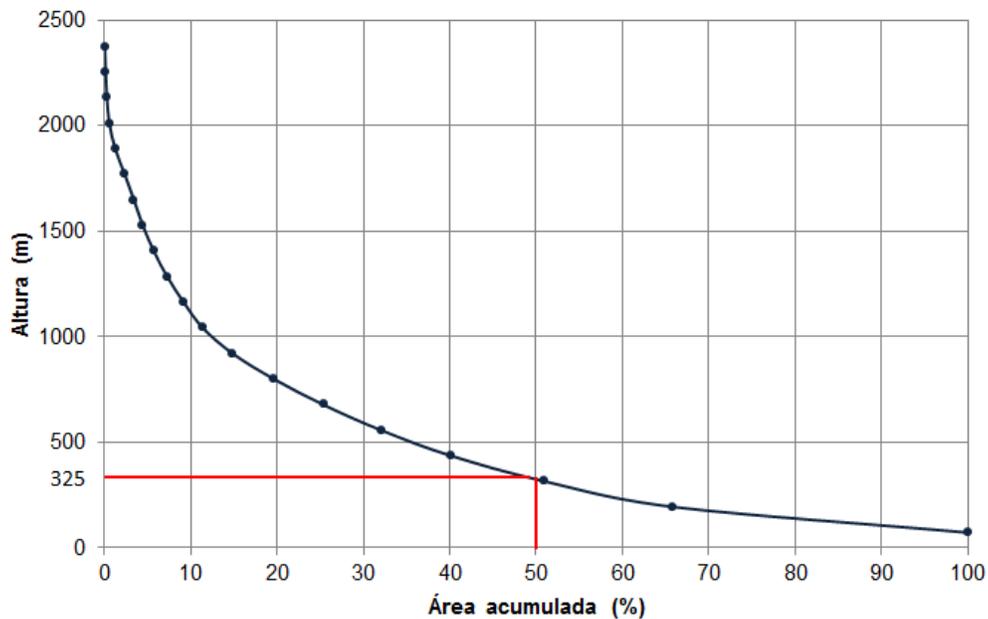
Figura 28. Relación logarítmica entre la precipitación media y la altitud para las tres estaciones seleccionadas.



Nota. Elaborado por los autores.

Con la ecuación mostrada en la (Figura 28), es posible encontrar una precipitación media aproximada para la altitud media de la cuenca del río Manzanares, la cual se obtiene con el 50% del área acumulada en la curva hipsométrica (Figura 29), que para este caso es igual a 325 m.

Figura 29. Curva hipsométrica de la cuenca del río Manzanares y obtención de la altitud media.



Nota. Elaborado por los autores.

Según lo anterior, la precipitación media en la cuenca está dada por:

$$P = 383,65 \ln(x) - 82,33$$

$$P = 383,65 \ln(325) - 82,33$$

$$P = \mathbf{2136.63 \text{ mm/año}}$$

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial se estimó por medio de la ecuación de 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 para su cálculo 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 fueron obtenidas al aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas de Colombia.

$$ETP = 1700,17 * e^{(-0,0002 h)}$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y h es la elevación sobre el nivel del mar (m), que en este caso es la altura media de la cuenca, es decir 325 m.

El valor medio de ETP para la cuenca del río Manzanares está dado por:

$$ETP = 1700,17 * e^{(-0,0002*325)} = \mathbf{1593.17 \text{ mm/año}}$$

Evapotranspiración real

La metodología (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015), describe que la evapotranspiración real se estima por el método de Budyko (1974), el cual genera los mejores resultados en el balance hídrico para Colombia.

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

Donde ETR es la evapotranspiración real (mm/año), ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y P es la precipitación media en la cuenca (mm/año). Según la anterior, el valor de la ETR para la cuenca está dado por:

$$ETR = \left[1593.17 * 2136.63 * \tanh\left(\frac{2136.63}{1593.17}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{1593.17}{2136.63}\right) + \sinh\left(\frac{1593.17}{2136.63}\right) \right] \right]^{1/2}$$

$$\mathbf{ETR = 1248.98 \text{ mm/año}}$$

Escorrentía

Tal como se explicó anteriormente, la escorrentía superficial está dada por:

$$ESC = P - ETR$$

$$ESC = 2136.63 \text{ mm/año} - 1248.98 \text{ mm/año}$$

$$\mathbf{ESC = 887.65 \text{ mm/año}}$$

Así mismo, es posible obtener un caudal medio anual aproximado a la salida de la cuenca relacionando el valor de escorrentía con el área de la misma, tal como se muestra a continuación:

$$Q = ESC * AREA$$

El área total de la cuenca es 202.18 km², por tanto:

$$\mathbf{Q_{med} = 5.69 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

Modelo lluvia – escorrentía (caudales diarios en la cuenca)

La estimación de caudales diarios a la salida de la cuenca del río Manzanares, a través de un modelo agregado de lluvia-escorrentía denominado GR4J, el cual requiere como variables de entrada, series diarias de precipitación y evapotranspiración potencial.

Así mismo, se describe el proceso para obtener las series diarias en la cuenca a partir de la información disponible, la cual es escasa. Sin embargo, existen diferentes metodologías que permiten rellenar y extrapolar información hidrometeorológica a partir de parámetros morfométricos y similitudes climáticas.

Por último, se realiza la calibración del modelo GR4J a partir del caudal medio multianual obtenido por la metodología de balance hídrico de largo plazo.

Descripción conceptual del modelo hidrológico GR4J

El modelo GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier, por sus siglas en francés), es un modelo agregado de lluvia-escorrentía de resolución diaria, con cuatro parámetros, por lo cual se considera parsimonioso. Las entradas del modelo son la precipitación (P) y evapotranspiración potencial (E). P es una estimación de la precipitación de la cuenca de captación que puede calcularse mediante cualquier método de interpolación a partir de registros de estaciones cercanas y E puede ser un valor medio de largo plazo (Perrin, Michel, & Andreassian, 2003).

Figura 30. Diagrama del modelo lluvia-escorrentía GR4J. Tomado de (Perrin et al., 2003).

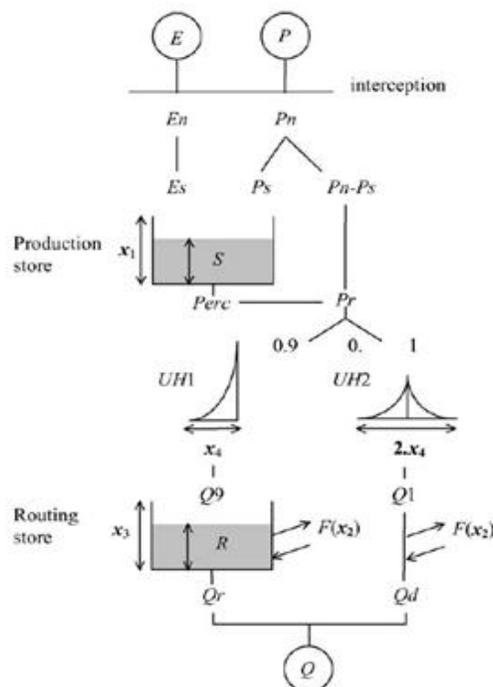


Fig. 1. Diagram of the GR4J rainfall-runoff model.

Nota. Tomado de Perrin et al. (2003)

Variables y parámetros del modelo GR4J

Las variables de entrada (mm) son: P: precipitación, EP: evapotranspiración potencial. El modelo GR4J (mm) requiere también de las siguientes variables que son: Pn: precipitación efectiva, En: capacidad neta de evapotranspiración, SMA: almacenamiento de humedad en el suelo, Ps: parte de precipitación que alimenta el almacenamiento de agua en el suelo, Es: cantidad de agua que se evapora desde el suelo, S: nivel del contenido de agua en el suelo, Perc: percolación del agua del Suelo o infiltración, Pr: cantidad total de agua que alcanza las funciones de

enrutamiento (es decir, que se convierte en agua que forma la hidrógrafa unitaria)., F: intercambio de agua subterránea que actúa en dos direcciones, R: nivel en el almacenamiento de la hidrógrafa, Qr: caudal de salida del depósito de agua subterránea, Qd: componente del Flujo asociada al caudal remanente, el que se dejó para formar la UH2, Q: caudal total.

En (Tabla 21), se presentan las ecuaciones para calcular las diferentes variables usadas por el modelo.

Tabla 21. Ecuaciones usadas por el modelo GR4J. Tomadas de (Perrin, Michel, & Andreassian, 2003).

$\text{Si } P \geq E, P_n = P - E \text{ y } E = 0.$ $\text{De otra manera } P_n = 0 \text{ y } E_n = E - P$	$P_s = \frac{x_1 \left(1 - \left(\frac{S}{x_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}{1 + \frac{S}{x_1} \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}$	$E_s = \frac{S \left(2 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}$	$S = S - E_s + P_s$
$\text{Perc} = S \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9} \frac{S}{x_1} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\}$	$P_r = \text{Perc} + (P_n - P_s)$	$F = x_2 \left(\frac{R}{x_3} \right)^{7/2}$	$R = \max(0; R + Q_9 + F)$
$Q_r = R \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{x_3} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\}$	$Q_d = \max(0; Q_1 + F)$	$Q = Q_r + Q_d$	

Nota. Tomado de Perrin, Michel & Andreassian, 2003).

Los parámetros del modelo GR4J son: X1: Capacidad máxima del tanque de producción (mm), X2: Coeficiente de intercambio de aguas subterráneas (mm)., X3: Capacidad máxima para el tránsito en canales (mm)., X4: Tiempo base del hidrograma unitario UH1 (días).

En término general, a partir de las variables de entrada (P y EP) el modelo determina la precipitación (Pn) y la capacidad de evapotranspiración neta (En). Si Pn es diferente de cero, parte de esta se destina para alimentar el almacenamiento de agua en el suelo (Ps) como una función del contenido de agua en el suelo (S) y de la capacidad máxima del tanque de producción (X1). Por otra parte, cuando En es diferente de cero, el modelo calcula la tasa de evaporación desde el suelo (Es).

A partir de Ps y Es se actualiza el contenido de agua en el suelo (S). Las pérdidas por percolación (Perc) se calculan como una función potencial del contenido de agua en el tanque y con este se determina la cantidad total de agua que alcanza las funciones de enrutamiento (Pr) divididas en dos componentes de flujo representados por dos hidrógrafas unitarias (UH1 y UH2). Con esto se determina un término de intercambio de aguas subterráneas (F) que actúa sobre ambos componentes de flujo en función del almacenamiento en el tanque (R), del coeficiente de intercambio de aguas subterráneas (X2) y de la capacidad máxima para el tránsito en canales (X3).

Según esto, se establece el caudal de salida del tanque de agua subterránea (Qr) como también la componente del flujo asociada al caudal remanente, el que se dejó para formar la UH2 (Qd).

Finalmente, el caudal total obtenido de forma agregada (Q) corresponde a la sumatoria de Q_r y Q_d .

Serie diaria de precipitación

Según lo expuesto anteriormente, el modelo requiere series completas de precipitación y temperatura con resolución diaria y tal como se observó anteriormente, no existen estaciones de medición de dichas variables dentro de la cuenca del río Manzanares, por lo tanto para obtener una serie diaria de precipitación en la cuenca, es necesario apoyarse en los valores de precipitación de alguna de las estaciones cercanas, que para este caso será la estación MINCA, ya que es la estación más cercana a la cuenca y además cuenta con registros muy completos y homogéneos. Sin embargo, la serie diaria de precipitación de dicha estación se encuentra incompleta, por lo tanto, se requiere completarla a partir de alguna de las estaciones adyacentes.

Para ello se realizó un proceso de correlación entre los datos mensuales de todas las estaciones, escogiendo aquella que estadísticamente tuviera el mayor coeficiente de correlación con la estación MINCA. Los resultados se aprecian en (Tabla 22).

Tabla 22. Coeficiente de correlación estaciones de precipitación.

Estación	Coeficiente
MINCA	1,00
VISTA NIEVES	0,78
ALTO DE MIRA	0,61
APTO SIMÓN BOLÍVAR	0,62
SAN LORENZO	0,78
PARQUE TAYRONA	0,48

Nota. Elaborado por los autores.

En la (Tabla 22), se describe que el coeficiente de correlación más alto se presentó para las estaciones Vista Nieves y San Lorenzo, por lo tanto la estación Vista Nieves se utilizó para completar la serie diaria de precipitación de la estación Minca.

Para el procedimiento de llenado de datos a nivel diario, primeramente, se obtienen valores promedio mensuales de las dos estaciones de apoyo (Minca y Vista Nieves) con todos los valores de la serie histórica a nivel mensual, posteriormente se calcula el factor de escala para cada mes, es decir que tanto mayor o menor es el dato promedio de la estación Minca con respecto al dato de la estación Vista Nieves. Lo anterior se observa en (Tabla 23).

Tabla 23. Factores de escala de precipitación media mensual.

P MEDIA MES (mm)			Factor escala
MES	MINCA	VISTA NIEVES	
ENE	13,29	8,55	1,55
FEB	4,89	15,60	0,31
MAR	22,05	26,48	0,83
ABR	98,65	147,72	0,67
MAY	264,00	301,53	0,88
JUN	254,18	304,99	0,83
JUL	259,11	319,65	0,81
AGO	323,85	382,32	0,85
SEP	452,12	404,20	1,12
OCT	434,42	384,91	1,13
NOV	238,36	226,23	1,05
DIC	63,12	61,06	1,03

Nota. Elaborado por los autores.

Con los factores de escalamiento, se completó la serie diaria de precipitación de la estación Minca multiplicando el valor diario de la estación Vista Nieves por su respectivo factor de escala, según el mes del dato faltante de la estación Minca. Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento de escalamiento para generar una serie de datos diarios en la altura media de la cuenca del río Manzanares. Para ello se usaron los valores de precipitación media anual en la estación Minca y en la altura media de la cuenca, tal como se muestra en la (Tabla 24).

Tabla 24. Factor de escalamiento de precipitación media anual.

P-MEDIA ANUAL (mm)	P-MEDIA ANUAL (mm)	Factor escala
MINCA	2395.62	1
ALT MEDIA MANZANARES	2136.63	0.89

Nota. Elaborado por los autores.

Serie diaria de evapotranspiración potencial

El modelo GR4J requiere también una serie diaria de evapotranspiración en la cuenca del río Manzanares, que coincida en fecha y longitud con la serie diaria de precipitación. Adicionalmente, la serie diaria de evapotranspiración se puede obtener a partir de series diarias de temperatura media, mínima y máxima. Para este caso se usaron los datos de temperatura de la estación San Lorenzo, ya que cuenta con registros diarios en las mismas fechas que la serie diaria de

precipitación, y además su ubicación presenta similitudes climáticas con la altitud media de la cuenca del río Manzanares.

Para esto, se requirió completar la serie diaria de Temperatura media de la estación San Lorenzo, a partir de la relación existente con el Índice Oceánico Niño (ONI), cuya serie histórica se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional de Los Estados Unidos. Para completar la serie diaria de temperatura media, se comparó el valor del ONI (media móvil de tres meses) de las fechas faltantes con el ONI de años o meses hidrológicamente similares, es decir, que, si por ejemplo para el año 1990 no se tenían registros diarios de temperatura, se usaron los mismos datos de la serie de un año completo que tuviera un valor del ONI igual o similar. Lo anterior, permitió obtener valores de Temperatura media para años vacíos, iguales a los valores de otros años similares. Adicionalmente, cuando el dato faltante correspondía a un día o mes específico, se usó el promedio mensual multianual del mes para completar dicho vacío.

A partir de los promedios mensuales multianuales de cada una de las series originales de temperatura se obtuvo la diferencia numérica de la temperatura media respecto a la máxima y la mínima para cada mes, tal como se observa en (Tabla 25).

Tabla 25. Valores y diferencias medias mensuales multianuales de series de temperatura

MES	MIN	MAX	MED	TMED-TMIN	TMAX-TMED
1	7,89	17,40	12,41	4,53	4,99
2	8,45	17,69	12,95	4,50	4,74
3	9,15	17,90	13,35	4,20	4,54
4	10,00	18,07	13,87	3,88	4,20
5	10,47	18,38	14,31	3,84	4,07
6	10,48	18,69	14,40	3,92	4,29
7	10,13	18,67	14,26	4,13	4,41
8	10,24	18,45	14,08	3,84	4,37
9	10,09	17,97	13,70	3,61	4,27
10	10,09	17,27	13,52	3,42	3,76
11	9,67	16,98	13,36	3,69	3,62
12	8,54	17,14	12,76	4,21	4,38

Nota. Elaborado por los autores.

Las diferencias de temperatura para cada mes se utilizaron como factor de escalamiento para completar las series diarias de temperatura mínima y máxima de la estación San Lorenzo, escalando el valor de temperatura media. Para obtener un dato faltante en la serie de temperatura mínima, se restó al dato de temperatura media para esa fecha el valor de la diferencia entre la temperatura media y la temperatura mínima según el mes. Por otro lado, para obtener un dato faltante en la serie de temperatura máxima, se sumó al dato de temperatura media para esa fecha el valor de la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura media del respectivo mes.

A partir de las series completas de temperatura diaria de la estación San Lorenzo, se obtuvieron series diarias de temperatura a la altura media de la cuenca del río Manzanares, a través de un factor de escala relacionado con la altitud media (Tabla 26).

El factor de escalamiento de la temperatura se obtuvo a partir de la expresión de Cenicafé que relaciona la Temperatura media y altura sobre el nivel del mar.

$$T = 29.42 - 0.0061 * H$$

Tabla 26. Factor de escala de temperatura media según altitud.

Estación	ALTITUD (m.s.n.m.)	Temperatura media (°C) (Ecuación de Cenicafé)	Factor de escala de T
San Lorenzo	2200	16,00	1
Cuenca Manzanares	325	27,44	1,71

Nota. Elaborado por los autores.

Multiplicando cada dato de las series diarias de temperatura en la estación San Lorenzo por el factor de escala de 1.71, se generaron las tres series de temperatura para la cuenca del río Manzanares.

Posteriormente, con los datos de Temperatura media se generaron las series diarias de Evapotranspiración Potencial (ETP) mediante la ecuación simplificada de Hargreaves (FAO Irrigación and Drainage Paper No. 56), la cual se muestra a continuación.

$$ETP = 0.0023(T_{med} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}Ra$$

Donde,

- ETP: evapotranspiración potencial diaria, mm/d
- Tmed: temperatura media diaria, °C
- Tmax: temperatura diaria máxima, °C
- T min: temperatura diaria mínima, °C
- Ra: Radiación solar extraterrestre, en mm/d (tabulada)

Para el cálculo de Ra, se utilizó la Tabla de Radiación solar extraterrestre' en MJ m⁻² d⁻¹ (FAO, 1998), la cual se muestra a continuación.

Tabla 27. Valores de Ra según latitud.

Hemisferio Norte												Latitud en grados
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
30,9	33,8	36,5	38	38	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30	12
31.4	34.15	36.7	37.95	37.8	37.3	37.35	37.65	37	34.8	31.95	30.5	11
31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31	10
32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32	8
33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9	6
34,6	36,4	37,6	37,4	36	35	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9	4
35,4	37	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37	35,6	34,8	2
36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6	0

Tomado de (FAO, 1998).

Para este caso se usaron los valores resaltados en rojo, que corresponden a la latitud aproximada a la que se encuentra ubicada la cuenca del río Manzanares. Realizando un cambio de unidades a estos valores para poder ser utilizados en la ecuación de Hargreaves, según la (Tabla 28).

Tabla 28. Factor de conversión de unidades de Ra

Conversion factors for radiation

	multiplier to obtain energy received on a unit surface per unit time				equivalent evaporation
	MJ m ⁻² day ⁻¹	J cm ⁻² day ⁻¹	cal cm ⁻² day ⁻¹	W m ⁻²	mm day ⁻¹
1 MJ m ⁻² day ⁻¹	1	100	23.9	11.6	0.408
1 cal cm ⁻² day ⁻¹	4.1868 10 ⁻²	4.1868	1	0.485	0.0171
1 W m ⁻²	0.0864	8.64	2.06	1	0.035
1 mm day ⁻¹	2.45	245	58.5	28.4	1

Nota. Elaborado por Allen. RG.; L.S. Pereira y D. Raes (1998).

Los nuevos valores de Ra son:

Tabla 29. Valores de Ra corregidos por unidades.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oc	Nov	Dic
12.81	13.93	14.97	15.48	15.42	15.22	15.24	15.36	15.1	14.2	13.04	12.44

Nota. Elaborado por los autores.

Calibración del modelo

La calibración del modelo GR4J, se realizó con base en el valor obtenido de caudal medio anual multianual por balance hídrico. La metodología consistió en calcular los parámetros de entrada del modelo a través de la herramienta Solver de Excel, restringiendo el valor de caudal medio anual multianual generado por el modelo, de tal manera que fuera lo más parecido posible al obtenido por balance hídrico (diferencia menor al 1%)

Parámetros del modelo obtenidos

Como resultado de la calibración del modelo, se obtuvieron los siguientes parámetros de entrada:

- X1: 188.52 mm
- X2: -0,72 mm
- X3: 285 mm
- X4: 9.48 días

Resultados modelación

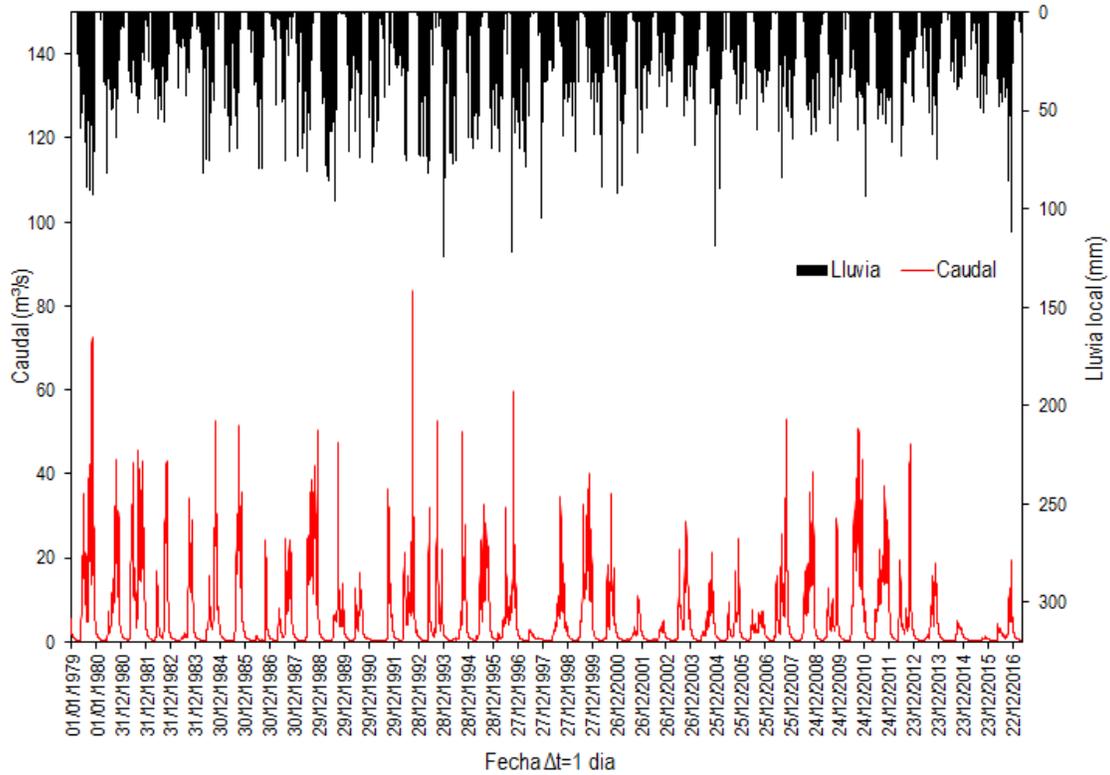
A continuación, se presentan los resultados obtenidos del modelo GR4J. Primeramente, se obtuvo la serie histórica a nivel diario de caudales simulados a partir de las series diarias de precipitación y evapotranspiración potencial, la cual tiene una longitud de casi 40 años. Además, se presenta la curva de duración de caudales para el río Manzanares, la cual permite obtener los cuantiles más representativos (Q50, Q95, Q97.5, Q99).

Serie diaria de caudales simulados

En el (Figura 31), se presenta la serie de caudales diarios obtenida del modelo GR4J, junto con la serie de precipitación utilizada. El período modelo va desde 01/01/1978 hasta 30/04/2017.

La serie simulada, muestra una gran variación en los valores de caudal, con un mínimo de 0.17 m³/s y un máximo de 83.7 m³/s, lo que significa que la cuenca del río Manzanares no tiene buena regulación de los caudales instantáneos. Así mismo el caudal medio obtenido de la serie es de **5.63 m³/s**, el cual es bastante cercano al caudal obtenido por balance hídrico.

Figura 31. Serie histórica de caudales simulados a nivel diario para el río Manzanares.

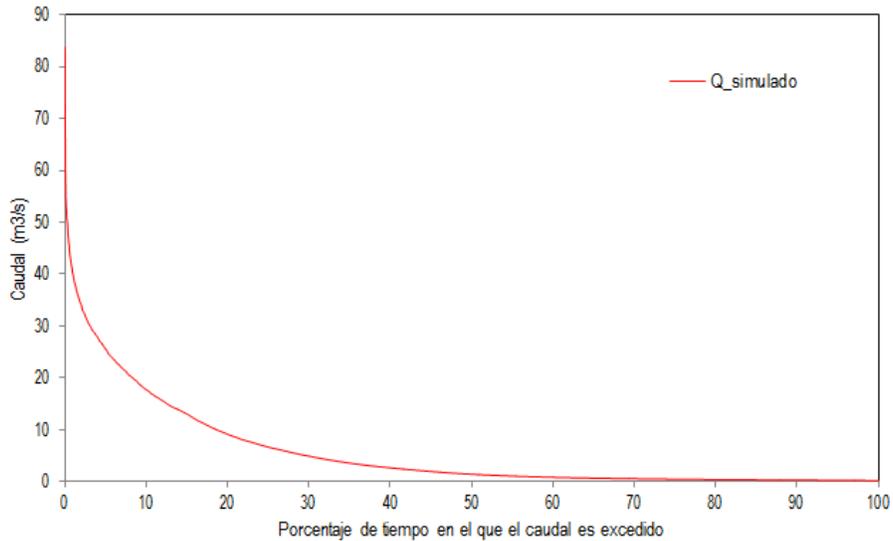


Nota. Elaborado por los autores.

Curva de duración de caudales y cuantiles estimados (Q50, Q95, Q97.5, Q99)

La curva de duración de caudales (Figura 32), es quizás el resultado más importante obtenido de la modelación ya que nos indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Además, la curva indica el valor del caudal en función de la frecuencia de su ocurrencia y da una magnitud de los caudales mínimos, medios y máximos.

Figura 32. Curva de duración de caudales a nivel diario para el río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

De la curva de duración de caudales es posible extraer algunos de los caudales más importantes para el estudio hidrológico, definidos por los siguientes cuantiles:

- Q50: 1.43 m³/s
- Q95: 0,26 m³/s
- Q97.5: 0,23 m³/s
- Q99: 0,20 m³/s

Caudal Ecológico

El caudal ecológico se define como la cantidad de agua requerida para mantener un nivel deseado de salud en el ecosistema (Jiménez, Calvo, Pizarro, & González, 2005). Es un componente de gran importancia ya que permite determinar la oferta hídrica disponible, la cual está definida como “El volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y de los sistemas fluviales. y -en alguna medida- un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (Caudal Ecológico)” (IDEAM, 2014).

Para la determinación del caudal ecológico se pueden utilizar enfoques hidrológicos, hidráulicos e hidrobiológicos, de los cuales el primero se calcula basado en registros históricos de caudales, el segundo en el caudal existente y las características físicas del cauce y el último en información sobre una especie o un grupo de especies, que sea de interés y esté relacionada con las características totales del medio (Jaramillo Gómez & Londoño Velásquez, 2017). Existen

diferentes metodologías de estimación del caudal ecológico, entre las cuales se encuentran las siguientes.

Metodología 1: Resolución 865 de 2004. Para hallar el valor del caudal ecológico puede adoptarse el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de los siguientes métodos:

Mínimo histórico: a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual que permanece el 97.5 % del tiempo.

Porcentaje de descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25 % del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

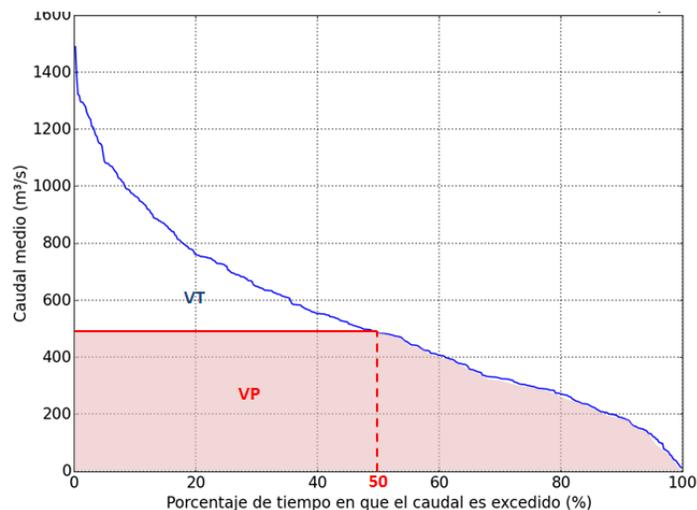
Reducción por caudal: el caudal ecológico en esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

Metodología 2: Método basado en el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

El valor del caudal ecológico corresponde al Q85 % de la curva de duración, este valor característico se aplica para un IRH superior a 0,7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75 % de la curva de duración de caudales medios diarios.

La obtención del IRH se basa fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diarios para las estaciones seleccionadas. Es la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales medios diarios, tal como se muestra en (Figura 33).

Figura 33. Ejemplo de volúmenes requeridos para obtención del IRH



Nota. Tomado de IDEAM (2010).

$$IRH = \frac{VP}{VT}$$

Donde,

IRH es el Índice de retención y regulación hídrica (adimensional).

VP es el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal mediano en la curva de duración (50 %) (m³).

VT es el volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios (m³).

Según el índice de regulación hídrica, la cuenca se puede clasificar en cinco categorías diferentes de retención y regulación, tal como se muestra en (Tabla 30).

Tabla 30. Clasificación de la cuenca según el IRH.

Rango de variación del IRH	Capacidad de retención de la cuenca
Menor a 0,5	Muy baja
0,5 – 0,65	Baja
0,65 – 0,75	Moderada
0,75 – 0,85	Alta
Mayor a 0,85	Muy alta

Nota. Fuente. (IDEAM, 2010a)

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se calculó el caudal ecológico por las diferentes metodologías para el río Manzanares, mostrando los resultados en la (Tabla 31).

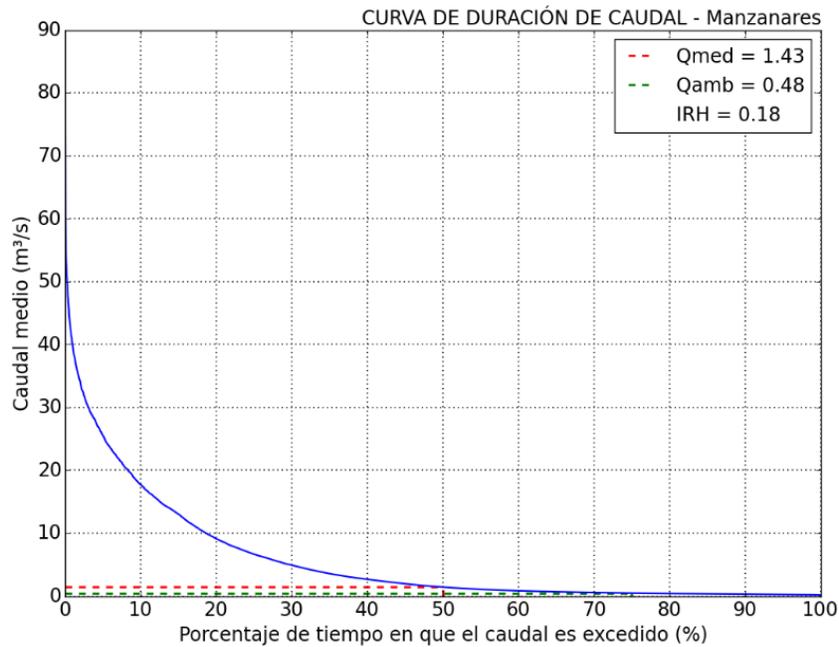
Tabla 31. Caudal ecológico río Manzanares por diferentes metodologías.

MÉTODO	Q AMBIENTAL (m ³ /s)	OBSERVACIONES
Mínimo histórico, Q97.5	0,230	Obtenido de la curva de duración de caudales a nivel diario
25 % de descuento	0,087	Es el 25% del mínimo de los mensuales multianuales
25 % medio multianual	1,408	25% del medio multianual
Por IRH, con IRH = 0,18	0,470	Obtenido de la curva de duración de caudales a nivel diario

Nota. Elaborado por los autores.

Para el caso del río Manzanares, el IRH es de 0,18, lo que indica una capacidad de retención de agua en la cuenca muy baja, por lo tanto, existe gran variación en los caudales cuando se presentan lluvias o cuando hay temporadas de sequía. Según este resultado, y de acuerdo a la metodología descrita anteriormente, se debería adoptar como caudal ecológico el Q75 en la curva de duración de caudales, es decir, un valor de **0,48 m³/s**.

Figura 34. Cálculo de IRH y caudal ecológico para el río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

El caudal ecológico escogido, fue el resultado del promedio de los caudales ecológicos obtenido por las diferentes metodologías descritas anteriormente, es decir **0.54 m³/s**, el cual cercano con el caudal ecológico obtenido por medio del IRH en la curva de duración de caudales que es de **0.48 m³/s**.

Oferta Hídrica Regional Aprovechable (OHRA)

En términos de caudales, la oferta hídrica regional aprovechable está dada por:

$$Q_{hra} = Q_{med} - Q_{ecol}$$

Donde,

Q_{hra} : caudal hídrico regional aprovechable (oferta hídrica)

Q_{med} : caudal medido en la estación representativa

Q_{ecol} : Caudal ecológico

Como en este caso no se cuenta con una estación de medición de caudales a la salida de la cuenca, la oferta hídrica regional aprovechable estará definida por el valor medio de caudal multianual obtenido por balance hídrico menos el caudal ambiental obtenido en el ítem anterior, es decir:

$$Q_{hra} = 5.69 \text{ m}^3/\text{s} - 0.48\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{hra} = 5.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD)

En términos de caudales, la oferta hídrica regional disponible está dada por:

$$Q_{dr} = Q_t - Q_{amb} + Q_r \pm Q_{tr}$$

Donde,

Q_t : caudal total, determinado por la oferta hídrica total

Q_{ecol} : Caudal ecológico

Q_r : caudal de retorno

Q_{tr} : caudal de transvase (positivo si entra a la cuenca, negativo si sale de la cuenca)

Caudal de retorno: es el caudal extraído de la cuenca que retorna a las corrientes y cuerpos de agua después de ser usado por los diferentes sectores. Los tiempos, cantidad y lugar del retorno dependen de la actividad y la región. Cuando este caudal no se ha monitoreado se puede considerar un porcentaje del caudal demandado para los diferentes usos en la cuenca.

Como el caudal de retorno no ha sido monitoreado en la cuenca del río Manzanares, se considera un porcentaje del caudal demandado, de acuerdo con las especificaciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)⁵. El agua para uso doméstico tiene coeficientes de retorno que pueden variar en promedio entre 0.75 y 0.85, según el nivel de complejidad del sistema. Para este caso se utilizó un coeficiente de retorno de 0.75 como condición crítica

$$Q_r = 0.445\text{m}^3/\text{s} * 0.75$$

$$Q_r = 0.33\text{m}^3/\text{s}$$

Donde Q_d es el caudal total demandado para diferentes usos en la cuenca. Para este caso, Q_d se tomó como el caudal total concesionado en la cuenca del río Manzanares, el cual se muestra en la (Tabla 32).

⁵ Resolución 0330 del 08 de junio del 2017, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, por el cual se adopta la guía de Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

Tabla 32. Caudal concesionado en la cuenca del río Manzanares.

Entidad	Caudal concesionado (m ³ /s)
Empresa de servicios públicos de Santa Marta	0.33
Junta de acción comunal La Tigraera	0.115
TOTAL	0.445

Caudal de transvase: se define como la cantidad de agua que se desvía de una corriente de agua propia de una cuenca hacia otra, para cumplir un fin específico. El caudal de trasvase puede ser positivo o negativo si el caudal entra a la cuenca o si sale de ella.

Teniendo en cuenta que existe un trasvase en la cuenca del Manzanares, que proviene del río Gaira, y que el caudal promedio del río Gaira es de **2.76 m³/s** promedio anual, y este trasvase es aproximadamente el 20% del caudal del río, y que la medición del nivel de la columna de agua de la estación limnimétrica del IDEAM esta aguas abajo del trasvase, por tanto este caudal promedio ya se encuentra afectado por el trasvase, se estima que esa captación, gira alrededor de unos 200Lts/seg o **0.2 m³/s**,. Según lo anterior se tiene:

$$Q_{dr} = 5.69 \frac{m^3}{s} - \frac{0.48m^3}{s} + \frac{0.33m^3}{s} \pm \frac{0.2m^3}{s}$$

$$Q_{dr} = 6.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

RENDIMIENTO HÍDRICO

El rendimiento hídrico caudal específico se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado (l/s-km²).

$$RH = Q/A$$

$$RH = 5.69 \text{ m}^3/\text{s}/202.18 \text{ km}^2$$

$$RH = 28.15 \text{ L/s/Km}^2$$

El rendimiento hídrico medio obtenido para la cuenca del río Manzanares por el método de balance hídrico es de **28.15 L/s/km²**, que se encuentra por debajo del rendimiento promedio para la región caribe que es de 56,4 L/s/km² y del nacional que es de 56 L/s/km² (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).

Debido a la ausencia de una estación de medición de caudal a la salida de la cuenca del río Manzanares, fue necesario implementar un modelo lluvia-escorrentía para determinar la oferta hídrica en términos de disponibilidad de agua, y aunque el modelo implementado (GR4J) reproduce de manera adecuada el flujo de escorrentía en la cuenca, se tiene cierta incertidumbre debido a que este modelo no tiene en cuenta parámetros morfométricos de la cuenca ni condiciones del suelo.

Existe ambigüedad sobre cuál debería ser el valor real del caudal ambiental para el cálculo de la oferta hídrica, ya que algunos métodos la subestiman, y otros, por el contrario, la sobrestiman. Según lo anterior se deben evaluar de manera cuidadosa las condiciones reales de la cuenca y del uso del agua por parte de los usuarios, garantizando siempre el caudal mínimo de subsistencia de los ecosistemas aguas abajo del punto de análisis

El índice de regulación hídrica es importante en la gestión de cuencas, ya que es un indicador de la capacidad de retención de humedad de estas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios, producto de la interacción de las condiciones climáticas y de las características físicas (geología, suelos y coberturas) y morfométricas de la cuenca.

Es necesario comparar los resultados de este estudio con la demanda de agua en la cuenca del río, con el fin de hacer el balance general de agua en la cuenca y poder determinar si se encuentra en déficit de agua o no.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO E INTERACCIONES CON AGUAS SUPERFICIALES

En la fase de caracterización de los sistemas físico-bióticos del Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica 1501 se identifican las unidades hidrogeológicas presentes dentro de la cuenca del Río Manzanares (1501-05) mostradas en (Tabla 33), con su respectiva nomenclatura y distribución espacial.

Tabla 33. Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del Río Manzanares.

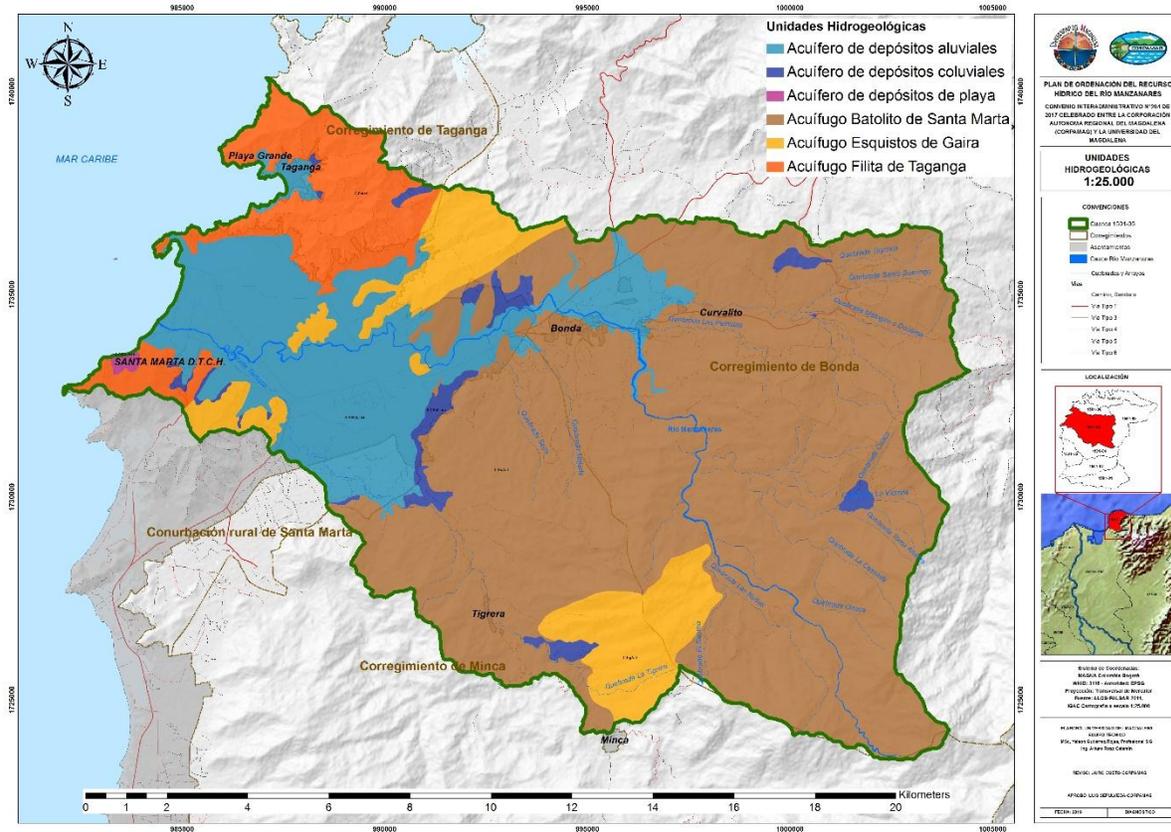
NOMBRE	NOMENCLA	Área (Ha)	Área (%)
Acuífugo Esquistos de Gaira	C-EgAcf	1865.86	9.23
Acuífugo Filita de Taganga	C-FtAcf	1623.53	8.03
Acuífugo Batolito de Santa Marta	C-BsAcf	12736.50	62.99
Acuífero de depósitos aluviales	A-AIAcLi-se	3520.90	17.41
Acuífero de depósitos de playa	A-PIAcLi-se	38.55	0.19
Acuífero de depósitos coluviales	A-CAcLi-se	433.16	2.14

Nota. Elaborado por el Pomca río Manzanares.

En la (Figura 35), se observa la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en la cuenca del Río Manzanares donde predominan los Acuífugo Batolito de Santa Marta con 63% seguido de Acuíferos de depósitos aluviales (17.4%), el Acuífugo Esquistos de Gaira (9.23%), el Acuífugo Filita de Taganga (8.03%), Acuífero de depósitos coluviales (2.14%) y Acuífero de depósitos de playa (0.19%). A continuación se describen las unidades hidrogeológicas mencionadas, de acuerdo

con el Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica 1501 Río Piedras, Río Manzanares y otros Directos al Caribe (CORPAMAG, 2018).

Figura 35. Unidades hidrogeológicas en la cuenca del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por el Pomca río Manzanares y adaptado por los autores.

Acuíferos de Santa Marta Gaira y de los ríos Toribio y Córdoba (A-AIACLi-Se)

Está limitado en la parte Septentrional y Meridional por rocas metamórficas constituidas respectivamente por las Filitas de Taganga y los Esquistos de Gaira, al occidente por Depósitos de Playa del Mar Caribe y al oriente por rocas ígneas de composición granodiorítica que hacen parte del Batolito de Santa Marta.

Estos acuíferos se encuentran constituidos de techo a base por cantos y gravas de filitas, esquistos y rocas ígneas de diversa composición y tamaño, embebidos en una matriz de arenas cuarzosas de grano fino a grueso con delgadas intercalaciones arcillosas que aparecen cubriendo a capas de arenas cuarzosas de grano muy grueso. Finalmente se encuentra una gruesa capa de arcilla depositada sobre una secuencia de arenas cuarzosas de grano fino a grueso en contacto con un delgado saprolito constituido por la alteración de rocas metamórficas e ígneas. Estos sedimentos son depositados fundamentalmente por los ríos Manzanares, Gaira, Toribío y Córdoba y las

quebradas Tamacá, Bureche y en menor proporción por las quebradas Don Jaca y el Doctor sobre una paleo topografía irregular. El anterior fenómeno de depositación permitió la formación de conos aluviales y terrazas que en algunos sectores se interdigitan y forman una cadena continua de abanicos, razón por la cual desarrolla un espesor que oscila entre 40 y 80 m.

Hidrogeológicamente este acuífero se considera de tipo multicapa, continuo y de extensión regional con desarrollo de una porosidad primaria; la parte superior se comporta como libre y es explotada generalmente por aljibes mientras que la capa inferior se comporta como confinada y actualmente es explotada por numerosos pozos profundos. Los principales parámetros hidráulicos calculados de acuerdo con la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad son los siguientes: Transmisividad entre 32,18 y 690,14 m²/d con promedio de 341,5 m²/d. Capacidad Especifica de 1,28 a 9,09 lps/m con un promedio de 3,67 lps/m y una Conductividad hidráulica que varía desde 2,62 hasta 74,18 m/d con un promedio de 22,01 m/d.

Acuíferos de depósitos coluviales (A-CAcLi-Se)

Están formados por gravas sub redondeadas y bloques de hasta de 1 m o más de diámetro, derivados de rocas ígneas y metamórficas, con escasa matriz arenosa. Son acuíferos discontinuos de extensión local de mediana a baja productividad conformados de material granular de tamaño variable y material fino como matriz (este último se comporta como acuitardo), se clasifica como acuífero generalmente confinado, con agua de buena calidad fisicoquímica, características hidráulicas regulares a bajas, con espesores promedio de 10 metros.

El agua de esta formación se describe, como de conductividad eléctrica media lo cual nos indica un contenido de sales moderadas y un pH básico lo cual marca una posible presencia de sales carbonatadas, un poco más alto que el mostrado en otras formaciones cuaternarias.

Los parámetros hidráulicos de esta formación calculados de acuerdo con la generalización de la información reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad nos muestran una capacidad específica de 1,61 lps/m, una transmisividad de 218,56 (m²/día) y una permeabilidad de 10,22 (m/día), que se consideran como bueno.

Acuífero depósito de playa (A-PIAcLi-Se)

Ocupa una angosta franja a lo largo de la línea de costa; está formado por arenas de playa de grano fino a medio constituidas por cuarzo, plagioclasa, líticos, opacos y máficos con estratificación plana paralela a semiparalela, observándose en algunos sectores intercalaciones de niveles arenosos y lodosos.

Es un acuífero de tipo libre, continuo y de extensión regional depositado por la acción de las olas del mar alcanzando un espesor no mayor de 7.0 m. Se considera de baja productividad con Los parámetros hidráulicos calculados de acuerdo con la generalización de la información

reportada por la prueba de bombeo realizada en la unidad nos muestran una capacidad específica de 0,34 lps/m, una transmisividad de 18,70 (m²/día) y una permeabilidad de 1,45 (m/día), que se consideran como aceptables.

Acuífugo filitas de Taganga (esquistos de concha) (C-FtAcf)

Son rocas metamórficas que afloran a lo largo de la línea de costa entre la ensenada de Neguanje y los sectores de Gaira y El Rodadero, conformado por una secuencia de esquistos verdes, negros y cuarcitas producto de un metamorfismo de baja presión acaecido durante el Paleozoico Inferior haciendo parte del basamento hidrogeológico del área.

En estas rocas el grado de fracturamiento es intenso. Las fracturas y diaclasas son angostas y poco profundas, lo cual no permite un almacenamiento de agua subterránea importante, mientras que la cuarcita presenta mejor porosidad secundaria y a causa de su masividad permite el desarrollo de fracturas amplias y profundas pero generalmente rellenas con material de diferente composición que disminuye sus posibilidades de almacenamiento de agua, razón por la cual a ésta unidad se le clasifica como Acuífugo, es decir no almacena ni transmite el agua subterránea. Su Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, se estima como menor de 0.01 L/s/m.

Acuífugo batolito de Santa Marta (C-BsAcf)

Este cuerpo ígneo intrusivo de composición granodiorítica aflora hacia el sector suroriental del área de estudio, constituyendo colinas redondeadas de poca altura, apareciendo en contacto fallado con las rocas metamórficas. Es una roca maciza, muy dura y compacta con alto grado de fracturamiento y diaclasamiento; la porosidad secundaria de esta roca es baja dado que los espacios son angostos y poco profundos, rellenos con material producto de su meteorización, comportándose por tal razón como impermeable. También hace parte del basamento hidrogeológico del área y su Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, se estima como menor de 0.01 L/s/m.

Acuífugo esquistos de Gaira (C-EgAcf)

Aflora en los sectores de Gaira, El Rodadero y Santa Marta como también en la vía a Minca. En general consiste de esquistos micáceos, cuarzofeldespáticos, anfibólicos y grafiticos, caracterizados por su fina granulometría, como también rocas ultramáficas y probablemente

mármoles. Son esquistos densos con marcada foliación, presentando fracturas y diaclasas angostas, de poca extensión y rellenas con material milonitizado, originando una roca prácticamente impermeable. Se considera continuo de extensión regional con Capacidad Específica calculada tomando como base la tabla realizada en 1995 por la asociación internacional de hidrogeólogos, para la elaboración de leyendas hidrogeológicas, menor de 0.01 L/s/m y hace parte del basamento hidrogeológico del área. El concepto de acuícludo implica también el acuícluido del acuífero.

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.

Para la cuenca del Río Manzanares se encontraron 20201.94 Ha de zonas de recarga correspondientes al 99.92% del total del área de la cuenca (Tabla 34). Estas áreas están directamente relacionadas 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.

Tabla 34. Distribución espacial de las zonas de recarga en la cuenca del Río Manzanares.

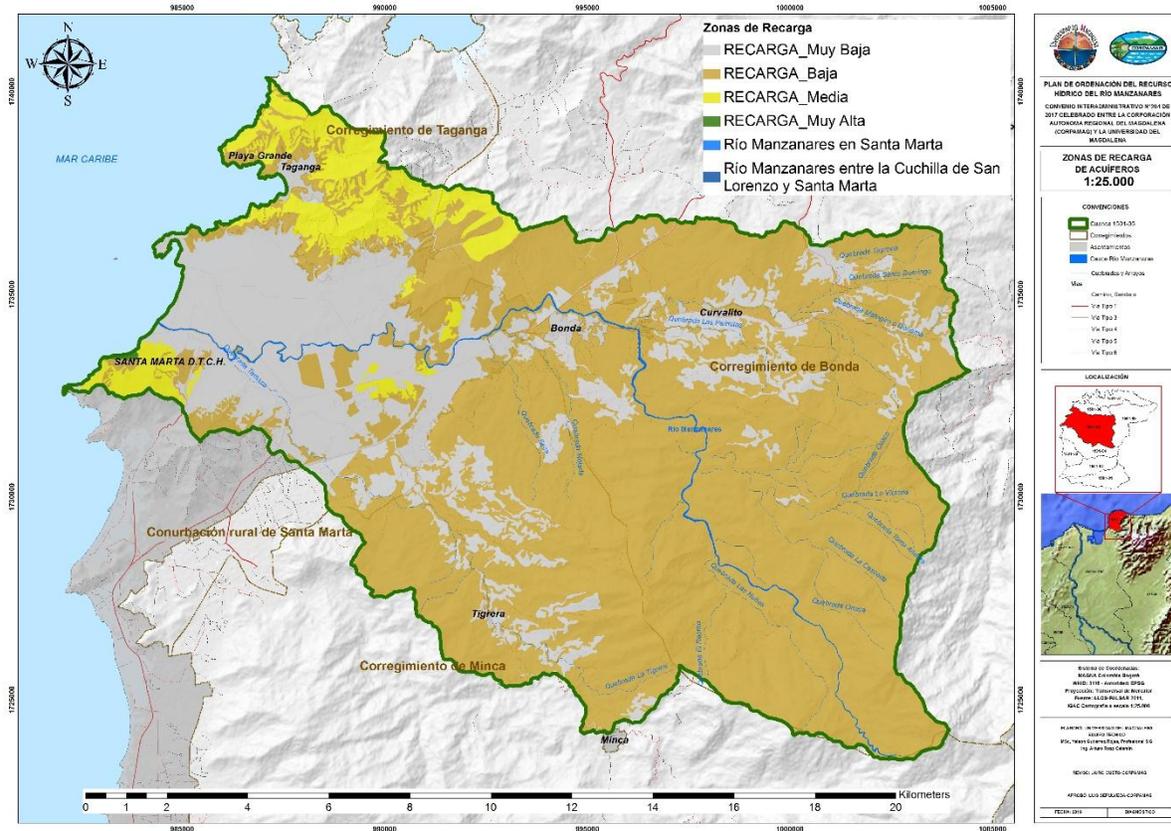
NOMBRE	NOMENCLATURA	Área (Ha)	Área (%)
RECARGA Baja	2-B, 50-250	14093.55	69.71
RECARGA Media	3-M, 250-500	1267.39	6.27
RECARGA Muy Alta	5-MA, >1000	9.64	0.05
RECARGA Muy Baja	1-MB, 0-50	4831.36	23.90
Río Manzanares en Santa Marta	0-D, <0	5.52	0.03
Río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta	0-D, <0	11.02	0.05

Nota. Elaborado por el Pomca río Manzanares.

En la (Figura 36), se observa la distribución espacial de las zonas de recarga en la cuenca del Río Manzanares donde predominan las zonas de recarga baja con 69.71% seguido de recarga muy baja (23.9%), recarga media (6.27%), recarga muy alta (0.05%), río Manzanares entre la Cuchilla de San Lorenzo y Santa Marta (0.05%) y río Manzanares en Santa Marta (0.03%).

A continuación se describen las unidades hidrogeológicas mencionadas, de acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica 1501 Río Piedras, Río Manzanares y otros Directos al Caribe (CORPAMAG, 2018).

Figura 36. Zonas de Recarga en la cuenca del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por el Pomca río Manzanares y adaptado por los autores.

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.

ELABORACIÓN DE PERFILES DE CALIDAD ACTUAL DE CADA CUERPO DE AGUA

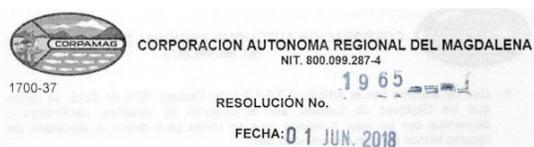
En el (Anexo 2), se encuentra el documento “Caracterización fisicoquímica de las aguas del Río Manzanares, Santa Marta, Magdalena”, realizado por INVEMAR en diciembre de 2019, el cual presenta los resultados de los parámetros de calidad del agua, que se realizó en el río Manzanares, A continuación, se presentan los perfiles de cada parámetro por estación y su respectiva comparación con la legislación actual y el objetivo de calidad definido por la corporación autónoma regional del Magdalena (Tabla 35, Figura 37).

Tabla 35. Objetivo de calidad para el Río Manzanares res 1965 junio del 2018 de CORPAMAG.

Parámetros	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
pH	6,5 - 9	6,5 - 9	6,5 - 9
Oxígeno Disuelto	> 5	> 6	> 6
Sólidos suspendidos Totales	< 20	< 50	< 50
DBO5	< 5	< 5	< 5
Grasas y Aceites	< 10	< 10	< 10

Nota. Resolución 1965 del 2018 de Corpamag.

Figura 37. Imágenes de la resolución 1965 del 2018 de CORPAMAG, por el cual se definen los objetivos de calidad de 12 corrientes en el departamento del Magdalena.



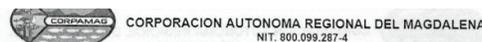
RESOLUCIÓN No. 1965
FECHA: 01 JUN. 2018

“Por medio de la cual se ajustan los objetivos de calidad para los Ríos Aracataca, Córdoba, Buitaca, Don Diego, Río Frio, Fundación, Gaira, Guachaca, Manzanares, Mendiaguaca, Palomino, Sevilla, Tonbio y Tucurín, en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena –CORPAMAG-, para el periodo 2018-2023”

El Director General de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena CORPAMAG - en ejercicio de sus facultades legales y en especial las conferidas a través de la Ley 99 de 1993, Ley 1437 de 2011, la Resolución 1967 de 2005, el Artículo, el Artículo 2.2.9.7.3.1 y siguientes del Decreto 1076 de 2015 y,

CONSIDERANDO.

1. Que la Constitución Política de Colombia con relación a la protección del medio ambiente, contiene entre otras disposiciones, en su artículo 8° la obligación del Estado y de las personas, proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación; y según lo dispuesto en el artículo 49 corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de servicios de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad.
2. Que de la misma manera el artículo 79 de la Constitución Política establece, que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el bien de...



ZONA HIDROGRÁFICA: CARIBE GUAJIRA	Código ZH: 1505	
SUBZONA HIDROGRÁFICA: RÍO MANZANARES	Código SUB 3: 14	
TRAMO N° 2: DISTRITO DE SANTA MARTA		
MUNICIPIO: SANTA MARTA		
USO ACTUAL PREPONDERANTE: TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES		
USO A MEDIANO PLAZO: TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES		
COORDENADAS: N 995399 E 1730313 Hasta N 997764 E 1730313		
PROHIBICIONES: Descargas de vertimientos que no cumplan con la norma de vertimientos		
INDICADORES DE CALIDAD	UNIDADES	CALIDAD FUTURA (MEDIANO PLAZO SEIS AÑOS)
pH	U pH	6,5 - 9
Oxígeno Disuelto	mg/l	>6
Sólidos Suspendidos	mg/l	<50
DBO ₅	mg/l	<5
Grasas y Aceites	mg/l	<10
Coliformes Totales	NMP/100mL	≤30000
Escherichia Coli	NMP/100MI	≤3000

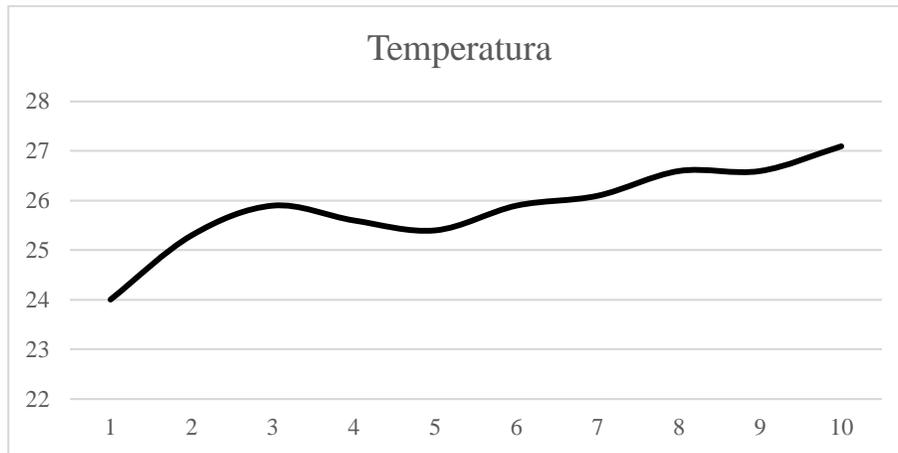
TABLA 19. AJUSTE DE OBJETIVOS DE CALIDAD RIO MANZANARES TRAMO 3

OBJETIVO DE CALIDAD PARA EL USO POTENCIAL PREPONDERANTE (P) DEL RECURSO	
ÁREA HIDROGRÁFICA: CARIBE	Código AH: 1
ZONA HIDROGRÁFICA: CARIBE GUAJIRA	Código ZH: 1505
SUBZONA HIDROGRÁFICA: RÍO MANZANARES	Código SUB 3: 14
TRAMO N° 3: DESEMBOCADURA AL MAR	
MUNICIPIO: SANTA MARTA	
USO ACTUAL PREPONDERANTE: TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES	
USO A MEDIANO PLAZO: TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES	
COORDENADAS: N 997764 E 1730313 Hasta N 984549 E 1734148	
PROHIBICIONES: Desarrollo de actividades que conlleven al contacto primario con el recurso hídrico Y	

Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros con mayor fluctuación en el tramo evaluado, con cambios de hasta 3 grados de diferencia desde la E1 a la E10, lo cual genera condiciones de habitabilidad muy diversas para la biodiversidad presente y para el funcionamiento del ecosistema, y de la respuesta físico-química en la dilución de nutrientes.

Figura 38. Perfil de temperaturas entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

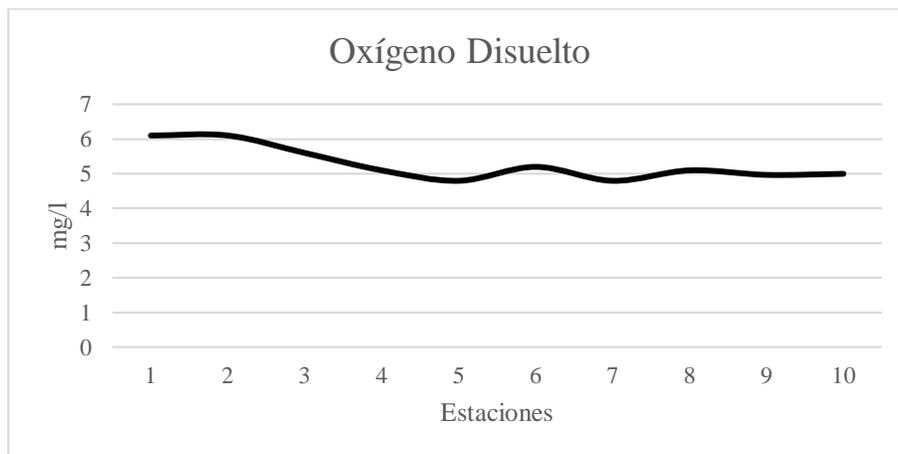


Nota. Elaborado por los autores.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno mostró un comportamiento con tendencia a disminuir a lo largo de la corriente, pero siempre mantuvo valores de oxigenación alto, lo que genera condiciones de habitabilidad para la biodiversidad acuática.

Figura 39. Perfil del oxígeno disuelto entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Este parámetro no cumple desde las estaciones 3-10 con el objetivo de calidad descrito en la Resolución 1965 del 2018 de CORPAMAG. Sin embargo, está fuertemente influenciado por el parámetro de temperatura, y debido a las condiciones ecosistémicas de las estaciones que carecen de vegetación ribereña, es probable que el contacto directo de los rayos del sol, o la falta de atenuación por la cobertura vegetal, generen un incremento de la temperatura en la masa de agua, y puede disminuir los valores de oxígeno durante algunas horas del día con mayor intensidad de radiación solar, como lo evidencian los datos tomados *in situ* que muestran el incremento de la temperatura de la masa de agua con una diferencia de hasta 3° centígrados.

Conductividad

Como de los principales parámetros, este indicador del estado del recurso hídrico permite observar un comportamiento a aumentar a medida que avanza la corriente y se desplaza a lo largo del casco urbano de la ciudad de Santa Marta, con fuerte influencia de vertimientos, sin embargo, es de resaltar que, aunque la conductividad aumenta nunca excede valores altos, a pesar de estar influenciada por la cuña salina de la bahía de Santa Marta.

Figura 40. Perfil de conductividad entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

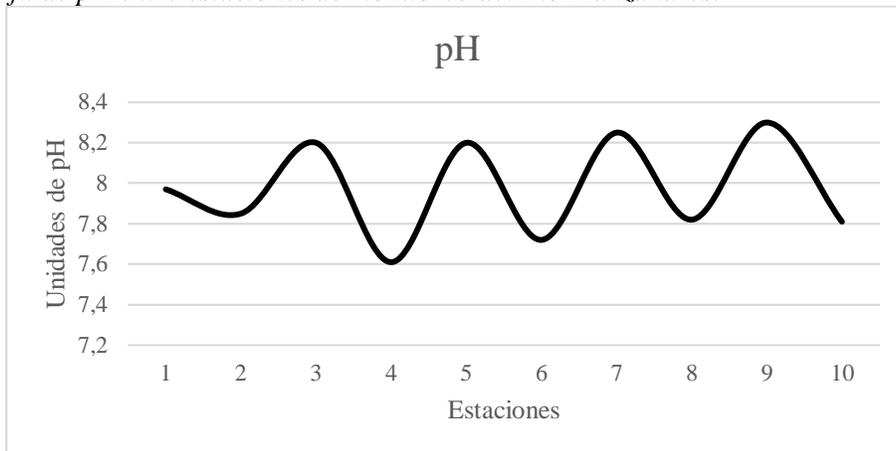


Nota. Elaborado por los autores.

pH

El pH, aunque presenta diferencias entre estaciones, no muestra un patrón de variación definido, sino que presenta respuesta entre estaciones, que pueden ser una respuesta a dos situaciones, la principal que puede ser un error en la toma de datos por la medición de diferentes equipos, o que realmente puede estar influenciado por las condiciones de vertimientos presentes a lo largo del tramo de estudio.

Figura 41. Perfil de pH entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.



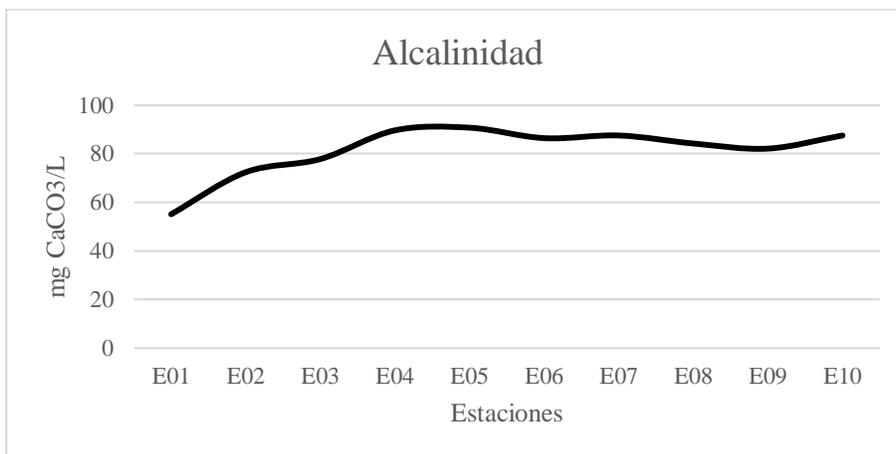
Nota. Elaborado por los autores.

Es de resaltar que los valores de pH registrados en este documento, se encuentra en lo permisible por los objetivos de calidad descritos en la Resolución 1965 del 2018 de CORPAMAG, ya que en todas las estaciones estuvo en el rango permisible.

Alcalinidad

Este parámetro presentó una variación considerable desde la E1 a la E10 aumentando proporcionalmente.

Figura 42. Perfil de alcalinidad entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

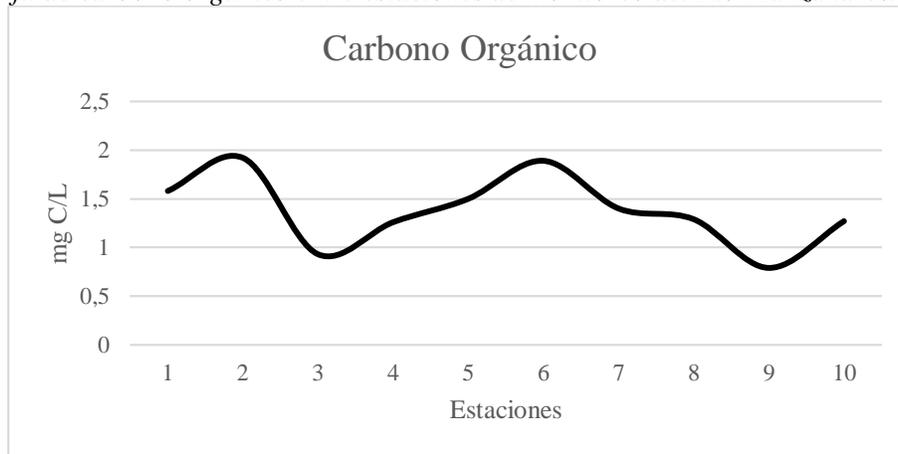


Nota. Elaborado por los autores.

Carbono Orgánico

Este parámetro mostró una condición bimodal, con aumento sobre las estaciones 2, 5 y 6, que son estaciones caracterizadas por la presencia de boque ribereño, y disminuyendo en las demás estaciones, es de resaltar que para el caso del río Manzanares, este parámetro presentó valores bajos respecto a la legislación colombiana que estipula valores mínimos de 5 mgC/l, lo cual demuestra la correlación entre la materia orgánica y el este parámetro en el río, de la MOT proveniente de la cuenca.

Figura 43. Perfil de carbono orgánico entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

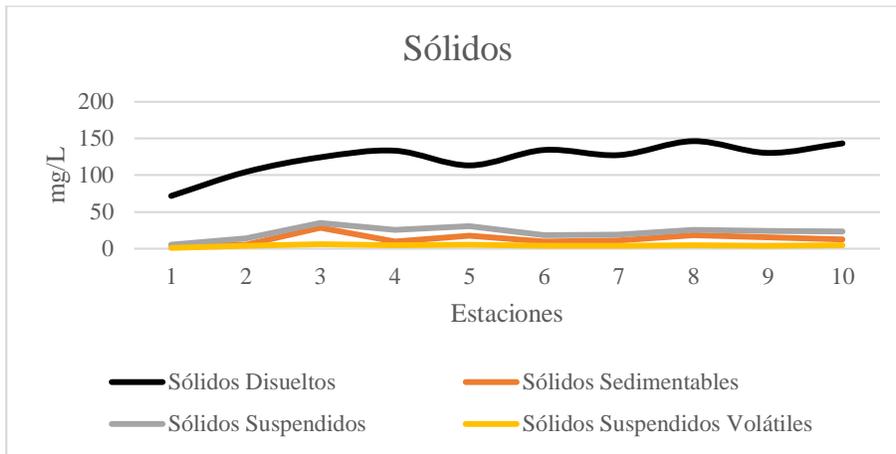


Nota. Elaborado por los autores.

Sólidos

Los sólidos se comportaron con incrementos desde la estación inicial, hacia la última estación, que refleja el estado actual de las intervenciones al río, producto de los vertimientos que llegan a la masa de agua del río, sin embargo, este parámetro se encuentra en lo permisible por los objetivos de calidad descrito en la Resolución 1965 del 2018 de CORPAMAG que estipula valores que no excedan los 50 mg/l. Lo cual le permite al río y a su biodiversidad no presentar condiciones de poca iluminación, baja turbidez y así el desarrollo de las funciones ecosistémicas en su productividad primaria asociadas al fitoplancton, perifíton y macrófitas, que, a su vez, son los propulsores de la productividad secundaria asociada a los macroinvertebrados acuáticos. Esta condición de bajos sedimentos debería estar asociada con una alta riqueza de especies de macroinvertebrados acuáticos.

Figura 44. Perfil de sólidos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

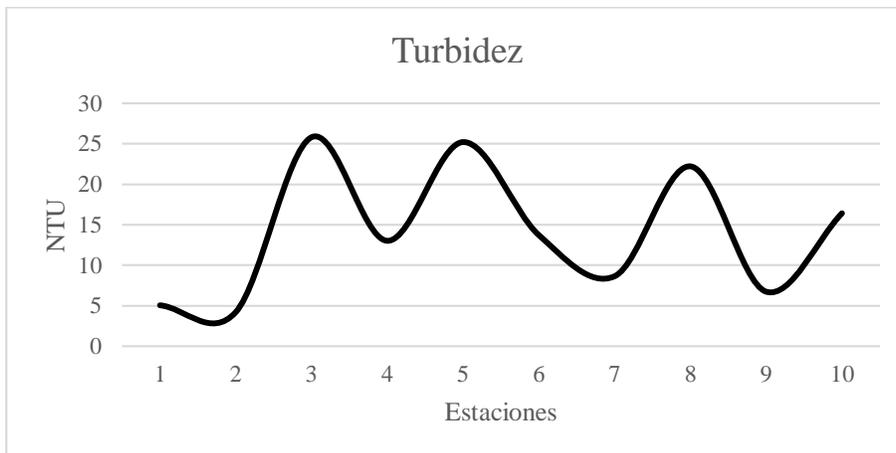


Nota. Elaborado por los autores.

Turbidez

Este parámetro no mostró un comportamiento normal, sino que presentó fluctuaciones entre estaciones como se puede apreciar a continuación.

Figura 45. Perfil de turbidez entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

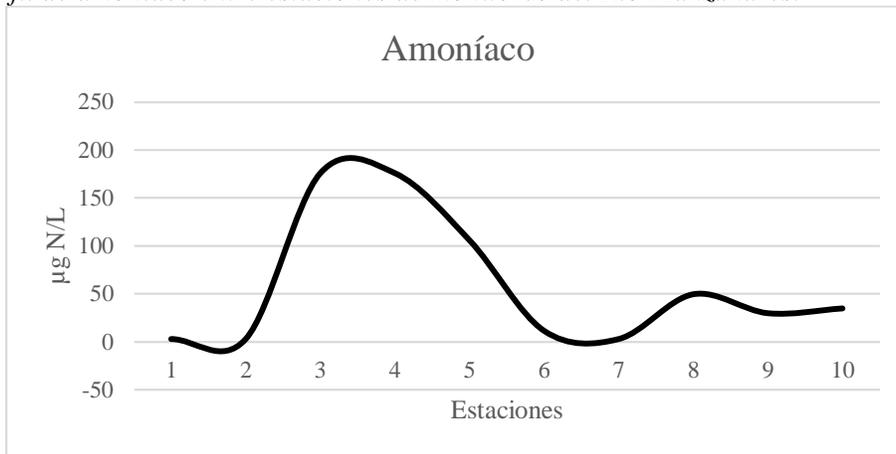


Nota. Elaborado por los autores.

Amoniaco

Para este nutriente se presentaron variaciones considerables hacia la estación 3, que, para la descripción de la estación, se encontraba cercana a un vertimiento de aguas residuales con presencia de fuertes olores, lo que posiblemente generó los altos valores, y su comportamiento alto hacia las estaciones 4 y 5, ya en las estaciones siguientes, tuvo otros picos, pero que no sobrepasaron por las 50 $\mu\text{g N/L}$.

Figura 46. Perfil de amoníaco entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

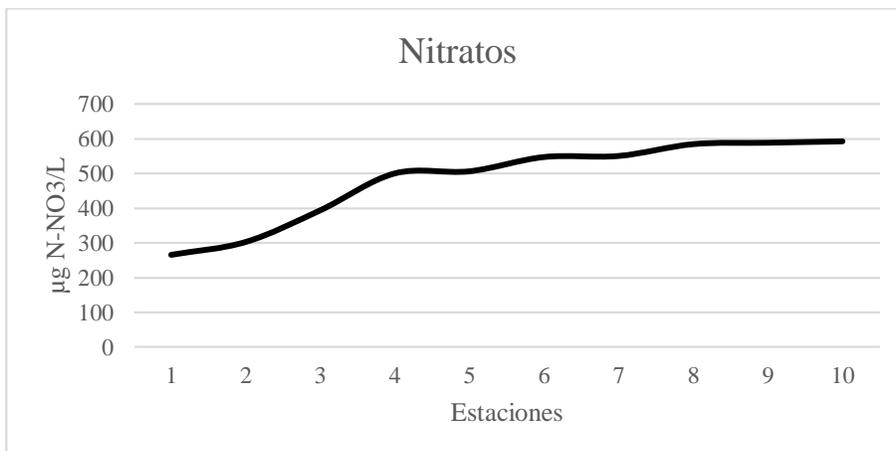


Nota. Elaborado por los autores.

Nitratos

Los nitratos tuvieron un comportamiento de crecimiento desde la E1 hacia la E10, y que en términos generales son valores altos, y que concuerda con lo descrito en el Estudio Nacional del Agua 2014, el cual describe que los mayores aportantes a la carga contaminante por Nutriente de Nitrógeno son el sector doméstico, es de resaltar que el incremento de este parámetro en las estaciones subsecuentes, genera unas condiciones de alerta a la Corporación y a la Alcaldía de Santa Marta, para disminuir la presión que se genera de los vertimientos de aguas residuales que llegan al río. Sin embargo, es de resaltar que la cuenca en general presenta una actividad agrícola considerable en la parte media y alta con Plantaciones de Café y Mango, además de los productos de pancoger en pequeñas parcelas que periódicamente realizan nitrificación de sus suelos con fertilizantes hacia estos cultivos, lo que posiblemente sea una de las respuestas a los valores altos de nutrientes.

Figura 47. Perfil de nitratos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

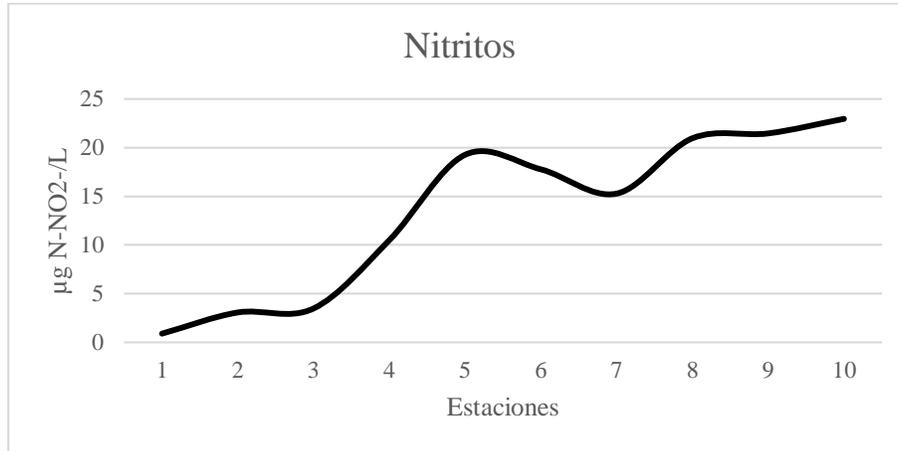


Nota. Elaborado por los autores.

Nitritos

El comportamiento de los Nitritos fue similar al comportamiento de los nitratos, incrementándose a lo largo del trayecto del río que este a su vez, atraviesa la parte urbana de la ciudad de Santa Marta, y que coincide con poblaciones vulnerables económicamente, y carente de servicios de saneamiento básico.

Figura 48. Perfil de nitritos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

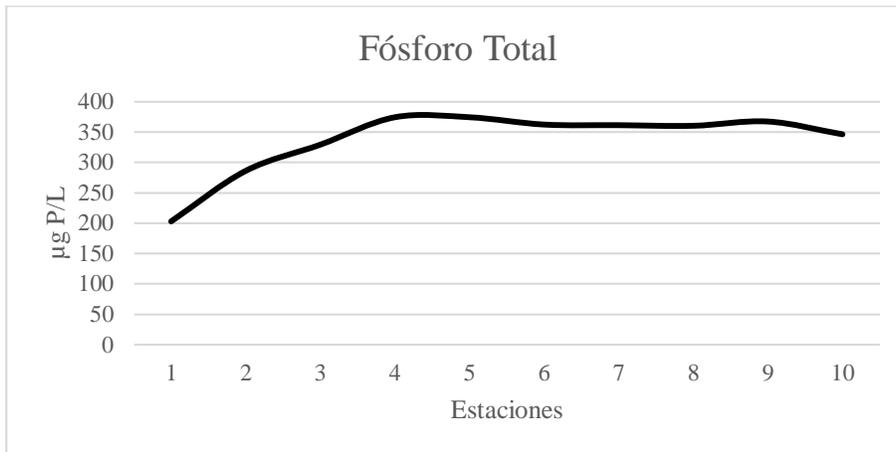


Nota. Elaborado por los autores.

Fósforo Total

Este parámetro presentó la tendencia al incremento a lo largo del tramo de estudio, con variaciones considerables que oscilan a más de 150 unidades de diferencia, con un leve pico en la estación 4 sector del barrio Timayui, lo cual deja de manifiesto la importancia de los vertimientos y de fertilizantes agregados en la cuenca media y alta del río. Una de las posibles explicaciones a estos altos valores, puede deberse a los vertimientos de aguas residuales y subproductos jabonosos del sector doméstico.

Figura 49. Perfil del fósforo total entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

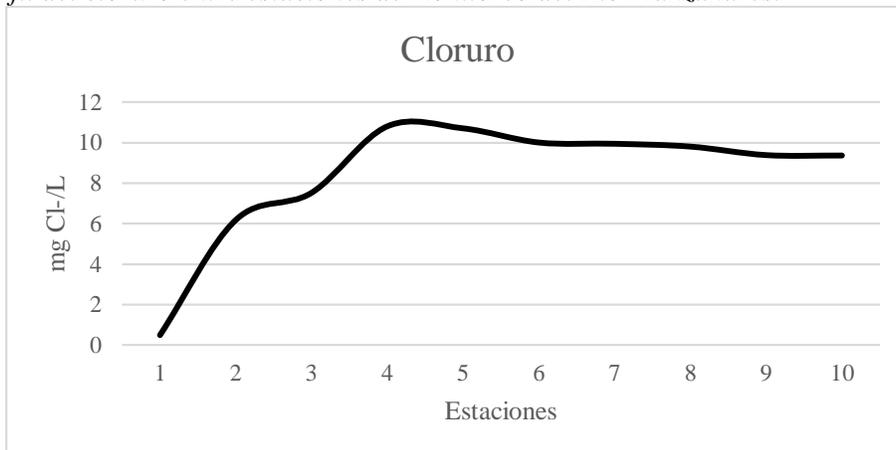


Nota. Elaborado por los autores.

Cloruro

Este parámetro presentó incremento a lo largo del tramo de estudio, con un pico en la estación 4 ubicado sobre el puente del barrio Timayui, y donde concurren aguas servidas del barrio hacia ese punto.

Figura 50. Perfil del cloruro entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

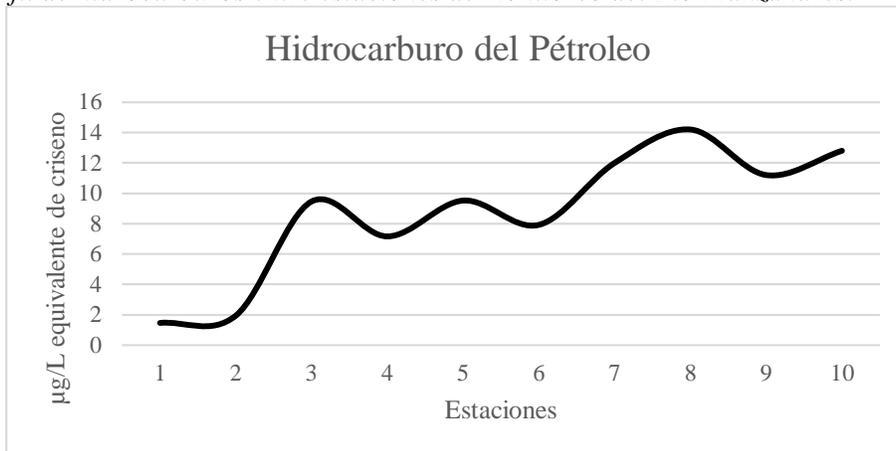


Nota. Elaborado por los autores.

Hidrocarburos del Petróleo

Con incremento ascendente a lo largo de las estaciones del tramo en estudio, y con variabilidad entre estaciones, resaltado que para la estación 8 se presentó el mayor incremento (12) influenciada probablemente por la descarga de aguas residuales provenientes de varios lavaderos de carros ubicados en cercanía la estación 8.

Figura 51. Perfil de hidrocarburos entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

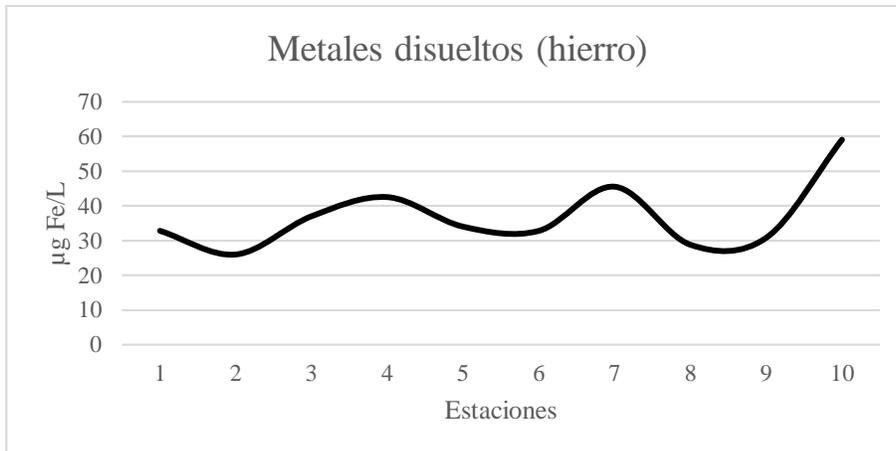


Nota. Elaborado por los autores.

Metales Disueltos (Hierro)

El Hierro no mostró una variación significativa a lo largo de la corriente de agua, y se mantuvo con valores bajos respecto a la normatividad colombiana.

Figura 52. Perfil del hierro entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

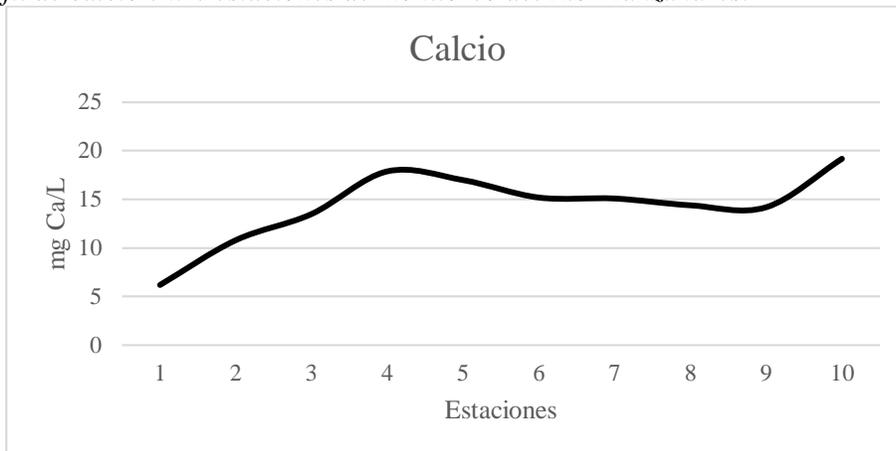


Nota. Elaborado por los autores.

Calcio

Este parámetro no presentó variaciones significativas en el tramo de estudio, y se mantuvo conforme a los valores permitidos para los cuerpos de agua.

Figura 53. Perfil de calcio entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.

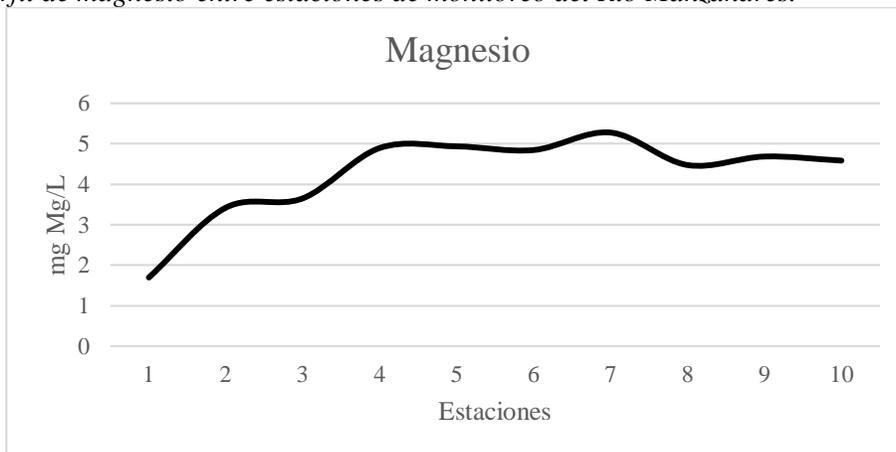


Nota. Elaborado por los autores.

Magnesio

Este parámetro no presentó variaciones significativas en el tramo de estudio, y se mantuvo conforme a los valores permitidos para los cuerpos de agua.

Figura 54. Perfil de magnesio entre estaciones de monitoreo del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Grasas y Aceites

Las grasas y aceites todas las estaciones presentaron valores menores a 1mg/l lo que refleja que cumple con lo permisible en la Res 1965 del 2018 de CORPAMAG.

DBO5

Para este parámetro se describe que en todas las estaciones presentaron valores menores a 4,3 mg O₂/L lo que refleja que cumple con lo permisible en la Res 1965 del 2018 de CORPAMAG.

ESTIMACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA E HIDROBIOLÓGICA

Índice de calidad del agua ICA

Para el cálculo del ICA para el río Manzanares se procedió a utilizar la Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00), del IDEAM, el cual establece el cálculo de este índice con 5 o 6 parámetros. Tomando como base que la categorización de las aguas estará en función del puntaje obtenido y su respectiva clasificación (Tabla 36).

Tabla 36. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el 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

Tomando como base, los datos entregados por el laboratorio, de las 10 estaciones, se procedió a sectorizar por tramos de estudio para el cálculo del ICA, es decir de las 10 estaciones, se tomaron la E1, E2 y E3, como el tramo 1 (Tabla 37). Los datos de los parámetros seleccionados para el cálculo del ICA se muestran en la (Tabla 38).

Tabla 37. Estaciones de muestreo para el cálculo del ICA.

Tramo	Estaciones de muestreo
1	E1, E2 y E3
2	E4, E5 y E
3	E7, E8, E9 y E10

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 38. Parámetros y valores para el cálculo del ICA.

Estaciones	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Fósforo Total	NUT Nitratos	Sólidos Suspendidos
E01	6,1	7,97	0,12	203	266	5,2
E02	6,1	7,85	0,18	286	303	13,6
E03	5,6	8,2	0,19	329	394	35,2
E04	5,1	7,61	0,23	374	500	25,4
E05	4,8	8,2	0,22	374	506	30,3
E06	5,2	7,72	0,22	362	547	18,2
E07	4,8	8,25	0,21	361	550	18,8
E08	5,1	7,82	0,25	360	584	25,7
E09	4,97	8,3	0,21	367	588	24,1
E10	5	7,81	0,25	346	592	23,6

Por consiguiente, se tomó el promedio de los datos para unificarlo en los tramos y así iniciar el cálculo del ICA para tramos en el río Manzanares (Tabla 39). Es de resaltar que el valor de la ponderación para cada parámetro fue de 0,2.

Tabla 39. Valores promedio de los parámetros para la determinación del ICA del Río Manzanares.

PARAMETROS	Promedio		
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Oxígeno Disuelto	5,9	5	4,9
pH	8,0	7,8	8,0
Nitrógeno	321	517	578,5
Sólidos Suspendidos	18	24	23,05
Fósforo	272,6	370	358,5
Conductividad	0,16	0,22	0,23

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados utilizando la metodología del IDEAM para el cálculo del ICA se muestran en la (Tabla 40). Luego se multiplicaron por el valor de ponderación (Tabla 41).

Tabla 40. Valores del ICA acorde a la metodología IDEAM.

TRAMOS	Oxi	pH	Con	Ind Nt/Np	SST	Nt/Np
Tramo 1	0,706	1,000	1,007	0,150	0,586	1,177
Tramo 2	0,599	1,000	1,007	0,150	0,431	1,210
Tramo 3	0,591	1,000	1,006	0,150	0,303	1,300

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 41. Valores del ICA ponderado acorde a la metodología IDEAM.

TRAMOS	Oxi	pH	Con	Ind Nt/Np	SST	Nt/Np
Tramo 1	0,141	0,200	0,201	0,030	0,117	0,235
Tramo 2	0,120	0,200	0,201	0,030	0,086	0,242
Tramo 3	0,118	0,200	0,201	0,030	0,061	0,260

Nota. Elaborado por los autores.

Al sumar los valores ponderados de cada parámetro se obtuvieron las calificaciones mostradas en la (Tabla 42). En términos generales, todo tramo de estudio del río Manzanares, desde el sector de Bonda hasta el sector del Puente de la Platina a pocos kilómetros de la desembocadura, para el muestreo realizado, categorizaría al río en buena calidad del agua.

Tabla 42. Valoración del ICA por tramo acorde a la metodología IDEAM.

TRAMOS	ICA	Clasificación	Color
Tramo 1	0,9254	Buena	Azul
Tramo 2	0,8794	Aceptable	Verde
Tramo 3	0,8701	Aceptable	Verde

Nota. Elaborado por los autores.

Cálculo de índices bióticos

Los macroinvertebrados acuáticos han sido usado ampliamente para el análisis de sistemas acuáticos ya que presentan cualidades importantes que permiten considerarlos como buenos indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos. Algunas de estas características son:

Son organismos con poca movilidad dentro del sistema acuático, de hecho, algunos son sésiles (ej. Los simúlidos), por lo cual, su presencia o ausencia responde a los cambios ambientales que ocurren en determinado sitio.

Poseen ciclos de vida largos, los cuales permite evaluar la comunidad o las cohortes de los grupos biológicos durante un período de tiempo considerable (entre algunos meses hasta más de un año).

Son organismos de gran tamaño, hecho que facilita su identificación hasta el nivel taxonómico de familia, grado taxón usado en muchos índices de Calidad de Agua.

Para valorar la calidad del recurso hídrico se han desarrollado métodos basados en la presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos como el BMWP (Roldan, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col., 2003), otros que se estiman a partir de los datos de las variables fisicoquímicas como el ICA-NFS (Brown 1970) y otros como índices que integran información biológica y fisicoquímica como el ICE (Forero, Longo, Ramírez, & Chalar,

2014); este último, es recomendado por la autoridades ambientales en Colombia para el monitoreo de los ecosistemas fluviales y para los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (MADS, 2018).

MÉTODOS

Se realizó un muestreo puntual sobre el cauce principal del río Manzanares en los sitios denominados como Bonda (11°13'39.93"N, 74° 6'40.07"O), Quinta de San Pedro Alejandrino - Q Sn Pedro (11°13'51.13"N, 74° 9'50.71"O) y Puente El Mayor -P El Mayor (11°13'40.04"N, 74°11'52.29"O). En cada sitio se identificaron todos los microhábitats presentes para tomar una muestra representativa de cada uno de ellos. El muestreo se realizó en cada microhábitat como se describe a continuación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Gravas y Piedras: se muestreó con una Red Surber que tiene un área de 0.09m² y 250µ de apertura de la malla. La red se ubicó en el lecho del río en posición contra-corriente durante 3 minutos en cada microhábitat. En el sitio Puente el Mayor, se usó para analizar el sustrato rocoso que se caracterizó porque dominaron escombros (principalmente restos de ladrillos y bloques).

Hojarasca: fue colectada con una red tipo-D, muchas veces asociado a este microhábitat se colecta material vegetal de origen alóctono presente en el lecho del río. El material se recolectó luego de revisar un tramo de 100m aproximadamente

Sedimentos: Se empleó una Draga Eckman para recolectar organismos asociados a zonas con sedimentos finos, catalogados como fondos blandos, la muestra tomada.

Pozo: este microhábitat se muestreó con ayuda de la red tipo-D. solo se presentó en Bonda y se procedió a recolectar los organismos presentes en la columna de agua.

Todas las muestras fueron depositadas en bolsas y frascos plásticos debidamente rotulados para evitar daños a los organismos. Para preservar los organismos se usó etanol al 96 % El proceso de identificación se realizó en la Universidad del Magdalena, para esta actividad se usaron las descripciones y claves taxonómicas de (Merritt & Cummins, 2008) (Dominguez & Fernandez, 2009).

Figura 55. Colecta de muestras de macroinvertebrados acuáticos en los sitios seleccionados.



Nota. Fotos tomadas por Cesar E. Tamaris Turizo.

Análisis de datos

A partir de los datos de abundancia de los géneros y las familias se procedió a construir gráficos de barra para conocer los taxones dominantes por sitio. Para el cálculo del BMWP/Col, se asignaron los pesos a cada familia por sitio de muestreo, de acuerdo con lo recomendado por (Roldan, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col., 2003); la sumatoria de los puntajes de las familias se totalizó para conocer el puntaje final por sitio y de acuerdo con dicho puntaje se asignó el criterio de calidad de agua. Para la estimación del Índice de Calidad Ecológica (ICE) se siguió la metodología propuesta por (Forero, Longo, Ramírez, & Chalar, 2014).

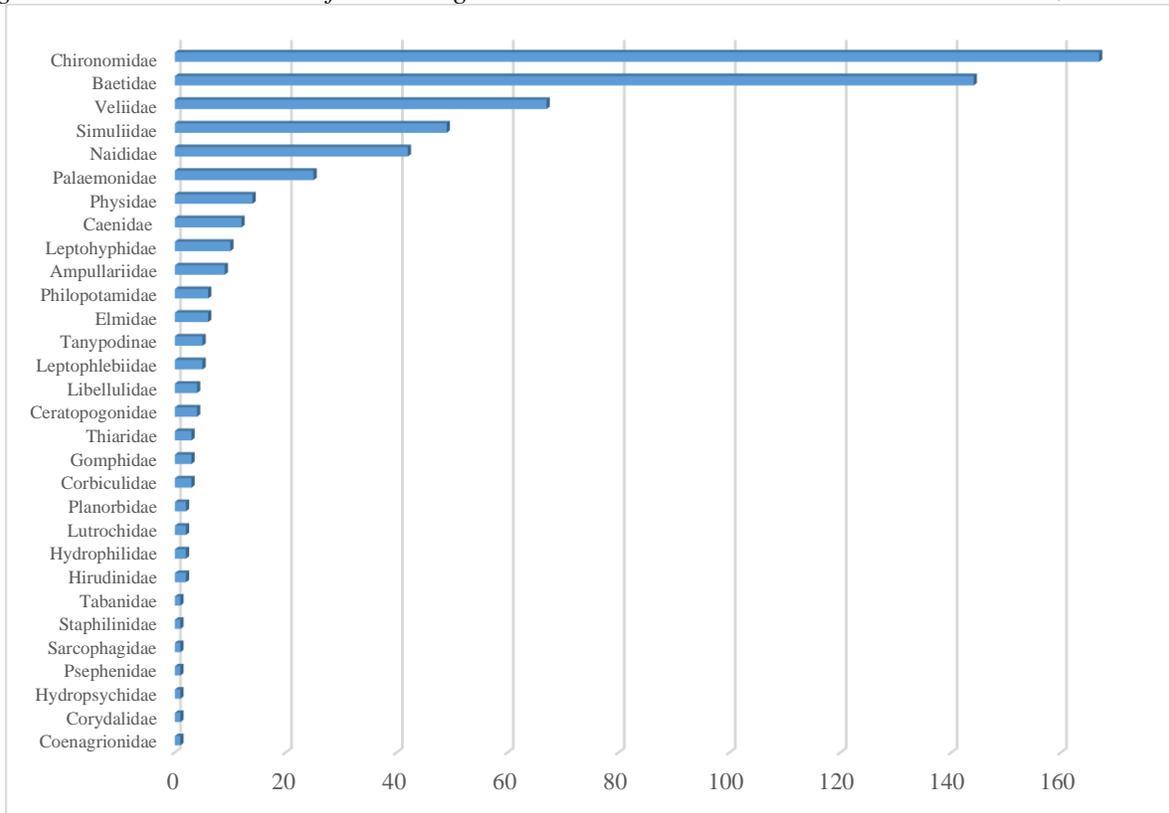
Macroinvertebrados acuáticos

En general se encontraron 594 organismos pertenecientes a 71 taxones, distribuidos en las clases Insecta, Clitellata, Gastropoda, Malacostraca y Bivalvia, los cuales se agrupan en los Phylum Clitelata, Mollusca y Arthropoda, siendo este último el más abundante y de mayor riqueza de taxones.

La clase Insecta fue el grupo más abundantes con 493 individuos, seguida por la clase Clitellata con 44 organismos, Gastropoda con 28 organismos, Malacostraca con 25 individuos y por último la clase Bivalvia con solo tres individuos.

El total se observaron 29 familias de macroinvertebrados entre los tres sitios de estudio, de las cuales 22 pertenecen a la clase Insecta, cuatro a la clase Gastropoda, dos a la clase Clitellata y una tanto para la clase Bivalvia como para Malacostraca. De la clase Insecta se resalta la alta abundancia de las familias Chironomidae y Baetidae (167, 144 organismos, respectivamente) como también a las familias Veliidae y Simuliidae (67, 49 organismos, respectivamente) en todo el estudio, mientras que de la clase Clitellata a la familia Naididae con 42 organismos (Figura 56).

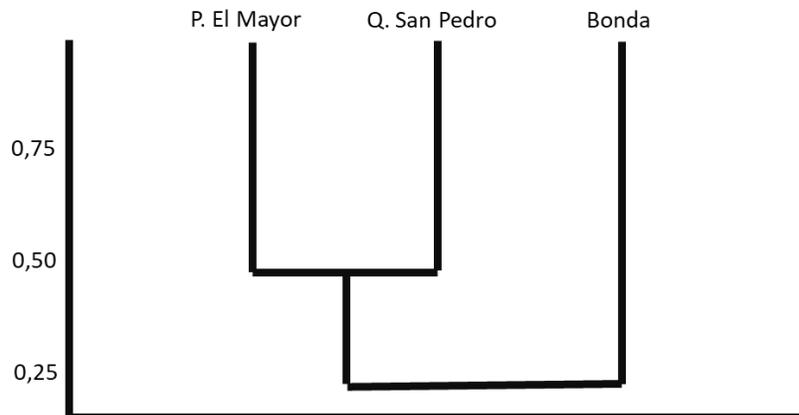
Figura 56. Abundancia de las familias registradas en los tres sitios evaluados en el río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

En términos de la estructura de los macroinvertebrados, la comparación entre los tres sitios mostró que Bonda presenta una composición diferente, y que los sitios P El Mayor y Q Sn Pedro son más similares en cuanto a la composición de los taxones; a pesar de que, comparten poco menos del 50% de los grupos de organismos (Figura 57).

Figura 57. Análisis de Clasificación Cluster, basado en la abundancia de los taxones por sitio.



Nota. Elaborado por los autores.

En Bonda se encontraron los tres Phylum reportados en todo el estudio, distribuidos en cuatro clases de organismos, 10 órdenes, 24 familias y 55 taxones, siendo el sitio con la mayor diversidad (Shannon-H=2,95). En el sitio P El Mayor, también se encontraron los tres Phylum reportados en todo el estudio, distribuidos en cuatro clases de organismos, 9 órdenes, 11 familias y 21 taxones, siendo el segundo sitio con la mayor diversidad (Shannon-H=2,27). En el sitio Q Sn Pedro, también se encontraron los tres Phylum reportados en todo el estudio, distribuidos en cinco clases de organismos, 10 órdenes, 13 familias y 18 taxones, con la menor diversidad registrada (Shannon-H=2,19) (Tabla 43).

Tabla 43. Índices de diversidad y composición de los macroinvertebrados acuáticos las estaciones evaluadas del río Manzanares.

Índice	Sitio de muestreo		
	Bonda	Q. San Pedro	P. El Mayor
Taxa_S	55	18	21
Individuals	380	97	116
Dominance_D	0,08823	0,1648	0,1781
Shannon_H	2,954	2,193	2,279
Equitability_J	0,737	0,7588	0,7487

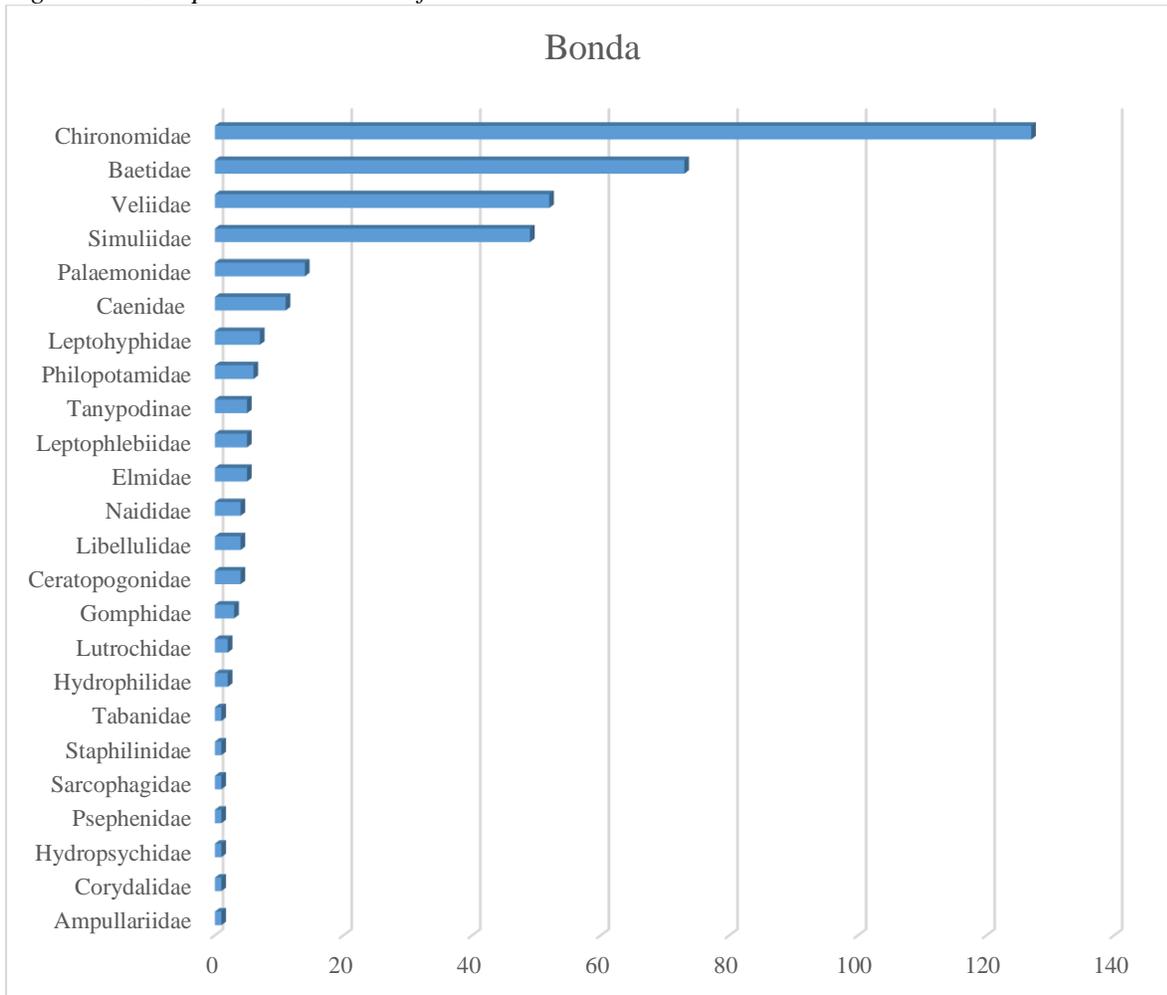
Nota. Elaborado por los autores.

Bonda

Los macroinvertebrados acuáticos en este sitio se encontraron representados por organismos de la familia Chironomidae, cuyas larvas y pupas pueden ser encontradas sobre cualquier tipo de sustrato, blando (fangoso), semiblando (limo arcilloso, arenoso), duro (grava, rocas), sobre la vegetación sumergida y sobre otros organismos, prefieren por lo general lugares remansados y protegidos de las corrientes fuertes por organismos de la familia Baetidae, cuyos organismos aquí representados pueden ser encontrados en zonas de los ríos o quebradas de mucha corriente con sustrato pedregoso (Dominguez & Fernandez, 2009) como también por la familia Veliidae, que contiene organismos que habitan en sectores quietos del agua, sobre espuma y hojarasca flotantes, sobre plantas emergentes y sobre superficie inferior de grandes rocas, entre plantas emergentes y debajo de plantas colgantes de la orilla, también en sectores de corrientes rápidas pueden ser encontrados, y por la familia Simuliidae, que en particular contiene organismos que están íntimamente ligados a ecosistemas loticos, generalmente escogen sitios con flujo de agua continuo y rápido; se ubican cerca de la superficie donde existe mayor tensión de oxígeno, sobre hojas o ramas o bien en sustratos pedregosos libres de algas y fango que permiten su fijación. Exigen un soporte sólido que permita la fijación de larvas y pupas. No se la encuentra sobre limo ni tampoco cuando hay algas unicelulares, las larvas prefieren aguas claras y limpias, aunque algunas pueden tolerar cierto grado de turbidez del agua por un período o de manera permanente. Necesitan alto contenido de oxígeno disuelto en forma de microburbujas.

Los taxones con mayores densidades corresponden a organismos de las subfamilias Orthocladiinae y Chironominae de la familia Chironomidae, al género Baetodes y el Morfo 2B de la familia Baetidae, y a los géneros Rhagovelia (Veliidae) y Simulium (Simuliidae) (Figura 58).

Figura 58. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en Bonda.



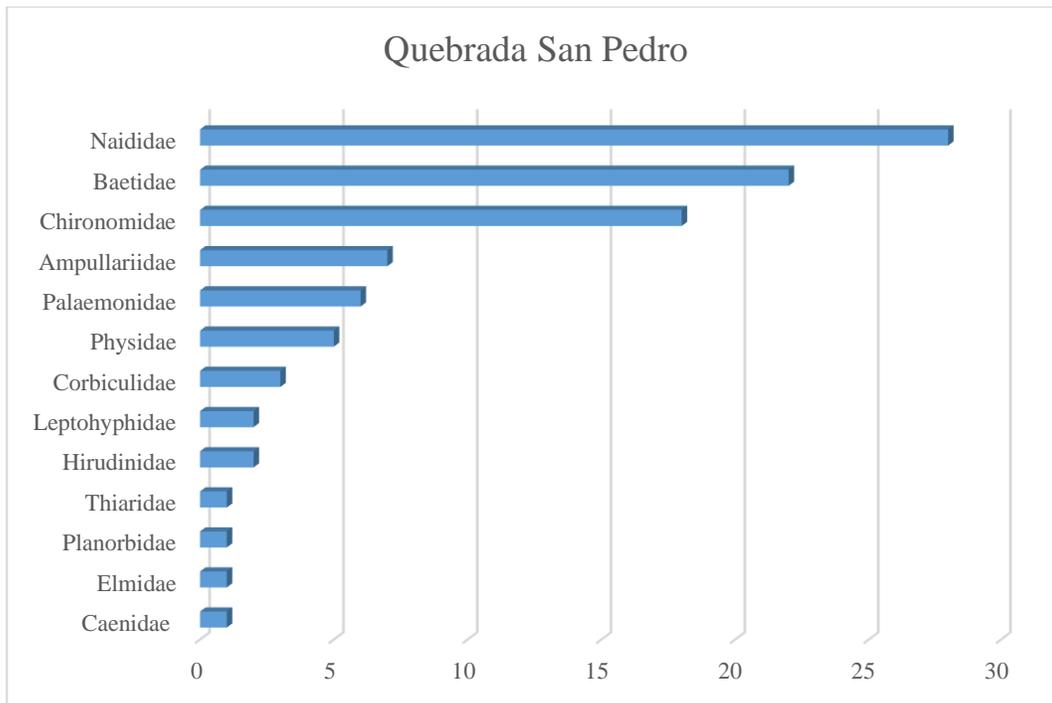
Nota. Elaborado por los autores.

Quinta de San Pedro Alejandrino

Los macroinvertebrados acuáticos en el sitio de la Quinta de San Pedro Alejandrino se encontraron representados por la familia Naididae en su mayoría, que son organismos que alcanzan sus mayores densidades y riqueza principalmente en sedimentos finos, y se ha reportado que pueden procesar considerables cantidades de contaminantes (Dominguez & Fernandez, 2009), otra familia representante de los macroinvertebrados acuáticos de este sitio fue la familia Baetidae, cuyos organismos aquí representados pueden ser encontrados en zonas de los ríos o quebradas de mucha corriente con sustrato pedregoso, y la familia Chironomidae, cuyas larvas y pupas pueden ser encontradas sobre cualquier tipo de sustrato, blando (fangoso), semiblando (limo arcilloso,

arenoso), duro (grava, rocas), sobre la vegetación sumergida y sobre otros organismos, prefieren por lo general lugares remansados y protegidos de las corrientes fuertes (Dominguez & Fernandez, 2009). La presencia de estos tres grupos refleja la heterogeneidad de microhábitats presentes que han sido formados por descargas de residuos sólidos y líquidos por efecto del hombre, por lo que se encuentra en un sector urbano de la ciudad. Los taxones con mayores densidades corresponden a organismos indeterminados de la familia Naididae, al Morfo 2B de la familia Baetidae y Thienemanniella de la familia Chironomidae (Figura 59).

Figura 59. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en la Quebrada San Pedro.



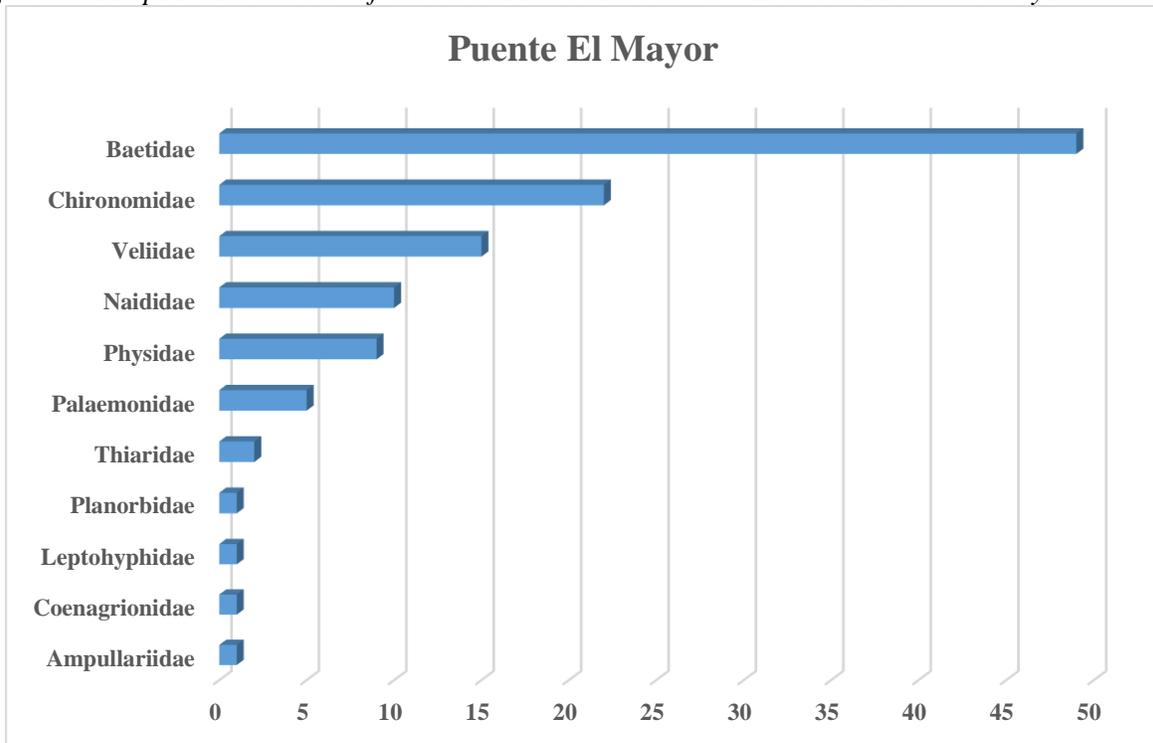
Nota. Elaborado por los autores.

Puente El Mayor

Los macroinvertebrados acuáticos en el puente El Mayor se encontraron representados por la familia Baetidae, cuyos organismos aquí representados pueden ser encontrados en zonas de los ríos o quebradas de mucha corriente con sustrato pedregoso, por la familia Chironomidae, cuyas larvas y pupas pueden ser encontradas sobre cualquier tipo de sustrato, blando (fangoso), semiblando (limo arcilloso, arenoso), duro (grava, rocas), sobre la vegetación sumergida y sobre otros organismos, prefieren por lo general lugares remansados y protegidos de las corrientes fuertes y en menor proporción por la familia Veliidae, que contiene organismos que habitan en sectores quietos del agua, sobre espuma y hojarasca flotantes, sobre plantas emergentes y sobre superficie inferior de grandes rocas, entre plantas emergentes y debajo de plantas colgantes de la

orilla, también en sectores de corrientes rápidas pueden ser encontrados. Los taxones con mayores densidades corresponden a organismos indeterminados de la familia Baetidae (Morfo 2B), individuos de la subfamilia Chironominae de la familia Chironomidae, al género Steinovelia de la familia Veliidae y Thienemanniella de la familia Chironomidae y a organismos indeterminados de la familia Naididae (Figura 60).

Figura 60. Composición a nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos en P El Mayor.



Nota. Elaborado por los autores.

Bioindicación utilizando BMWP/Col

A continuación, se realizará el análisis de la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos desde el punto de vista de la Bioindicación. En la (Tabla 44), se relacionan los valores asignados a las familias de macroinvertebrados acuáticos registrados en los ecosistemas evaluados, basado en el BMWP/Col (Roldán-Pérez, 2016).

Tabla 44. Puntuación asignada a las familias de macroinvertebrados acuáticos recolectados en los sitios evaluados del río Manzanares.

Familia	Bonda	Q San Pedro	P El Mayor
Ampullariidae	9	9	9
Baetidae	7	7	7
Caenidae	7		7
Ceratopogonidae	3		
Chironomidae	2	2	2
Coenagrionidae		7	
Corbiculidae*			3
Corydalidae	6		
Elmidae	6		6
Gomphidae	10		
Hirudinidae*			3
Hydrophilidae	3		
Hydropsychidae	7		
Leptohyphidae	7	7	7
Leptophlebiidae	9		
Libellulidae	6		
Lutrochidae	6		
Naididae	1	1	1
Palaemonidae	8	8	8
Philopotamidae	9		
Physidae		3	3
Planorbidae		5	5
Psephenidae	10		
Sarcophagidae*	3		
Simuliidae	8		
Staphilinidae	6		
Tabanidae	5		
Thiaridae		5	5
Veliidae	8	8	
Total	146	62	66

Nota. Elaborado por los autores.

Los hirudíneos son típicos de aguas con materia orgánica, siendo la familia Hirudinidae no contemplada dentro de la calificación de bioindicador, pero con características ecológicas afines a medios con materia orgánica en descomposición.

El sitio Bonda es catalogado por el índice como Aguas no contaminadas, mientras que los sitios Q. San Pedro y P. El Mayor son clasificadas como Aguas ligeramente contaminadas (Tabla 45). En términos de la calidad del agua, para Bonda es buena, pero para Q. San Pedro Alejandrino y P.

El Mayor es la calidad del agua en ambos sitios es aceptable. Resultados que son consistentes con la descripción de la estructura de sus comunidades, ya que en Bonda se observó la mayor diversidad de taxones, mientras que en los sitios restantes presentaron las diversidades ligeramente menores.

Tabla 45. Clasificación de la calidad ecológica de las aguas de los tres sitios evaluados del río Manzanares.

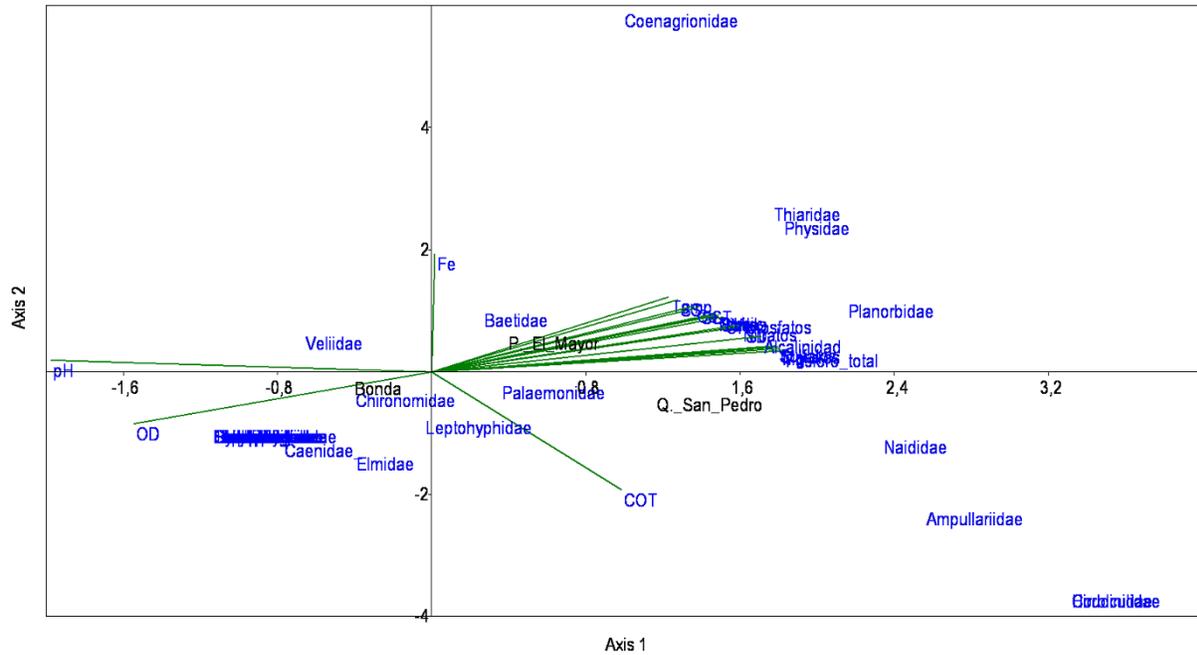
ESTACIÓN	BMWP-Col	CLASIFICACIÓN
Bonda	146	Aguas no contaminadas
Q. San Pedro Alejandrino	62	Aguas ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación
P. El Mayor	66	Aguas ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación

Nota. Elaborado por los autores.

Índice de Calidad Ecológica (ICE)

Se efectuó un análisis de correlación canónica (ACC) entre todas las familias de macroinvertebrados acuáticos identificadas y todas las variables físicas y químicas medidas en los tres sitios evaluados, en cuyo análisis el primer eje explica el 75,5% y el segundo el 24,5% de la variación de los datos, permitiendo observar, por un lado, que el sitio Bonda se caracterizó por los altos valores de pH y oxígeno disuelto (OD), asociadas a las mayores abundancias de las familias Simuliidae, Veliidae, Caenidae, Elmidae, Palaemonidae, Chironomidae y Baetidae. Mientras que el sitio Q. Sn Pedro, por altos valores de la variable carbono orgánico total (COT), junto con las mayores abundancias de las familias Naididae y Ampullaridae. Por otro lado, el sitio P. El Mayor se caracterizó por el resto de las variables (evidenciando *multicolinealidad* entre la mayoría de las variables) y asociado a abundancias intermedias de las familias Baetidae, Chironomidae, Naididae y Veliidae (Figura 61).

Figura 61. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las abundancias de los organismos en las estaciones y algunas variables físicas y químicas medidas en laboratorio e in situ de los tres sitios evaluados del río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

ICE para un sector del río Manzanares

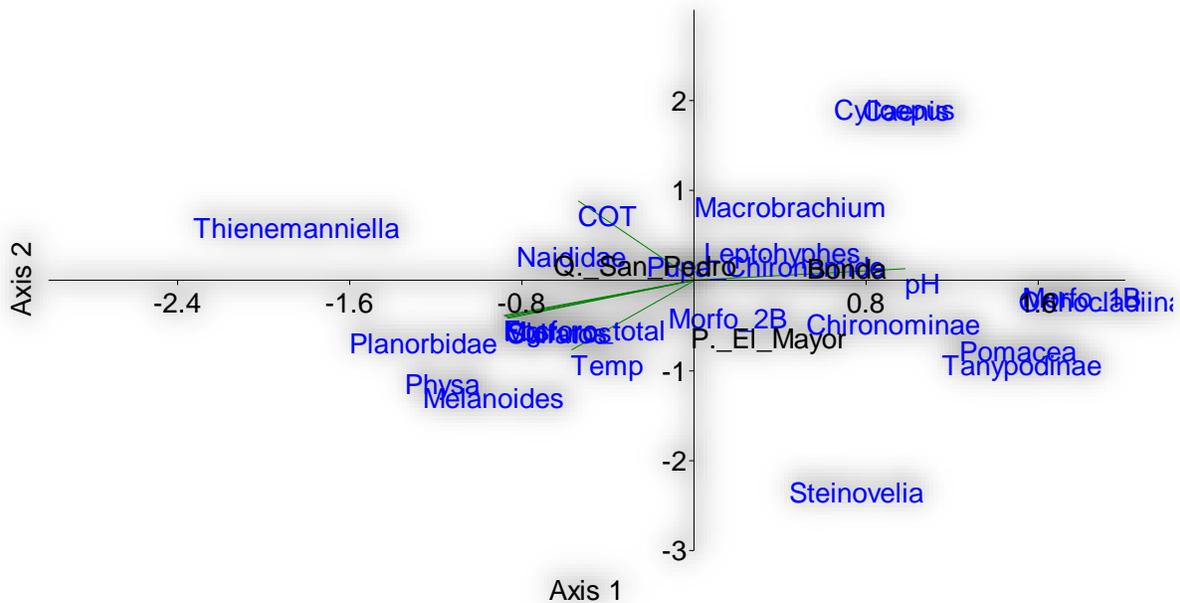
Correlaciones entre las variables físicas y químicas de los sitios evaluados

Inicialmente se estimó las correlaciones entre las variables físicas y químicas medidas para los tres sitios evaluados del río Manzanares, con lo que se pudo observar una alta correlación ($r \geq 0.8$) (Figura 61), entre las variables oxígeno disuelto (OD), conductividad (Cond), turbidez (Turb), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS), sólidos disueltos (SD), nitritos, nitratos, orto fosfatos, alcalinidad, Hierro disuelto (Fe) y Calcio disuelto (Ca) con la temperatura, por lo que este grupo de variables fueron eliminadas para los posteriores análisis en la elaboración del índice. Por otro lado, las variables seleccionadas para el ACC fueron: pH, cloruros, Fosforo total, contenido de carbono orgánico (COT), temperatura, Magnesio disuelto (Mg) y sulfatos.

Determinación de un gradiente ambiental

En el ACC efectuado, el primer eje presentó un auto valor de 0.207 y el segundo eje uno de 0.149, siendo relativamente altos en ambos casos. La inercia total de los taxones en este análisis fue de 1.06, de la cual el primer eje explicó el 58,17% y el segundo el 41,83% (Figura 62).

Figura 62. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con los taxones dominantes y las variables ambientales con mayor ponderación.



Nota. Elaborado por los autores.

Tanto en el primer como en el segundo eje del ACC, el pH presentó la mayor correlación, 0.978 y 0.981, respectivamente. Luego de analizar las correlaciones generales entre las variables se observó que la variable pH presentó las más altas correlaciones con las variables Cloruros (Cl), Sulfatos, Fosforo Total y Magnesio disuelto (Mg). De hecho, estas cuatro variables presentaron valores muy altos de correlación en el primer eje, mientras que COT mostró la menor correlación. Por el contrario, en el segundo eje, se pudo observar que la variable Fosforo Total junto con la variable COT, presentaron los valores más altos de correlación, después de la variable pH. Debido al que la variable pH presenta los más altos valores en ambos ejes del ACC el primer eje representa un gradiente de enriquecimiento de nutrientes, del que sugiere una estimulación de la producción primaria, mientras que el segundo eje representa un gradiente relacionado a la carga orgánica en el sistema.

Estandarización de los puntajes de las estaciones

El modelo de regresión utilizado para obtener los valores estandarizados de los taxones fue $Y=2.336X + 6.4339$.

Puntajes óptimos y de tolerancia para cada taxón

Los pesos óptimos asignados a cada taxón se asignaron teniendo en cuenta la división estándar de los datos y el criterio de experto de los autores.

Tabla 46. Asignación de los pesos a cada taxón común en al menos más de dos sitios.

Etiquetas de fila	W	Etiquetas de fila	W
Caenis	16	Orthocladiinae	1
Chironominae	1	Physa	16
Cyloopus	16	Planorbidae	16
Leptohyphes	16	Pomacea	16
Macrobrachium	8	Pupa_Chironomide	16
Melanoides	16	Steinovelina	1
Morfo 1B	16	Tanypodinae	16
Morfo 2B	16	Thienemanniella	16
Naididae	8		

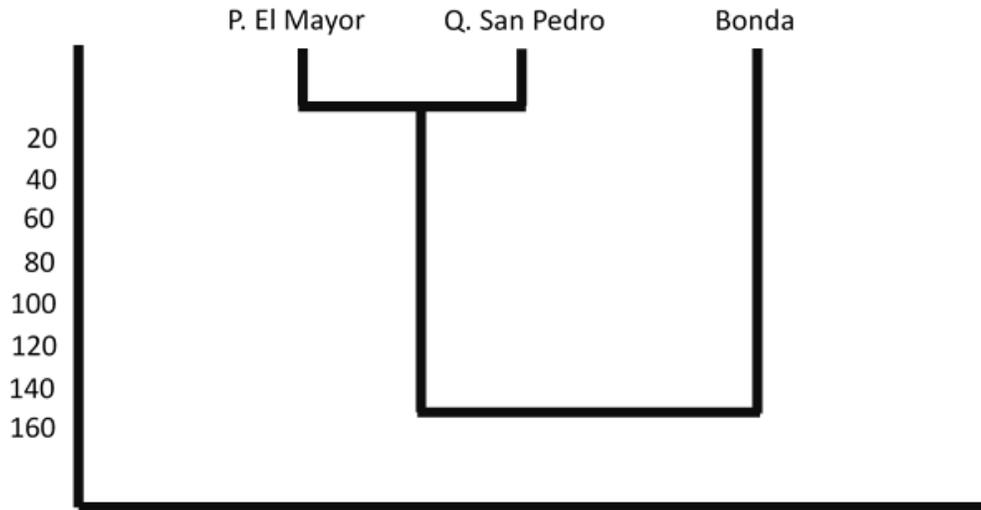
Nota. Elaborado por los autores.

Agrupamiento de las estaciones a partir de los valores del índice de estado ecológico junto con los datos de la variable fisicoquímica indicadora

Para el agrupamiento de los tres sitios evaluados usando los valores obtenidos del ISI, y una variable ambiental, se eligió al fósforo total como indicador puesto que, constituye un elemento aceptado ampliamente como limitante para la producción primaria. Además, el fósforo es relativamente estable durante el día, por lo que no presenta cambios bruscos en su concentración, al igual que también fue seleccionada por referencia de Forero et al. (2014), ya que fue una de las siete variables seleccionadas para realizar el ACC que explicó buena parte de la variación de la varianza. El agrupamiento fue consistente con la composición de macroinvertebrados, diversidad de taxones (Índice de diversidad) y las puntuaciones del BMWP-Col. Este agrupamiento permitió observar, por un lado, que el sitio Bonda presentó buenas condiciones ambientales, y por otro lado

que los sitios Q. de San Pedro Alejandrino junto con P. El Mayor los menores malas condiciones ambientales (Figura 63).

Figura 63. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo con los puntajes obtenidos del Índice de Calidad Ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para tres sitios del río Manzanares y las concentraciones de fósforo total en cada estación.



Nota. Elaborado por los autores.

Los valores de Índice de Calidad Ecológica para el río Manzanares estuvieron entre 5,4 (Regular) en Q Sn Pedro y 8,57 (Buena) en Bonda. Éstos valores son consistentes con el BMWP/Col, los cuales evidenciaron a Bonda como el sitio de mejores condiciones y P El Mayor y Q Sn Pedro, los sitios con los menores valores de los índices (pero con magnitudes similares) (Tabla 47).

Tabla 47. Valores de los Índices de Calidad Ecológica de los sitios evaluados.

SITIO	ICE	Calidad
Bonda	8,57	Buena
P. El Mayor	6,87	Buena
Q. San Pedro	5,40	Regular

Nota. Elaborado por los autores.

CONSIDERACIONES

A pesar de que los resultados categorizan la calidad ecológica del agua del río Manzanares a la altura del P El Mayor como “Buena”, este sitio es el más cercano a la desembocadura y transporta altas concentraciones de nutrientes como lo evidencian los resultados fisicoquímicos, no se considera que fueran de Buena calidad.

Los resultados del ICE_Manzanares deben ser considerados con cautela, toda vez que en los muestreos no se consideró al menos un sitio como de referencia, que debe ser usado como referente para la asignación de las “Categorías de Calidad Ecológica”. En este caso, Bonda fue el sitio que presentó la mayor abundancia y diversidad, por ende, se pudo considerar como el sitio de mejor condición ecológica; sin embargo, debido a que las ponderaciones de los sitios se estiman a partir la presencia de los taxones registrados en estos, es necesario usar un lugar con alto grado de conservación como referente de lo que se puede considerar como “Buena Calidad Ecológica”.

Debido a las bajas puntuaciones en el ICE obtenidas en los sitios Q San Pedro y P El Mayor, se recomienda que se realicen acciones dirigidas a mejorar las condiciones del sistema fluvial: promover la reforestación de la ribera, eliminar los vertimientos por aguas residuales que se realizan directa o indirectamente sobre el río, evitar que se arrojen escombros en estos sitios. Así mismo, debido a que Bonda es una localidad con alta afluencia de turismo durante algunos períodos del año, se propone que se evalúe la capacidad de carga en el balneario, incentivar los procesos de protección del bosque ribereño, evitar la extracción del recurso hídrico no regulada (para preservar el caudal ecológico que se controla en Paso del Mango) y evitar los vertimientos sin previo tratamiento.

ZOOPLANCTON

Los ecosistemas lóticos son corrientes fluviales que se caracterizan por ser rápidas y estar en constante movimiento, en el cual el movimiento del agua es predominantemente en una dirección. Un ejemplo de estos ecosistemas son los ríos y los arroyos. En estas corrientes fluviales habitan una gran cantidad de microorganismos que trabajan como productores y consumidores. Las corrientes fluviales y los microorganismos, vistos de manera macroscópica, conforman el ecosistema lótico (Toro, Schuster, Kurosawa, & Araya, 2003), (Licursi & Gómez, 2003) y (Ramírez & Plata-Díaz, 2008).

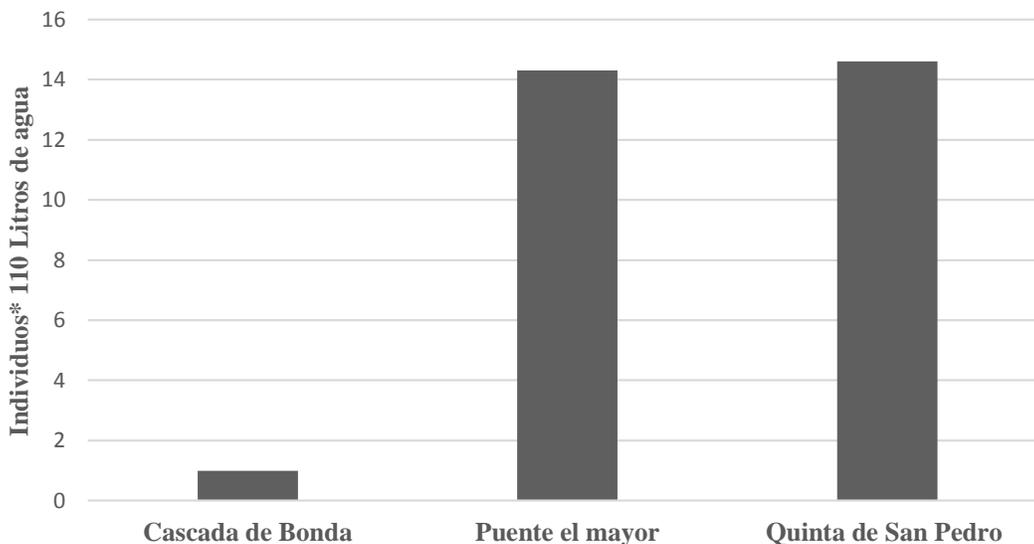
La comunidad de zooplancton comprende una gran variedad de organismos heterótrofos unicelulares y multicelulares que se caracterizan por tener movilidad restringida con relación al movimiento de la masa de aguas; Casi todos los grupos zoológicos están representados, desde los protozoarios hasta los vertebrados en sus estados larvarios (Boltovskoy, D, 1981). Los resultados

que se presentan a continuación son los reportados para el monitoreo de las comunidades zoo planctónicas en tres cuerpos de agua durante el período lluvioso del año 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En términos generales, la comunidad zoo planctónicas registraron en total 90 Ind/L, representado por una sola familia de crustáceos Palaemonidae en su estado larval (Zoea) la cual estuvo presente en los sectores muestreados. Presentando la mayor abundancia en el sector de la Quinta de San Pedro Alejandrino con 44 Ind/L y la menor abundancia en el sector de Bonda (cascada) con 3 Ind/L. De 330 litros de agua filtrada en total en los sectores muestreados (Figura 64).

Figura 64. Abundancia de larva de zoea de la familia Palaemonidae registrada en los tres sectores Muestreados (Cascada de Bonda, puente El Mayor, Quinta de San Pedro Alejandrino).

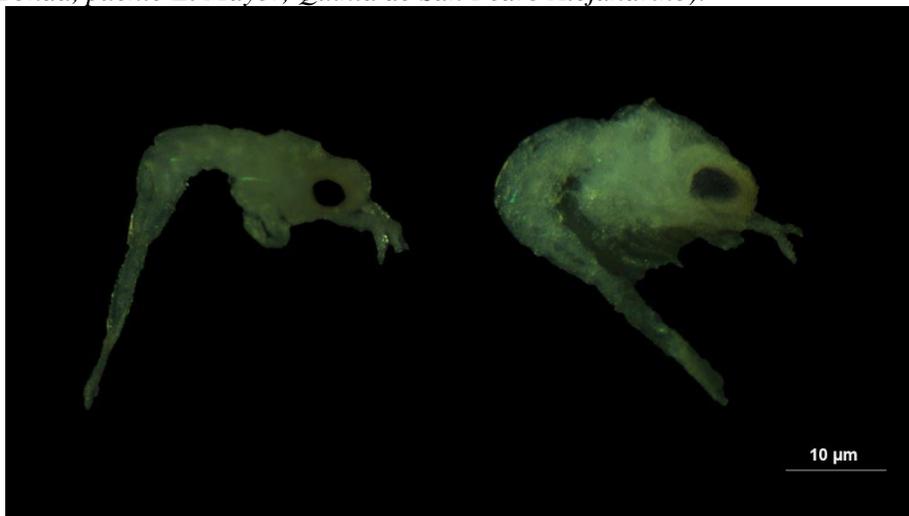


Nota. Elaborado por los autores.

Los Palaemonidae son organismos meroplanctónicos que se caracterizan por que su estado larval se encuentra en ambientes pelágicos y su hábito alimenticio es el fitoplancton y otros organismos zoo planctónicas (Figura 65). En estados de juvenil y adulto se producen cambios morfológicos, fisiológicos y conductuales que los transforman en organismos nectónicos o bentónicos y con hábitos alimentarios de tipo omnívoro (Meruane, Morales, Galleguillos, Rivera, & Hosokawa, 2006); (Rodríguez-Almaráz, Muñiz-Martínez, & Millán-Cervantes, 2010). La reducción del ciclo larval de algunos de sus géneros le ha permitido que se adapten y colonicen

los ambientes de agua dulce o entre macrófitas acuáticas, pastos sumergidos, a profundidades de 0 a 2 m (Maciel & Valenti, 2009) y (Llanero, 2013). Las larvas salen a la superficie al caer la noche para aprovechar la mayor cantidad de oxígeno disuelto en el agua y la mayor abundancia de alimentos (Meruane, Morales, Galleguillos, Rivera, & Hosokawa, 2006).

Figura 65. Larva de zoea de la familia Palaemonidae registrada en los tres sectores Muestreados (Cascada de Bonda, puente El Mayor, Quinta de San Pedro Alejandrino).



Nota. Fotos tomadas por Cesar E. Tamaris Turizo.

La baja abundancia y nula diversidad de organismo zoo planctónicos, podrían ser atribuidos a las condiciones típicas de los sistemas, en donde se incluye la corriente, irregularidad del cauce o el pH, esta comunidad es propia de ambientes lénticos, ya que se ha determinado que la turbulencia de los sistemas lóticos no permite su desarrollo (Montoya & Aguirre, 2009) (Ramirez & Viña, 1998). Por lo tanto, la capacidad natatoria de la larva de Palaemonidae le ha permitido un éxito adaptativo en estos sistemas de aguas (Rodríguez-Almaráz, Muñiz-Martínez, & Millán-Cervantes, 2010).

La comunidad zoo planctónica registrada en los tres sectores muestreados: Cascada de Bonda, puente El Mayor, Quinta de San Pedro Alejandrino está constituida por larvas de Zoea de la familia Palaemonidae presentando la mayor abundancia en el sector de la Quinta de San Pedro Alejandrino.

La baja abundancia y nula diversidad de organismo zoo planctónicos, podrían ser atribuidos a las condiciones típicas de los sistemas, en donde se incluye la corriente, irregularidad del cauce o el pH.

FITOPLANCTON

En general, para la comunidad Fito planctónica se registraron 3493 Ind/L y 66 especies agrupadas en 11 clases, 26 órdenes y 33 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 36 especies y 76% de la abundancia total registrada (2671 Ind/L) (Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69 y Figura 70). El promedio de abundancia total obtenido fue de 1164 Cel/L. Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del caribe Colombiano (Rangel, 2010).

Entre las especies más representativas se encuentran *Navicula* sp 1 (802 Ind/L), *Oscillatoria* sp 1(336 Ind/L), *Gyrosigma* sp 1 (307 Ind/L), *Nitzschia* sp 1(259 Ind/L), *Gyrosigma* sp 2 (164 Ind/L) y *Lyngbia* sp (139 Ind/L), respectivamente (Figura 70).

Navicula; este género se encuentra formando parte del bentos y el plancton; Además, puede hallarse cubriendo, en forma de color pardo y piedras sumergidas. Algunas especies son prácticamente sedimentarias. Las especies pueden crecer en ambientes oscuros y carentes dióxido de carbono ya que están generalmente constituidas por ciertas sustancias de alto valor energético o fácilmente digeribles, como ácidos grasos, acetatos y carbohidratos (Ramírez J. , 2000).

Oscillatoria: Este género cuando se presenta en altas densidades producen olor a hierbas y a terpenos (Ramírez J. , 2000). En ambientes corrientes como ríos, se encuentra asociado a sedimentos y conductividad altos (Duque & Donato, 1992).

Gyrosigma: La mayoría de las especies de este género parecen evitar aguas ácidas y concentraciones muy bajas de Calcio y magnesio (Ramírez J. , 2000).

Nitzschia: La mayoría de las especies de este género prefieren aguas de contenido iónico mediano. Tales aguas pueden ser duras o más o menos salobres (Ramírez J. , 2000).

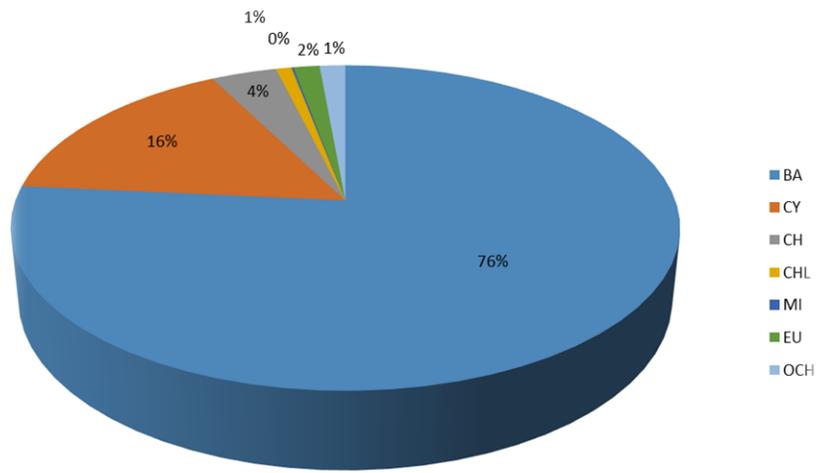
Lyngbia: Las especies como *Lyngbia* abundan en los meses más calientes del año y en aguas de pH neutro o ligeramente básico (Roldan & Ramírez, Fundamentos de limnología neotropical, 2008).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por las familias *Oscillatoriaceae*, *Euglenidae* (6 especies) y *Fragilariaceae* y *Gomphonemataceae* (5 especies);

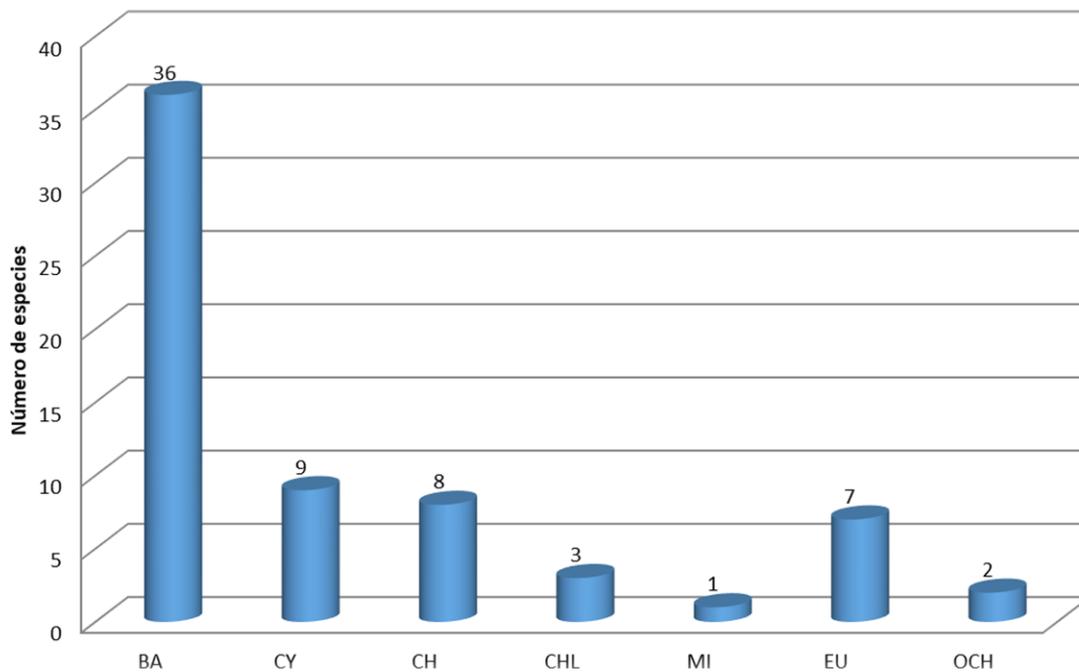
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son *Naviculaceae*, *Fragilariaceae*, *Pleurosigmataceae*, *Oscillatoriaceae* y *Bacillariaceae*, (Figura 68 y Figura 69).

Figura 66. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para las estaciones de agua asociadas. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



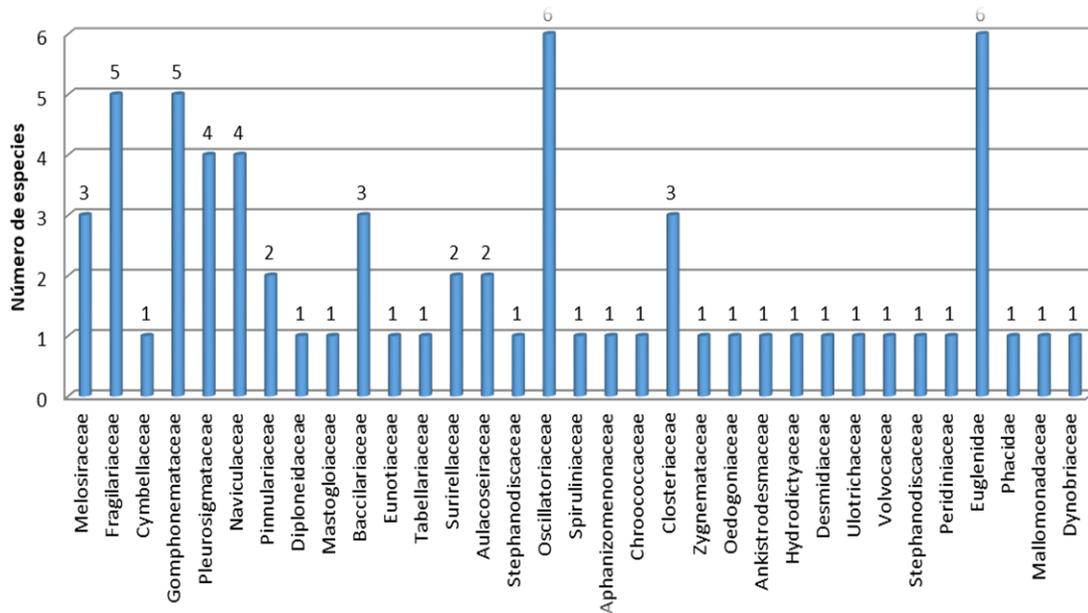
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 67. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrada para las estaciones de muestreo. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



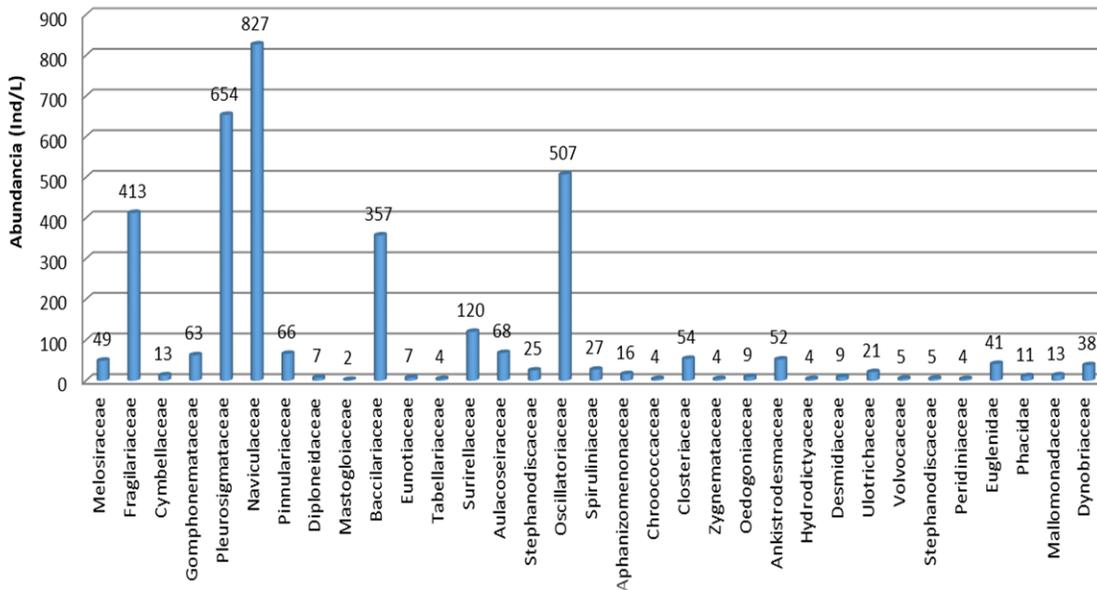
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 68. Riqueza de especies por familia Fito planctónica registrada en las estaciones de muestreo.



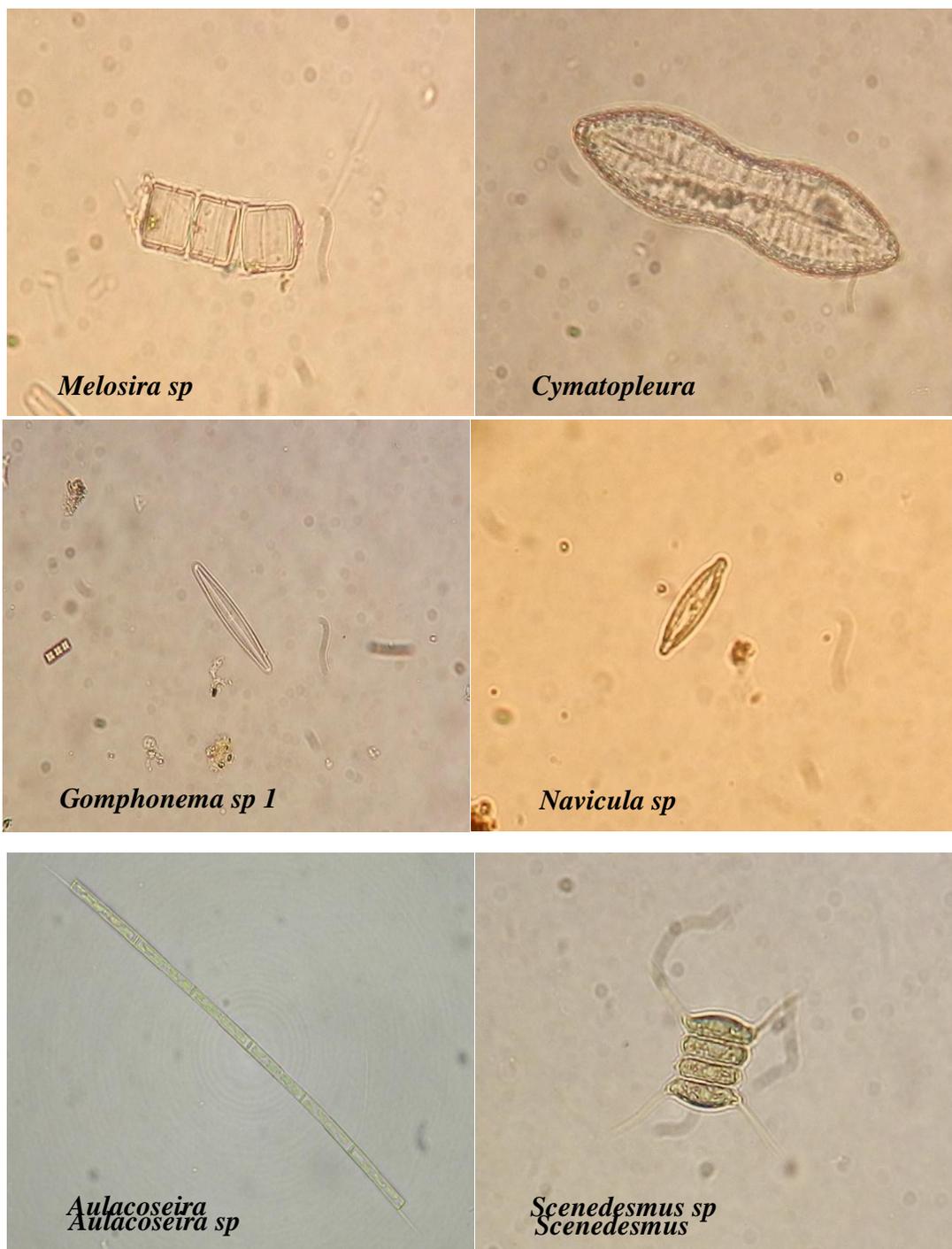
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 69. Abundancia por familia Fito planctónica registrada en las estaciones de muestreo.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 70. Algunos géneros fitoplanctonicos registrado para las estaciones de muestreo.



Nota. Fotos tomadas por Cesar E. Tamaris Turizo.

Resultados por estación

Sector Bonda: sitio la cascada

En general, para la comunidad fitoplanctónica del Sector Bonda se registraron 1166 Ind/L y 33 especies agrupadas en 9 clases, 19 órdenes y 24 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 20 especies y 68% de la abundancia total registrada (798 Ind/L). El promedio de abundancia obtenido fue de 384 Cel/L (Figura 71, Figura 72, Figura 73 y Figura 74). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del Caribe colombiano (Rangel, 2010).

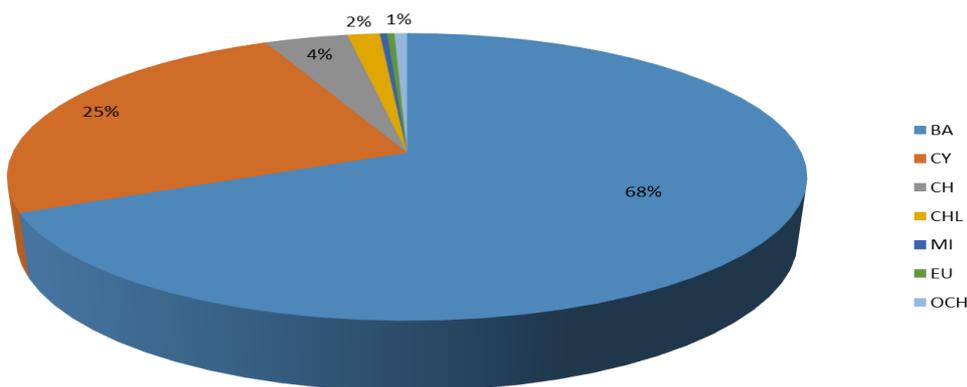
Entre las especies más representativas se encuentran *Synedra* sp 1 (236 Ind/L), *Navicula* sp 1 (230 Ind/L), *Oscillatoria* sp 1 (146 Ind/L) y *Lyngbia* sp 1 (125 Ind/L), respectivamente. El género *Synedra* sp produce un olor y sabor a pepino o a tierra cuando se encuentra en cantidades considerables (Ramírez J. , 2000). Algunas de estas especies se encuentran asociadas a ambientes mesotróficos (Duque & Donato, 1992).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por la familia *Fragilariaceae* (4 especies);

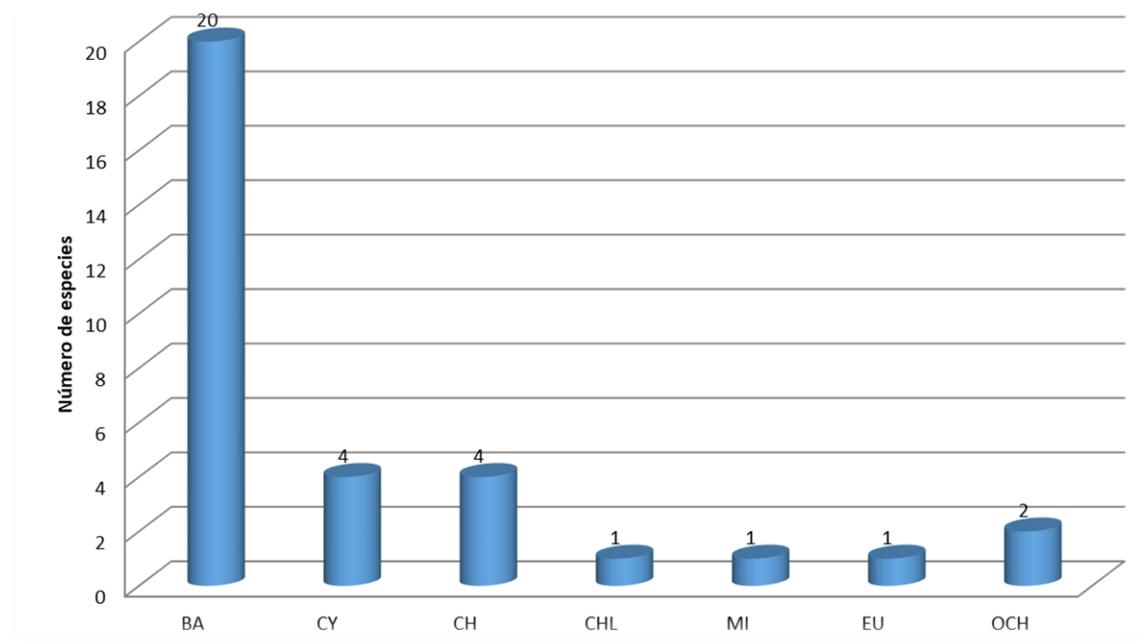
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son *Naviculaceae*, *Fragilariaceae* y *Oscillatoriaceae* (Figura 73 y Figura 74).

Figura 71. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Bonda (La Cascada). CHL: Chlorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



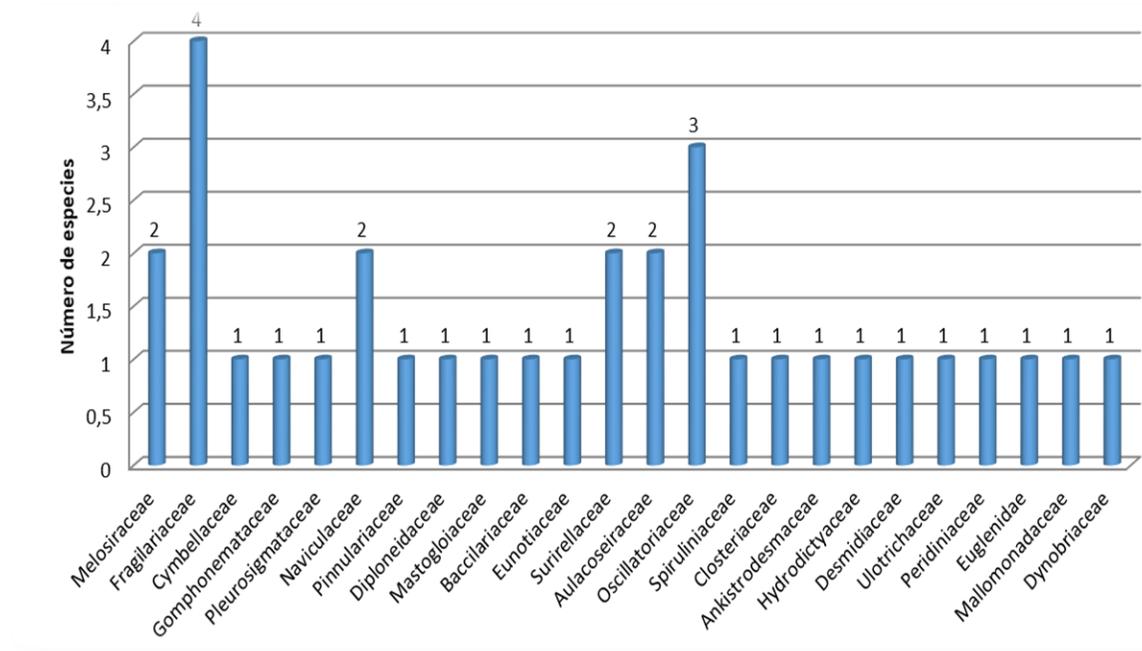
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 72. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Bonda (La Cascada).
 CHL: Chlorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



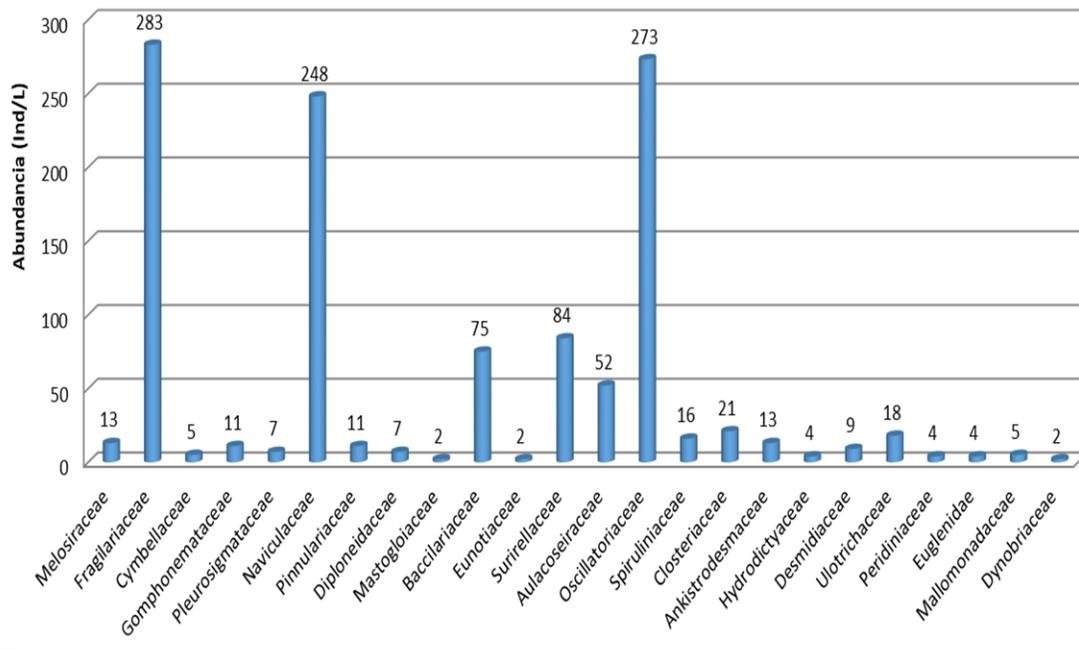
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 73. Riqueza de especies por familia fitoplanctónica registrado para el sector Bonda (La Cascada).



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 74. Abundancia por familia fitoplanctonica registrado para el sector Bonda (La Cascada).



Nota. Elaborado por los autores.

SECTOR EL MAYOR: PUENTE EL MAYOR

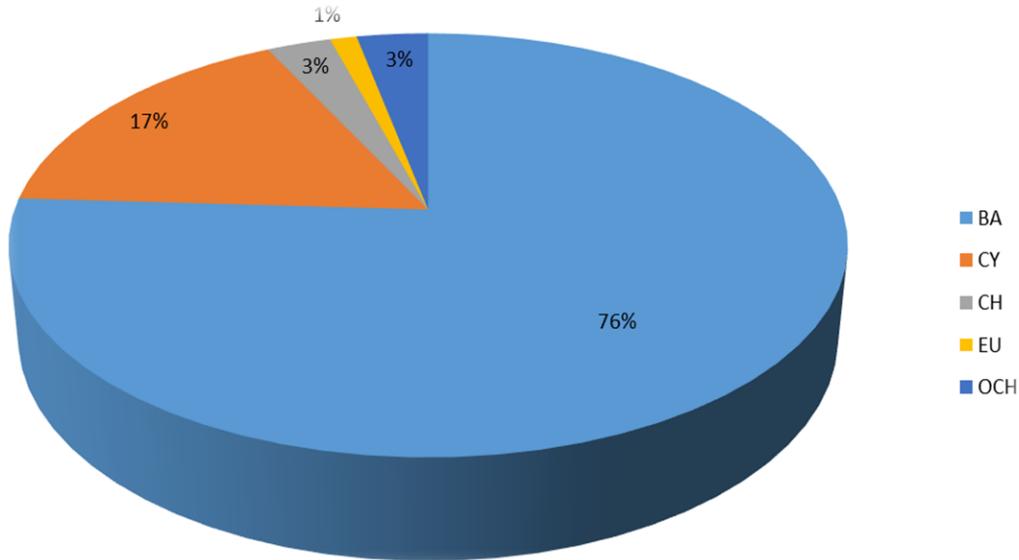
En general, para la comunidad fitoplanctónica del Sector El Mayor se registraron 1234 Ind/L y 32 especies agrupadas en 8 clases, 18 órdenes y 22 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 20 especies y 76% de la abundancia total registrada (938 Ind/L). El promedio de abundancia obtenido fue de 411 Cel/L (Figura 75, Figura 76, Figura 77 y Figura 78). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del caribe Colombiano (Rangel, 2010).

Entre las especies más representativas se encuentran *Gyrosigma* sp 1 (300 Ind/L), *Navicula* sp 1 (218 Ind/L) y *Oscillatoria* sp 1 (189 Ind/L), respectivamente. El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por la familia Oscillatoriaceae (4 especies);

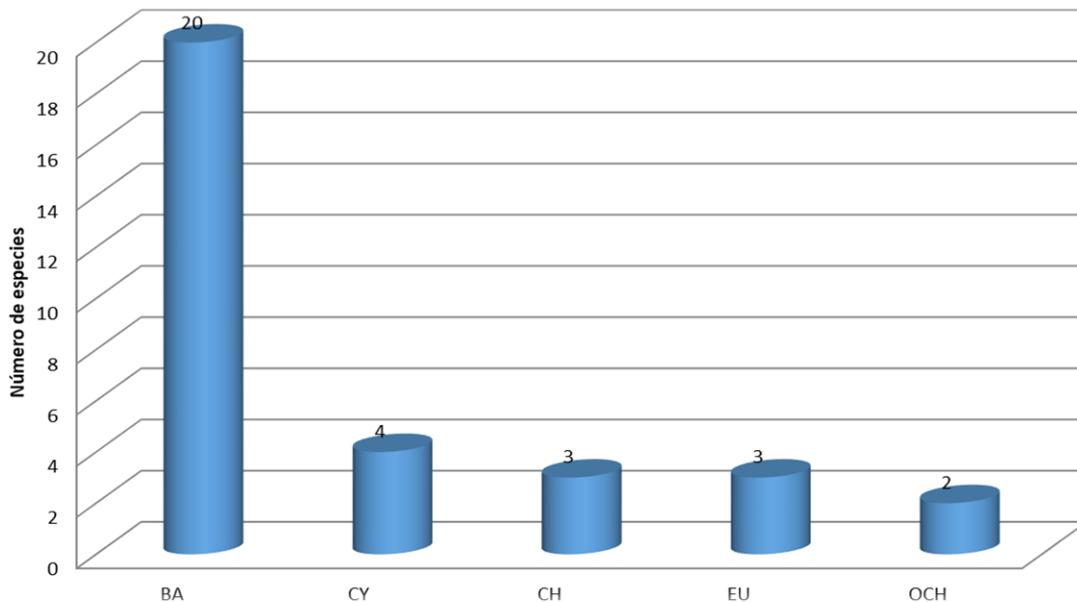
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son Pleurosigmales, Naviculaceae y Oscillatoriaceae (Figura 77 y Figura 78).

Figura 75. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector El Mayor. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



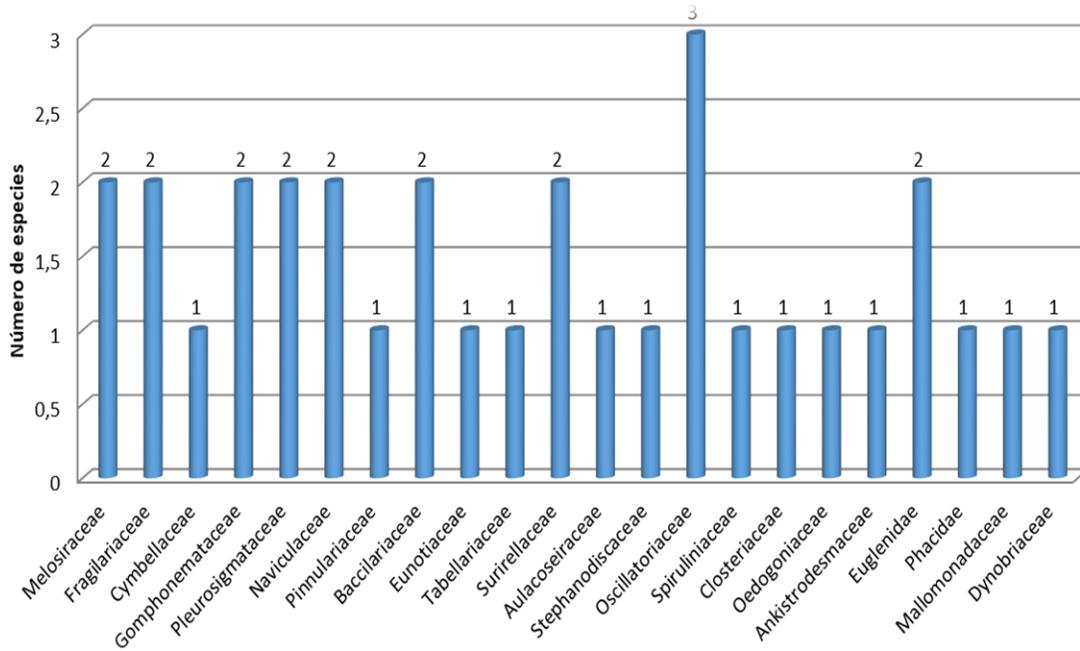
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 76. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector El Mayor. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



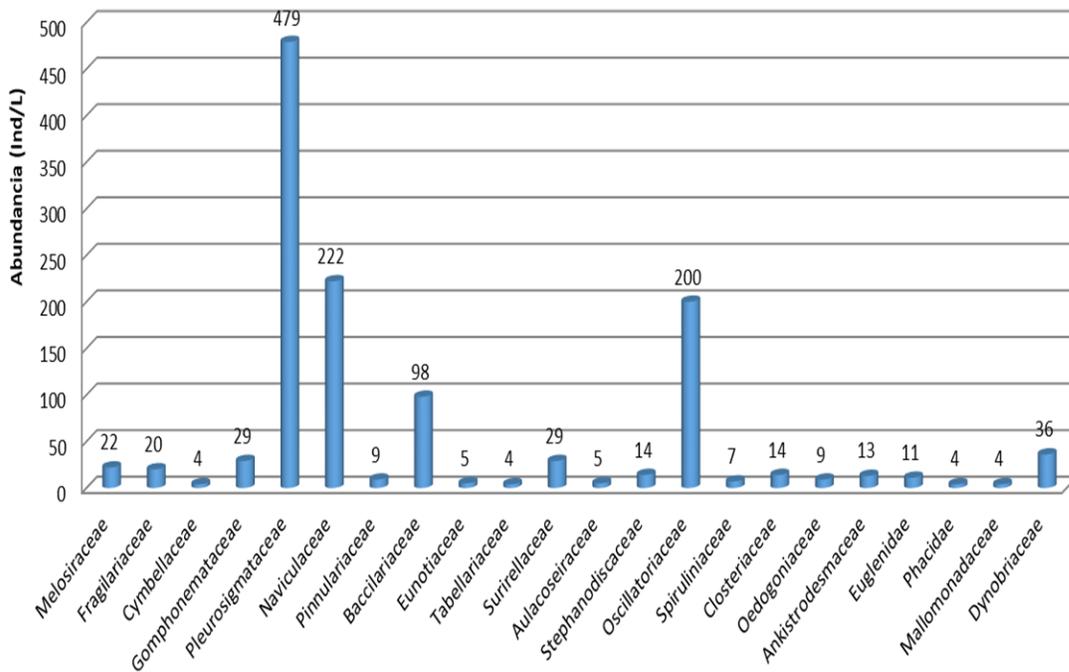
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 77. Riqueza de especies por familia fitoplanctonica registrado para el sector El Mayor.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 78. Abundancia por familia fitoplanctonica registrado para el sector El Mayor.



Nota. Elaborado por los autores.

SECTOR MAMATOCO: QUINTA DE SAN PEDRO ALEJANDRINO

En general, para la comunidad fitoplanctónica del Sector Quinta de San Pedro Alejandrino se registraron 1093 Ind/L y 36 especies agrupadas en 9 clases, 19 órdenes y 24 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 17 especies y 86% de la abundancia total registrada (936 Ind/L). El promedio de abundancia obtenido fue de 364 Cel/L (Figura 79 y Figura 80). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del caribe Colombiano (Rangel, 2010).

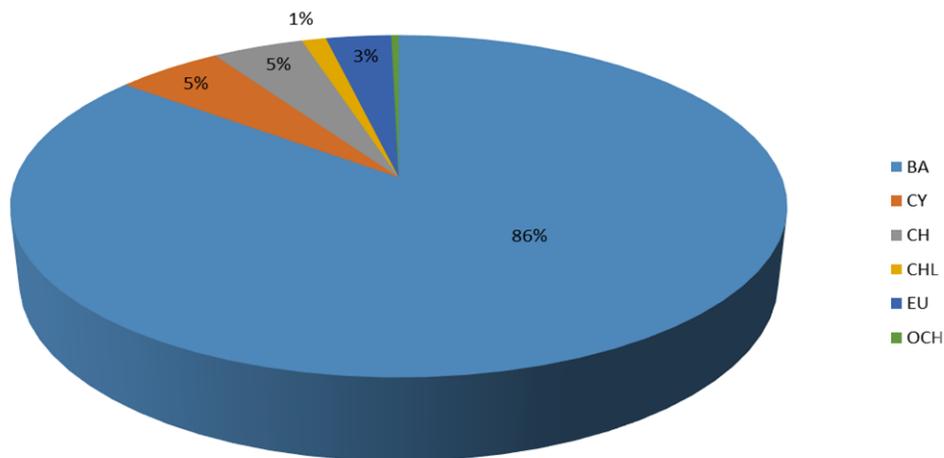
Entre las especies más representativas se encuentran *Navicula* sp 1 (354 Ind/L), *Nitzschia* sp 1 (184 Ind/L) y *Gyrosigma* sp 2 (164 Ind/L), respectivamente. Las especies del género *Navicula* pueden crecer en ambientes oscuros y carentes dióxido de carbono ya que están generalmente constituidas por ciertas sustancias de alto valor energético o fácilmente digeribles, como ácidos grasos, acetatos y carbohidratos (Ramírez J. , 2000).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por las familias *Fragilariaceae* y *Oscillatoriaceae* (3 especies).

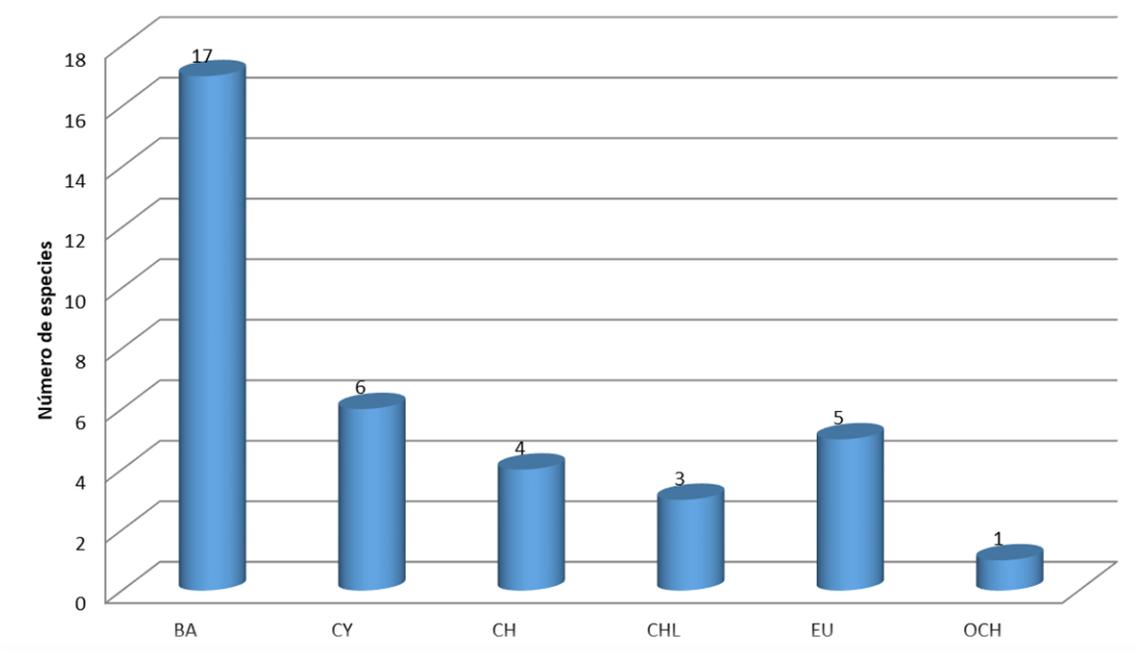
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son *Fragilariaceae*, *Pleurosigma*, *Naviculaceae* y *Bacillariaceae* (Figura 81 y Figura 82).

Figura 79. Porcentaje por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino. CHL: Chlorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



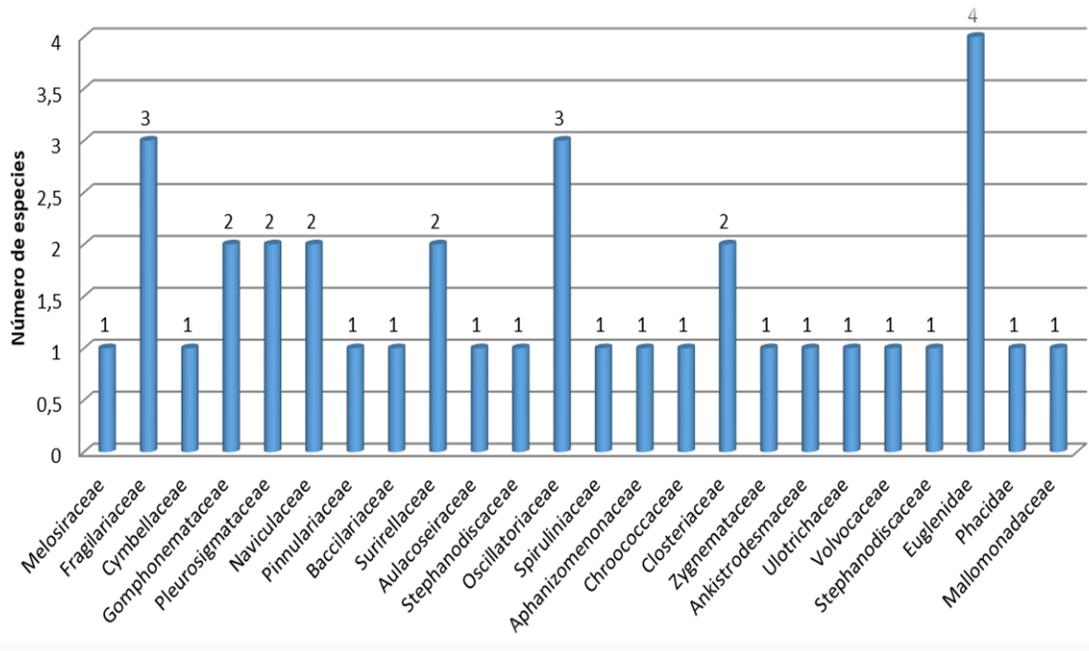
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 80. Número de especies por grupo fitoplanctónico registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino. CHL: Chlorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta-



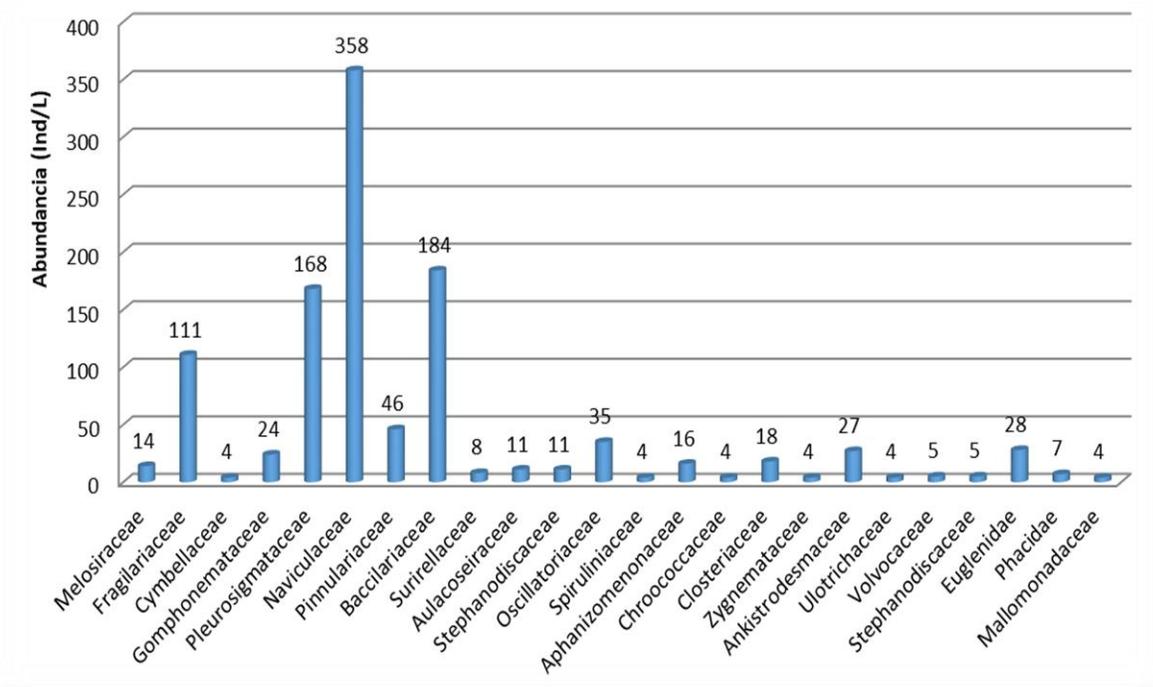
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 81. Riqueza de especies por familia fitoplanctónica registrado para el sector Q. San Pedro Alejandrino.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 82. Abundancia por familia fitoplanctónica registrada para el sector Q. San Pedro Alejandrino.



Nota. Elaborado por los autores.

ÍNDICES BIOLÓGICOS

Los índices biológicos aplicados a las estaciones objeto de estudio muestran lo siguiente (Tabla 48): 1) El índice de Margaleff registra valores por debajo de 5, lo que muestra una muy baja diversidad; 2) El índice de Simpson presentó para la gran mayoría de estaciones valores por debajo de 0.5, como resultado de la muy alta dominancia de algunas especies en particular; 3) El índice de Shannon presenta valores por debajo de 1, lo que sugiere que en este ecosistema acuático presenta estaciones con una muy baja diversidad.

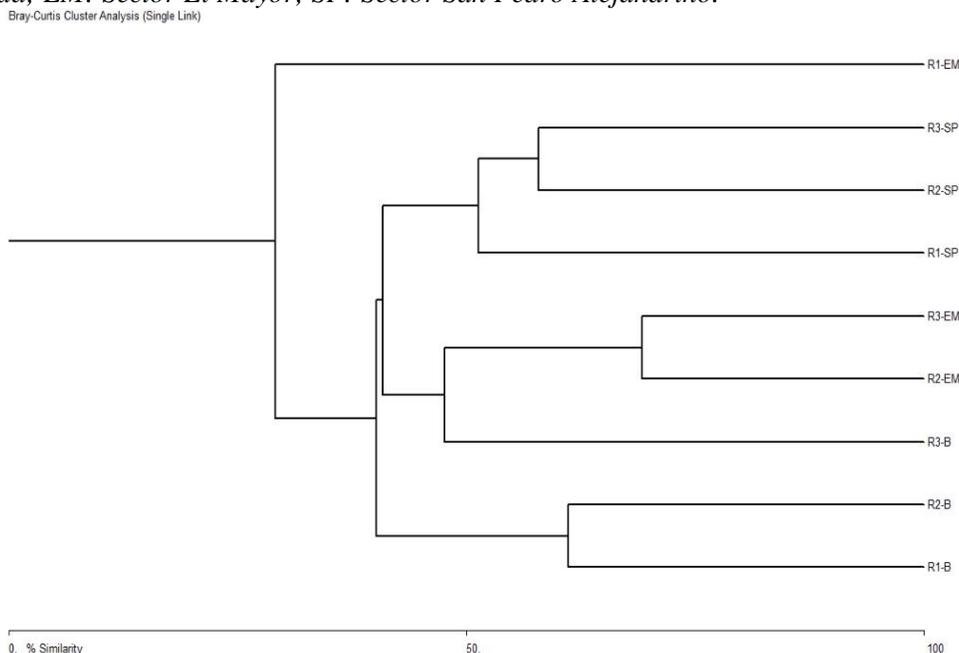
El análisis de similaridad (Bray-Curtis) presenta para la gran mayoría de estaciones porcentajes de baja semejanza (>60 %) entre las diferentes estaciones de muestreo lo cual se encuentra asociado a condiciones biológicas particulares en cada sitio de muestreo. Algunas réplicas de las estaciones El Mayor y Bonda muestran condiciones muy similares y una de las estaciones del sector El Mayor (R1) fue la más disímil (Figura 83).

Tabla 48. Índices biológicos aplicados a la comunidad fitoplanctónica de las estaciones de muestreo. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.

Estación	R	A	Margaleff	Shannon J'	Simpson (D)
R1 (BO)	18	348	2,9	0,71	0,21
R2 (BO)	17	234	2,9	0,76	0,16
R3 (BO)	18	584	2,7	0,81	0,12
R1 (EM)	19	379	3,0	0,66	0,25
R2 (EM)	23	525	3,5	0,69	0,17
R3 (EM)	13	330	2,1	0,65	0,28
R1 (SP)	15	207	2,6	0,75	0,19
R2 (SP)	18	343	2,9	0,68	0,21
R3 (SP)	24	543	3,7	0,75	0,15

Nota. Elaborado por los autores.

Figura 83. Índice de similaridad (Bray-curtis) aplicado a la comunidad fitoplanctónica. Estaciones: BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.



Nota. Elaborado por los autores.

PERIFITON

El monitoreo realizado se registran 3709 Ind/cm² y 39 especies agrupadas en 5 clases, 15 órdenes y 18 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 29 especies y 85 % de la abundancia total registrada. El promedio de abundancia total obtenido fue de 1236 Ind/cm² (Figura 84, Figura 85, Figura 86 y

Figura 87). Esto coincide con lo registrado por (Montoya & Aguirre, 2009) quienes afirman que las diatomeas son el principal componente del ensamble ficoperifítico, desde el punto de vista de la composición y abundancia en sustratos naturales. El predominio del grupo de las bacillariophytas se debe a la flexibilidad ecológica de este grupo e indica condiciones de turbulencia y pH neutro (Pinilla, 1998).

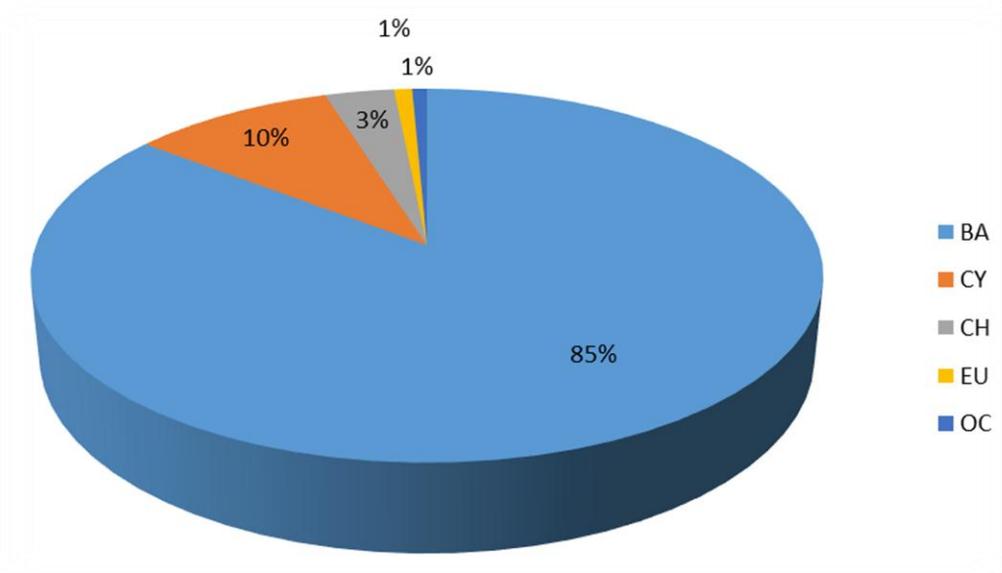
También cabe resaltar que algunos de los géneros reportados se encuentran referenciados en diferentes trabajos realizados en ecosistemas lóticos y lénticos del Caribe colombiano. Entre las especies más representativas se encuentran: Gyrosigma sp 1, Gyrosigma sp 2, Gyrosigma sp 3, Nitzschia sp 1, Lyngbia sp 1, Achnantes sp, (Figura 88) respectivamente. La mayoría de las especies del género Gyrosigma parecen evitar aguas ácidas y concentraciones muy bajas de Calcio y magnesio (Ramírez J. , 2000).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por dos familias Fragilariaceae (5 especies) y Pleurosigmataceae (4 especies);

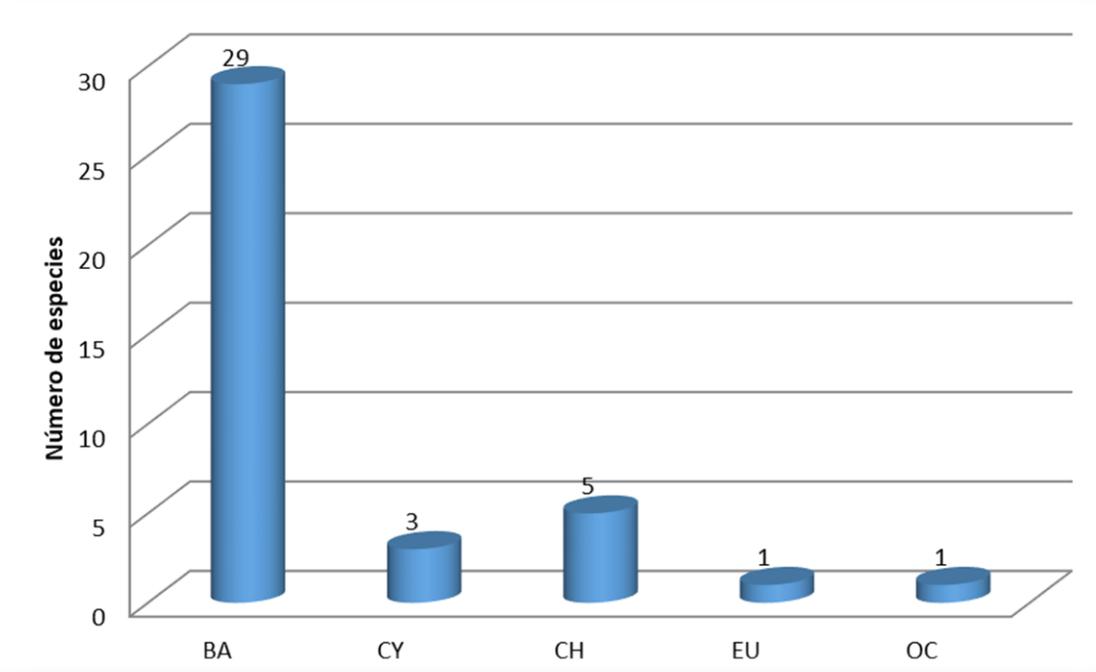
Una dominancia de la abundancia por parte de familias como Pleurosigmataceae, Naviculaceae, Fragilariaceae, Bacillariaceae, Oscillatoriaceae, respectivamente (Figura 86 y Figura 87).

Figura 84. Porcentaje por grupo perifítico registrado para las estaciones de muestreo. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.



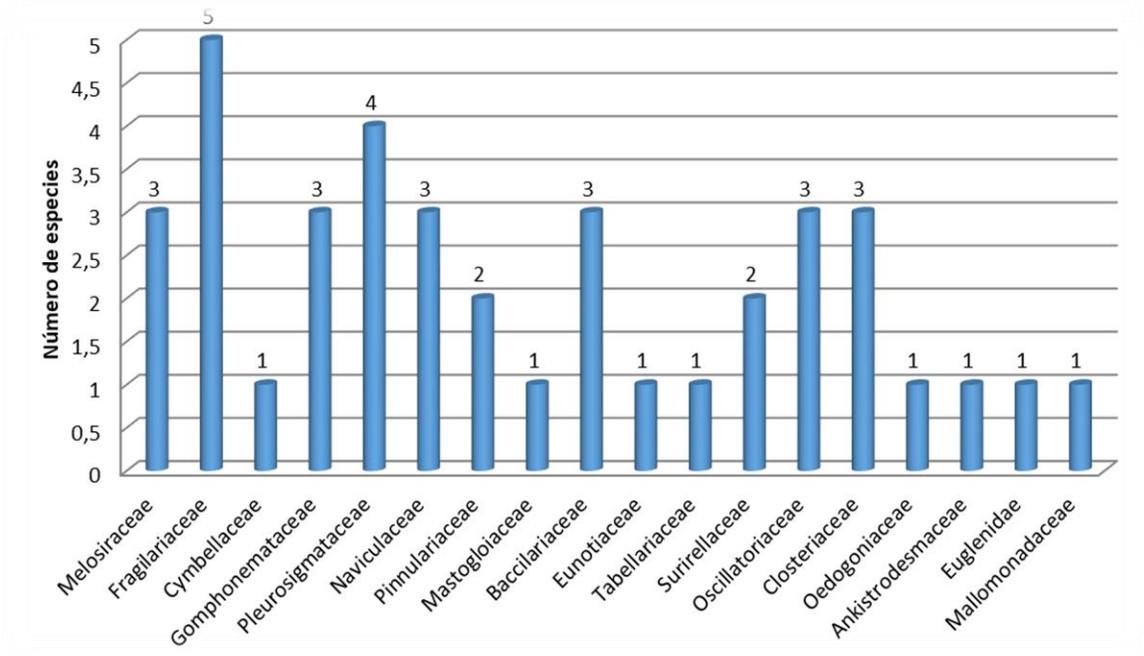
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 85. Número de especies por grupo perifítico registrado para las estaciones objeto de estudio. CHL: Chlorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



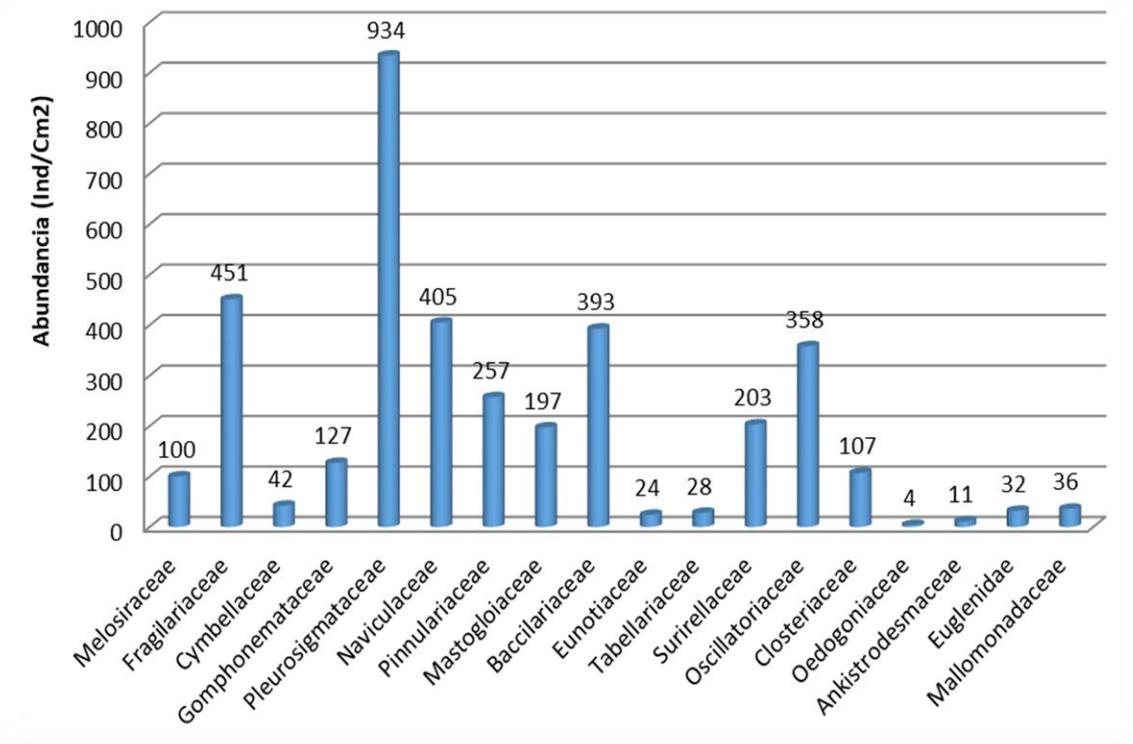
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 86. Riqueza de especies por familia perifítica registrada en las estaciones de muestreo.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 87. Abundancia por familia perifítica registrada en las estaciones de muestreo.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 88. Algunos géneros perifíticos registrados para las estaciones de muestreo.



Nota. Fotos tomadas por Cesar E. Tamaris Turizo.

Resultados por estación

Sector Bonda: sitio la cascada

La comunidad perifítica del Sector Bonda registró 1506 Org/cm² y 22 especies agrupadas en 5 clases, 14 órdenes y 17 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 17 especies y 94% de la abundancia total registrada (1416 Org/cm²). El promedio de abundancia obtenido fue de 502 Ind/cm² (Figura 89 y Figura 90). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del Caribe colombiano (Rangel, 2010).

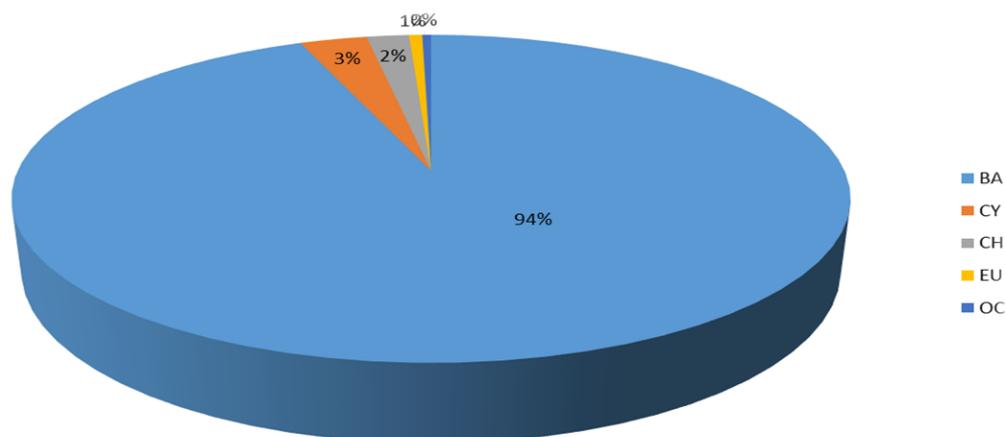
Entre las especies más representativas se encuentran *Nitzschia* sp 1 (272 Org/cm²), *Gyrosigma* sp 1 (203 Org/cm²), *Achnantes* sp (197 Org/cm²), *Navicula* sp 1 (167 Org/cm²), respectivamente. La mayoría de las especies del género *Nitzschia* prefieren aguas de contenido iónico mediano. Tales aguas pueden ser duras o más o menos salobres (Ramírez J. , 2000).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por las familias Melosiraceae y Fragilariaceae (3 especies)

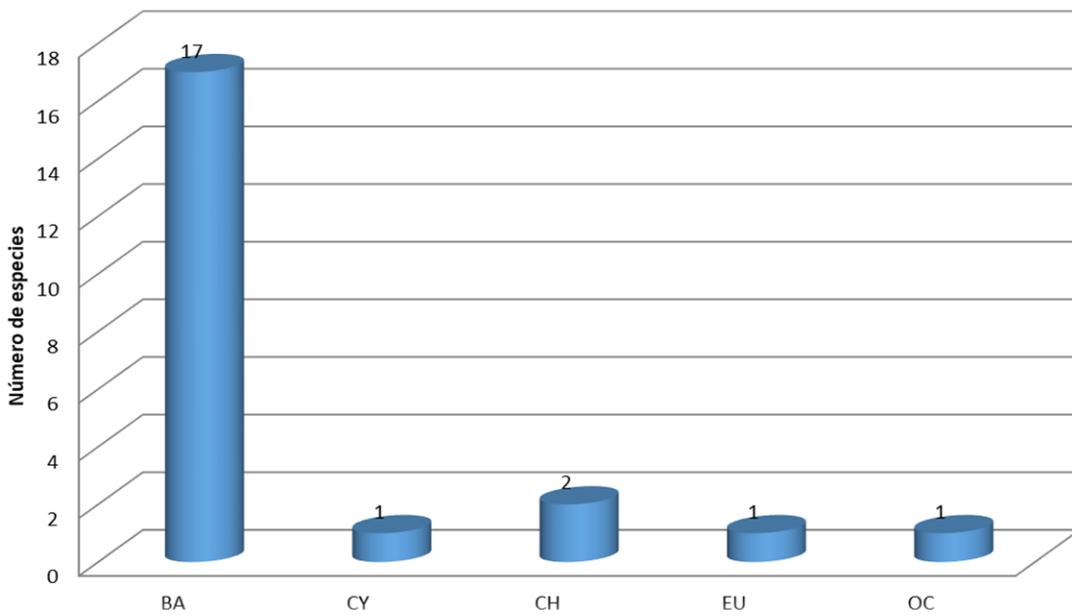
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son Bacillariaceae, Fragilariaceae, Pleurosigmataceae, Mastogloiaaceae, Naviculaceae y Surirellaceae (Figura 91 y Figura 92).

Figura 89. Porcentaje por grupo Perifítico registrado para el sector Bonda (La Cascada). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



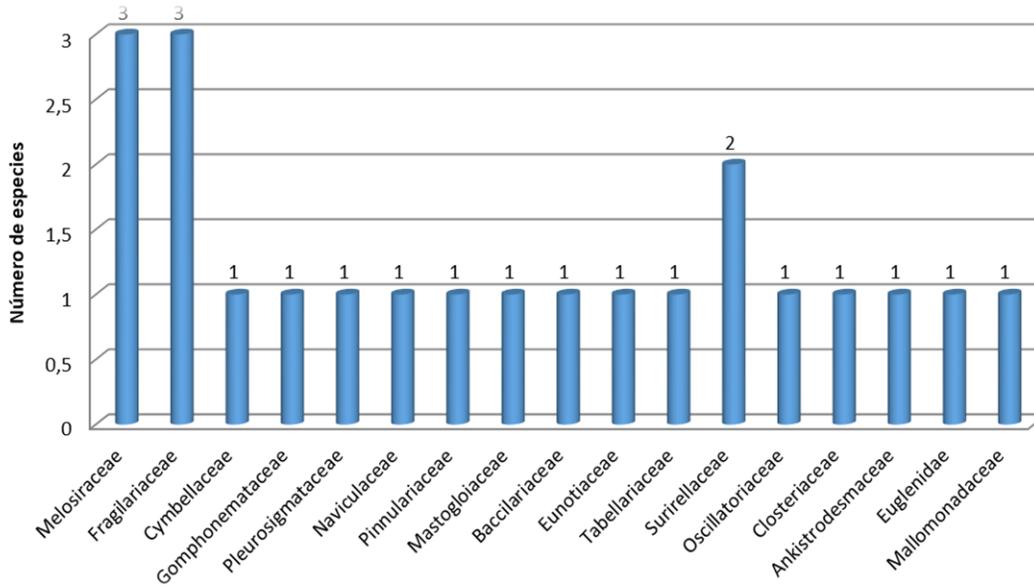
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 90. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector Bonda. CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



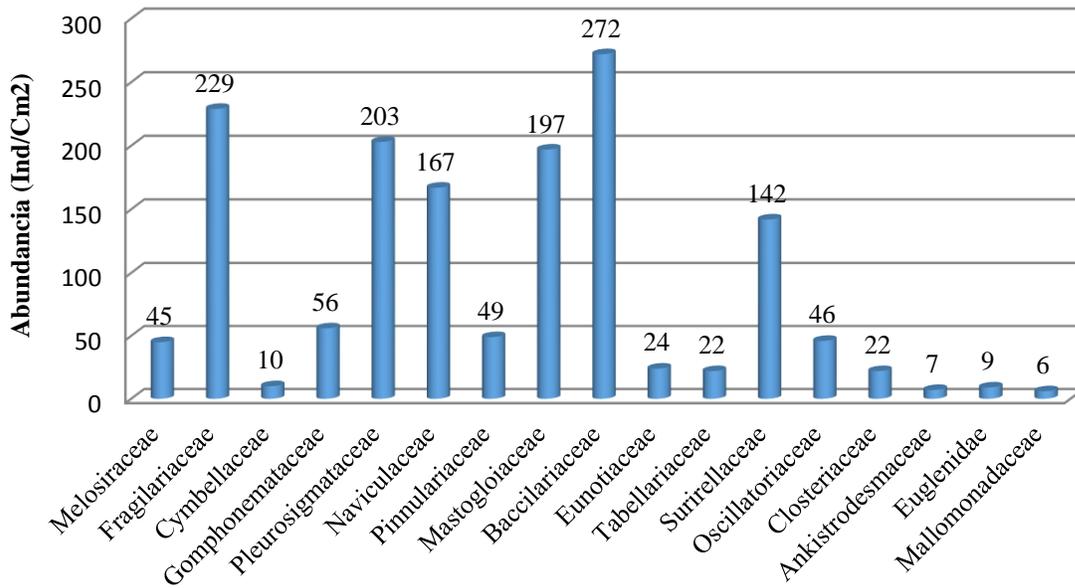
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 91. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector Bonda (La Cascada).



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 92. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector Bonda (La Cascada).



Nota. Elaborado por los autores.

Sector El Mayor: puente el mayor

La comunidad perifítica del Sector El Mayor registró 1246 Org/cm² y 21 especies agrupadas en 5 clases, 12 órdenes y 15 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 16 especies y 70% de la abundancia total registrada (1416 Org/cm²). El promedio de abundancia obtenido fue de 415 Ind/cm² (Figura 93 y Figura 94). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del caribe Colombiano (Rangel, 2010).

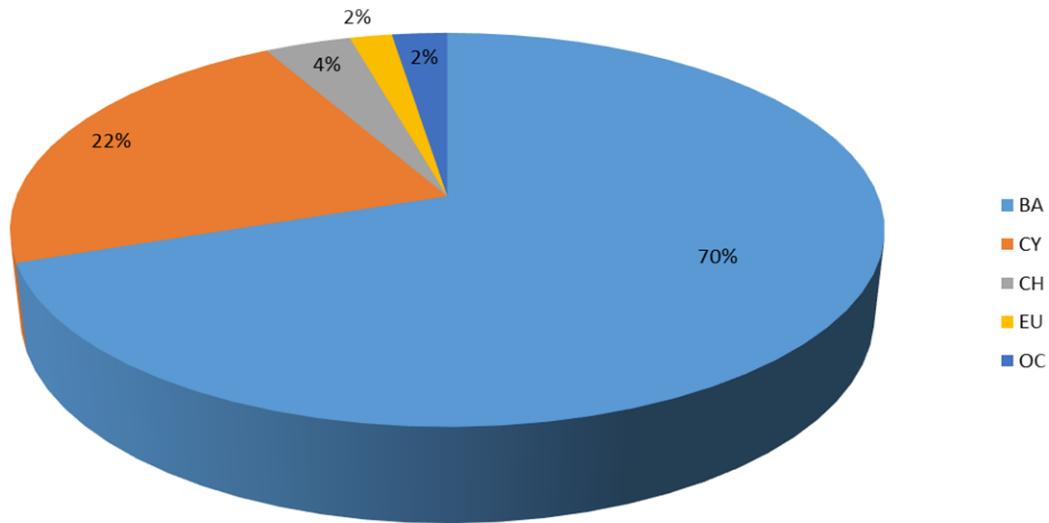
Entre las especies más representativas se encuentran *Gyrosigma* sp 2 (290 Org/cm²), *Lyngbia* sp (278 Org/cm²), *Navicula* sp 3 (156 Org/cm²) *Gyrosigma* sp 3 (114 Org/cm²), respectivamente. La mayoría de las especies del género *Gyrosigma* parecen evitar aguas ácidas y concentraciones muy bajas de Calcio y magnesio (Ramírez J. , 2000).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

El predominio de la riqueza de especies por las familias *Fragilariaceae* (4 especies) y *Pleurosigmataceae* (3 especies)

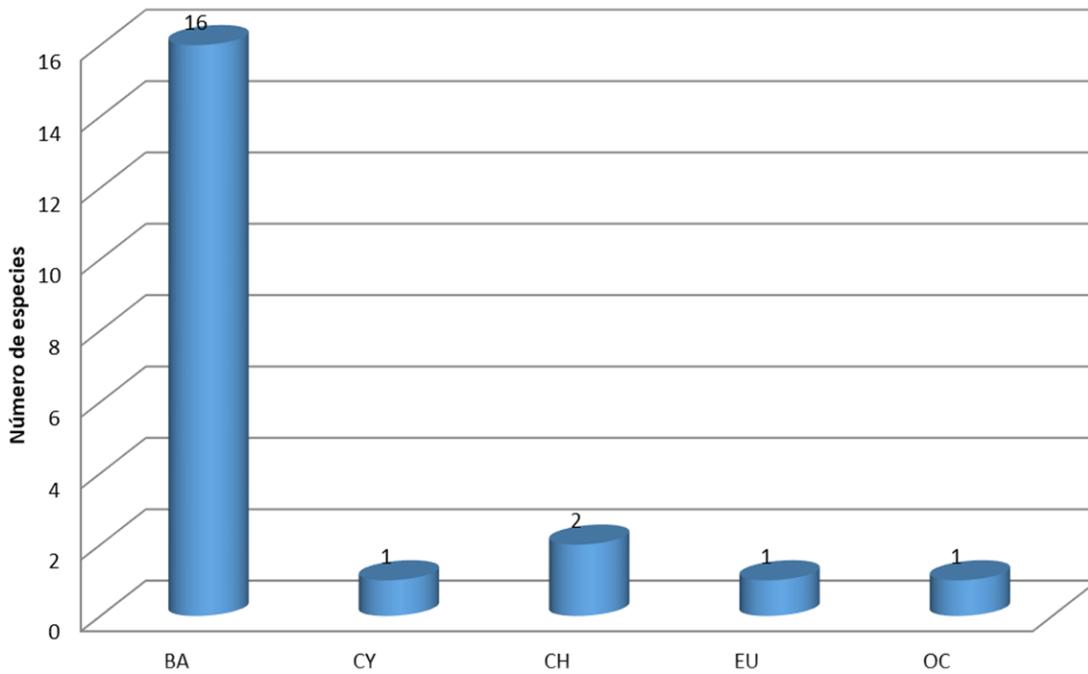
Una dominancia de la abundancia por parte de diversas familias como son *Pleurosigmataceae*, *Oscillatoriaceae* y *Naviculaceae* (Figura 95 y Figura 96).

Figura 93. Porcentaje por grupo perifítico registrado para el sector El Mayor (Puente El Mayor). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.



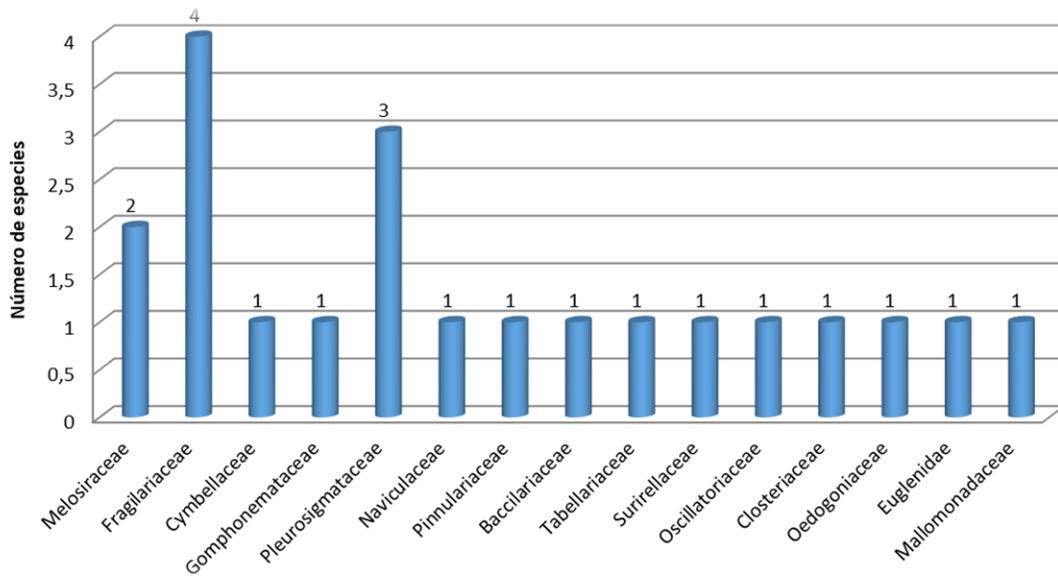
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 94. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector El Mayor (Puente El Mayor). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



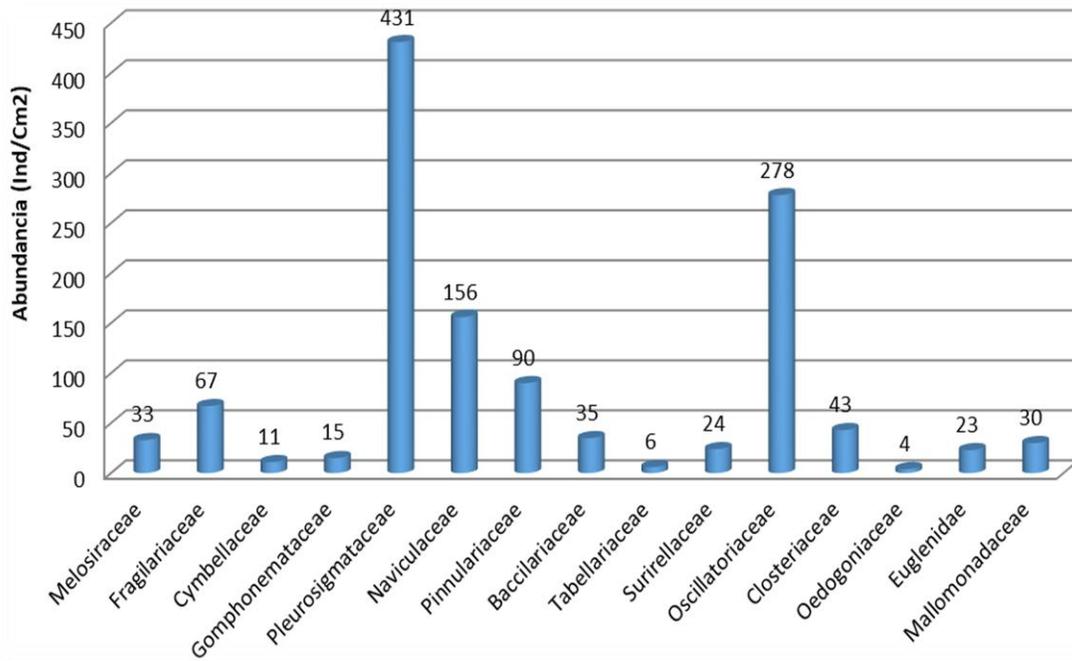
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 95. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector El Mayor (Puente El Mayor).



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 96. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector El Mayor (Puente El Mayor).



Nota. Elaborado por los autores.

Sector Mamatoco: quinta de san pedro alejandrino

La comunidad perifítica del Sector Quinta de San Pedro Alejandrino registró 957 Org/cm² y 15 especies agrupadas en 3 clases, 9 órdenes y 12 familias. Tanto la riqueza como la abundancia fue dominada principalmente por el grupo de las diatomeas las cuales registraron 11 especies y 92% de la abundancia total registrada (877 Org/cm²). El promedio de abundancia obtenido fue de 319 Ind/cm² (Figura 97 y Figura 98). Las especies reportadas son comunes en otros ecosistemas acuáticos del caribe Colombiano (Rangel, 2010).

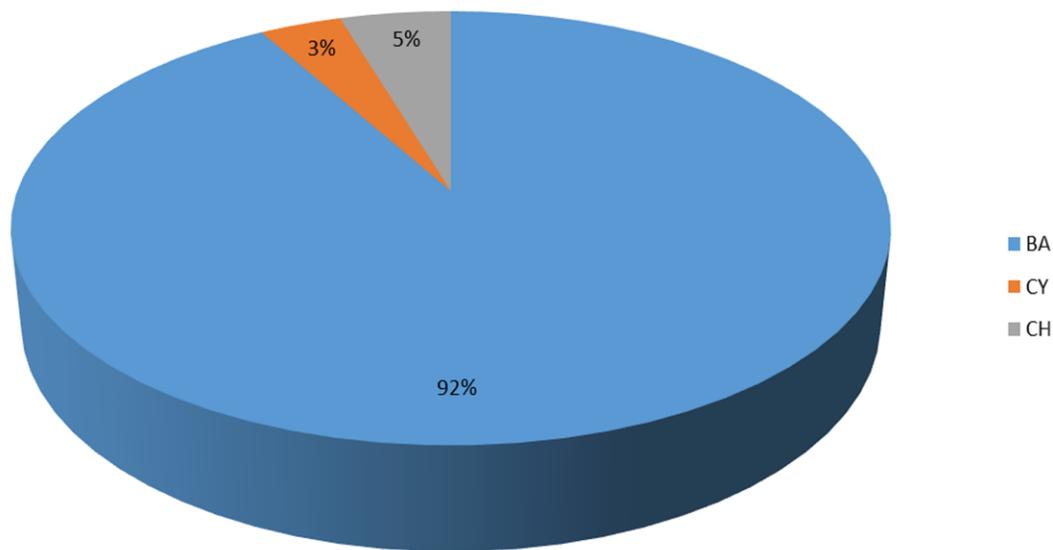
Entre las especies más representativas se encuentran Gyrosigma sp1 (300 Org/cm²), Pinnularia sp1 (118 Org/cm²) y Fragilaria sp1 (118 Org/cm²). La mayoría de las especies del género Gyrosigma parecen evitar aguas ácidas y concentraciones muy bajas de calcio y magnesio (Ramírez J. , 2000).

El análisis por familia tanto de la riqueza como la abundancia muestran:

La no dominancia de alguna familia en particular.

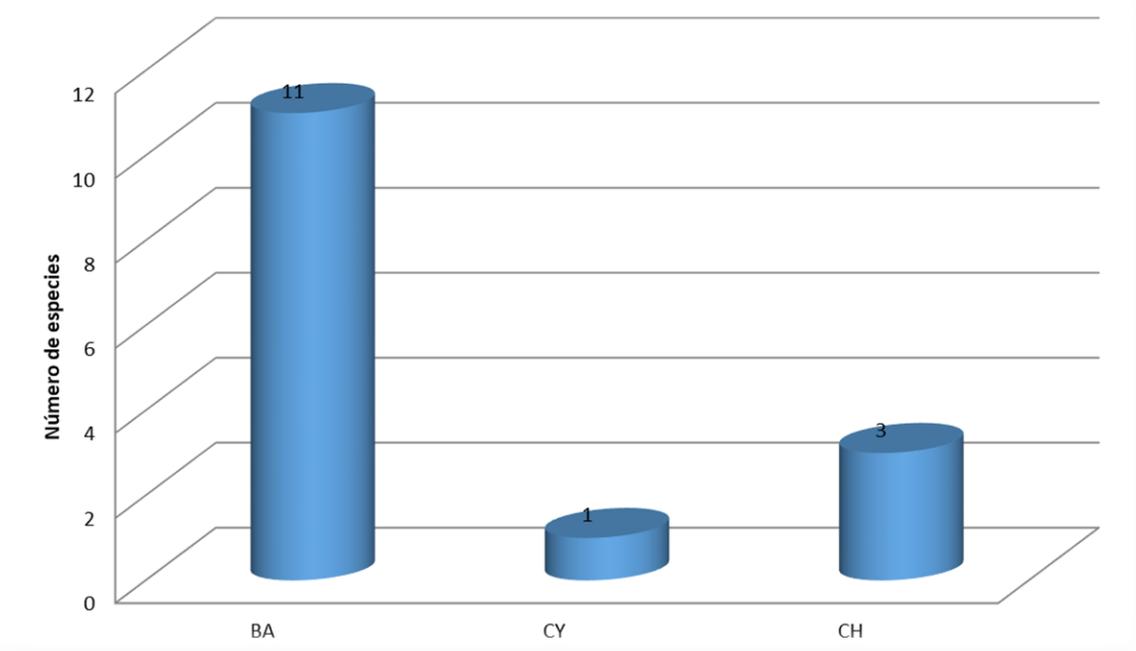
Una dominancia de la abundancia por tres familias como son Pleurosigmataceae, Fragilariaceae y Pinnulariaceae (Figura 99 y Figura 100).

Figura 97. Porcentaje por grupo perifítico registrado para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OC: Ochrophyta.



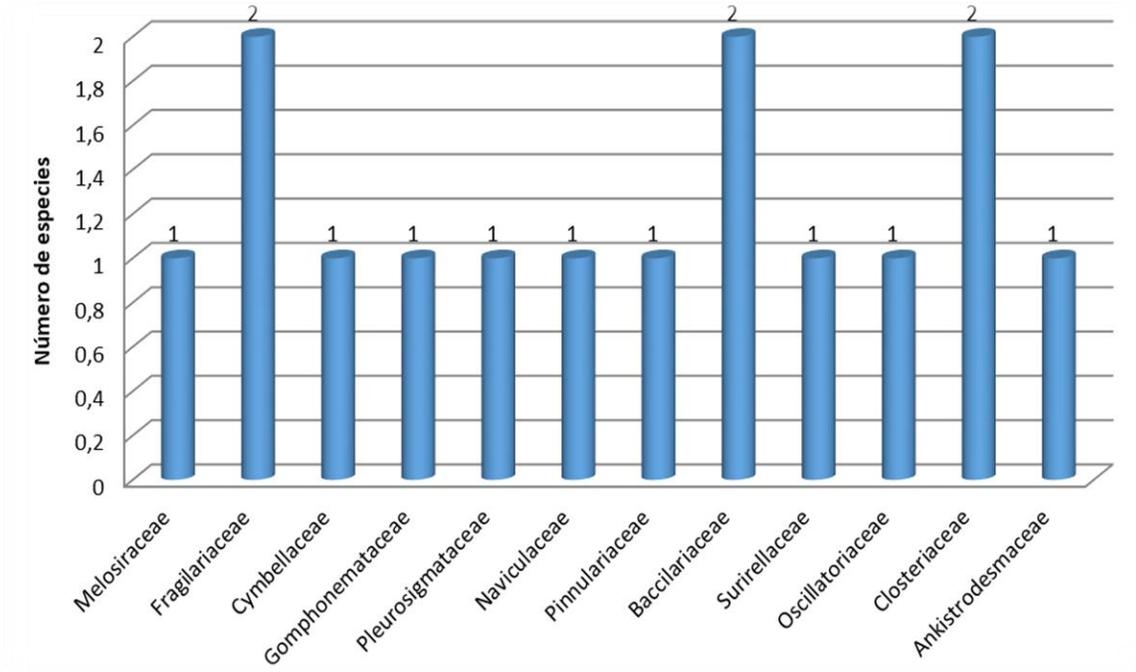
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 98. Número de especies por grupo perifítico registrado en el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino). CHL: Clorophyta; CY: Cyanophyta; BA: Bacillariophyta; CH: Charophyta; MI: Miozoa; EU: Euglenozoa; OCH: Ochrophyta.



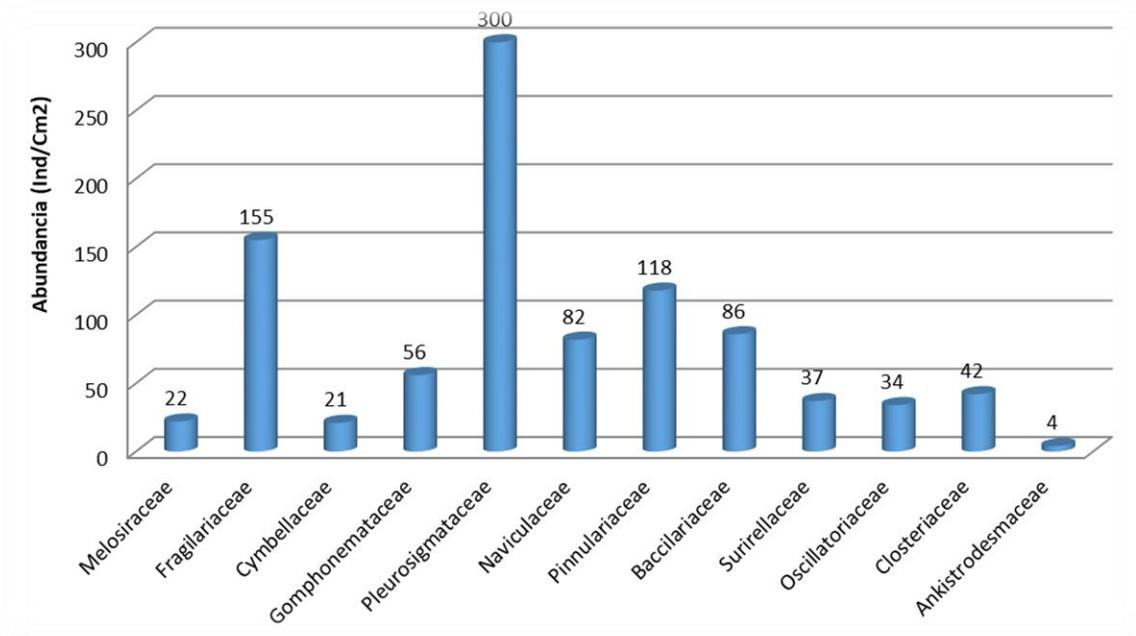
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 99. Riqueza de especies por familia perifítica registrada para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino).



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 100. Abundancia por familia perifítica registrada para el sector Mamatoco (Quinta de San Pedro Alejandrino).



Nota. Elaborado por los autores.

ÍNDICES BIOLÓGICOS

Los índices biológicos (Tabla 49) aplicados en las estaciones objeto de estudio muestran lo siguiente:

El índice de Margaleff registra valores por debajo de 5 lo que muestra una muy baja diversidad.

El índice de Simpson presentó para la gran mayoría de estaciones de muestreo valores por debajo de 0.5, como resultado de la muy alta dominancia de algunas especies en particular.

El índice de Shannon presenta valores por debajo de 1, lo que sugiere que en este ecosistema acuático se presenta una muy baja diversidad.

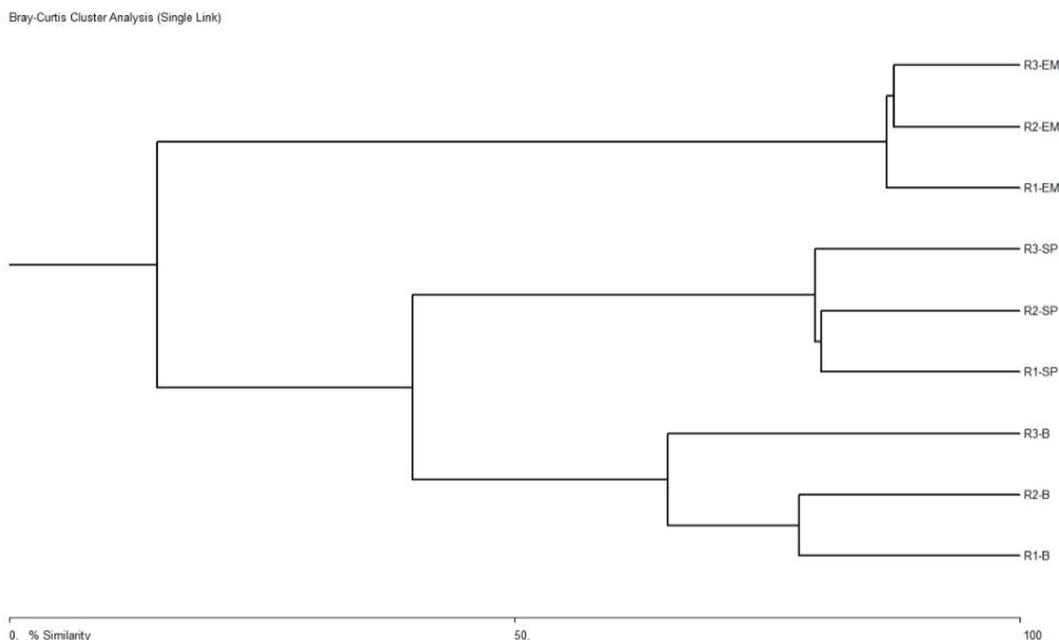
El análisis de similaridad (Bray-Curtis) presenta para la gran mayoría de estaciones porcentajes de baja semejanza (>60 %) entre las diferentes estaciones de muestreo lo cual se encuentra asociado a condiciones biológicas particulares en cada sitio de muestreo muy especialmente en el Puente El Mayor (Figura 101).

Tabla 49. Índices biológicos aplicados a la comunidad perifítica de las estaciones objeto de estudio. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.

Estación	R	A	Margaleff	Shannon J'	Simpson (D)
R1 (BO)	20	647	2,9	0,86	0,08
R2 (BO)	18	510	2,7	0,82	0,11
R3 (BO)	16	349	2,7	0,79	0,13
R1 (EM)	19	458	2,9	0,81	0,12
R2 (EM)	21	408	3,3	0,77	0,13
R3 (EM)	19	380	3,0	0,72	0,16
R1 (SP)	13	400	2,0	0,91	0,11
R2 (SP)	11	307	1,7	0,84	0,17
R3 (SP)	12	250	2,0	0,75	0,21

Nota. Elaborado por los autores.

Figura 101. Índice de similitud (Bray-curtis) aplicado a la comunidad perifítica de las estaciones objeto de estudio. BO: Sector Bonda; EM: Sector El Mayor; SP: Sector San Pedro Alejandrino.



Nota. Elaborado por los autores.

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA (ACP)

En el Análisis de Correspondencia (COA) como en su versión Destendida (Detrended Correspondence Analysis, (DCA) tanto las estaciones como los taxa o familias son representadas por puntos, y cada estación se encuentra localizada en el centro de gravedad de las especies que

ahí ocurren. En el DCA los puntos de familias representan además los “óptimos” aproximados de las abundancias o frecuencias de estas. Por lo general los puntos se representan en un plano conjunto de dos o tres dimensiones.

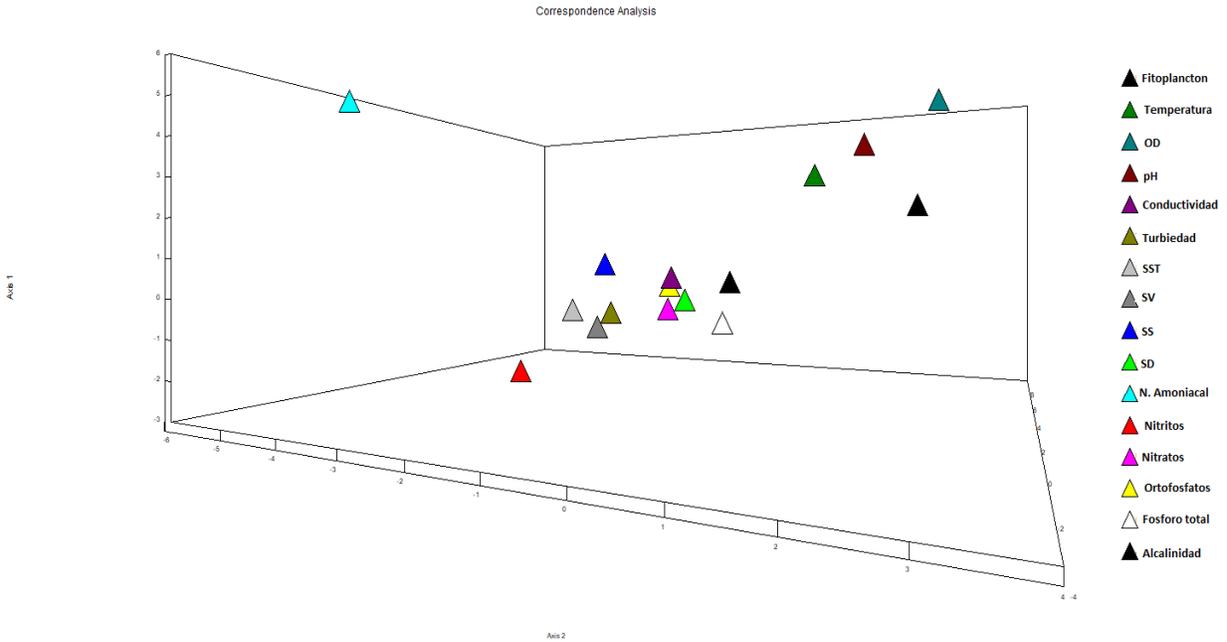
El análisis de correspondencia muestra las siguientes relaciones entre las variables fisicoquímicas- las comunidades fitoplanctónica y perifítica en todas las estaciones de muestreo: Temperatura, pH y Oxígeno disuelto; Los demás parámetros muestran una baja influencia sobre estas comunidades para cada sector estudiado (Figura 102 y Figura 103).

Algunos grupos que hacen parte del fitoplancton como es el caso de las Bacillariophytas, Chlorophytas y Cyanophytas dependen de condiciones óptimas de temperatura y pH afectando inclusive su distribución en la columna del agua.

Para el caso del perifíton el pH es uno de los factores que más interviene en su desarrollo. En pH básicos es donde mejor se desarrollan las comunidades del perifíton, ya que bajo estas condiciones los nutrientes están más disponibles, al igual que los Carbonatos y bicarbonatos. Por su parte, la temperatura en el trópico no es un factor limitante para la mayoría de las especies del perifíton. Finalmente, las posibilidades de las micro-poblaciones perifíticas se ven también afectadas por los movimientos del agua, pues estos afectan la solubilidad y disponibilidad de las sustancias disueltas.

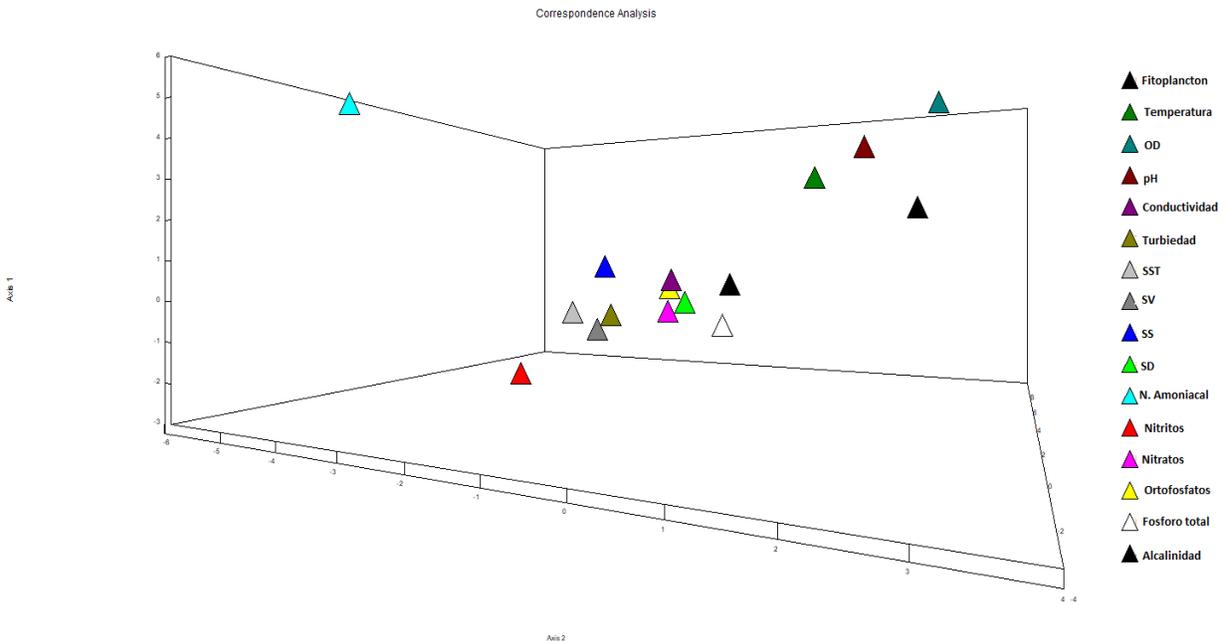
En general las condiciones de los parámetros fisicoquímicos estudiados permiten inferir que en todas las estaciones hay: una baja alcalinidad (menores a 100 mg/L), pH ligeramente básicos, registros de grandes cantidades de nutrientes (aportados a través de vertimientos) como son Nitratos-Nitritos y Ortofosfatos lo cual difiere a lo reportado en otros estudios realizado en aguas naturales y alta turbidez.

Figura 102. Análisis de Correspondencia (ACP) aplicado con las distintas variables evaluadas y la comunidad fitoplanctónica en cada estación de muestreo.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 103. Análisis de Correspondencia (ACP) aplicado con las distintas variables evaluadas y la comunidad perifítica en cada estación de muestreo.



Nota. Elaborado por los autores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones de los parámetros fisicoquímicos estudiados permiten inferir que en las estaciones de los sectores Bonda- El Mayor y Quinta de San Pedro existe una baja alcalinidad (menores a 100 mg/L), pH ligeramente básicos, registros de grandes cantidades de nutrientes (aportados a través de vertimientos) como son Nitratos-Nitritos y Ortofosfatos lo cual difiere a lo reportado en aguas naturales, alta turbidez lo que coincide con altos aportes de material particulado. Algunas de estas condiciones son aptas para el desarrollo de las comunidades del fitoplancton y perifíton.

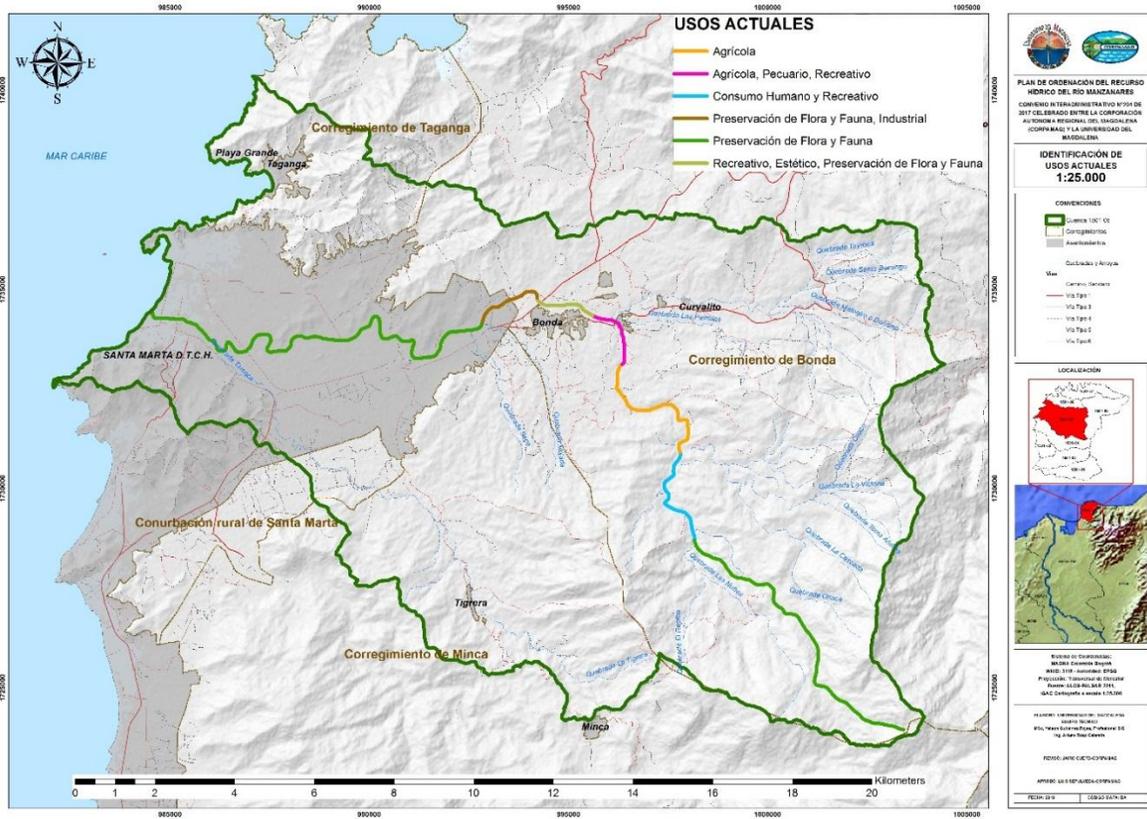
Existe una correlación importante entre las comunidades fitoplancton-perifíton y los parámetros Temperatura, pH y Oxígeno disuelto. Los demás parámetros muestran una baja influencia sobre estas comunidades para cada sector estudiado.

Las especies más predominantes en estas comunidades demuestran alta sedimentación, aguas ligeramente básicas y ambientes mesotróficos a eutróficos lo cual es coherente con los parámetros fisicoquímicos.

CLASIFICACIÓN DE LOS USOS ACTUALES

Teniendo en cuenta lo establecido en artículo 2.2.3.3.2.1 del Decreto 1076 de 2015, y con base en el resultado de las visitas a campo realizadas al río Manzanares, la experiencia y experticia del equipo de trabajo, en este estudio se presenta la clasificación de los usos actuales del río Manzanares en diferentes tramos (Figura 104).

Figura 104. Identificación de usos potenciales actuales del recurso hídrico del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

DEMANDA HIDRICA

La demanda se calcula para todas las actividades en $m^3/año$, teniendo en cuenta su concentración y el tamaño de los usuarios en cada unidad de análisis identificada y contextualizada. Se expresa según la siguiente ecuación:

$$Dh = Ch + C_{ss} + C_{pff} + C_{sa} + C_{sp} + C_r + C_{si} + C_e + C_m + C_{sac} + C_{nt} + A_{enc}$$

Dado que, en la cuenca, solo es posible estimar las demandas de los sectores Ch , C_{ss} , C_{pff} y C_{sa} , ya que las demás actividades no se encuentran en la cuenca, o son de baja percepción que no afectan considerablemente la demanda hídrica. Por tanto, para la cuenca del río Manzanares, la demanda hídrica se obtiene de:

$$Dh = Ch + C_{ss} + C_{pff} + C_{sa}$$

Donde;

Ch = Consumo Humano

C_{ss} = Consumo sector servicios

C_{pf} = Consumo preservación de flora y fauna

C_{sa} = Consumo sector agrícola

Consumo doméstico

De acuerdo con lo establecido en (IDEAM, 2013), se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en “actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios y la preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración”.

Acorde con el decreto se propone calcular de manera independiente el consumo doméstico, el consumo en actividades de servicios y comerciales y el consumo para riego de jardines. En el caso de consumo doméstico, el cálculo de la demanda se establece a partir de la estimación del consumo humano requerido para satisfacer las necesidades fundamentales de un habitante al día, teniendo en cuenta un umbral mínimo de consumo con el fin de mantener un nivel de bienestar. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$Ch = P * I + pt$$

Donde:

Ch: consumo humano (m³/año)

P: población (número)

I: intensidad del consumo (adimensional)

Pt: pérdidas técnicas (m³/año).

El número de individuos o de hogares servidos por sistemas de abastecimiento de agua potable puede ser determinado a partir del número de usuarios atendidos por los acueductos municipales y veredales. Los sistemas de oferta de agua para uso doméstico obtenidos por cuenta propia son raramente medidos y existen pocos datos. Las extracciones hechas por estos sistemas pueden ser estimados usando coeficientes de consumo per cápita basados en un volumen razonable de agua usado por persona por día para el área de estudio.

El concepto de intensidad en el consumo hace referencia a la cantidad de agua que requiere una persona para suplir sus necesidades diarias —expresadas en litros/hab., /día—, y evidencia las

diferencias en el consumo dado el clima, costumbres y cultura en cada región del país. Estas características permiten establecer consumos per cápita de acuerdo con las condiciones específicas de la zona objeto de estudio.

Las pérdidas técnicas se refieren a la cantidad de agua que es extraída y no consumida que se pierde en el sistema de distribución calculadas de acuerdo con la disponibilidad de información regional o asumiendo los criterios del Reglamento Sanitario del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2017.

Por tal motivo y luego de consultar la empresa de servicios públicos de la ciudad de Santa Marta (Essmar E.S.P.) (Anexo 3), se logró establecer que las poblaciones abastecidas por el río Manzanares son la localidad 1 y 2 del distrito de Santa Marta, donde se concentra la mayor parte de la población de la ciudad, es:

P: población (número) = 78622 usuarios (No personas)

I: intensidad del consumo (adimensional) = 1965 Lts/día

Pt: pérdidas técnicas (m^3 /año). = 1.481.259 Lts/ mes (Agosto) = 1.481.259 /31 días = 47782 Lts/día (agosto)

$$Ch = P * I + pt$$

$$Ch = 78622 * 1965 \text{Lts/día} + 47782 \text{ Lts/día}$$

$$Ch = 154.540 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Agosto)}$$

$$Ch = 154.540$$

Si este dato se interpola hacia el año se obtiene un consumo de:

$$154.540 \text{ m}^3/\text{día} * 365 \text{ día} = \mathbf{56407.1 \text{ m}^3/\text{año}}$$

Consumo en actividades de servicio

El consumo en este ítem, incluye el uso de agua en hoteles, hospitales, colegios, fundaciones, instalaciones de la administración pública, clubes deportivos, espacios recreacionales, y otros establecimientos de servicio tales como centros comerciales, lavanderías, autolavados, estaciones de combustible (IDEAM, 2013). Adicionalmente, se consideran en este sector los servicios de restaurantes, edificios de oficinas, instituciones militares y del Estado, y otras instituciones comerciales. La manera de cálculo se expresa en la siguiente ecuación:

$$C_{ss} = C_c + O_f + O_t$$

Donde:

C_{ss}: consumo sector servicios (m³ /año)

C_c: consumo en hoteles, restaurantes y establecimientos de comercio (m³ /año)

O_f: consumo en instalaciones de la administración pública (m³ /año)

O_t: otros (que no es posible desagregar)

La información sobre el consumo de agua de los usuarios oferentes de servicios y comercio se puede obtener de los acueductos municipales y/o veredales y de las concesiones de agua otorgada para tales actividades. En muchos casos, las extracciones de sistemas propios pueden ser estimadas basándose en la población de los usos comerciales. Por ejemplo, el número de los estudiantes colegio/universitarios, presos en una institución penal, los trabajadores de oficinas, o la ocupación promedio de un hotel. El cálculo del agua no contabilizada incluye pérdidas desde la captación, transporte y distribución del servicio de agua.

Para el caso de servicios se logró contar con la información suministrada por la empresa de servicios públicos de la ciudad de Santa Marta (Essmar E.S.P.), (Anexo 3), se logró establecer que los usuarios comerciales abastecidos por el río Manzanares en la localidad 1 y 2 del distrito de Santa Marta, donde se concentra la mayor parte de estos, es:

Usuarios Comerciales = 5205

Consumos diarios = 880 Lts día

Consumo Sector servicios = 5.205 * 880

C_{ss} = 4580440 Lts/día

C_{ss} = 4580440 Lt/día donde 1.000 Lts = 1 m³

C_{ss} = 4580,4 m³/día donde 365 = año

C_{ss} = 1671846 m³/Año

Sin embargo, es necesario mencionar que en la ciudad de Santa Marta y luego de realizar la consulta al SITUR sobre el número de establecimiento de hoteles, el resultado es (Tabla 50).

Tabla 50. Inventario de camas y habitaciones del sector turístico en la ciudad de Santa Marta.

Etiquetas de fila	Comuna 1		Comuna 2		Total	Total Camas
	Habitaciones	Camas	Habitaciones	Camas	Habitaciones	
Establecimiento de alojamiento turístico	884	1446	3628	6928	4512	8374
Albergue (hospedaje permanente)	no		16	24	16	24
Alojamiento rural (hospedaje permanente)	no 17	43	27	47	44	90
Apartahotel (Hospedaje permanente)	no 43	81	122	250	165	331
Campamento	16	24	16	24	32	48
Centro Vacacional	24	81			24	81
Hostal (hospedaje no permanente)	212	353	870	2041	1082	2394
Hotel	536	810	2515	4433	3051	5243
Vivienda turística	36	54	62	109	98	163
Total general	884	1446	3628	6928	4512	8374

Nota. Datos tomados de SITUR Magdalena.

Consumo en preservación de flora y fauna

Se refiere a su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y se considera el caudal ambiental que incluye el caudal ecológico, para tal caso se tiene que el caudal ambiental estimado en la oferta hídrica.

Para el caso del río Manzanares, el IRH es de 0,18, lo que indica una capacidad de retención de agua en la cuenca muy baja, por lo tanto, existe gran variación en los caudales cuando se presentan lluvias o cuando hay temporadas de sequía. Según este resultado, y de acuerdo con la metodología descrita anteriormente, se debería adoptar como caudal ambiental el Q75 en la curva de duración de caudales, es decir, un valor de 0,48 m³/s. Este Valor llevado a años quedaría de la siguiente manera;

$$0,48 \text{ m}^3/\text{Seg} * (60*60*24*365) = 15137280 \text{ m}^3/\text{año}$$

Consumo agrícola

Este consumo se refiere a la cantidad de agua que se requiere aportar de manera artificial para suplir las necesidades de riego de un cultivo, en este sentido, se procedió a establecer cuáles son los principales cultivos presentes en la cuenca, mediante el mapa de coberturas 2010-2012 del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), y con base en la información de los consumos hídricos definidos en los estudios nacionales del agua, en sus versiones 2010 y 2014, se estableció la demanda hídrica por cada cultivo por hectárea presente en la cuenca, para este caso se cuenta que los principales cultivos o actividades agrícolas presentes en la cuenca del Manzanares y sus respectivos consumos en Mm³ (Tabla 51).

Tabla 51. Estimación de la demanda agrícola con base a las coberturas de la tierra

COBERTURA	Área (Ha)	Área (%)	Demanda (Mm ³ /Ha)	Demanda anual (Mm ³)	Promedio
Café con semisombra sombrío	13,256	0,066	0,012690895	0,168228468	
Café con sombrío	623,958	3,086	0,012690895	7,918580668	
Mango	96,188	0,476	0,00000175	0,000168329	
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	130,997	0,648	0,012679744	1,661009266	
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	3,979	0,020	0,012679744	0,050452785	
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	327,568	1,620	0,013430825	4,399507886	
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,990	0,237	0,012679744	0,608506624	
Mosaico de pastos y cultivos	10,210	0,051	0,013430825	0,137135283	
Otros cultivos permanentes arbóreos	23,780	0,118	0,012679744	0,301523327	
TOTAL	1277,926	6,321	0,077580626	15,24511264	

El valor se encuentra en Mm³, llevarlo a m³, es multiplicar por 1.000.000, lo que equivale el valor a:

$$15,24511264 \text{ Mm}^3 * 1.000.000 = \mathbf{15.245.112 \text{ m}^3/\text{año}}$$

Lo que representa el volumen de agua necesario para satisfacer las necesidades hídricas de las principales actividades agrícolas en la cuenca. En resumen, la demanda hídrica de la cuenca del río Manzanares será;

$$Dh = Ch + Css + Cpf + Csa$$

$$Dh = 56407.1 + 1671846 + 15137280 + 15.245.112$$

$$Dh = 18.390.044 \text{ m}^3/\text{año}$$

ESTIMACIÓN DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Tomando como base por (IDEAM, 2013), la estimación de presión sobre el recurso hídrico se considera con los indicadores Índice de Uso del Agua IUA, y el índice de escasez del agua a nivel de cuenca, subcuencas o tramos de análisis, para el caso de la cuenca del río Manzanares, este análisis se presenta a nivel general, ya que la espacialización de los parámetros se realizó a nivel de cuenca, por tal motivo procedemos a estimar con:

Índice de Uso del Agua

Relación porcentual de la demanda de agua en relación con la oferta hídrica regional disponible.

$$IUA = (Dh/OHRD) * 100$$

Donde:

IUA: índice de uso del agua

Dh: \sum (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado).

OHRD: oferta hídrica superficial regional disponible.

La categorización de condición de presión de la demanda sobre la oferta hídrica se define a partir de los mismos cinco rangos y categorías utilizados en el (IDEAM, 2010): muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Tabla 52. Rangos y categorías del IUA. Fuente: (IDEAM, 2013).

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	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 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Teniendo en cuenta la ecuación del IUA, procedemos a reemplazar los valores obtenidos de la oferta y demanda hídrica calculada para la cuenca del río Manzanares.

Oferta Hídrica Regional Disponible

En términos de caudales, la oferta hídrica regional disponible está dada por:

$$Q_{dr} = Q_t - Q_{amb} + Q_r \pm Q_{tr}$$

Donde,

Qt: Caudal total, determinado por la oferta hídrica total

Qamb: Caudal ambiental

Qr: Caudal de retorno

Qtr: Caudal de transvase (positivo si entra a la cuenca, negativo si sale de la cuenca)

$$Q_{dr} = 5.69 \text{ m}^3/\text{s} - 0.48 \text{ m}^3/\text{s} + 0.33 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0$$

$$Q_{dr} = 5.54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{dr} = 174.709.440 \text{ m}^3/\text{año}$$

Demanda Hídrica Sectorial

La demanda se calcula para todas las actividades en m³/año, teniendo en cuenta su concentración y el tamaño de los usuarios en cada unidad de análisis identificada y contextualizada. Se expresa según la siguiente ecuación:

$$**Dh = Ch + Css + Cpff + Csa + Csp + Cr + Csi + Ce + Cm + Csac + Cnt + Aenc**$$

Dado que, en la cuenca, solo es posible estimar las demandas de los sectores Ch, Css, Cpff y Csa, ya que las demás actividades no se encuentran en la cuenca, o son de baja percepción que no afectan considerablemente la demanda hídrica. Por tanto, para la cuenca del río Manzanares, la demanda hídrica se obtiene de:

$$*Dh = Ch + Css + Cpff + Csa*$$

Donde;

Ch= Consumo Humano

Css= Consumo sector servicios

Cpff = Consumo preservación de flora y fauna

Csa = Consumo sector agrícola

En resumen, la demanda hídrica de la cuenca del río Manzanares será;

$$*Dh = Ch + Css + Cpff + Csa*$$

$$Dh = 56407.1 + 1671846 + 15137280 + 15.245.112$$

$$**Dh = 18.390.044 m³/año**$$

Al reemplazar los valores de Demanda y Oferta hídrica en la fórmula del IUA obtenemos que;

$$*IUA = Dh/OHRD*$$

$$IUA = (18.390.044 \text{ m}^3/\text{año}) / (174.709.440 \text{ m}^3/\text{año}) *100$$

$$**IUA = 10,52**$$

El índice de Uso del Agua, conforme a la categorización establecida, cataloga a la cuenca en el rango Moderado, y color amarillo, dado que la presión de la demanda es moderada respecto a la oferta hídrica regional.

Índice de Escasez

El índice de escasez es la relación entre la demanda y la oferta hídrica, pero la oferta hídrica se le aplica el factor de reducción del 25% y se categoriza de la siguiente manera (Tabla 53);

Tabla 53. Categorías del Índice de Escasez.

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	>50%	Rojo	Demanda Alta
Medio Alto	21-50%	Naranja	Demanda Apreciable
Medio	11-20%	Amarillo	Demanda Baja
Mínimo	1-10%	Verde	Demanda muy Baja
No Significativo	<1%	Azul	Demanda no Significativa

Nota. IDEAM, 2013.

Al realizar el análisis de este índice se obtiene que:

$$IE = (Dh/Oh * Fr) * 100\%$$

Donde

IE = Índice de Escasez

Dh = Demanda Hídrica Neta

Oh = Oferta hídrica Neta Superficial

Fr = Factor de reducción 25% de la oferta por caudal ecológico

Tabla 54. Estimación del Índice de Escasez del Río Manzanares.

Demanda total m ³ /año	Oferta Superficial Total m ³ /año	Oferta superficial total m ³ /año – Factor de reducción del 25%	IE (%)	Categoría
18.390.044	179.439.840	134.579.880	13.6	Media Demanda Baja

ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS AL ESTADO Y PRESIÓN ACTUAL SOBRE EL RH

Estimación cualitativa de riesgo asociado a la oferta

Conforme a lo detallado en los ítems anteriores respecto a los índices de calidad del recurso hídrico y los indicadores de presión del recurso hídrico del río Manzanares, para este ítem se presenta un análisis cualitativo del riesgo asociado a la oferta hídrica disponible y los usos actuales y potenciales, a partir de los resultados del índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) actual, el índice de calidad físico químico (ICA). Para el primer caso el riesgo asociado se presenta como la interacción entre dos condiciones:

$$R = A * V$$

Donde R = Riesgo por desabastecimiento

A = Amenaza se considerará media y alta en los tramos donde el índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) sea alto y muy alto respectivamente. El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA), las categorías de este índice se presentan en la (Tabla 55).

Tabla 55. Categorías del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento, Fuente (MADS, 2018).

Índice de Uso de Agua	Índice de Regulación Hídrica	Categoría de Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy Bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto

Índice de Uso de Agua	Índice de Regulación Hídrica	Categoría de Vulnerabilidad
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy Bajo	Muy Alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy Bajo	Muy Alto

Nota. (MADS, 2018).

Para el Caso del río Manzanares se obtiene que el IUA obtenido fue del 10,52 (Ver Indicadores de Presión), lo que lo categoriza como Moderado o Medio, y el índice de regulación hídrica fue de 0,18 (ver Oferta Hídrica), lo que cataloga al río Manzanares como Muy baja. Al Tener un IUA Medio y un IRH Muy Bajo, la categorización del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento es Alto.

La Vulnerabilidad se determinará identificando las captaciones para abastecimientos doméstico, agrícola y piscícola en los tramos previamente identificados con amenaza alta y media, considerando como de vulnerabilidad alta las que capten agua para uso doméstico y como de vulnerabilidad media las que se capten para los dos usos restantes. Considerando la condición más crítica, por ejemplo: vulnerabilidad y amenaza altas: riesgo alto; alguna de las dos en nivel alto y la otra en medio: riesgo alto; las dos en nivel medio: riesgo medio.

Realizar el análisis cualitativo para determinar el riesgo, considerando la condición más crítica, por ejemplo: vulnerabilidad y amenaza altas: riesgo alto; alguna de las dos en nivel alto y la otra en medio: riesgo alto; las dos en nivel medio: riesgo medio. Generar el mapa indicativo de riesgo por oferta en cada tramo. Generar un mapa de riesgo asociado a la reducción de oferta.

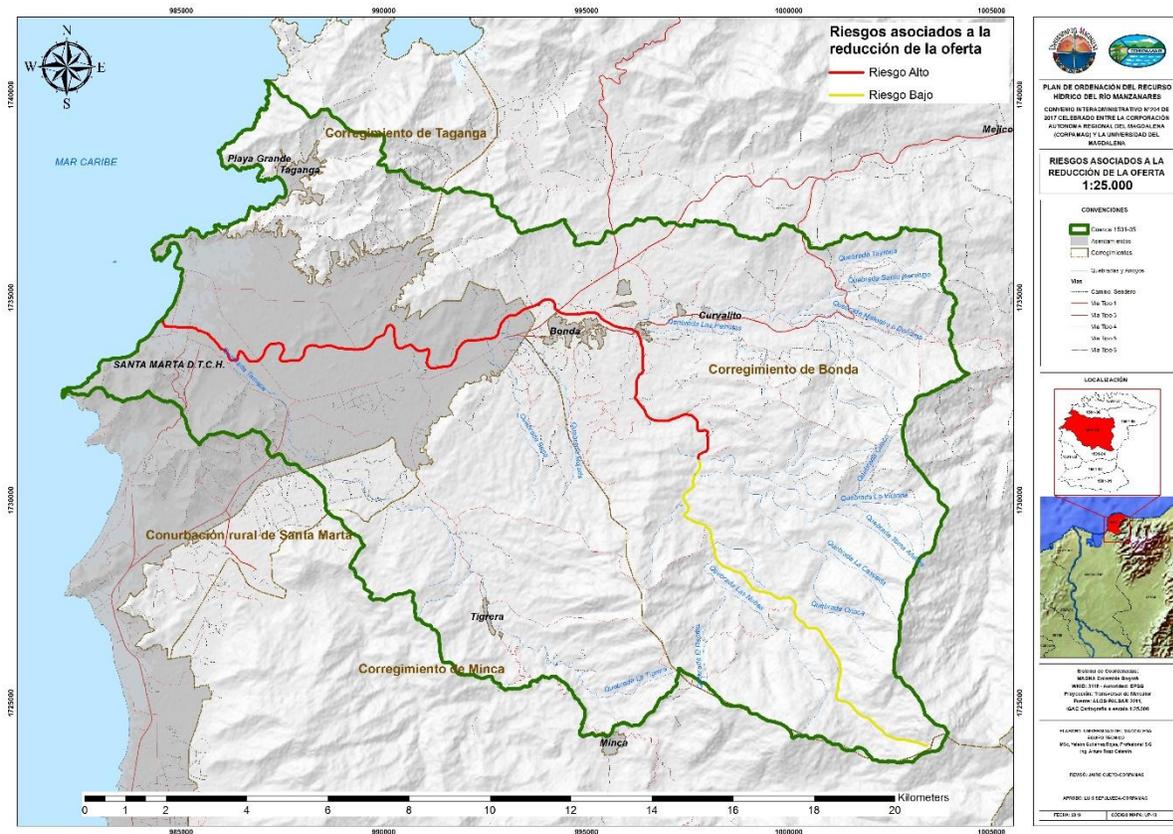
Teniendo en cuenta lo anterior, y la captación para el acueducto de la ciudad de Santa Marta, a la altura de la cota 400, en el sector conocido como Paso el mango sobre la cota 250 metros, y son los últimos 21 kilómetros del río, es decir, el 65% de todo el río se encuentra afectado por esta captación, lo cual le genera la condición de amenaza alta (Figura 105).

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Alto} * \text{Alto}$$

Riesgo Alto

Figura 105. Riesgos asociados a la reducción de la oferta hídrica del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Estimación cualitativa de riesgo asociado a la disponibilidad

La categorización de la amenaza se realizará asignando a los tramos la condición más desfavorable entre los índices utilizados, así:

1. Calidad aceptable con amenaza baja;
2. Calidad regular con amenaza media y;
3. Calidad mala con amenaza alta.

Para el caso del río Manzanares, se tiene que los resultados de los tramos de estudio fueron;

Tabla 56. Resultados de los tramos de estudio.

Tramo	ICA	BMWP	ICE
1	BUENA	BUENA	BUENA
2	ACEPTABLE	ACEPTABLE	REGULAR
3	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENA

Nota. Elaborado por los autores.

La vulnerabilidad se determinará identificando las captaciones para abastecimientos doméstico, agrícola y piscícola en los tramos previamente identificados con amenazas alta, media y baja; considerando vulnerabilidad alta las que capten agua para uso doméstico; media para los usos agrícola y pecuario y; baja para los usos restantes.

Con esto, se puede diferenciar, que el tramo 1, que corresponde al sector de Bonda hasta el sector de Timayuí, la condición de amenaza es Nula, ya que los valores de calidad siempre fueron buenos con base a los índices de calidad del agua físicoquímicos y biológicos. Sin embargo, los tramos siguientes la condición de amenaza es baja y media, dado los resultados descritos en la (Tabla 56).

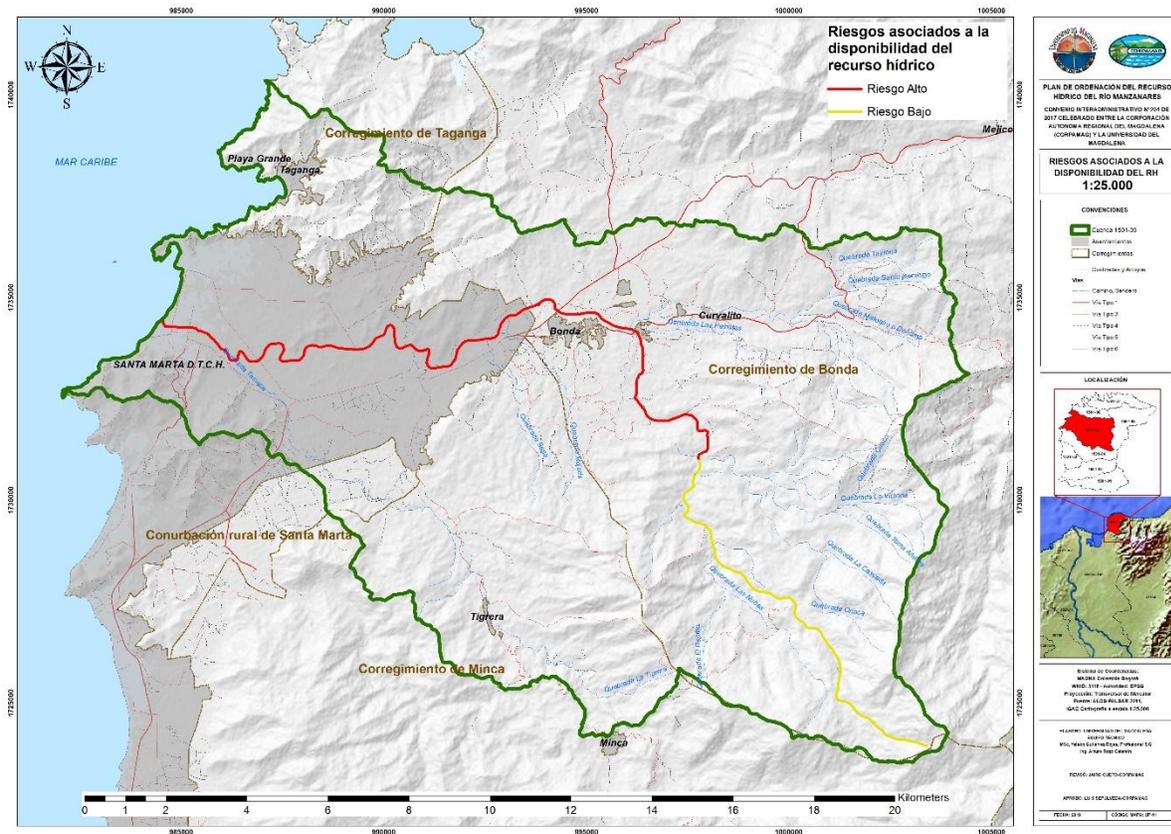
Por tanto, tenemos que para el tramo de estudio la condición de amenaza es media en los últimos 8 km del río hasta su desembocadura.

Al superponer el mapa de amenaza por calidad, la información de las captaciones para abastecimientos doméstico, agrícola y piscícola. Para aquellas captaciones localizadas en tramos con amenazas media y alta, se debe realizar el respectivo análisis cualitativo de vulnerabilidad de acuerdo con el orden de prioridades para otorgar concesiones según los artículos 2.2.3.2.7.6., 2.2.3.2.7.7., y 2.2.3.2.7.8., del Decreto 1076 de 2015, considerando vulnerabilidad alta lo correspondiente a los literales a y b; media lo correspondiente a los literales c y d; baja para el resto de usos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el río presentará vulnerabilidad alta desde la captación de agua para el acueducto de Santa Marta, a la altura del sector conocido como Paso el mango sobre la cota 250 metros y son los últimos 21 kilómetros del río, es decir, el 65% de todo el río se encuentra afectado por esta captación, lo cual le genera la condición de amenaza alta.

La categorización del riesgo (alto, medio y bajo) resulta de superponer los dos análisis anteriores predominando la condición más crítica entre los dos. Considerando la condición más crítica, por ejemplo: vulnerabilidad y amenaza altas: riesgo alto; alguna de las dos en nivel alto y la otra en medio: riesgo alto; las dos en nivel medio: riesgo medio y; riesgo bajo para los que cumplan el nivel bajo. Por tal motivo, el río Manzanares presenta la siguiente condición de riesgo (Figura 106).

Figura 106. Riesgos asociados a la disponibilidad del recurso hídrico del Río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

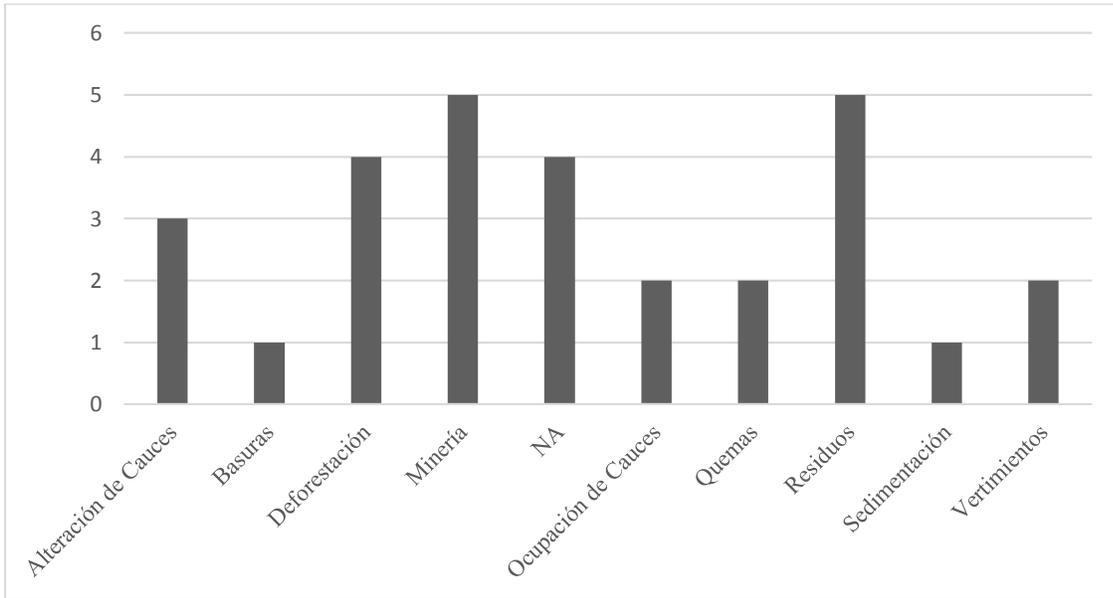
$$\text{Riesgo} = \text{Medio} * \text{Alto}$$

Riesgo Alto

ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS DERIVADOS DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO

A continuación, se presenta la relación de problemáticas y conflictos que se han presentado a manera de quejas en la Corporación autónoma Regional del Magdalena, que competen al sector recurso hídrico, esta relación comprende un total de 29 quejas que se distribuyen de la siguiente manera;

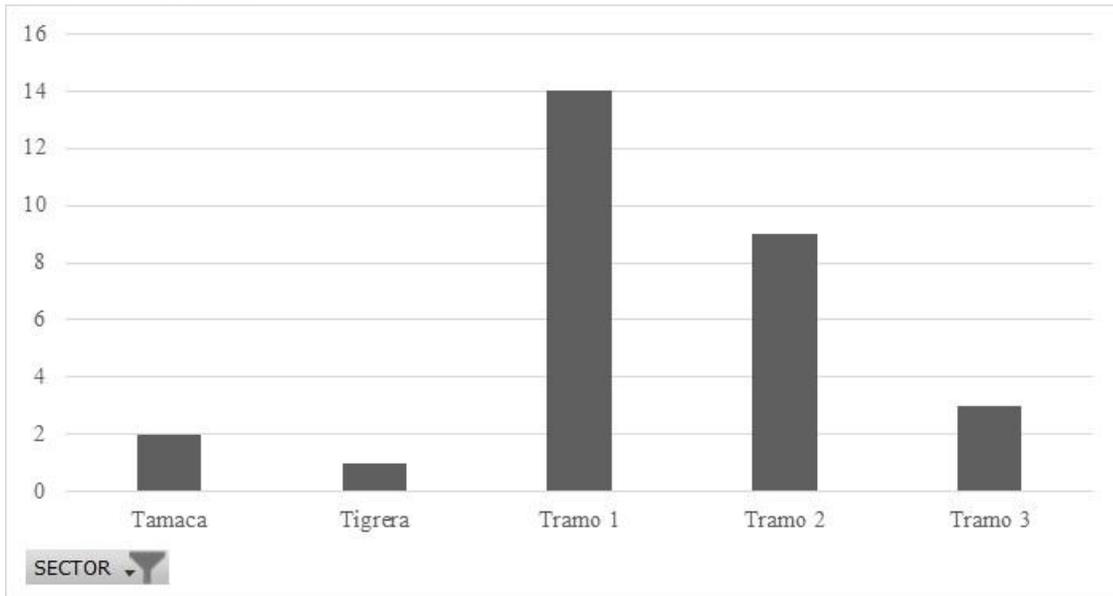
Figura 107. número de quejas presentadas respecto al río Manzanares, presentadas a Corpamag en los últimos 7 años.



Nota. Elaborado por los autores.

Y el tramo, que mayor afectación ha presentado respecto a las quejas presentadas es;

Figura 108. Sector con mayor quejas presentadas respecto al río Manzanares, presentadas a Corpamag en los últimos 7 años.



Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 57. Base de datos de quejas y reclamos presentadas ante CORPAMAG referentes a problemáticas en el Río Manzanares.

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
457	11/05/2012	Maria Leonor Ramírez denuncia que la Constructora Jimenez ha arrojado arenilla a la Quebrada Tamaca - Bureche, ocasionando sedimentación en la misma.	Se remite la denuncia al DADMA por ser de su competencia conocer de ella. Se le informa a la denunciante la remisión de la denuncia.	Final otorgado	1501	Manzanares	Tamaca	SEDIMENTACIÓN
1248	10/12/2012	Que mediante denuncia remitida por el señor ALEXANDER LUNA CORREA, en la cual manifiesta tala ilegal de árboles en el sector de Bonda cerca a la Quebrada Chucunchaca en el Magdalena.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 1	DEFORETACIÓN
240	21/02/2013	Que mediante denuncia por medio de la cual el señor CARLOS M. POLO JIMENEZ, manifiesta que en la vía alterna al puerto en el sector comprendido aguas abajo del puente sobre el río Manzanares hasta las inmediaciones de Jardinez de Paz, en el Distrito d	Devuelto corresponde al DADMA.	conclusión proceso	1501	Manzanares	Tramo 1	NA
399	08/04/2013	Que mediante formato de denuncia, instaurado por moradores del Barrio 20 de Enero, informando que en el sector de la Quebrada Tamacá, detrás de la empresa "Dole", personas		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tamacá	VERTIMIENTOS

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
		irresponsables están vertiendo aguas negras, formándose laguna en el sector, g						
777	21/08/2013	Que en radicado No. 4483 de 2013, el señor MIGUEL NÚÑEZ VIANA, propietario del predio denominado "Los Samanes", ubicado en la vía que de Santa Marta conduce a Bonda, denuncia que entre la Urbanización Villa Blanca y el predio Los Samanes, se está ade	Mediante la cual se impone medida preventiva de suspensión de actividades de ocupación de la Quebrada El Burro, en el proyecto urbanístico Bosques de Bonda, ubicado en el corregimiento de Bonda, municipio de Santa Marta, Departamento del Magdalena. P	conclusión proceso	1501	Manzanares	Tramo 1	Alteración de Cauces
579	11/07/2014	SAMUEL CABAS DENUNCIA LA EXISTENCIA DE PISCINAS DESDE LA BOCATOMA DE METROAGUA HASTA BONDA Y DE ESTANQUES DE BABILLAS E HIPOPOTAMOS.		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	Ocupación de Cauces

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
724	18/09/2014	Que mediante correo electrónico, se puso en conocimiento de esta entidad una presunta explotación de arena en la ribera del río Manzanares a la altura del puente peatonal de la avenida del río con la Universidad del Magdalena.		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 2	MINERÍA
893	04/11/2014	Que mediante correo electrónico el señor NESTOR RODRIGUEZ puso en conocimiento de esta Corporación un video donde presuntamente la empresa METROAGUA S.A. E.S.P., contamina el río Manzanares.		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 3	VERTIMIENTOS
308	31/03/2015	Que el señor JOSE POLO JIMENEZ obrando en calidad de Vocero y Representante de Hermanos Polo Jimenez mediante escrito puso en conocimiento de esta entidad la extracción de arena ilegal en el cauce del río Manzanares por personas indeterminadas.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 2	MINERIA
501	05/05/2015	Que se recibió denuncia instaurada por el señor Aristóbulo Diaz, mediante el cual informa que debido a una visita que realizó por la vereda El Curval, corregimiento de Bonda,		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	NA

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
		observó el maltrato de la naturaleza, especialmente porque en la parte de l						
547	14/05/2015	Que denuncia publicada en la edición del 14 de Mayo de la presente anualidad por Hoy Diario del Magdalena, se pone en conocimiento que el río Manzanares se ha convertido en un botadero de basura y muchos de sus residentes culpan a los carros muleros		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 2	Residuos
905	27/07/2015	Que se recibió denuncia anónima, donde informan que el señor de la vereda La Liza, corregimiento de Bonda, pretende talar árboles de Mango y Roble a orillas de la Quebrada La Liza, con el fin de construir un local al pie de la quebrada.		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	DEFORESTACIÓN
1097	11/09/2015	Que se recibió denuncia, instaurada por la comunidad del Barrio Tayrona, en contra de los contratistas del puente y manifiestan que la comunidad se opone a la tala de árboles que hace a la margen del río por la construcción de un puente en la calle 26		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 2	DEFORESTACIÓN

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
1126	18/09/2015	Que se recibió denuncia, donde informan que presuntamente el señor Marcos Martinez, en la quebrada de Jirocasaca, afluente del Río gaira, en el sector de la vereda Jirocasaca, y Sabanas del Limón, en la margen derecha de la Quebrada se está realizando		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	NA
1478	06/11/2015	Que mediante denuncia anónima se puso en conocimiento la presunta infracción ambiental por la extracción de arena del río Bonda en Santa Marta.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 1	MINERIA
1518	18/11/2015	Que la señora ELIANA MORON GRANADOS obrando en calidad de directora del DADMA remite queja presentada por los moradores del barrio Garagoa por la presunta alteración del cauce del Río Manzanares en el sector de Timayui y Nueva Mansión.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 1	Alteración de Cauces
388	28/03/2016	Que se recibió denuncia instaurada por la señora Mariela Pérez Cantillo, donde informa que en la orilla del río Manzanares, dentro de la ronda hídrica, por el barrio Cantilito, Distrito de Santa Marta, una pareja de esposo		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	DEFORESTACIÓN

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
		realizan quema y tala de árboles						
625	23/05/2016	Que la comunidad de Barrio Tayrona Junto a Jardinez de Paz mediante escrito, puso en conocimiento la presunta extracción de materiales en el Río Manzanares.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 2	MINERIA
661	27/05/2016	Que mediante denuncia, el señor ARIENELO BILHERAM advierte de la inadecuada disposición de residuos sólidos y escombros sobre el camino de acceso a su finca, ubicada en Masinga, frente a la vuelta que va a Paso de Mango. Según afirma el quejoso. los		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	BASURAS
735	14/06/2016	Que, mediante oficio, los habitantes de la Vereda San rafael en el corregimiento de Bonda, Km. 31 carretera central del caribe, denuncian la invasión del predio sobre la orilla del río al lado de un caño, en la entrada de la posada Ecoturística, que p		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	Ocupación de Cauces

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
744	15/06/2016	Que el día de hoy, 15 de junio de 2016, ha circulado en redes sociales y prensa, el video donde se observa un camión mezclador Mixer arrojando residuos de mezcla al parecer de concreto en el puente ubicado en la carrera Cuarta con Avenida del Río sob		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 3	Residuos
1459	07/12/2016	Que mediante denuncia presentada por el señor WILLIAM PABON PEREZ advierte del inadecuado manejo de escombros extracción ilegal de materiales para la construcción en el sector de Villa Dania, frente a la Ye de Bonda, en el Distrito de Santa Marta.		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 2	ESCOMBROS
1476	14/12/2016	Que mediante denuncia anónima, el señor Gerónimo Silva Castro, donde informan que hay un sector ubicado por la bodega Punto 5 en la parte trasera del río Manzanares realiza quemas irregulares, fabricando carbón vegetal, produciendo contaminación ambiental		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 2	QUEMAS

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
37	16/01/2017	Que mediante denuncia, la señora KELLYS JIMENEZ, advierte que dentro del predio de su propiedad denominado Bello Horizonte, ubicado en el corregimiento de Bonda en el Distrito de Santa Marta, el señor JOAQUÍN POLO MIRANDA viene realizando la extracción		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	MINERÍA
141	10/02/2017	Que mediante denuncia, funcionarios de la Fiscalía General de la Nación advierte que el barrio Villa Alejandria en el Distrito de Santa Marta, se vienen arrojando escombros sobre el río Manzanares, provenientes de la obra que se desarrollan en la Man		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 3	Residuos
221	08/03/2017	Que mediante oficio, habitantes de la comunidad de Tigrera, vía Minca, denuncian verse afectados por la disposición inadecuada y quema de restos de semovientes en una finca del sector.		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tigrera	Residuos
355	19/04/2017	Que se recibió denuncia instaurada por el señor Doria Oñate Choles, donde informa que dentro de la margen del río Manzanares en la Transversal 10 Diagonal 34° - 176 de la		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 2	NA

N° Expediente	FECHA	DESCRIPCIÓN	EVOLUCION	ETAPA 1	CUENCA	SUBCUENCA	SECTOR	AFECTACIÓN
		Urbanización El Bosque, Santa Marta hay un árbol seco que se partió por la mita						
404	03/05/2017	Que se recibió denuncia, remitida por el DADMA, donde informa que la Secretaría de Salud Distrital pone en conocimiento que la comunidad del Bosque reporta que el Cementerio Jardines de Paz ha venido realizando quema de residuos en las noches lo cual		visita - seguimiento	1501	Manzanares	Tramo 2	QUEMAS
727	25/07/2017	Que mediante denuncia, el señor Alfonso Martínez Quintero, pone en conocimiento de la Corporación que en su propiedad denominado Villa Cecilia, ubicada en la Vereda Manguera, corregimiento de Bonda, algunas personas han realizado afectaciones con maq		Informe Técnico - C.amb.	1501	Manzanares	Tramo 1	Alteración de Cauces

FASE 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

Establecer la proyección de la demanda hídrica para el río Manzanares, como uno de los aspectos relevantes en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico, permite orientar los esfuerzos de la gestión del agua en la ciudad de Santa Marta, y este debe verse bajo tres perspectivas o escenarios como son; Optimista, Pesimista y Probable, a continuación se tratará de abordar cada enfoque por cada sector de uso del agua (Consumo Humano, Consumo Sector Servicios, Consumo Agroindustrial, y Consumo Ambiental).

Consumo humano

Si bien es cierto, es el principal uso y destinación del agua de esta cuenca, para abastecer a la ciudad de Santa Marta, es el enfoque de la cuenca, por tanto, es la prioridad del consumo, actualmente se encuentra concesionado aproximadamente 350 lts/seg del caudal base, lo cual no es suficiente para las necesidades actuales de la ciudad. Por otro lado, de acuerdo a las condiciones hidrometeorológicas de la cuenca, el notable descenso del caudal base de la cuenca define con claridad que la concesión debe replantearse, sobre todo para épocas de no lluvia o sequía, donde durante la última década el río no alcanza a mantener al menos 350 lt/seg, actualmente la ciudad de Santa Marta presenta una población de 521.239 personas a diciembre del 2019⁶, y se estima un incremento poblacional de 557.388 personas para el año 2023, lo cual significa un incremento de 36.149 personas, o un 6,9% de la población actual.

Para Plantear los escenarios se hace necesario considerar los aspectos claves para la estimación de la demanda hídrica como:

$$Ch = P * I + pt$$

Donde:

Ch: consumo humano (m³ /año)

P: población (número de usuarios)

I: intensidad del consumo (adimensional)

Pt: pérdidas técnicas (m³ /año).

Bajo estos tres parámetros se plantean los escenarios, que se describen a continuación.

⁶ Series de proyecciones de población 2018-2023 con desagregación nacional, departamental y municipal, por grupos quinquenales de edad y sexo con base en el CNVP 2018. Dirección de Censos y Demografía. DANE 2020

Tabla 58. Escenarios para la proyección de la demanda hídrica.

Parametro/Escenario	Optimista	Pesimista	Probable
Usuarios	Aumento	Aumento	Aumento
Perdidas	Disminución	Aumento	Igual
Intensidad del consumo y Autorregulación	Disminución	Aumento	Igual

Nota. Elaborado por los autores.

Escenario Optimista

Teniendo en cuenta la información del DANE, donde describe las proyecciones del incremento poblacional, así mismo se plantea el incremento de usuarios, conforme a la relación de la población actual, número de usuarios actual, y proyección de la población, se espera que los consumos (Intensidad) disminuya en un 3% por cada año, actualmente es 1965 lt/día, y con la reducción se espera que esta intensidad disminuya gradualmente hasta el 2023 como se aprecia en la (Tabla 59). Esto se lograría atendiendo a factores como las tasas por consumo por metro cubico, o por la implementación de sistemas eficientes en los hogares (autorregulación).

Otro factor es la disminución de las perdidas en los sistemas de tratamiento y distribución del agua en la ciudad, que actualmente se encuentra por el 50%, estos escenarios van de la mano de la política del agua de la administración distrital, que en su plan de desarrollo y junto con la empresa de servicios públicos, contemplan proyectos de mejoramiento de la infraestructura del sistema de tratamiento y abastecimiento y distribución del agua para la ciudad, donde se espera que las perdidas disminuyan un 2,5% por año.

Teniendo en cuenta estas situaciones, se espera que el consumo de agua **DISMIMUYA**, bajo este escenario y atendiendo a las consideraciones planteadas.

$$Ch = P * I + pt$$

Donde

P: población (número) = 78622 usuarios (No personas)

I: intensidad del consumo (adimensional) = 1965 Lts/día

Pt: pérdidas técnicas (m³/mes). = 1.481.259 m³/mes (Agosto) = 1.481.259 /31 días = 47782 m³/día (agosto)

Tabla 59. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario optimista durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.

Población	Año	Usuarios	*Intensidad (m ³ /día)	**Perdidas m ³ /día	Consumo en m ³ /día	% de Incremento	Consumo en Mm ³ /año
521239	2019	78622	1,965	47782	202274,2	0	73,83
538612	2020	81242	1,906	46587	201439,7	-0,41	73,53
546979	2021	82505	1,849	45423	197962,8	-2,13	72,26
552391	2022	83321	1,793	44287	193715,0	-4,23	70,71
557388	2023	84075	1,740	43180	189436,2	-6,35	69,14

*Intensidad con reducción del 3% por año acumulativo. **perdidas con reducción del 2,5% por año

Nota. Elaborado por los autores.

Escenario Pesimista

Con base en el incremento poblacional del 6%, y teniendo en cuenta que las condiciones de vulnerabilidad de los hogares en la ciudad de Santa Marta pueden verse afectados por el decrecimiento de la economía, lo que conlleva a no tener procesos de autoregulación y un aumento en la Intensidad del consumo a un 1% anual.

En el caso de las perdidas, que no se realicen las obras de mejoramiento de la infraestructura de acueducto, o mejoramiento en los sistemas de distribución, por tanto, las perdidas en la red de distribución del agua aumenten un 1% anual, se estima que la demanda hídrica **AUMENTE**.

La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$Ch = P * I + pt$$

Tabla 60. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario pesimista durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.

Población	Año	Usuarios	*Intensidad (m ³ /día)	**Perdidas m ³ /día	Consumo en m ³ /día	% de Incremento	Consumo en Mm ³ /año
521239	2019	78622	1,965	47782	202274,2	0	73,83
538612	2020	81242	1,985	48260	209497,7	3,57	76,47
546979	2021	82505	2,004	48742	214122,5	5,86	78,15
552391	2022	83321	2,025	49230	217916,4	7,73	79,54
557388	2023	84075	2,045	49722	221636,8	9,57	80,90

*Intensidad con incremento del 1% por año acumulativo. **perdidas con incremento del 1% por año acumulativo

Nota. Elaborado por los autores.

Escenario Probable

El escenario probable, es que aumente la población de usuarios, se mantenga las pérdidas y la intensidad del consumo durante los próximos 4 años, en este caso se estima que la demanda hídrica **AUMENTE**. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$Ch = P * I + pt$$

Tabla 61. Proyección de la demanda hídrica por consumo humano bajo escenario probable durante el periodo 2019-2023, para las localidades 1 y 2 en la ciudad de Santa Marta.

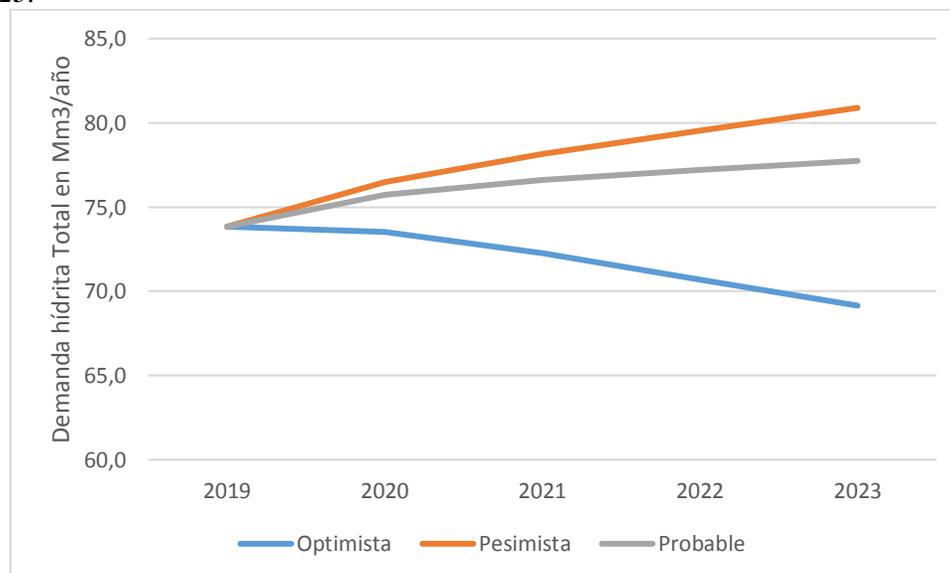
Población	Año	Usuarios	*Intensidad (m ³ /día)	**Perdidas m ³ /día	Consumo en m ³ /día	% de Incremento	Consumo en Mm ³ /año
521239	2019	78622	1,965	47782	202274,2	0	73,83
538612	2020	81242	1,965	47782	207423,5	2,55	75,71
546979	2021	82505	1,965	47782	209903,4	3,77	76,61
552391	2022	83321	1,965	47782	211507,5	4,56	77,20
557388	2023	84075	1,965	47782	212988,6	5,30	77,74

*Intensidad manteniendo igual. **perdidas manteniendo igual

Nota. Elaborado por los autores.

En resumen, bajo estos escenarios se describe la relación de los consumos de agua por la población de la ciudad de Santa Marta, en las localidades 1 y 2, que son las que abastece la cuenca del río Manzanares gráficamente se describe en (Figura 109).

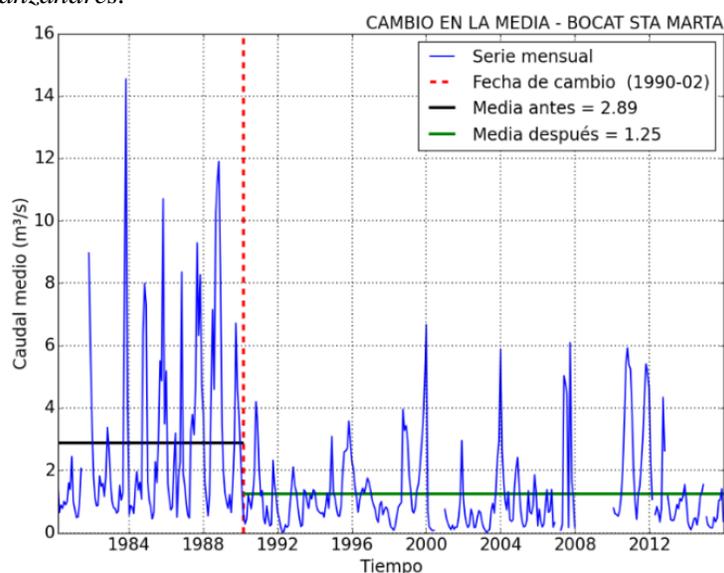
Figura 109. Proyección de la demanda hídrica total, bajo diferentes escenarios durante el periodo 2020-2023.



Nota. Elaborado por los autores.

Significa que, comparado con el actual consumo, y bajo los escenarios probable y pesimista, el aumento en la demanda hídrica se incrementaría hasta el 2023 entre un 5,3% y 9,5% respectivamente, y si a eso se le agrega, que los niveles de caudal del río vienen disminuyendo, por efectos de la variabilidad climática, como se describe en (Figura 110), el test de cambios en la media del caudal, para la estación limnimétrica del río Manzanares, donde se identificó un fuerte cambio que oscila en casi el 50% de reducción del caudal. Este río, no tendría el suficiente caudal para abastecer a la ciudad, y en tiempos de sequía la afectación puede ser catastrófica tanto para la ciudad, como para los diferentes usuarios y usos del agua, así como para la sostenibilidad del ecosistema.

Figura 110. Cambio en el test de medias para la serie de caudales en la estación Bocatoma-Santa Marta, en el río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

Consumo Sector Servicios

Para este consumo, y atendiendo a las particularidades de la ciudad de Santa Marta, que presenta una vocación turística y de servicios, el escenario es probablemente pesimista, ya que se espera un incremento de la oferta de servicios por el incremento del turismo. Para este caso, es prudente basarse en los datos del número de camas disponibles por establecimientos que prestan este servicio registrados en COTELCO Magdalena, donde se describe un total de 16.748 camas disponibles, con un porcentaje de ocupación durante los últimos 4 años del 53% (Tabla 62).

Tabla 62. Porcentaje de ocupación Hotelera en la ciudad de Santa Marta durante el periodo 2016-2019.

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2016	80,7	47,1	52	50,2	43,6	36,5	43,2	44,8	39,3	58,2	53,7	58,8
2017	74,2	50,1	47,5	50,2	39,6	54,9	58,7	57,2	49,5	46,6	68,1	58
2018	67,7	45,2	48,4	40,6	37,1	54,1	59,3	58,1	46,4	52,8	54,5	57,7
2019	68,22	51,2	50,42	48,83	41,9	57,4	57,7	60,2	51	61,2	63,4	67,14
Promedio	72,7	48,4	49,5	47,4	40,55	50,7	54,725	55,0	46,5	54,7	59,9	60,4

Nota. SITUR Magdalena. En <https://www.siturmagdalena.com/indicadores/receptor>

Teniendo en cuenta el porcentaje promedio de ocupación y la disponibilidad de las camas de los establecimientos comerciales que realizan actividad de hospedaje y alojamientos, y se multiplica por el % de ocupación mes a mes, se estima que en total para las localidades 1 y 2, que son abastecidas por la cuenca del río Manzanares, el número de personas que efectivamente estuvieron como turistas fueron 107322 personas, sin contabilizar el número de noches pernoctadas, lo cual en este caso se asume como los escenarios, ya que como lo expresa COTELCO, “La duración de un viaje es un factor importante a la hora de evaluar el nivel de demanda de servicios turísticos, como los servicios de alojamiento turístico”.

Tabla 63. Número de visitantes hospedados con relación a la disponibilidad de camas.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
No de Hospedados	12177	8106	8304	7948	6791	8495	9165	9224	7796	9161	10036	10117

Nota. SITUR Magdalena. En <https://www.siturmagdalena.com/indicadores/receptor>

Por tanto, los escenarios estarán en función de los Límites inferior, límite superior y media de los datos, los cuales quedarían de la siguiente manera;

Tabla 64. Duración media de los visitantes en la ciudad de Santa Marta.

Meses	2016	2017	2018	2019
Enero	4,65	4,54	3,48	3,79
Febrero	3,79	3,59	3,01	4,01
Marzo	4,19	4,05	3,59	3,67
Abril	2,93	3,55	3,98	3,6
Mayo	3,7	3,64	3,57	3,73
Junio	4,51	3,75	4,05	
Julio	3,71	3,38	3,87	
Agosto	4,03	3,6	3,72	
Septiembre	3,98	3,37	3,76	
Octubre	2,95	2,75	3,77	

Meses	2016	2017	2018	2019
Noviembre	3,28	3,88	3,05	
Diciembre	3,89	4,4	4,71	
Promedio	3,80	3,71	3,71	3,76
LimInf	2,93	2,75	3,01	3,6
LimSup	4,65	4,54	4,71	4,01

Nota. SITUR Magdalena. En <https://www.siturmagdalena.com/indicadores/receptor>

En Resumen, los escenarios para estimar la proyección de la demanda hídrica por el sector de servicios turísticos en la ciudad de Santa Marta, para la localidad 1 y 2, que es donde la cuenca del Manzanares abastece de agua están en (Tabla 65);

Tabla 65. Escenarios para el sector servicios (turismo).

Escenarios	Optimista	Pesimista	Probable
Número de días	3	5	4

La ecuación para estimar el consumo estará en función de

$$DHSS \frac{V * C * E}{1000}$$

Donde;

DHST = Demanda Hídrica Sector Servicios

V = No de Visitantes por año

C = Consumo de agua promedio por visitante turista

E = Escenario (expresado en número de días pernoctados)

Teniendo como base lo descrito anteriormente, para la ciudad de Santa Marta, se presenta las siguientes condiciones, respecto al sector servicios (Tabla 66).

Tabla 66. Variación anual de la Demanda hídrica (m³/s) para el sector servicios (Turismo) bajo diferentes escenarios.

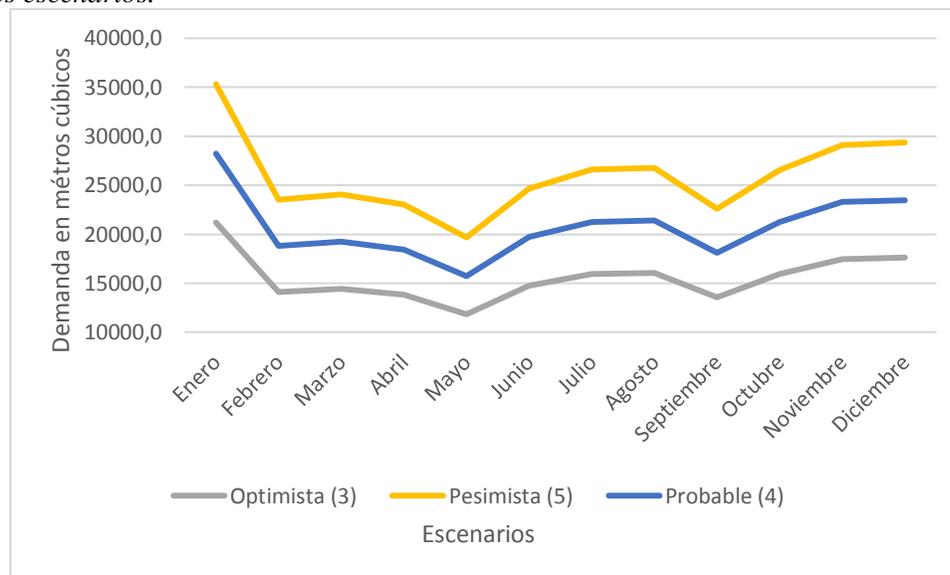
Mes	No Visitantes	Consumo Lts/día	Optimista	Pesimista	Probable (4) días m ³ /día
			(3) días m ³ /día	(5) días m ³ /día	
Enero	12177	580	21187,3	35312,2	28249,8
Febrero	8106	580	14104,5	23507,5	18806,0
Marzo	8304	580	14448,4	24080,6	19264,5

Mes	No Visitantes	Consumo Lts/día	Optimista (3) días m ³ /día	Pesimista (5) días m ³ /día	Probable (4) días m ³ /día
Abril	7948	580	13829,8	23049,7	18439,8
Mayo	6791	580	11816,9	19694,8	15755,8
Junio	8495	580	14782,0	24636,7	19709,4
Julio	9165	580	15947,7	26579,5	21263,6
Agosto	9224	580	16049,7	26749,5	21399,6
Septiembre	7796	580	13565,4	22609,0	18087,2
Octubre	9161	580	15940,4	26567,4	21253,9
Noviembre	10036	580	17463,1	29105,1	23284,1
Diciembre	10117	580	17604,4	29340,7	23472,5

Nota. Elaborado por los autores.

Tendencia del consumo de agua en el sector servicios en diferentes escenarios, para las localidades 1 y 2 de la ciudad de Santa Marta, y considerando que un turista consumo de cada persona equivalente a 580 litros por día, según la literatura consultada (Núñez, 2006).

Figura 111. Variación anual de la demanda hídrica para el sector servicios (turismo) bajo diferentes escenarios.



Nota. Elaborado por los autores.

En resumen, se tendría que para satisfacer las necesidades de agua para el sector servicios con diferentes escenarios se necesitan potencialmente al año.

Tabla 67. Demanda hídrica total del sector servicios (turismo) bajo diferentes escenarios.

Escenario	Optimista	Pesimista	Probable
Demanda en m ³	186.739,6	311.232,6	248.986,1
Demanda en Mm ³	0,1867	0,3112	0,2489

Nota. Elaborado por los autores.

Por otro lado, y teniendo en cuenta las cifras del flujo de pasajeros⁷ para el departamento del Magdalena, se presenta un incremento acelerado en la terminal aérea, destacándose a nivel nacional.

Tabla 68. No de visitantes que ingresaron por el terminal aéreo de la ciudad de Santa Marta, durante el periodo comprendido entre 2009-2019

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
No de Visitantes	258633	399092	318585	492702	621065	598283	715483	749413	820046	977562	566775

Nota. SITUR Magdalena. En <https://www.siturmagdalena.com/indicadores/receptor>

Gráficamente, el comportamiento de los visitantes en el departamento del Magdalena, a través de su puerto aéreo es;

Figura 112. Número de personas que ingresaron a la terminal aérea de la ciudad de Santa Marta.



Nota. Estadísticas nacionales del tráfico aéreo, CITUR, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

⁷ Llegada de pasajeros aéreos nacionales en vuelos regulares, estadísticas nacionales del tráfico aéreo, CITUR, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, en: http://www.citur.gov.co/estadisticas/df_pax_aereos_nacionales/all/15#gsc.tab=0.

Esto indica, que en una década se ha incrementado constantemente los visitantes a la ciudad de Santa Marta por medio de su terminal aéreo, con un promedio de 592.512 visitantes por año, con una desviación de 217.984 visitantes, y un r^2 del 68%, que muestra un modelo con ajuste moderado. Es de resaltar que Santa Marta también presenta un turismo proveniente de cruceros que en la última década sus cifras muestran incrementos considerables (Tabla 69).

Tabla 69. número de visitantes total, de cruceros que llegan a la ciudad de Santa Marta, durante el periodo 2010-2019.

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
No de Visitantes	8684	6658	2768	2563	3988	10973	14168	13289	17529	12637

Nota. Estadísticas nacionales del tráfico aéreo, CITUR, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

Toda esta población intermitente en la ciudad, durante cierto periodo de tiempo, requieren de servicios de alojamiento y restaurante, que a su vez se asume un consumo de agua. Pero teniendo en cuenta, que los visitantes en el tráfico aéreo, son habitantes continuos de la ciudad, se debe considerar la población que efectivamente si es turista, y para esto es prudente utilizar como una población turista efectiva, aquella población que visita las áreas protegidas, en especial el PNN Tayrona, para esto las cifras se describen en (Tabla 70);

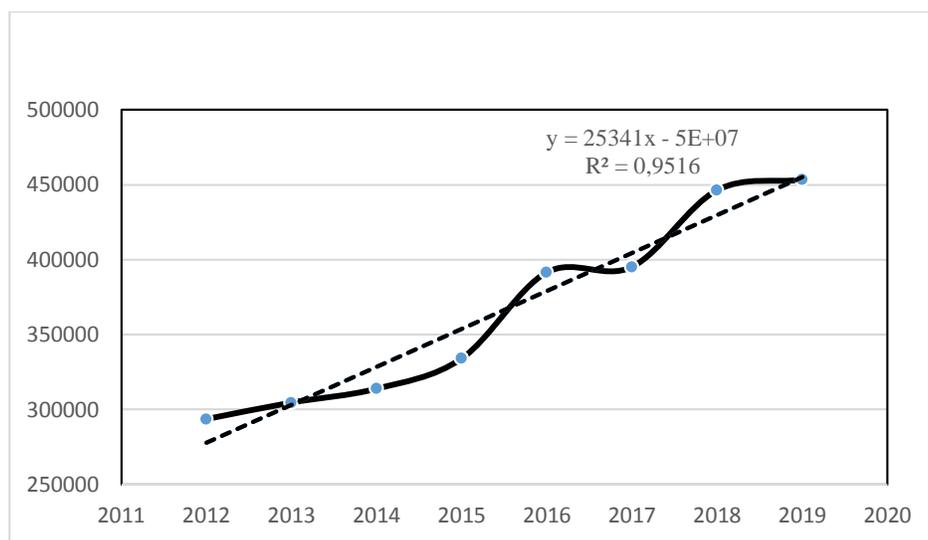
Tabla 70. No de visitantes que ingresaron al PNN Tayrona durante el periodo 2012-2019.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
No de Visitantes	293525	304575	313796	333965	391442	395143	446299	453312
% de incremento		3,6	2,9	6	14	0,9	11,4	1,5

Nota. Estadísticas nacionales del tráfico aéreo, CITUR, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

Al tomar estas cifras, se tiene que durante los últimos años el incremento de turistas es notable, de aproximadamente 300.000 visitantes al año, a casi 450.000, que efectivamente si llegan a la ciudad de Santa Marta con fines turísticos, para un promedio de 366.507 visitantes y desviación de 63.631 visitantes, pero además, con los datos expuestos anteriormente se obtiene el porcentaje de incremento año tras año, y en promedio el incremento del flujo de visitantes es de 6%, con la ecuación del modelo $y = 2534 x - 5E+07$ con R^2 del 95%, se puede decir que para los años siguiente se espera un incremento de visitantes de.

Figura 113. No de visitantes al PNN Tayrona, que se pueden considerar visitantes turistas a la ciudad de Santa Marta.



Nota. Elaborado por los autores con los datos de Estadísticas nacionales del tráfico aéreo, CITUR, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

Tabla 71. Proyección del No de visitantes turistas durante el periodo 2020-2023.

Año	No de turistas
2020	480.511
2021	509.341
2022	539.902
2023	572.296

Con base en esta información se describen los escenarios Optimistas, pesimista y Probable, teniendo en cuenta el número de visitantes y agregándole el número de días que pueden pernoctar (optimista = 1 día; pesimistas = 5 días; probable = 3 días) y considerando que un turista consumo de cada persona equivalente a 580 litros por día, según la literatura consultada (CEOE, Núñez Cacho de Águila, J.).

Y Atendiendo a la siguiente expresión;

$$DPA = \frac{V * C * E}{1000}$$

Donde;

DPA = Demanda Potencial de Agua

V = No de Visitantes por año

C = Consumo de agua promedio por visitante turista

E = Escenario (expresado en número de días pernoctados)

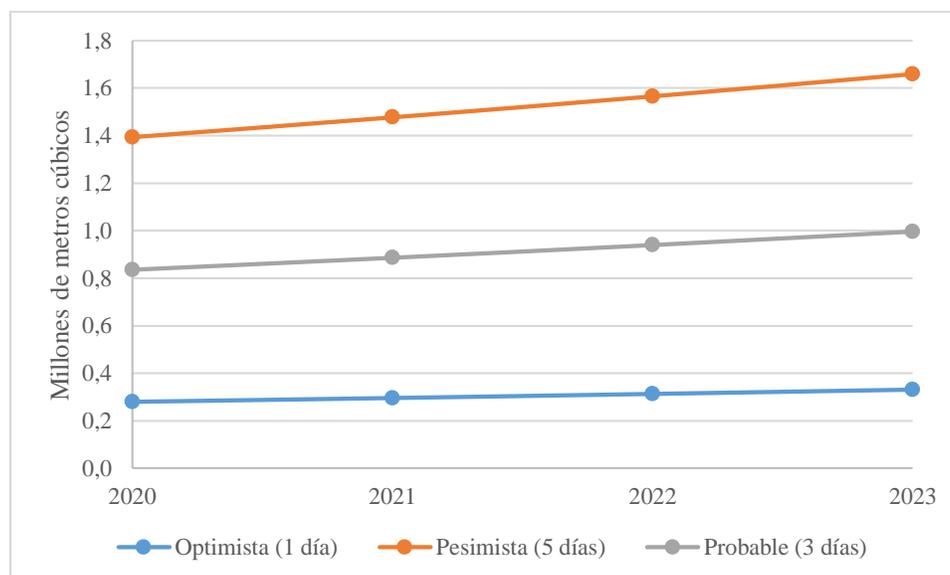
Tabla 72. Proyección de la demanda hídrica total para el sector turismo efectivo, bajo diferentes escenarios durante el periodo 2020-2023.

Año	No de turistas	Consumo Lts/día	Optimista (1 día) Mm ³	Pesimista (5 días) Mm ³	Probable (3 días) Mm ³
2020	480.511	580	0,2787	1,393	0,836
2021	509.341	580	0,2954	1,477	0,886
2022	539.902	580	0,3131	1,566	0,939
2023	572.296	580	0,3319	1,660	0,996

Nota. Elaborado por los autores.

* Datos sin incluir el flujo de visitantes por cruceros, que se estima en 10.000 visitantes aproximadamente

Figura 114. Proyección de la demanda hídrica total para el sector servicios (turismo efectivo) bajo diferentes escenarios, durante el periodo 2020-2023.



Nota. Elaborado por los autores.

En resumen, para satisfacer las necesidades de agua para el sector servicios con el indicador de turistas que ingresaron al PNN Tayrona, con diferentes escenarios se necesitan potencialmente al año.

Tabla 73. Demanda promedio de agua requerida para el sector servicios bajo diferentes escenarios, para el periodo 2020-2023.

Escenario	Optimista	Pesimista	Probable
Demanda en Mm ³	0,3048	0,152	0,914

Nota. Elaborado por los autores.

Esto refleja claramente, que teniendo en cuenta este flujo de visitantes, la oferta de servicios de alojamiento, restaurante y demás, incrementa, y a su vez, el consumo de agua para atender este flujo de visitantes es proporcional. Estos escenarios son el resultado del análisis en la tendencia del flujo de turismo efectivo a la ciudad de Santa Marta.

Sector Agrícola

Para estimar la proyección de la demanda hídrica en el sector agrícola, se considera las políticas regionales de productividad agropecuaria descritas en el plan de desarrollo del distrito de Santa Marta 2020-2023⁸, donde se espera para los próximos 4 años, se mejoren 300 ha de cultivo de café, y se apoye a 400 pequeños productores para aumentar la producción, donde como mínimo esos pequeños productores deben tener al menos 1 ha, eso significa en un incremento en al menos 700 hectáreas como mínimo que requerirán de un consumo hídrico superior al actual.

Y para el caso de la definición de los escenarios, se considera el sistema de riego como el mecanismo que permite generar la eficiencia de los mismos, y a su vez, permite reducir la presión del recurso hídrico sobre la red hídrica del río Manzanares, implementando un sistema de riego eficiente puede disminuir la presión entre un 50 a un 90%, esta eficiencia esta descrita en la (Tabla 74), Si no se implementa un sistema de riego, sería el escenario probable, y el escenario pesimista, es el incremento de ha cultivadas en al menos un 10% del actual. por tanto, los escenarios para la estimación de la demanda hídrica quedarán como los descritos en (Tabla 75);

Tabla 74. Valores de eficiencia de los sistemas de riego

Tipo de riego	Eficiencia
Aspersión	0,8
Gravedad	0,5
Goteo	0,9
Aspersión y Gravedad	0,65
Aspersión y Goteo	0,8

Nota. ENA 2014.

⁸ Plan de desarrollo del Distrito de Santa Marta, eje estratégico 3 Cambio con oportunidades en la innovación, competitividad y emprendimiento, línea 3.2 Agricultura con innovación apoyados en la nueva agencia departamental de innovación y competitividad.

Tabla 75. Descripción de los escenarios para la estimación de la demanda hídrica en el sector agrícola.

Escenario	Optimista	Pesimista	Probable
Descripción	Con al menos un sistema de riego eficiente de un 50%	Incremento de un 10% adicional de coberturas agrícolas, sin sistema de riego	Incremento de ha por fortalecimiento institucional agrícola, sin sistema de riego.

Nota. Elaborado por los autores.

Tomando como referencia el estado actual de la demanda, y la proyección del desarrollo agrícola en la ciudad de Santa Marta, se espera que en la cuenca se incremente en al menos 150 ha de pequeños productores, teniendo en cuenta que la ciudad prioriza sobre las 3 cuencas de relevancia que son (Piedras, Manzanares y Gaira), y el mejoramiento de 300 ha, donde se espera que de esas 300 ha, al menos 100 sean en la cuenca del Manzanares, por tanto el ajuste en el incremento se daría en las categorías Café con sombrío pasando de 13 a 113 ha, y mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos incrementando de 130 a 230 ha. Y agregándole el factor de corrección de la eficiencia en el riego, para los diferentes escenarios tendríamos que;

Escenario Optimista

COBERTURA	Área (Ha)	Área (%) en la cuenca	Requerimiento Hídrico (Mm ³ /Ha)/año	Demanda Promedio anual (Mm ³)/año
Café con semisombra sombrío	113,26	0,56		0,000
Café con sombrío	623,96	3,09		0,000
Mango	50,00	0,25	0,0058597	0,146
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	281,00	1,39	0,0126797	1,781
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	3,98	0,02	0,0126797	0,025
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	327,57	1,62	0,0134308	2,200
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,99	0,24	0,0126797	0,304

Mosaico de pastos y cultivos	10,21	0,05	0,0134308	0,069
Otros cultivos permanentes arbóreos	23,78	0,12	0,0017852	0,021
TOTAL	1481,74	7,33		4,54699748

Escenario Pesimista

COBERTURA	Área (Ha)	Área (%) en la cuenca	Requerimiento Hídrico (Mm³/Ha)/año	Demanda Promedio anual (Mm³)/año
Café con semisombra sombrío	126,26	0,62		0,000
Café con sombrío	685,96	3,39		0,000
Mango	60,00	0,30	0,0058597	0,352
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	310,00	1,53	0,0126797	3,931
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	5,00	0,02	0,0126797	0,063
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	350,00	1,73	0,0134308	4,701
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	55,00	0,27	0,0126797	0,697
Mosaico de pastos y cultivos	12,00	0,06	0,0134308	0,161
Otros cultivos permanentes arbóreos	25,00	0,12	0,0017852	0,045
TOTAL	1629,21	8,06		9,9496725

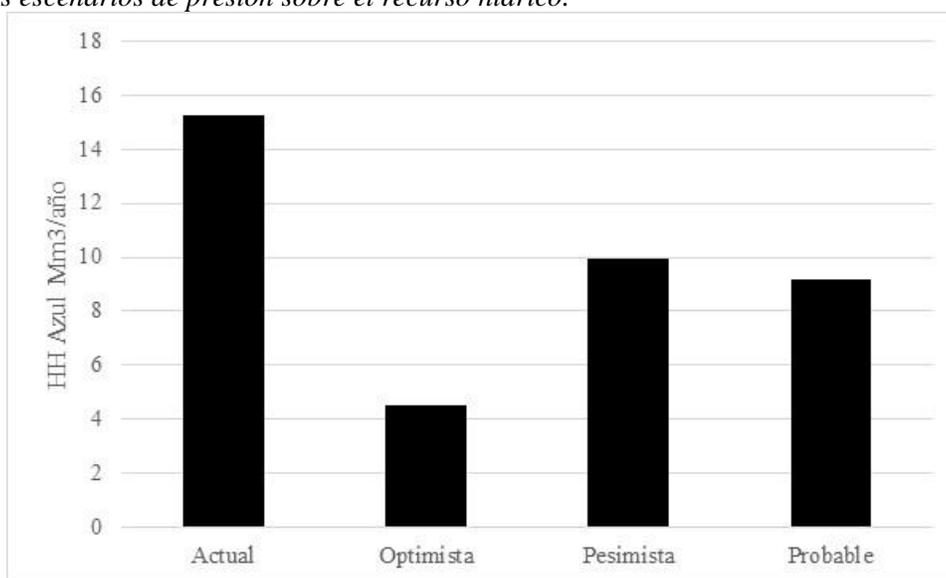
Escenario Probable

COBERTURA	Área (Ha)	Área (%) en la cuenca	Requerimiento Hídrico (Mm³/Ha)/año	Demanda Promedio anual (Mm³)/año
Café con semisombra sombrío	113,26	0,56		0,000

Café con sombrero	623,96	3,09		0,000
Mango	65,00	0,32	0,0058597	0,381
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	281,00	1,39	0,0126797	3,563
Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	3,98	0,02	0,0126797	0,050
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	327,57	1,62	0,0134308	4,400
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	47,99	0,24	0,0126797	0,609
Mosaico de pastos y cultivos	10,21	0,05	0,0134308	0,137
Otros cultivos permanentes arbóreos	23,78	0,12	0,0017852	0,042
TOTAL	1496,74	7,40		9,18188972

Con base en la actual situación de coberturas agrícolas, y la proyección del incremento de coberturas por el fortalecimiento institucional y los diferentes escenarios (Optimista, Pesimista y Probable), se plantea que la proyección de la demanda hídrica para los próximos años es;

Figura 115. Proyección de la demanda hídrica agrícola para la cuenca del río Manzanares, bajo diferentes escenarios de presión sobre el recurso hídrico.



Nota. Elaborado por los autores.

Sector Ecológico

Se espera que el caudal ecológico permanezca igual al actual de 0,48 m³/seg, expresado en Mm³/año es igual a 15,13. sin embargo, pueden existir variaciones conforme a la variación hidrometeorológica, y los cambios en los usos de la tierra, que afecta los volúmenes de agua en la cuenca. Por tanto, planteando escenarios de vulnerabilidad, se recomienda que el caudal pueda mantener los sistemas socio-ecológicos y sus servicios ecosistémicos que alberga actualmente.

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA TOTAL MULTISECTORIAL

En la cuenca del río Manzanares, los sectores para estimar la demanda son; Ch, Css, Cpff y Csa, las demás actividades según lo establecido en el decreto 1076 del 2015 (decreto único reglamentario sector ambiente) no se encuentran en la cuenca. Por tanto, atendiendo a los diferentes escenarios para la cuenca del río Manzanares, la proyección de la demanda hídrica se describe en (Tabla 76):

$$Dh = Ch + Css + Cpff + Csa$$

Tabla 76. Proyección de la demanda multisectorial total para el río Manzanares, bajo diferentes escenarios, durante el periodo 2020-2023.

Año	Escenario	CH	Css	Cpff	Csa	Total Demanda Hidrica Mm3/año
2020	Optimista	73,53	0,2787	15,13	4,54	93,48
	Pesimista	76,47	1,393	15,13	9,94	102,93
	Probable	75,71	0,836	15,13	9,18	100,86
2021	Optimista	72,26	0,2954	15,13	4,77	92,45
	Pesimista	78,15	1,477	15,13	10,44	105,19
	Probable	76,61	0,886	15,13	9,64	102,27
2022	Optimista	70,71	0,3131	15,13	5,01	91,16
	Pesimista	79,54	1,566	15,13	10,96	107,19
	Probable	77,2	0,939	15,13	10,12	103,39
2023	Optimista	69,14	0,3319	15,13	5,26	89,86
	Pesimista	80,9	1,66	15,13	11,51	109,20
	Probable	77,74	0,996	15,13	10,63	104,49

Nota. Elaborado por los autores.

Al realizar un análisis detallado por cada año y bajo diferentes escenarios tenemos que; la situación del recurso hídrico que se demandará para el periodo 2020-2023, aumentará progresivamente, exceptuando el escenario optimista, donde la reducción de la demanda será del 4% (Figura 116). Sin embargo, esto solo es posible realizando las acciones u obras que

permitan disminuir las pérdidas en la red de abastecimiento y distribución del agua, y se fomenten procesos de autoregulación en el consumo.

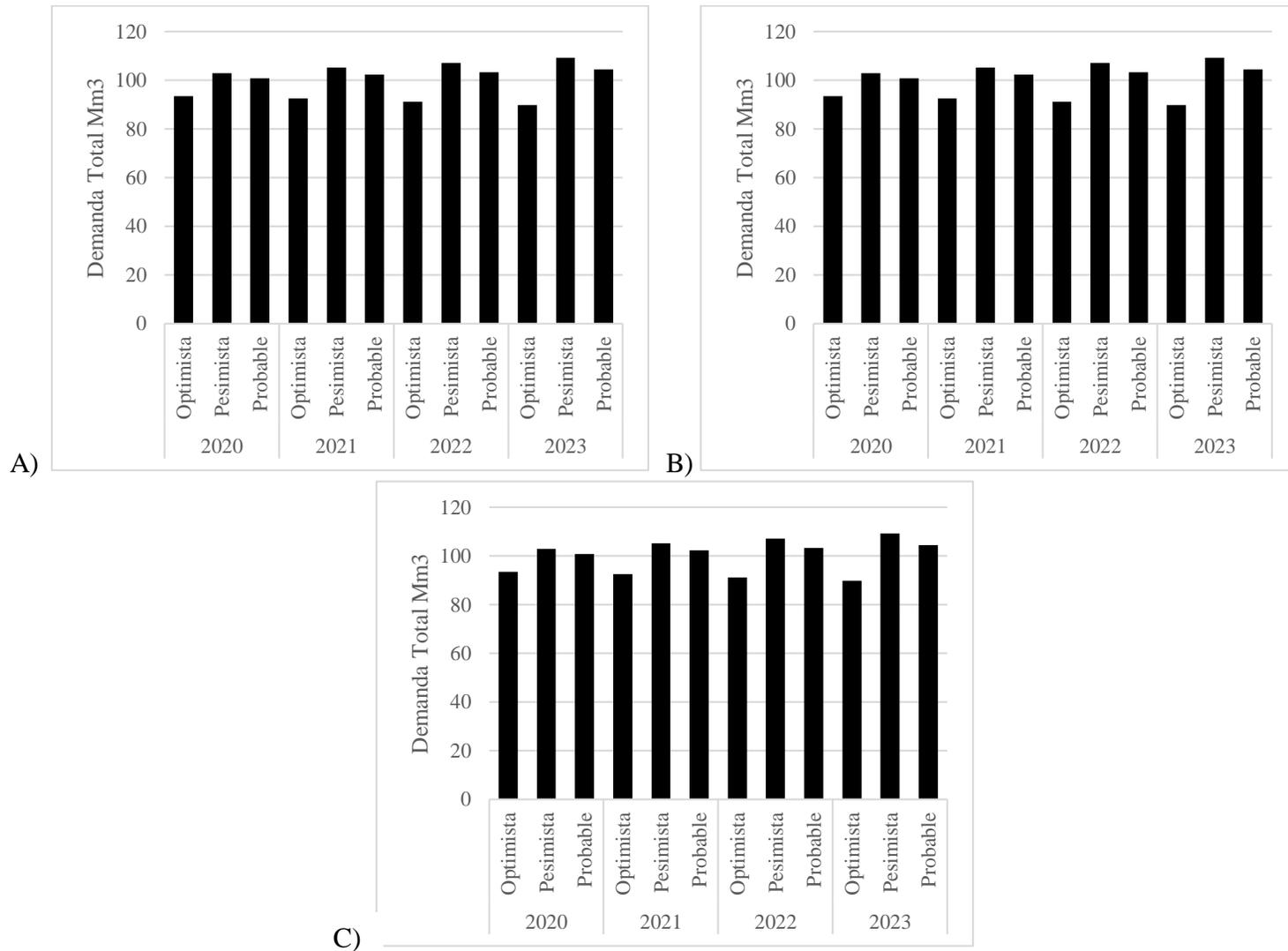


Figura 116. Proyección de la demanda total en la cuenca del río Manzanares, bajo diferentes escenarios de gestión del recurso hídrico durante el periodo 2020-2023. A; escenario optimista, B; escenario Pesimista y C; Escenario probable

Por otro lado, el uso predominante en la proyección de la demanda hídrica, es en el uso consumo humano, para satisfacer las necesidades de la población de la ciudad de Santa Marta, mientras que los otros usos son de baja proporción respecto al total, la baja proporción de cultivos mayores a 25 ha, no permiten realizar la estimación de este sector con mayor detalle, pero se asume unos consumos por las categorías de mosaicos de cultivos(Figura 117, Figura 118, Figura 119).

Es de resaltar que bajo la proyección es al incremento de la demanda hídrica, exceptuando el escenario optimista, donde se plantea la necesidad que en el fomento de impulsar los programas agrícolas del distrito de Santa Marta durante el periodo 2020-2023, se tenga en cuenta el fortalecimiento de los sistemas de riego que permitan bajar la reducción en la presión de estos consumos, y que eso permita incorporar un % de agua al consumo humano que ya se encuentra en déficit (Figura 117, Figura 118 y Figura 119).

Bajo este análisis, se mantuvo constante la demanda para el sector de preservación de flora y fauna, y la demanda para el sector de servicios, se mantuvo muy baja, debido a que solo se estimó para la población turista efectiva (Figura 117, Figura 118 y Figura 119).

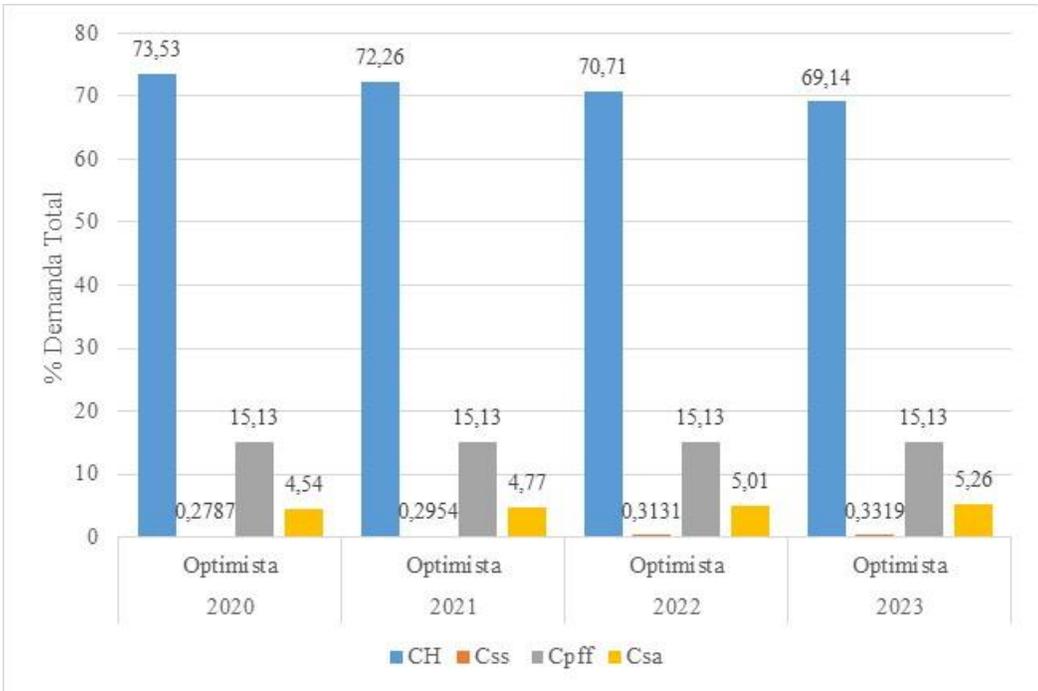


Figura 117. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario optimista, durante el periodo 2020-2023.

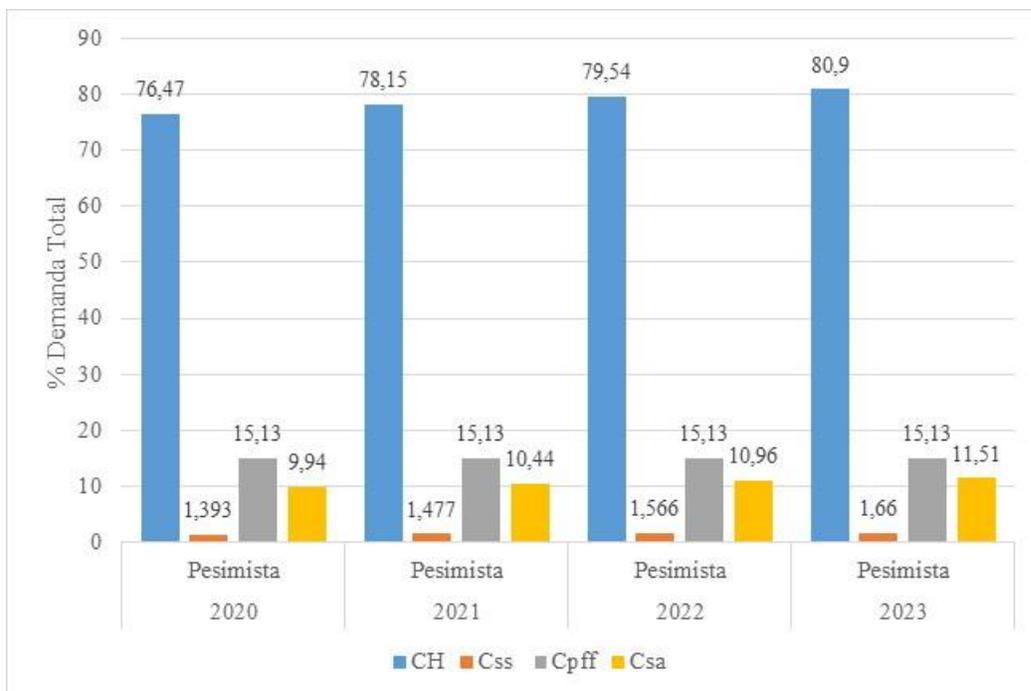


Figura 118. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario pesimista, durante el periodo 2020-2023.

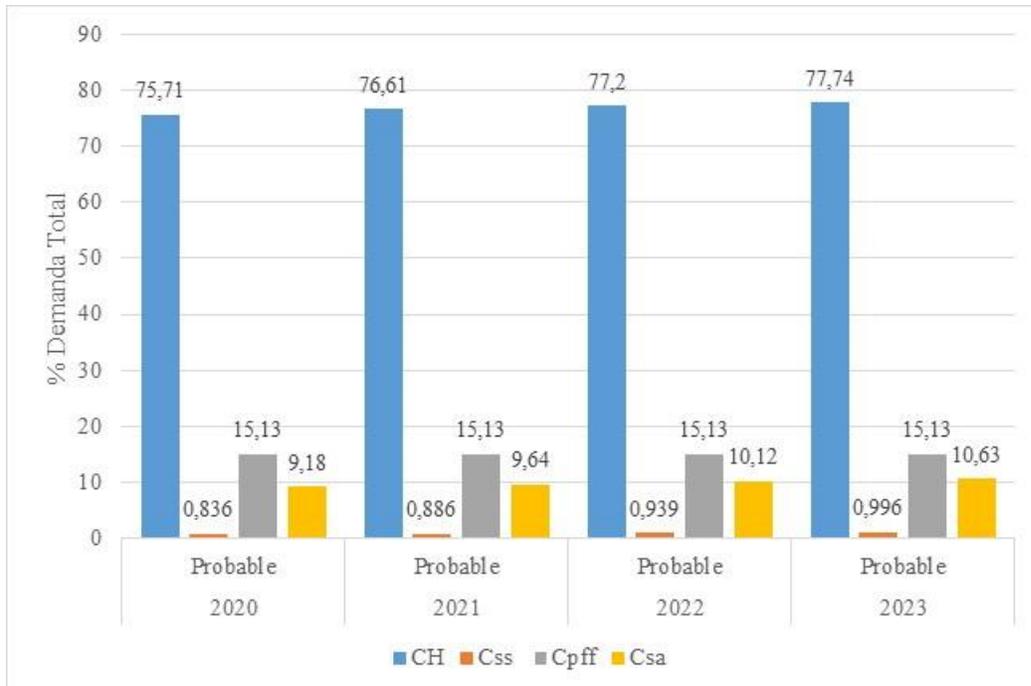


Figura 119. Porcentaje de la demanda proyectada total en los diferentes sectores de análisis, bajo el escenario probable, durante el periodo 2020-2023.

MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

SELECCIÓN DEL MODELO

En un modelo de calidad del agua es necesario evaluar la capacidad predictiva del modelo en condiciones hidrológicas y ambientales diferentes a las observadas en la calibración. Por este motivo, la selección del modelo implica tener en cuenta las características del cuerpo hídrico, el tipo de contaminantes a simular y los objetivos de la simulación. Por lo anterior y debido a que la norma exige tener en cuenta parámetros como DBO, DQO, SST, pH, nitrógeno y fósforo se decide utilizar el modelo Qual2k. Adicionalmente es un modelo de uso libre y ha sido ampliamente usado en Colombia y se puede consultar en la literatura.

Descripción del Sistema Hídrico A Modelar

La cuenca del río Manzanares se localiza en el Departamento del Magdalena en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en su flanco norte, entre las coordenadas 11°08'N y 11°16'N, y entre 74°02'W y 74°13'W. La cuenca limita al este con la cuenca del río Piedras, al sur con la cuenca del río Gaira y al oeste con el mar Caribe. El río Manzanares tiene una longitud aproximada de 32,5 Km, nace en la Cuchilla de San Lorenzo, en un paisaje de montañas con un relieve de filas y vigas a una elevación aproximada de 2275 msnm y desemboca en el mar Caribe en la playa conocida como Los Cocos junto a la bahía de Santa Marta.

Características Hidráulicas

A continuación, se presentan los datos batimétricos recolectados en los putos de monitoreo. En (Tabla 77) se describe de manera sinóptica la geometría, así como la velocidad y el caudal en cada una de las secciones.

Tabla 77. Características de la sección transversal en cada uno de los puntos de monitoreo.

Estación	Coordenadas		Ancho inundable (m)	Ancho lamina agua (m)	Profundidad media (m)	Área Mojada (m ²)	Vel media (m/s)	Caudal (m ³ /s)
	X (oeste)	Y (Norte)						
1	74° 6'40.07"	11°13'39.93"	34.2	7.1	0.22	1.56	0.46	0.72
2	74° 7'23.79"	11°14'14.64"	20.6	2.83	0.13	0.37	0.44	0.16
3	74° 8'21.78"	11°14'18.84"	32	4.28	0.12	0.51	0.19	0.10
4	74° 9'10.70"	11°13'50.69"	55	4.2	0.19	0.80	0.13	0.10
5	74° 9'50.71"	11°13'51.13"	17	4.7	0.13	0.61	0.13	0.08
6	74°10'27.82"	11°13'49.98"	22.5	6.9	0.08	0.55	0.46	0.25
7	74°11'15.82"	11°13'45.06"	18.5	5.5	0.07	0.39	0.25	0.10
8	74°11'32.52"	11°13'51.98"	21.5	4.3	0.09	0.39	0.22	0.09
9	74°11'52.29"	11°13'40.04"	22.6	3.8	0.04	0.15	0.18	0.03
10	74°12'15.56"	11°13'39.31"	15	2.59	0.13	0.34	0.16	0.05

Nota. Elaborado por los autores.

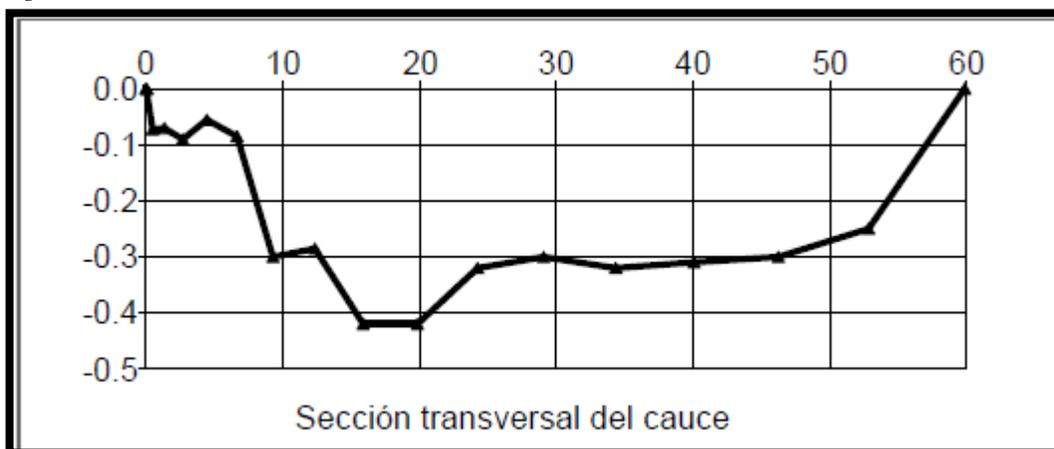
En (Tabla 78; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se pueden ver las mediciones para determinar profundidad promedio en la sección 1 en donde inicia el tramo de simulación. En (Figura 120) se puede observar la sección transversal.

Tabla 78. Características de la sección transversal levantada, en el río Manzanares.

L (m)	h (m)	L (m)	h (m)
0	0	3.96	0.42
0.44	0.073	4.4	0.32
0.88	0.07	4.84	0.3
1.32	0.09	5.28	0.32
1.76	0.055	5.72	0.31
2.2	0.085	6.16	0.3
2.64	0.3	6.6	0.25
3.08	0.285	7.04	0
3.52	0.42		

Nota. Elaborado por los autores.

Figura 120. Sección transversal en el inicio del tramo de simulación del río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

DATOS METEOROLÓGICOS

Los parámetros meteorológicos requeridos por el modelo se obtuvieron a partir de estudios ambientales desarrollados en la zona, y de las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de la Universidad Tecnológica 15015120 y la estación del aeropuerto Simón Bolívar 15015050.

Para alimentar el modelo se estimó a partir de las series reportadas por las estaciones los valores promedio de los parámetros, con los cuales se alimentó el modelo, a excepción de la radiación solar que se usó la serie horaria del día 31 de octubre de 2019. En (Tabla 79 y Tabla 80) se puede ver los valores de los parámetros usados.

Tabla 79. Valor de parámetros meteorológicos, usados en la modelación de calidad del agua del río Manzanares.

PARÁMETRO	VALOR PROMEDIO	FUENTE
Temperatura del Aire	28°C	Universidad tecnologica - aut [15015120]
Temperatura punto de rocío	22,8°C	Aeropuerto simon bolivar [15015050]
Velocidad del viento	3,5 m/s	Aeropuerto simon bolivar [15015050], guizao y diaz 2007
Nubosidad	20%	Aeropuerto simon bolivar [15015050]

Tabla 80. Serie de radiación solar horaria para el 31 de octubre de 2019.

HORA	RADIACIÓN SOLAR (W/m2)	HORA	RADIACIÓN SOLAR (W/m2)	FUENTE
0:00	3	12:00	596	
1:00	4	13:00	393	
2:00	4	14:00	267	
3:00	4	15:00	298	
4:00	4	16:00	420	Universidad
5:00	4	17:00	182	tecnologica -
6:00	5	18:00	27	aut
7:00	80	19:00	4	[15015120]
8:00	324	20:00	5	
9:00	501	21:00	6	
10:00	699	22:00	7	
11:00	793	23:00	7	

LONGITUD DE MEZCLA

La evolución de la contaminación aportada por un vertido en un curso de agua se basa en plantear adecuadamente la ecuación de balance de masa. Se puede comenzar estudiando justo en el punto de descarga. La primera e importante hipótesis que se realiza es suponer que la corriente de agua es homogénea en toda la sección en la que se produce el vertido, tanto lateral como verticalmente. Esto implica que las variables de calidad de agua también se comportan de forma homogénea en la sección. Poca distancia aguas abajo del punto de vertido se producirá la homogeneización, aunque dependerá de las características hidráulicas del cuerpo de agua. La hipótesis que se adopta implica que existe mezcla completa e instantánea en toda la sección a partir del punto en el cual se introduce el agua contaminada en el río.

La estimación de la longitud de mezcla puede realizarse con base en relaciones empíricas, que están basadas en el caudal, la pendiente del canal, el ancho superficial y la velocidad de flujo. Debido que la descarga se realiza desde la orilla se utiliza la ecuación propuesta Fischer et al., (1970) debido a su concordancia con las observaciones de campo. Esta formulación es ampliamente utilizada por el USGS de Estados Unidos y muchos organismos ambientales.

$$L_m = k * U \frac{B^2}{D_{lat}}$$

Aquí $k = 0,4$ cuando el vertimiento del soluto considerado se hace en la orilla; si el vertimiento se efectúa desde el centro del canal $k = 0,1$. De igual forma es necesario

determinar el coeficiente de dispersión lateral o transversal para un cauce natural, definido por Fischer et al. (1979), mediante la expresión:

$$D_{Lat} = 0,6. H. U^*$$

$$U^* = \sqrt{g S \frac{A}{T}}$$

Siendo; H la profundidad hidráulica; U* la velocidad cortante; S la pendiente; g hace referencia a la aceleración de la gravedad; A es el área de flujo y T el ancho superficial. En (Tabla 81) se muestran los resultados del cálculo de la longitud de mezcla para el tramo de estudio.

Tabla 81. Longitud de mezcla para el tramo de estudio.

Longitud de mezcla	Lm	m	152.95
Velocidad media	U	m/s	0,2018
Ancho	B	m	7,1
Coeficiente de dispersión lateral	DI	m ² /s	0,0266
Profundidad media	H	m	0,2197
Aceleración de la gravedad	g	m/s ²	9,8
Pendiente	S	m/m	0,0189

Nota. Elaborado por los autores.

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

En esta sección se presenta una descripción general y estado de calidad de agua del río Manzanares.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA GENERAL DEL RÍO MANZANARES

La caracterización físicoquímica del río Manzanares fue realizada por el INVEMAR, las muestras fueron recolectadas sobre el lecho del río por la universidad de Magdalena, en una red de 10 estaciones que comprende desde el corregimiento de Bonda (sector Las Cascadas) hasta el barrio Minuto de Dios en el casco urbano de la ciudad de Santa Marta. La entrega de muestras se realizó el mismo día, y una vez entregadas las muestras fueron procesadas en Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LabCAM) de acuerdo a los estándares establecidos por la normatividad vigente. En (Tabla 82) se pueden ver las coordenadas de los puntos de monitoreo a lo largo del tramo de estudio.

Tabla 82. Coordenadas de los puntos de monitoreo en el río Manzanares.

Punto	Coordenada	
	Latitud	Longitud
Punto 1	11°13'39.93"	74° 6'40.07"
Punto 2	11°14'14.64"	74° 7'23.79"
Punto 3	11°14'18.84"	74° 8'21.78"
Punto 4	11°13'50.69"	74° 9'10.70"
Punto 5	11°13'51.13"	74° 9'50.71"
Punto 6	11°13'49.98"	74°10'27.82"
Punto 7	11°13'45.06"	74°11'15.82"
Punto 8	11°13'40.48"	74°11'32.70"
Punto 9	11°13'51.98"	74°11'32.52"
Punto 10	11°13'40.04"	74°11'52.29"

A continuación, se muestran los resultados de las variables analizadas en el laboratorio, agrupados por categorías.

Sólidos: en (Tabla 83) se presentan los valores de sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables y sólidos disueltos totales, en las muestras de agua del río Manzanares.

Tabla 83. Valores de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS) y sólidos disueltos (SD) en el río Manzanares.

Punto de Muestreo	SST (mg/L)	SV (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
P1	5,20	1,14	4,20	71,4
P2	13,60	3,92	4,90	104,0
P3	35,20	5,93	28,50	124,0
P4	25,40	4,37	9,80	133,0
P5	30,30	5,13	17,50	113,0
P6	18,20	3,62	9,57	134,0
P7	18,80	3,61	11,10	127,0
P8	25,70	4,39	17,90	146,0
P9	24,10	4,15	15,30	130,0
P10	23,60	4,34	12,60	143,0
Valor de referencia	-	-	-	-

Nota. Elaborado por los autores.

Indicadores de Materia orgánica: Dentro de esta clasificación se agrupan las mediciones de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y contenido de carbono orgánico (COT) (Tabla 83).

Tabla 84. Contenido de DBO y COT; en aguas del río Manzanares.

Punto de muestreo	DBO (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	COT (mg/L)
P1	<4,23	<4,23	1,58
P2	<4,23	<4,23	1,92
P3	<4,23	<4,23	0,93
P4	<4,23	<4,23	1,26
P5	<4,23	<4,23	1,50
P6	<4,23	<4,23	1,89
P7	<4,23	<4,23	1,40
P8	<4,23	<4,23	1,29
P9	<4,23	<4,23	0,79
P10	<4,23	<4,23	1,27

Nota. Elaborado por los autores.

Nutrientes: En (Tabla 85) se presentan los resultados de las mediciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo Total y alcalinidad, si bien estas variables dependen del ingreso y transformación de la materia orgánica, pueden tener otras connotaciones ambientales al estimular la producción primaria en los cuerpos de aguas.

Tabla 85. Medición de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo total; y alcalinidad en aguas del río Manzanares.

Puntos de muestreo	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitrógeno			Ortofosfatos (µg/L)	Fósforo (µg/L)	Alcalinidad (mg/L)
			amoniacal (µg/L)	Nitritos (µg/L)	Nitratos (µg/L)			
P1	<0,65	5,07	<3,10	0,88	266,0	59,8	203	55,1
P2	6,18	7,23	<3,10	3,06	303,0	92,6	286	72,4
P3	7,52	9,34	176,00	3,47	3,9	114,0	329	77,8
P4	10,80	8,55	176,00	10,50	500,0	133,0	374	89,6
P5	10,70	8,58	106,00	19,30	506,0	128,0	374	90,7
P6	10,00	10,30	11,50	17,80	547,0	113,0	362	86,4
P7	9,94	10,30	<3,10	15,30	550,0	111,0	361	87,5
P8	9,80	10,20	49,70	21,00	584,0	125,0	360	84,2
P9	9,38	10,60	29,90	21,50	588,0	125,0	367	82,1
P10	9,36	10,00	34,90	23,00	592,0	127,0	346	87,5

Nota. Elaborado por los autores.

Contaminantes orgánicos: En (Tabla 86) se presentan los resultados del análisis de las variables indicadoras de contaminación orgánica antropogénica tales como: fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites, hidrocarburos disueltos y dispersos, y cianuros. Dado que la legislación nacional presenta los valores en términos de CL₅₀, y aún no se han realizado las mediciones pertinentes por parte del cliente para establecer estas concentraciones, como criterio de comparación se presentan los valores de referencia de la NOAA, valores para efectos agudos.

Tabla 86. Contenido de fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites (G y A), hidrocarburos disueltos y dispersos (HPDD), y cianuros en aguas del río Manzanares.

Punto de Muestreo	Fenoles (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)	G y A (mg/L)	HPDD (µg/L)	Cianuros (µg/L)
P1	<0,60	<0,5	<1,00	1,46	<10
P2	<0,60	<0,5	<1,00	1,94	<10
P3	<0,60	<0,5	<1,00	9,46	<10
P4	<0,60	<0,5	<1,00	7,16	<10

Punto de Muestreo	Fenoles (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)	G y A (mg/L)	HPDD (µg/L)	Cianuros (µg/L)
P5	<0,60	<0,5	<1,00	9,52	<10
P6	<0,60	<0,5	<1,00	7,92	<10
P7	<0,60	<0,5	<1,00	12	<10
P8	<0,60	<0,5	<1,00	14,2	<10
P9	<0,60	<0,5	<1,00	11,2	<10
P10	<0,60	<0,5	<1,00	12,8	<10
Valor de referencia para efectos agudos	10,2	-	-	-	22

Nota. Elaborado por los autores.

Metales disueltos: En esta clasificación se agrupan las mediciones de los metales disueltos: hierro (Fe), mercurio (Hg), plomo (Pb), calcio (Ca), magnesio (Mg) (Tabla 87). Dado que la legislación nacional presenta los valores en términos de 0.01CL₅₀, y aún no se han realizado las mediciones pertinentes para establecer estas concentraciones, como criterio de comparación se presentan los valores de referencia de la NOAA, valores para efectos crónicos.

Tabla 87. Contenido de metales disueltos en aguas del río Manzanares: Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Calcio (Ca), Magnesio (Mg).

Punto de Muestreo	Fe (µg/L)	Hg (µg/L)	Pb (µg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
P1	32,8	<0,30	<2,0	1,7	6,18
P2	26,0	<0,30	<2,0	3,42	10,8
P3	37,0	<0,30	<2,0	3,65	13,5
P4	42,5	<0,30	<2,0	4,89	17,9
P5	34,0	<0,30	<2,0	4,93	17
P6	32,8	<0,30	<2,0	4,84	15,2
P7	45,5	<0,30	<2,0	5,27	15,1
P8	28,8	<0,30	<2,0	4,47	14,4
P9	30,8	<0,30	<2,0	4,68	14,2
P10	59,0	<0,30	<2,0	4,58	19,2
Valor de referencia	1000	0.77	2.5		

Punto de Muestreo	de	Fe ($\mu\text{g/L}$)	Hg ($\mu\text{g/L}$)	Pb ($\mu\text{g/L}$)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
-------------------	----	------------------------	------------------------	------------------------	-----------	-----------

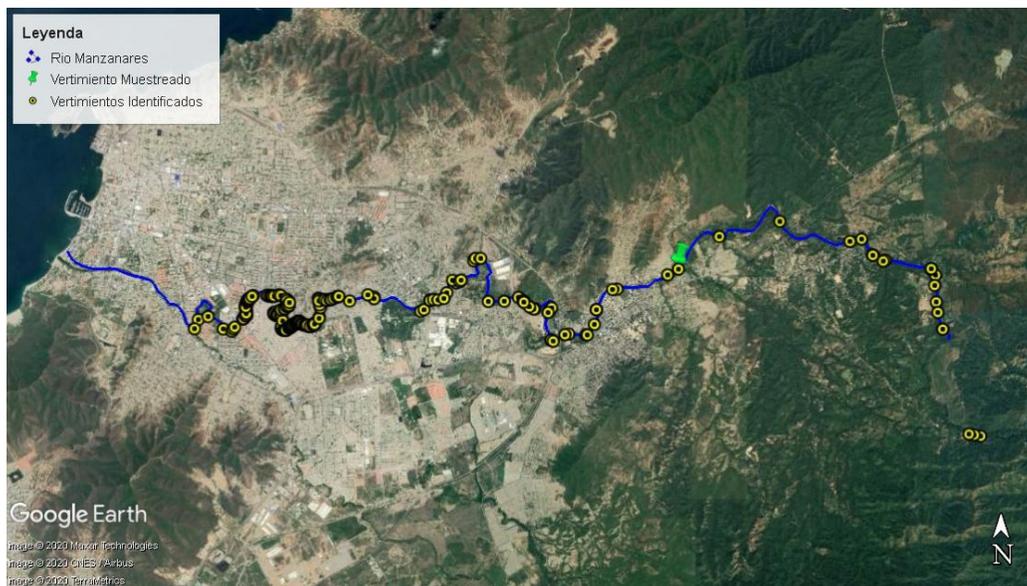
NOAA.
Buchman 2008.

Nota. Elaborado por los autores.

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS VERTIMIENTOS

Los vertimientos sobre el río Manzanares están compuestos en gran medida de aguas residuales domésticas, con gran carga de detergentes y sin ningún tratamiento previo. También hay una contribución de aguas residuales provenientes de lavaderos de carros ubicados en la ribera, y un porcentaje menor provenientes de pequeñas industrias alimentarias. (Guizao-R & Diaz-Bolaños, 2007). En la caracterización realizada para el presente estudio se identificaron en el tramo de estudio 202 puntos de vertimiento provenientes de viviendas. En todos los casos la forma como el vertimiento llegaba al río dificultó la toma de muestras debido a que los vertimientos no son constantes, se dificultaba también realizar un aforo de estos. Solo se pudo tomar muestras en un sitio, el cual corresponde a un caño que sí tiene un flujo constante. En (Figura 121) se puede ver la ubicación de los vertimientos identificados y el muestreado en el tramo de modelación del río Manzanares.

Figura 121. Ubicación de vertimientos en el tramo de modelación del río Manzanares.



El punto donde fueron recolectadas las muestras de vertimientos se encuentra en las coordenadas 11°14'2.80"N - 74° 8'38.29"O. El aforo del vertimiento es de 1,2 l/s, y se le realizaron los análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena, aplicando una metodología basada en: Standard Methods for the examination of water and wastewater de (APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation), 2012). En (Tabla 88) se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua residual.

Tabla 88. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra de agua residual.

Parámetro	Método	Muestra agua residual
DBO mg/LO ₂	Método incubación a 5 días y Modificación de azida 5210 B y 4500-O C	100,5
DQO mg/LO ₂	SM 5220 D - Método Fotométrico	320
pH	Método Electrométrico, SM 4500-H+ B	7,77
Sólidos sedimentables ml/L	SM 2540 F - Método Volumétrico Cono Imhoff	12,34
Sólidos suspendidos mg/L	SM 2540 D - Método Gravimétrico secado a 103°C - 105°C	44,45
Nitrógeno total mg/LN	SM 4500 N C 4500NH3B-C Destilación Volumetría	7,56
Nitrógeno amoniacal total mg/L N-NH ₃	SM 4500 N C 4500NH3B-C Destilación Volumetría	5,68
Nitritos mg/L	Sulfanilamida/colorimetría, SM 4500 - NO ₂ - B.	0,45
Nitratos mg/L	Electrodo de Ion Selectivo, SM 4500-NO ₃ - D	5,87
Fosfatos mg/L PO ₄	SM 4500 -P B,E - Método espectrofotométrico	0,65
Grasas y aceites mg/L	SM 5520 D - Método de Extracción Soxleth	76,5
Sustancias activas al azul de metileno SAAM mg/L	Espectrofotométrico S.M 5540 C	0,67

Nota. Elaborado por los autores.

De acuerdo con los resultados mostrados en (Tabla 88), la muestra de agua residual analizada requiere de un sistema de tratamiento para la remoción de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) contenido de nitrógeno, contenido de grasas y aceites para poder ser dispuestas en una fuente hídrica cercana o sobre el suelo, según lo estipulado en la resolución 631 de 2015⁹.

⁹ Resolución 631 del 17 de marzo del 2015, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.

Para poder alimentar el modelo se estimaron las cargas y los caudales de los vertimientos que no fueron levantados en campo a partir de la literatura, tal como el Reglamento del Sector de Agua y Saneamiento Básico RAS en el literal E, adoptado por la resolución 330 de 2017¹⁰. Así como lo estipulado en la Resolución 631 de 2015 en cuanto a las cargas máximas permisibles para vertimientos a cuerpos de agua superficiales.

Estimación de cargas de acuerdo al RAS 2000 literal E.

En el RAS se presentan unas cargas estimadas para viviendas de los principales parámetros fisicoquímicos, como se muestran en (Tabla 89).

Tabla 89. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas.

Parámetro	Per Cápita
DBO (g/hab./día)	50
SS (g/hab./día)	50
NH ₃ -N (g/hab./día)	8.4
N (g/hab./día)	12
P (g/hab./día)	0.473

Nota. Reglamento técnico sectorial para acueducto y saneamiento básico.

La dotación neta de agua por habitante es de 147 L/hab./día y un número de habitantes per cápita por vivienda de 6. Con estos datos se calculó el caudal aportado por cada vivienda:

$$Q = \frac{D_{neta} * Hab}{86400 s}$$

Donde:

Q= caudal de vertimiento (L/s)

Dneta = dotación neta (L/hab./día)

Hab= número de habitantes por vivienda per cápita.

Para calcular las cargas netas se aplica la siguiente ecuación:

$$C_{neta} = \frac{A_{per}}{D_{neta}}$$

¹⁰ Resolución 0330 de 8 de junio del 2017. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS.

Donde:

Cneta= carga contaminante neta (g/L)

Aper= aporte per cápita (g/hab./día)

Dneta= dotación neta (L/hab./día)

Aplicando la formula anterior se estimaron las cargas para cada parámetro, tal como se puede observar en (Tabla 90).

Tabla 90. Cargas estimadas de contaminantes.

Parámetro	Vivienda
DBO (g/L)	0.340
SS (g/L)	0.340
NH ₃ -N (g/L)	0.057
N (g/L)	0.082
P (g/L)	0.003

Nota. Reglamento técnico sectorial para acueducto y saneamiento básico.

MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MANZANARES

En esta sección se presentan los resultados de las modelaciones realizadas para la representación de la calidad del agua en el río Manzanares, en la zona rural y urbana del distrito de Santa Marta.

El modelo de calidad del agua QUAL2Kw fue ejecutado tal y como se describió en la metodología. La información general ingresada en cada hoja de trabajo del programa se puede resumir de la siguiente forma: parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomados en campo en las campañas de monitoreo, descripción de los tramos de la quebrada, constantes hidráulicas, selección de las constantes cinéticas de calibración, condiciones meteorológicas (temperatura del aire, velocidad del viento, nubosidad y sombra), y la información fisicoquímica correspondiente a los vertimientos.

CALIBRACIÓN

En esta parte del documento se presentan los resultados de la calibración del modelo. Considerando que la calibración se realizó a partir de la información de la campaña de monitoreo realizada para un tramo de 16.5 km del río Manzanares. La calibración se hizo manualmente para encontrar las constantes cinéticas de la corriente, donde estas constantes se mantuvieron fijas para los demás escenarios.

La calibración del modelo de calidad de agua fue realizada mediante el algoritmo genético (AG) y la función objetivo recomendada por (Pelletier, Chapra, & Tao, 2006) y (Kanel, Lee, Lee, & Pelletier, 2007). Esta permitió determinar las constantes cinéticas que se adaptan mejor para el río Manzanares. En (Tabla 91) se presentan las constantes cinéticas calibradas para la corriente, y se observa que los valores encontrados por el modelo se encuentran en los rangos establecidos en la literatura.

Tabla 91. Constantes calibradas para el río Manzanares.

Constante cinética	Abreviación	Unidades	Valor	Rango
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánico	VS – SSI	m/d	0.5	0 – 2
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa hidrólisis DBO slow	1/d	0.9	0 – 5
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa oxidación DBO- DBO slow	1/d	0.5	0 – 0.5
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida degradación	T. Oxidación DBO fast	1/d	1.5	0 – 5
Hidrólisis de nitrógeno orgánico	Hidrólisis NO	1/d	0.84	0 – 5
Velocidad de sedimentación de nitrógeno orgánico	VS-NO	m/d	0.25	0 – 2
Tasa de nitrificación de amonio	Tasa Nitrificación	1/d	8	0 – 10
Tasa de desnitrificación de nitratos (importante cuando existen condiciones anaeróbicas)	Tasa Desnitrificación	1/d	0.3	0 – 2
Coefficiente de transferencia por desnitrificación de sedimentos	CT-Desnitrificación Sed.	m/d	0.05	0 – 1
Hidrólisis del Fósforo Orgánico	Hidrólisis PO	1/d	2	0 – 5
Velocidad de sedimentación del Fósforo Orgánico	VS – PO	m/d	0.7	0 – 2
Velocidad de sedimentación del Fósforo Inorgánico	VS – PI	m/d	0.014	0 – 2

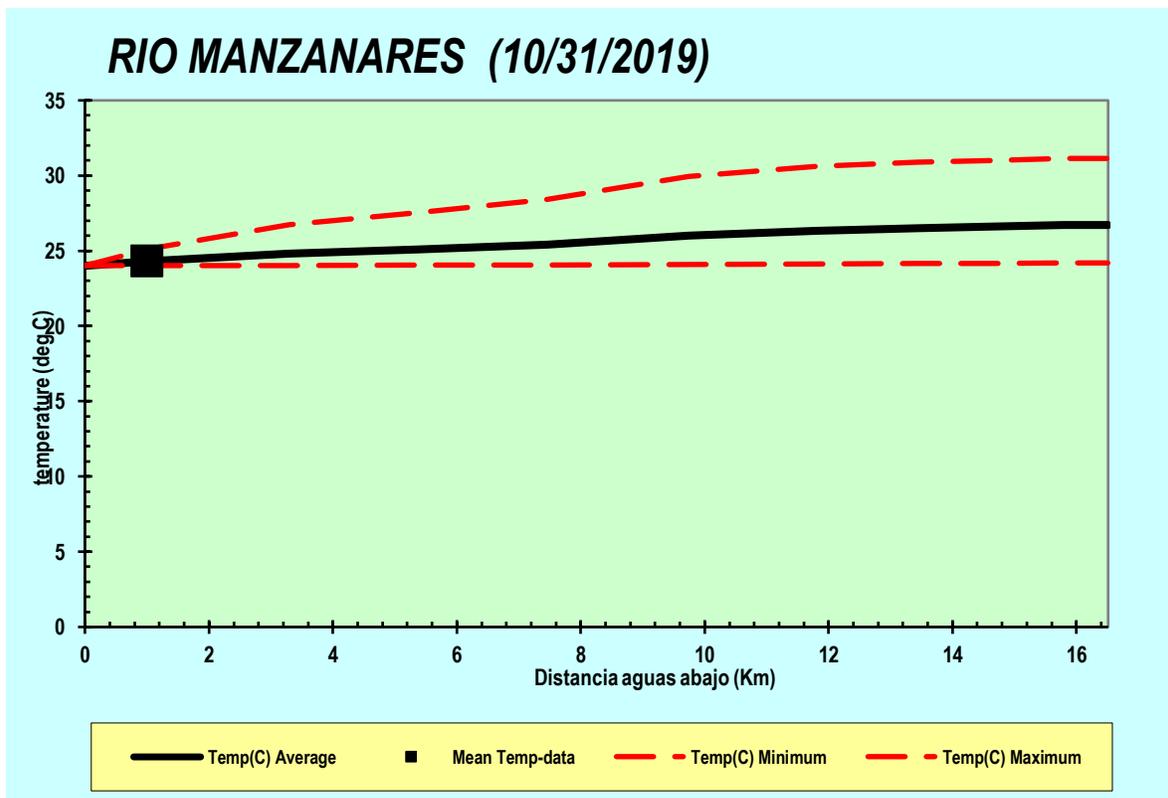
Nota. Elaborado por los autores.

Para la calibración no se agregó al modelo caracterización de vertimientos, ni de fuentes puntuales y difusas, por lo tanto, las condiciones aguas abajo del punto de entrada del tramo simulado deben ser muy similares.

El caudal es determinado por el software mediante los balances de masa, partiendo del caudal ingresado aguas arriba y los aportes por fuentes puntuales y fuentes difusas a lo largo de su recorrido. Es importante tener en cuenta que en este escenario al modelo solo se ingresó la información de caudal aguas arriba sin tener presente las fuentes puntuales y captaciones en la corriente, por tal razón el caudal de $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$ será constante en el tramo utilizado para la simulación.

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se desarrollan, e influye directamente en la disociación de sales y gases, por lo tanto, en la conductividad eléctrica y el *pH*. Un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, incrementando los sólidos disueltos y disminuyendo los gases (Jiménez, 2000). A mayores temperaturas, se tiene una mayor descomposición de los microorganismos que allí habitan y menor capacidad de solubilidad del oxígeno. Los resultados para la calibración de la temperatura se muestran en (Figura 122).

Figura 122. Calibración de la temperatura en el río Manzanares.



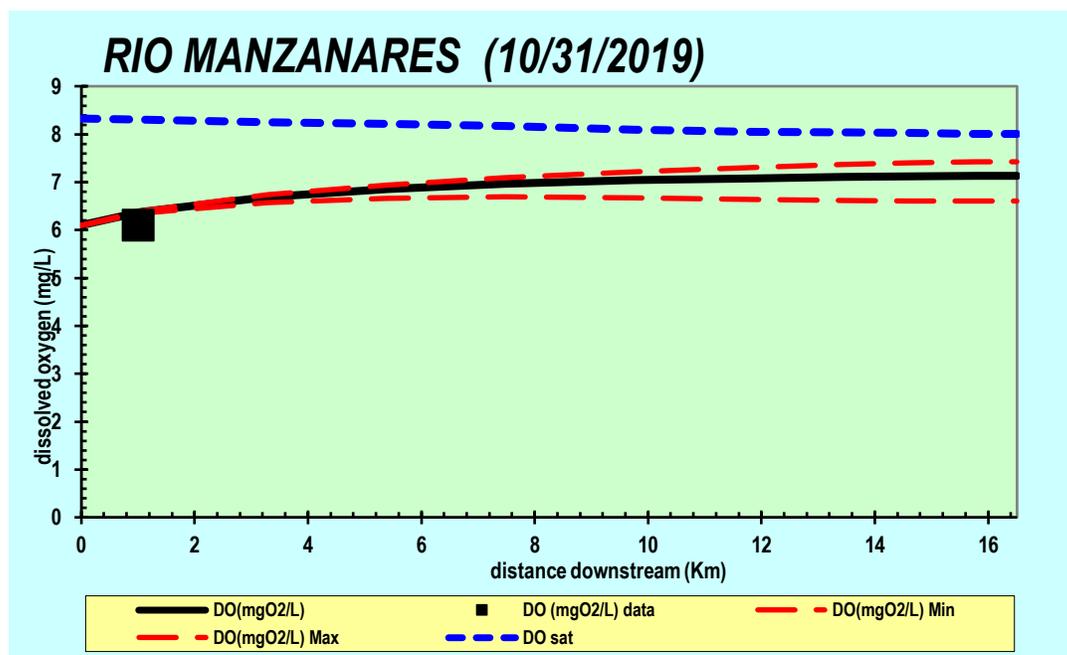
Nota. Elaborado por los autores.

De acuerdo con los datos de temperatura medidos durante la campaña de monitoreo, la temperatura para el punto aguas arriba es de 24°C aproximadamente. Posteriormente, conforme el río avanza en su recorrido la temperatura va aumentando gradualmente debido a la transferencia de calor de los elementos adyacentes, entre sedimentos, el agua y la atmósfera (Pelletier, Chapra, & Tao, 2006). La temperatura mínima se mantiene en los 24°C mientras que la máxima alcanza los 31°C al final del tramo de modelación. El resultado de la temperatura muestra un buen ajuste con los datos medidos en campo para la temperatura en los puntos de monitoreo a lo largo del tramo de estudio. A continuación, se presentan los resultados del modelo para el caudal, la temperatura, el oxígeno disuelto, la DBO rápida y los sólidos suspendidos totales respectivamente.

El oxígeno disuelto OD es un importante indicador de la calidad del agua ambiental. El OD en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, partiendo de la relación con la turbulencia de la fuente hídrica (que aumentan el OD) o sin velocidad (en los que baja el OD). Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 6 y 12 mg/l de O₂. Adicionalmente, las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. En pocas palabras uno de los parámetros más relevantes del grado de contaminación de una corriente está determinado por el nivel de oxígeno disuelto a lo largo de la corriente.

En la (Figura 123), se presentan los resultados para la calibración del oxígeno disuelto en el río Manzanares. La línea continua representa el pronóstico que realiza el modelo, el cuadrado negro representa el oxígeno disuelto medido en el punto aguas arriba durante la campaña de monitoreo, las líneas discontinuas rojas por debajo y por encima de la línea negra representan el mínimo y máximo oxígeno disuelto en la corriente, respectivamente, mientras que la línea azul indica el máximo oxígeno disuelto que se puede alcanzar a lo largo de la corriente (oxígeno disuelto de saturación).

Figura 123. Calibración del oxígeno disuelto en el río Manzanares.



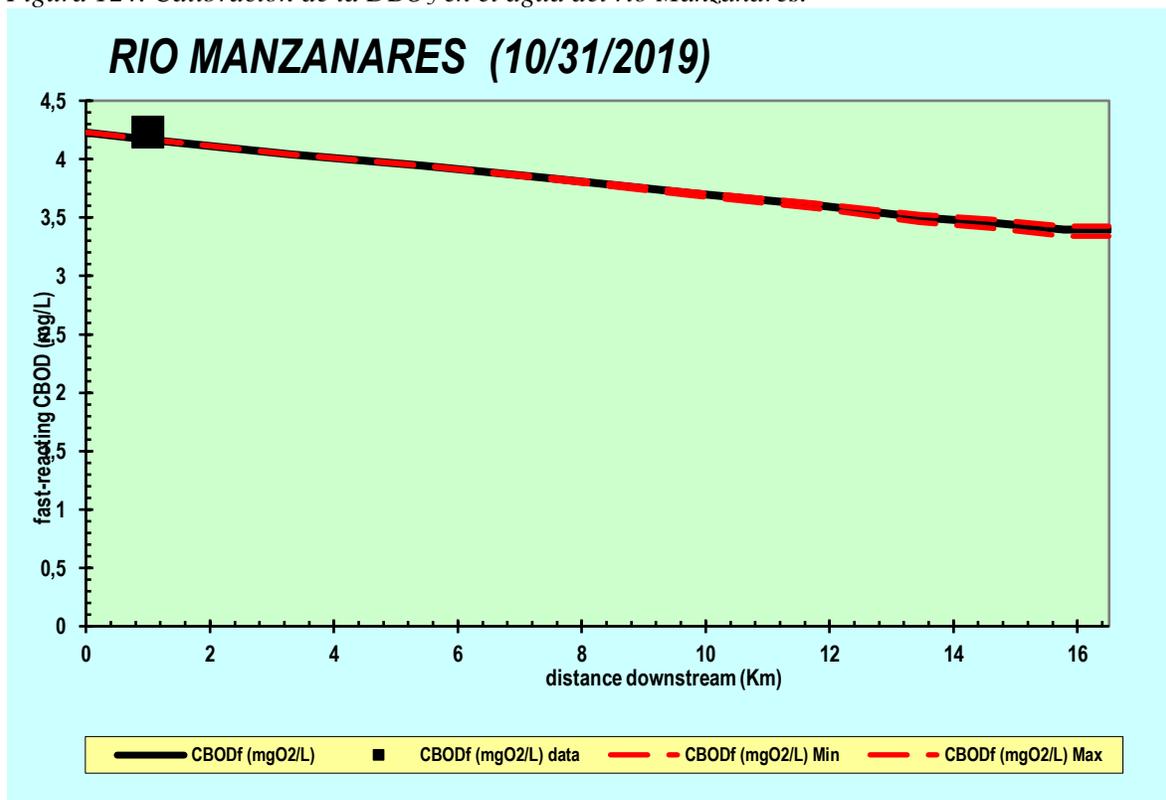
Nota. Elaborado por los autores.

El oxígeno disuelto medido en campo fue de 6,10 mgO₂/L. De acuerdo con la (Figura 39) se observa que a medida que se avanza en el tramo de estudio la concentración promedio de oxígeno disuelto en la corriente aumenta llegando hasta 7,13 mgO₂/L, lo que indica una buena concentración de oxígeno disuelto; y la predicción del modelo para el máximo oxígeno disuelto llega hasta 7,43 mgO₂/L, arrojando un valor muy cercano al oxígeno disuelto de saturación, lo que indica que es una corriente con buena capacidad de autodepuración. Estos resultados se deben a que aún no se han agregado características de vertimientos, pero si se observa las mediciones realizadas durante la campaña de monitoreo se encuentra que la concentración de oxígeno disuelto disminuye a medida que se va avanzando en el tramo, esto debido a que este es consumido en la degradación de la materia orgánica que llega al río en los distintos vertimientos a lo largo del tramo.

En la modelación del oxígeno disuelto, este componente se incrementa debido al proceso de fotosíntesis de las plantas, la biomasa de las algas de fondo y el fitoplancton. Así mismo, la concentración del oxígeno decrece debido al proceso de oxidación de la DBO rápida, por la respiración de las plantas y por los procesos de nitrificación. La reaeración debido a las condiciones hidráulicas del sistema que se está modelando, puede aportar o consumir oxígeno dependiendo si el oxígeno presente es inferior o superior al oxígeno de saturación respectivamente (Pelletier, Chapra, & Tao, 2006) y (Castro Huertas, 2015).

La demanda bioquímica de oxígeno se define de forma general como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias en el proceso de estabilización de la materia orgánica que potencialmente se puede descomponer bajo condiciones aeróbicas. Por otro lado, el modelo incluye una DBO rápida que normalmente la conocemos como DBO_5 y representa la materia orgánica que es rápidamente biodegradable, aumenta debido a la disolución de detrito, y se pierde por hidrólisis y oxidación. En cuanto a la DBO lenta hace referencia a la que normalmente se conoce como DBO_{21} . En el (Figura 124) se presentan los resultados para la calibración de la DBO_5 rápida en el agua en el río Manzanares.

Figura 124. Calibración de la DBO_5 en el agua del río Manzanares.

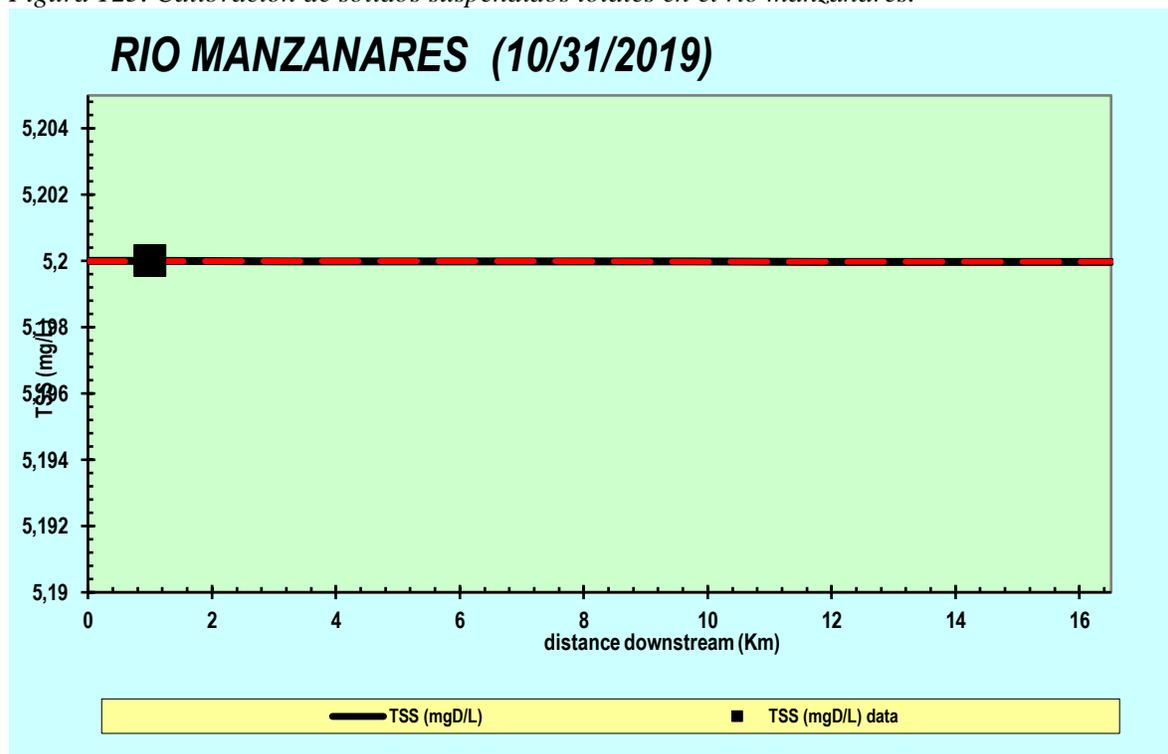


Nota. Elaborado por los autores.

La DBO_5 en el punto de inicio de la modelación es de $4,23 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y a medida que se va avanzando en el tramo esta se va disminuyendo, esto se debe a la autodepuración en el tramo del río por la ausencia de vertimientos. La DBO es el parámetro que más dificultades presenta para ser simulado, posiblemente por tratarse de un bioensayo donde son muchos los factores que afectan la medición, como por ejemplo la relación de la materia orgánica soluble a la suspendida, los sólidos sedimentables y los flotables, la presencia de hierro en su forma oxidada o reducida, la presencia de compuestos azufrados entre otros (Castro Huertas, 2015).

La concentración de sólidos inorgánicos puede afectar adversamente la calidad del agua de una corriente. A continuación, en la (Figura 125) se presenta la calibración de los sólidos suspendidos totales SST en el río manzanares.

Figura 125. Calibración de sólidos suspendidos totales en el río manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

La concentración de sólidos suspendidos totales determinada a partir de la campaña de monitoreo fue de 5,2 mg/L. En los resultados de la calibración del modelo se ve que este valor se mantiene constante a lo largo del tramo, debido a que no tiene vertimientos ni puntos de extracción dentro del tramo. Pero si se observa (Tabla 83) a medida que se avanza en el tramo en los demás puntos de monitoreo la concentración de SST aumenta significativamente, como consecuencia de los aportes de los distintos tributarios del río y los vertimientos a lo largo del tramo.

MODELO REGIONAL DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MANZANARES

De acuerdo (MADS, 2018), el modelo de calidad del agua requerido en el marco del PORH debe permitir orientar la toma de decisiones y la simulación de escenarios a escala regional. Por lo anterior, para la mayoría de las aplicaciones de PORH es recomendable la

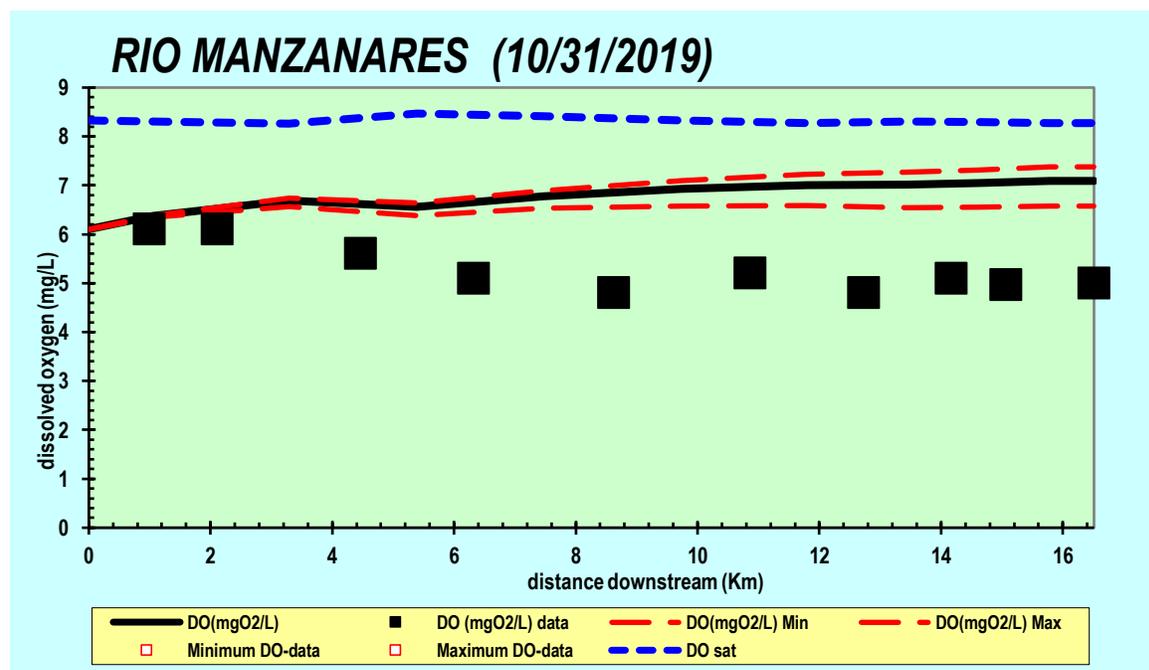
implementación de modelos unidimensionales de estado estable. Como es el caso del modelo Qual 2K que se está aplicando en el presente estudio. El modelo de calidad del agua a escala regional debe ser implementado de tal forma que sea posible simular perfiles de calidad de agua a lo largo de los cuerpos de agua de interés en el área de estudio.

Con el modelo ya calibrado se agregó la información de los vertimientos, y con esta se constituye el modelo regional de la calidad del agua del río Manzanares. El modelo tiene la capacidad de plantear distintos escenarios de la calidad del agua del río, y se constituye en una herramienta muy importante para el PORH de la cuenca que hace parte este río.

A continuación, se muestran los resultados del modelo con el vertimiento caracterizado, y las cargas estimadas para los demás vertimientos de acuerdo al RAS (2000).

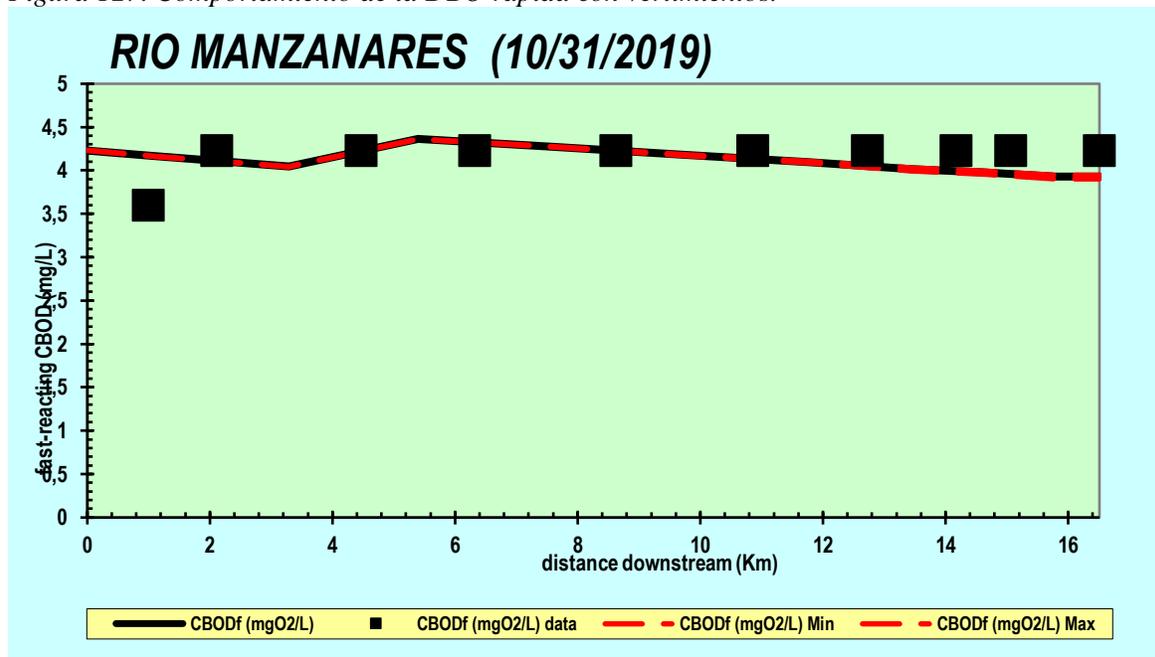
En la (Figura 126), se puede ver el comportamiento del oxígeno disuelto en el río cuando se le agregan los vertimientos. De acuerdo con la se puede observar que a medida que se avanza en el tramo la concentración de oxígeno disuelto va bajando, esto se debe a que es usado para degradar la materia orgánica que es agregada al río. Este comportamiento se puede explicar también con el comportamiento de la DBO rápida, que va aumentando espacialmente con la corriente, por lo cual se requiere mayor cantidad de oxígeno para su degradación. En la (Figura 127) se puede observar el comportamiento de la DBO.

Figura 126. Comportamiento del OD con vertimientos.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 127. Comportamiento de la DBO rápida con vertimientos.



Nota. Elaborado por los autores.

De acuerdo con los resultados de OD y DBO rápida presentados en (Figura 126 y Figura 127) se puede afirmar que en la actualidad el río Manzanares se encuentra en un estado de contaminación que excede su capacidad de autodepuración. Esta es la situación base y el modelo calibrado a partir del cual se pueden plantear los distintos escenarios de calidad del agua del río Manzanares.

ESCENARIOS HIPOTÉTICOS MODELADOS

En esta parte se presentan los resultados para los escenarios planteados partiendo de la calibración del modelo y teniendo en cuenta los datos recolectados en campo. Cabe resaltar que solo se tuvo la información de un vertimiento sobre el cauce y la carga orgánica y su respectivo caudal de los demás vertimientos identificados fueron estimados a partir de formulaciones teóricas recomendadas por el RAS literal E (2016).

En la (Tabla 92) se presenta el resumen de los escenarios modelados. Y posteriormente se muestra los resultados y análisis estadístico y físico de cada escenario propuesto, a excepción de la línea base que fue presentado en el apartado anterior con el nombre de modelo regional de la calidad del agua. Es importante aclarar que en las diferentes campañas de campo no se encontró tributarios sobre el río Manzanares, por tanto, no se presenta información al respecto.

Tabla 92. Resumen de escenarios de modelación planteados.

Escenario	Descripción	Cuerpo de agua receptor		Cargas puntuales (vertimientos)	
		Caudal	Calidad del agua	Caudal	Calidad del agua
Línea Base	Modelo regional calibrado			Caudal determinado en la caracterización del vertimiento. (1,2 L/s)	Condiciones determinadas en la caracterización fisicoquímica del vertimiento.
Carga Máxima Permisible	Vertimiento cumpliendo la resolución 631 de 2015. Se asignó a todos los puntos de vertimiento identificados, las cargas máximas permisibles de acuerdo a la resolución.	Caudal determinado en la campaña de monitoreo y aforo. (0,72 m ³ /s)			
Corto Plazo	Vertimiento con un caudal medio anual del río Manzanares.				De acuerdo a resolución 631 de 2015
Largo Plazo	Vertimiento con 50 % del máximo permisible de resolución 631 de 2015 y un caudal medio anual del río.	Caudal de la estación de aforo de bocatoma Santa Marta (1,72 m ³ /s)			50 % del máximo permisible de resolución 631 de 2015

Nota. Elaborado por los autores.

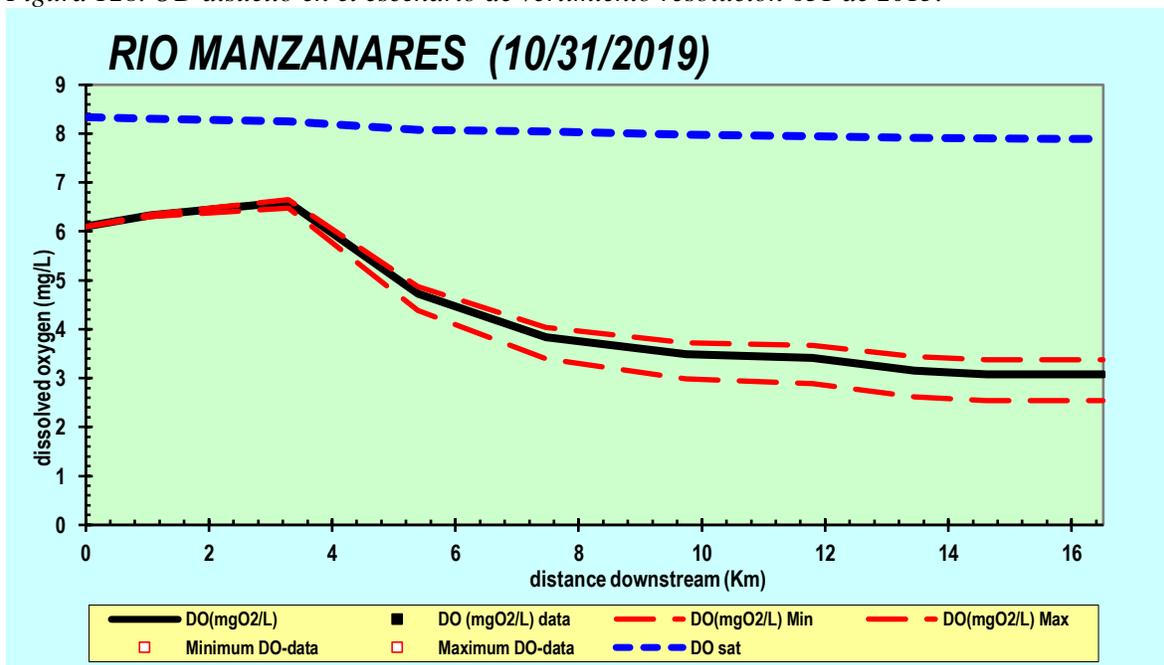
VERTIMIENTO CUMPLIENDO LA RESOLUCIÓN 631 DE 2015

Este escenario se planteó asignándole a todos los puntos de vertimiento los valores máximos permisibles para aguas residuales domesticas contemplados en la resolución 631 de 2015. Para analizar el efecto de estos vertimientos se presentan a continuación los

resultados de OD y DBO. En la (Figura 128) se puede observar el comportamiento del oxígeno disuelto para el escenario planteado, indicando que la concentración de éste disminuye significativamente respecto al escenario actual. En la actualidad el río Manzanares tiene una concentración promedio de OD de 5,28 mg/L, y en el escenario planteado esta concentración se disminuye a 4,26 mg/L. Dicho comportamiento se debe a que se aumentan las cargas de DBO, y el OD es consumido en la degradación de la materia orgánica.

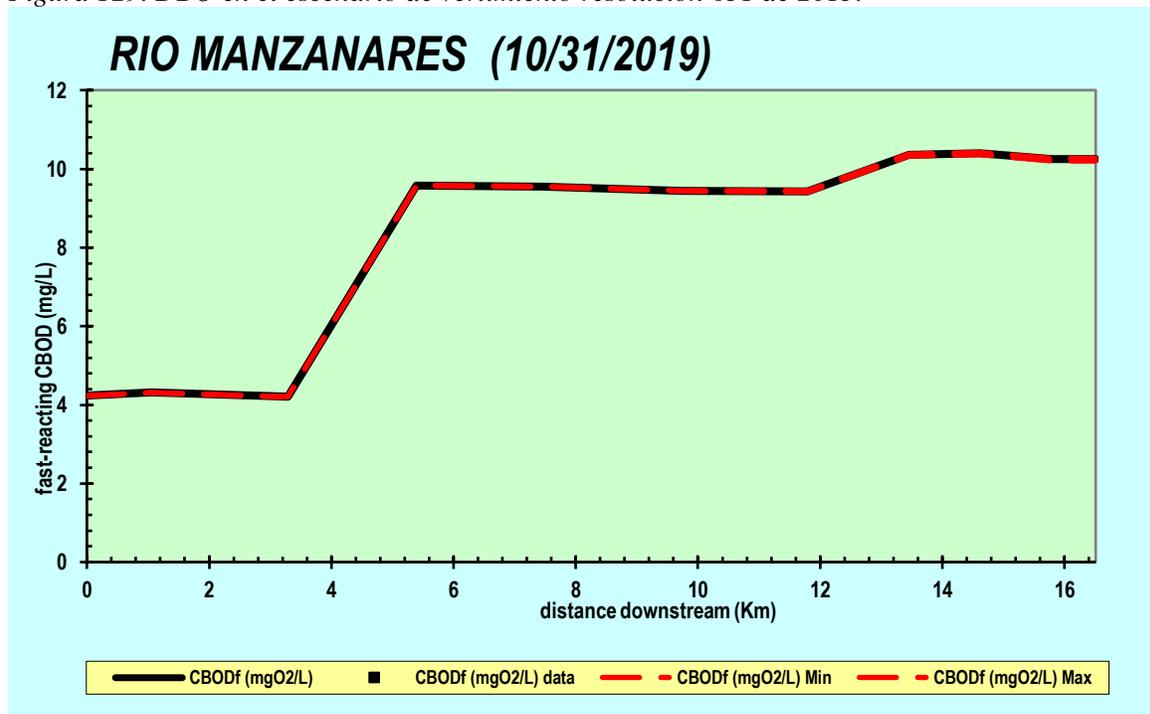
En la (Figura 129) se puede ver el comportamiento de la DBO para el escenario planteado, en el escenario actual en el río Manzanares tiene una DBO promedio de 4,11 mg/L y en el escenario planteado alcanza un valor de 8,37 mg/L.

Figura 128. OD disuelto en el escenario de vertimiento resolución 631 de 2015.



Nota. Elaborado por los autores.

Figura 129. DBO en el escenario de vertimiento resolución 631 de 2015.



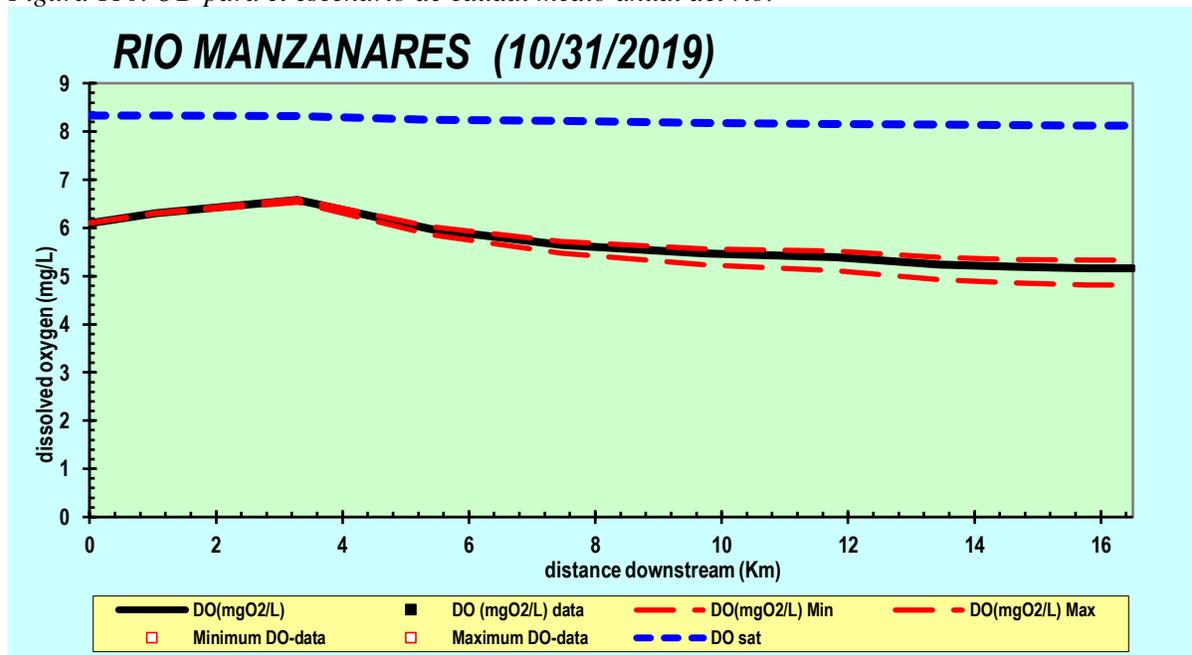
Nota. Elaborado por los autores.

De acuerdo con lo observado en (Figura 128 y Figura 129) se puede decir que en el escenario de vertimiento con los caudales máximos permisibles definidos en la resolución 631 de 2015, la calidad del agua del río Manzanares se vería significativamente afectada. Esto es una consecuencia asociada a la gran cantidad de vertimientos, llevando a que el río pierda su capacidad de autodepuración, con efectos que pueden ser extrapolados hacia las playas cercanas al sitio de desembocadura del río, debido a que el flujo llega a la desembocadura con una carga contaminante con valores significativamente altos.

VERTIMIENTO CON UN CAUDAL MEDIO ANUAL DEL RÍO MANZANARES

Este escenario se planteó asignando a la cabeza de agua el caudal medio anual, el cual es estimado con base en la información de la estación de aforo ubicada en la bocatoma del acueducto de Santa Marta cuyo valor es de 1,72 m³/s, asociando además las condiciones de vertimientos con los valores máximos permisibles establecidos por la resolución 631 de 2015. En (Figura 130) se puede observar el comportamiento del OD para este escenario.

Figura 130. OD para el escenario de caudal medio anual del río.

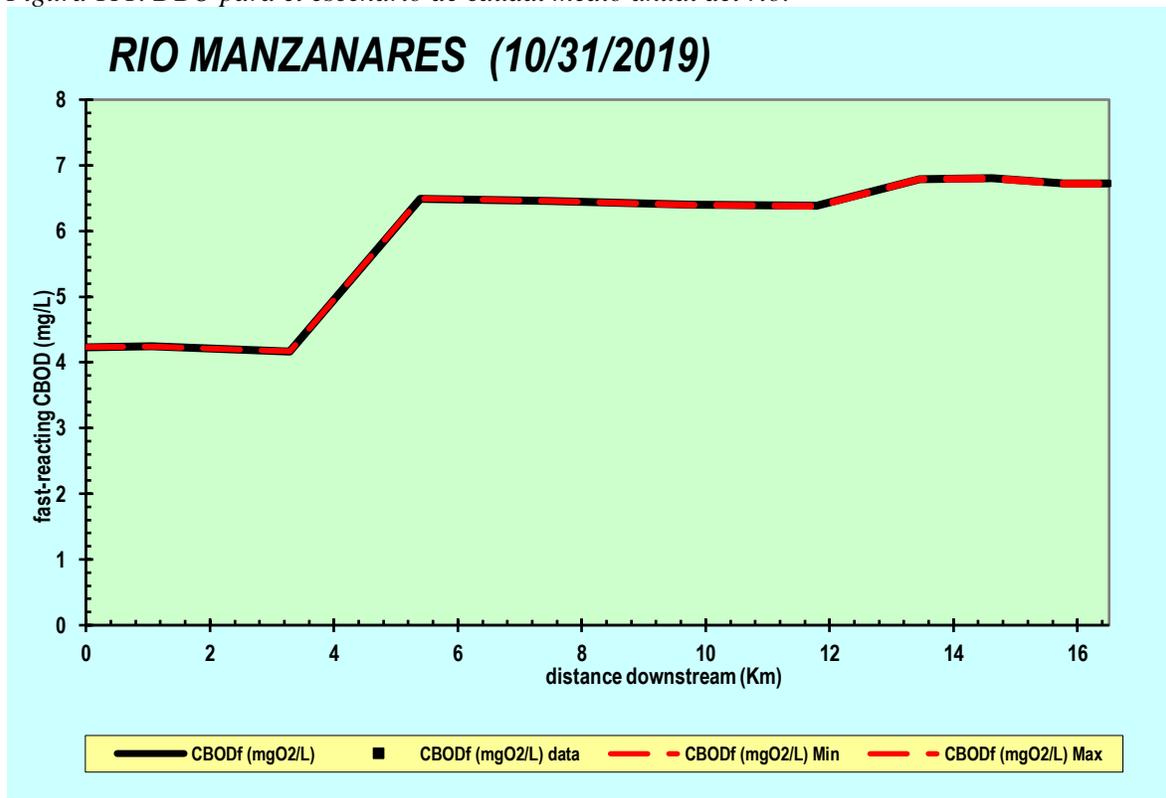


Nota. Elaborado por los autores.

En el escenario actual el OD promedio es de 5,28 mg/L, y para el escenario planteado es de 5,66 mg/L. Este leve aumento se debe a que al incrementar el caudal hay una mayor dilución de la carga contaminante. Esto se puede evidenciar también en el resultado de la DBO (Figura 131), que muestra el aumento de ésta respecto al escenario anterior en el que el río tenía el caudal medido en campo con un valor de 0,72 m³/s, y es significativamente menor.

En el escenario actual la DBO promedio es de 4,11 mg/L y en el escenario con caudal medio anual presenta un valor promedio de 5,95 mg/L. Esto evidencia el hecho, a mayor caudal del río, menos es el efecto que generan los vertimientos, debido a que se logra una mayor dilución de los contaminantes.

Figura 131. DBO para el escenario de caudal medio anual del río.

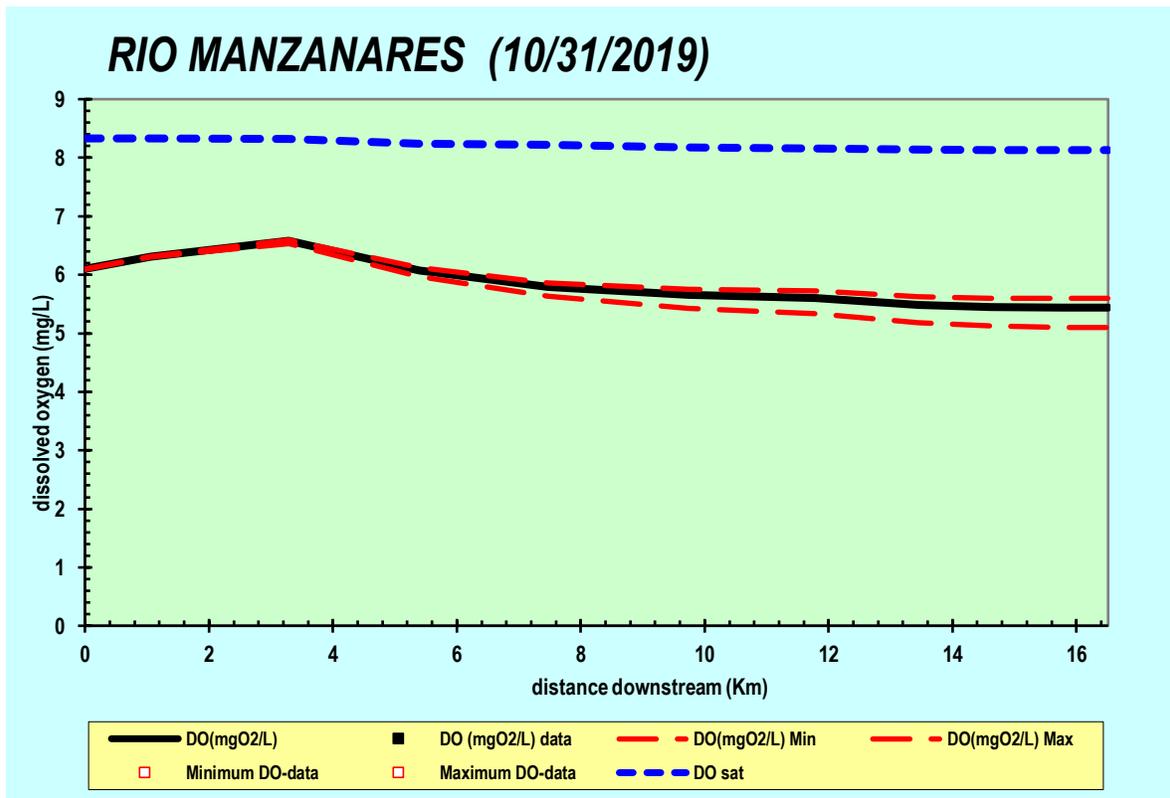


Nota. Elaborado por los autores.

Vertimiento Con 50 % del Máximo Permisible de Resolución 631 de 2015 y un Caudal Medio Anual del Río

En este escenario se contempla una remoción del 50 % en la carga contaminante de acuerdo a la resolución 631 de 2015 y el caudal medio anual. Además, se pretende analizar el efecto sobre la calidad del río en el caso de que sea llevado a cabo un tratamiento previo de los vertimientos antes de ser descargados al cauce. En (Figura 132) se muestra los resultados de OD para este escenario.

Figura 132. OD para el escenario de remoción del 50%.

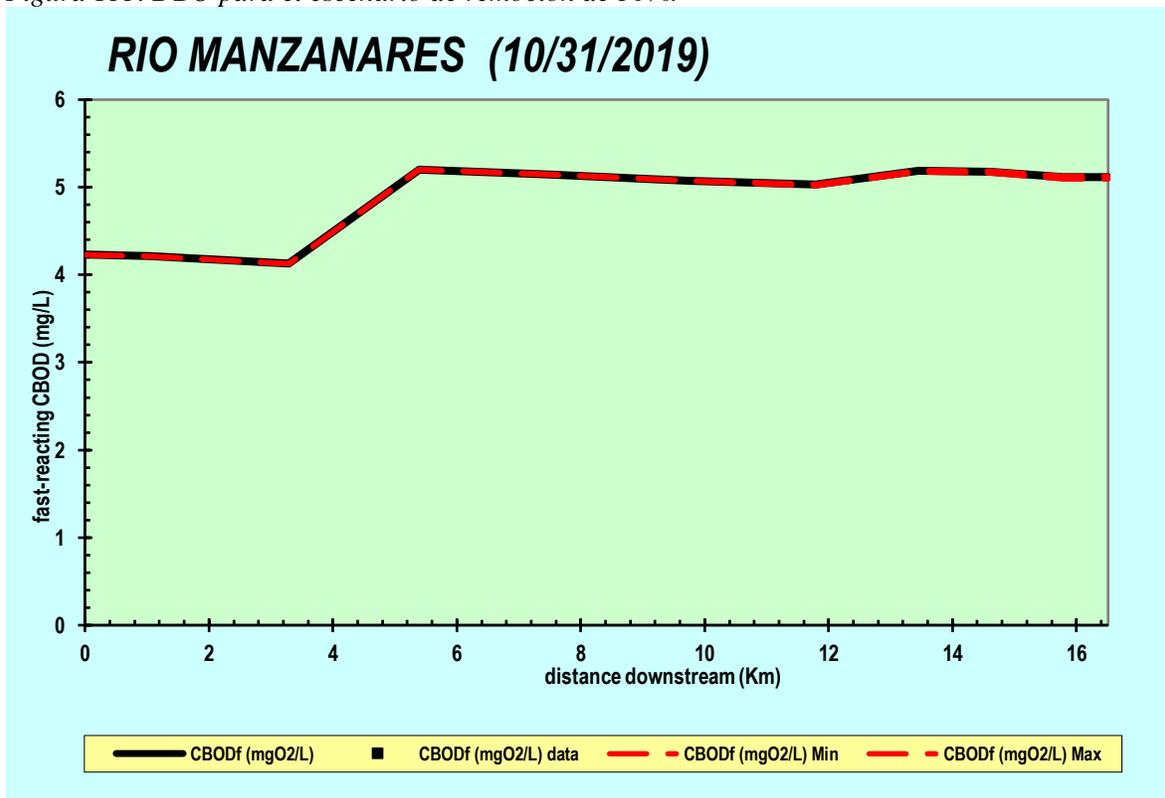


Nota. Elaborado por los autores.

En el escenario actual el OD promedio es de 5,28 mg/L, y para el escenario planteado es de 5,81 mg/L. Indicando que un tratamiento previo de los vertidos generaría un impacto positivo sobre el río, debido que al aumentar la concentración de OD el río aumentaría su capacidad de autodepuración. En (Figura 133) se muestra el resultado de la DBO para el escenario planteado.

En el escenario actual la DBO promedio es de 4,11 mg/L y en el escenario con caudal medio anual presenta un valor promedio de 4,87 mg/L. Es demostrado el impacto que tendría un tratamiento previo de los vertimientos antes de la descarga al río. En este escenario son expuestas las condiciones más favorables para el río, y evidencia la necesidad de realizar tratamientos localizados de los vertimientos domésticos que actualmente son descargados sobre el río Manzanares, o en su defecto que estas viviendas se conecten a las redes de alcantarillado y no se realicen más vertimientos al río.

Figura 133. DBO para el escenario de remoción de 50%.



Nota. Elaborado por los autores.

Conclusiones y Recomendaciones

En los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada a lo largo del tramo del río Manzanares, se puede observar que este cuerpo hídrico tiene un alto grado de afectación en su calidad, lo que se puede evidenciar con los resultados de la concentración de sólidos suspendidos y sólidos disueltos, que a medida que se avanza en el tramo, se observa que las cargas aumentan a medida que el río va haciendo su recorrido en la zona urbana del distrito de Santa Marta, esto también se evidencia en la concentración de OD que se disminuye debido a que al aumentar la carga orgánica éste es usado para degradarla.

Las campañas de monitoreo realizadas en el trayecto del río Manzanares y la información existente, permitieron contar con los datos de campo necesarios para implementar el modelo de calidad del agua QUAL2Kw y realizar su calibración, pero se necesita recolectar más información de campo para realizar su validación. Se debe realizar campañas de monitoreo en temporada invernal y temporada de verano, tanto para el río como para los vertimientos, y las fuentes y abstracciones.

Se observó que los resultados obtenidos en el primer escenario de modelación permitieron realizar la calibración del modelo Qual2Kw y representaron aproximadamente las condiciones reportadas en el punto de muestreo aguas arriba, similares en los puntos aguas abajo ya que para la calibración no se tuvo en cuenta el vertimiento de aguas residuales. El modelo queda calibrado para plantear los escenarios de vertimientos y objetivos de tratamiento y remoción de la carga contaminante del río Manzanares.

En los resultados obtenidos, en la calibración del modelo representaron aproximadamente las condiciones encontradas en el primer punto de monitoreo sobre el río en la campaña realizada. El modelo reprodujo en gran medida las condiciones en la parte alta de la corriente. En la parte media y baja, dado el gran número de vertimientos sobre el cauce natural y su total desconocimiento sobre sus características, solo se levantó un punto de muestreo, se realizó la modelación con datos estandarizados por lo que se recomienda monitoreo y caracterización de estos vertimientos que permitan llevar a cabo el ajuste de las constantes cinéticas encontradas, y realizar así una validación más precisa del modelo.

La implementación del modelo de calidad del agua QUAL2Kw, consideró la siguiente información: características hidráulicas de la corriente por tramos (ancho, profundidad, velocidad, pendiente, etc.), se recomienda levantar en campo los parámetros y constantes cinéticas que permitan determinar la DBO lenta y DBO rápida (carbono orgánico disuelto, DBO filtrada, KDBO filtrada), constantes de reaireación por tramos, estudio de trazadores por tramos (tiempo de viaje) y las variables meteorológicas del día en el que se realizó el monitoreo.

El modelo regional de calidad del agua planteado tuvo un buen ajuste a las condiciones encontradas en la caracterización fisicoquímica del río Manzanares, con este se demuestra que el estado actual del río Manzanares es de un **alto grado de contaminación**, por lo que se requiere implementar acciones de cara a la mejora de la calidad del agua y al control de los vertimientos que llegan a este río.

En el escenario considerando las cargas máximas permisibles contempladas en la resolución 631 de 2015, se pudo evidenciar que unos vertimientos de estas características afectarían significativamente la calidad del agua del río Manzanares, limitando todos sus usos potenciales, debido a que estos vertidos llegarían al río sin ningún tipo de tratamiento, y considerando la cantidad de puntos de vertido identificados que fueron 202, disminuyen su capacidad de autodepuración, especialmente en épocas de estiaje.

En el escenario con el caudal medio anual del río se observa una mejora en la calidad del agua del río Manzanares, debido a que se realiza una mayor dilución de los contaminantes agregados por los distintos vertimientos.

El escenario de remoción del 50 % del máximo permisible de la resolución 631 de 2015, fue el que mostró condiciones más favorables para la calidad del agua del río Manzanares.

Se recomienda realizar la caracterización y aforo de los vertimientos de aguas residuales domesticas que se hacen al río actualmente, esto con el fin de plantear diferentes escenarios de modelación que permitirá tomar acciones ambientales para la conservación de esta cuenca.

CLASIFICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE USOS POTENCIALES

La clasificación del cuerpo objeto de ordenamiento para cada tramo o sector de análisis, según las definiciones contenidas en el artículo 2.2.3.2.20.1. del Decreto 1076 de 2015 (Clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos), que según este la clasificación son solo dos tipos, Aguas Clase I que no aceptan vertimientos y son aquellas que cumplen las siguientes condiciones;

1. Las Cabeceras de las fuentes de agua;
2. Las aguas subterráneas
3. Los cuerpos de agua o zonas costeras, utilizadas actualmente para recreación;
4. Un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará la autoridad ambiental competente conjuntamente con el Ministerio de Salud y Protección Social
5. Aquellos que declare la Autoridad Ambiental competente como específicamente protegidos de acuerdo con lo dispuesto por los artículos 70 y 137 del decreto Ley 2811 de 1974.

Y las aguas Clase II, son todos aquellos cuerpos agua que no son incluidos en Clase I. Para el caso del río Manzanares se logra establecer la clasificación o identificación de los usos potenciales con base en:

Los ítems 1,3 y 4 establecidos en el artículo 2.2.3.2.20.1 del decreto 1076 del 2015, para la clasificación de las aguas.

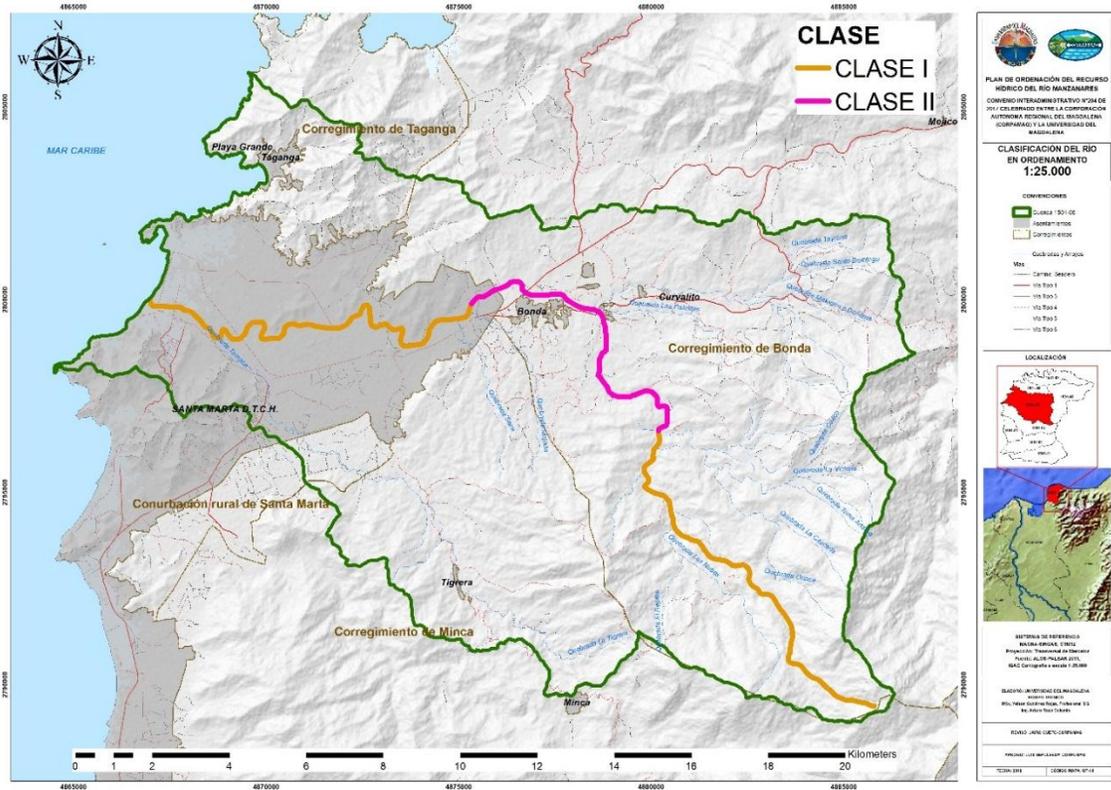
La línea base de la fase de diagnóstico en sus diferentes componentes, entre esos (Características físico-químicas del agua, índices de calidad del agua, características biológicas, riesgos asociados y usos actuales).

El Nuevo POT del distrito de Santa Marta, que establece todo el cauce del río Manzanares desde el límite urbano de Santa Marta, como suelo de protección (Figura 136).

Y la zonificación ambiental del POMCA de la subzona hidrográfica 1501 (río piedras, río Manzanares y otros directos al caribe, de la hoja 11IVB, de la fase de formulación del mismo, donde establece que la zona del río es zona de restauración ecológica y zonas de rehabilitación.

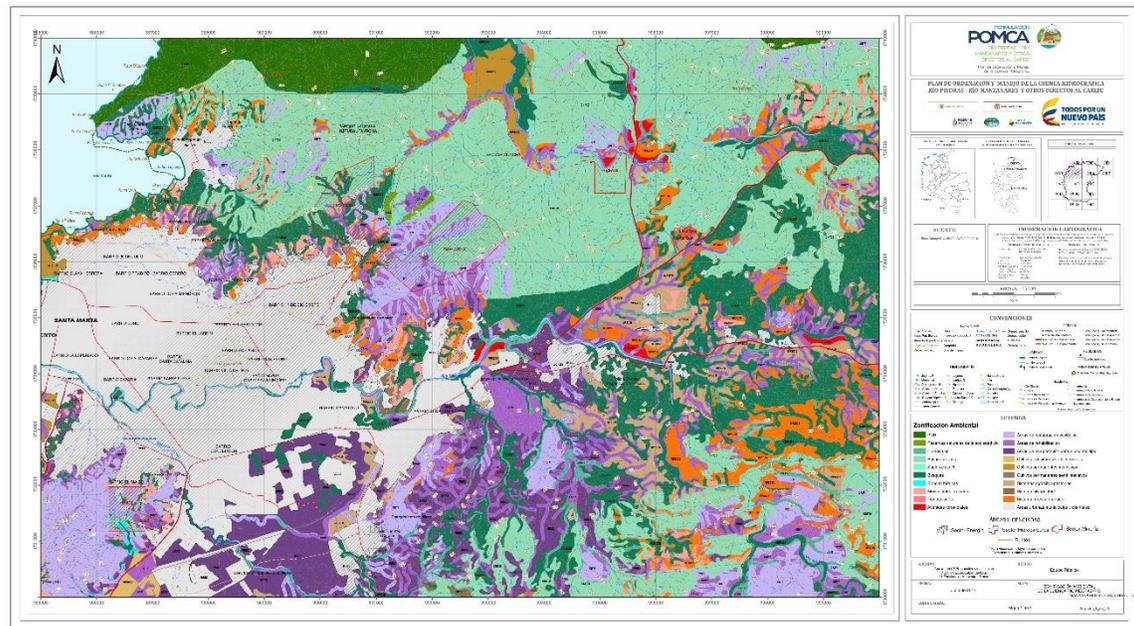
Se puede definir con base en estos ítems, la clasificación de aguas para el río Manzanares en dos tipos, un sector desde la bocatoma para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Santa Marta o sector conocido como Paso el Mango hacia aguas arriba, como aguas Clase I. Seguido de este sector y desde la bocatoma de Paso el Mango hacia aguas abajo hasta llegar al límite urbano actual de la ciudad de Santa Marta, como Aguas Clase II, y desde el límite de la ciudad de Santa Marta hasta su desembocadura al mar Caribe, como aguas Clase I, atendiendo a las proyecciones de recuperación del río, definido por el POMCA como por el POT (Figura 135 y Figura 136), se debe categorizar este sector de esta manera, para que en un futuro se puedan realizar las acciones pertinentes que promuevan, fomenten o desarrollen para la recuperación de la cuenca baja del río Manzanares. Esta clasificación se puede observar en (Figura 134).

Figura 134. Mapa de clasificación de aguas conforme a lo establecido en el artículo 2.2.3.2.20.1. del Decreto 1076 de 2015.



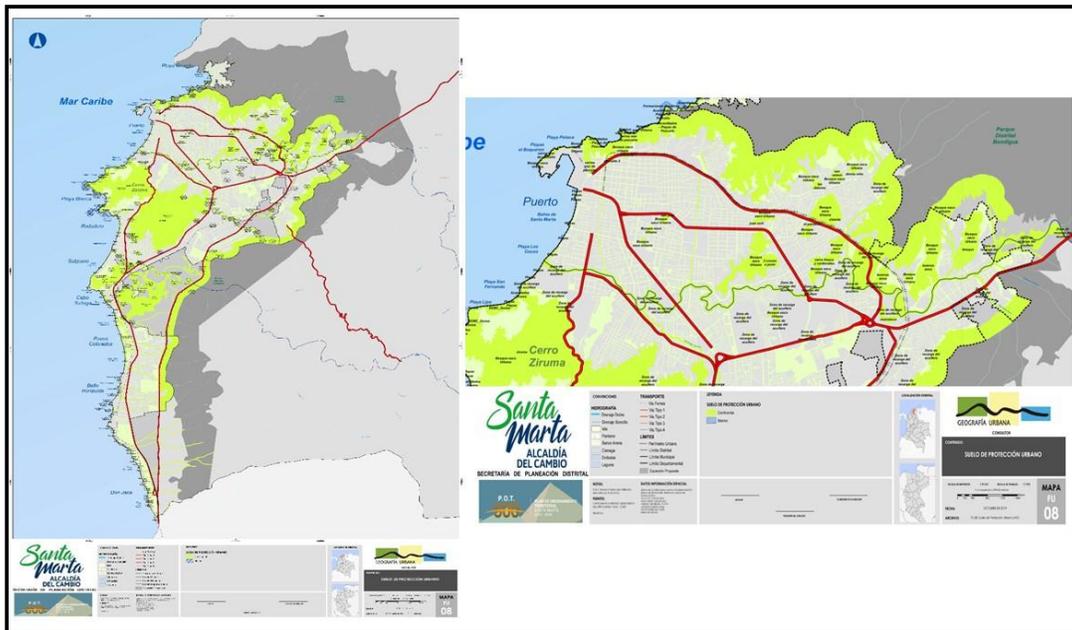
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 135. Zonificación ambiental para la subzona hidrográfica 1501, hoja cartográfica 11IVB. "Pomca río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe".



Nota. Elaborado por el Pomca río manzanares.

Figura 136. Mapa de suelos de protección en el distrito de Santa Marta, Nuevo POT 2020.



Nota. Tomado del nuevo POT de Santa Marta-2020.

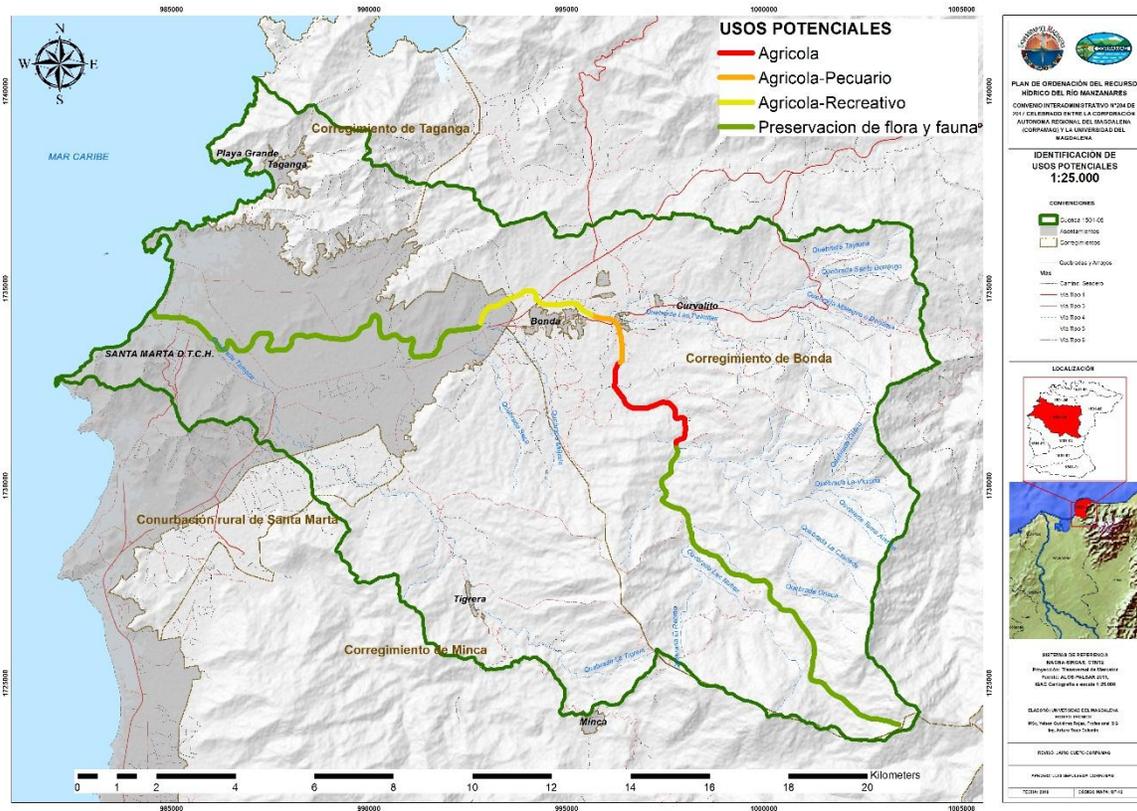
Seguido a esto, y con base en la clasificación de las aguas, se definen los usos potenciales que se encuentra descritos en (Tabla 93 y Figura 137).

Tabla 93. Usos potenciales para el río Manzanares

Tramo	Coordenada en X (oeste)	Coordenada en Y (Norte)	Clasificación de aguas según	Uso Potencial	Longitud Km
1	1.000.138,10	1.727.470,08	Clase I	Preservación de Flora y Fauna	11,05
2	997.151,49	1.732.009,57	Clase II	Agrícola	3,76
3	996.330,78	1.733.957,02	Clase II	Agrícola-Pecuario	1,72
4	994.181,55	1.734.897,87	Clase II	Agrícola-Recreativo	3,45
5	988.690,04	1.733.805,87	Clase I	Preservación de Flora y Fauna	11,62

Nota. Elaborado por los autores.

Figura 137. Usos potenciales del río Manzanares.



Nota. Elaborado por los autores.

ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Teniendo en cuenta los resultados de la demanda de agua proyectada, se realiza la estimación de los índices de uso del agua (IUA) así mismo, se realiza el índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) y el riesgo asociado a la disponibilidad mediante el indicador del Índice promedio ponderado hidrobiológico. Como se muestra a continuación:

Índice del uso del Agua

Este índice permite identificar a través del cociente entre la demanda hídrica proyectada y la oferta hídrica por 100%

$$IUA = (Dh/OHRD) * 100$$

Donde:

IUA: índice de uso del agua

Dh: \sum (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado).

OHRD: oferta hídrica superficial regional disponible.

Teniendo en cuenta la ecuación del IUA, procedemos a reemplazar los valores obtenidos de la oferta y demanda hídrica proyectada, y a partir de la categorización descrita en la (Tabla 52), se procede al cálculo del IUA, como se muestra en (Tabla 94)

Tabla 94. Valores del índice del uso del agua con la demanda proyectada bajo diferentes escenarios, y con aporte del río Piedras de 0.917lt/seg.

Año	Escenario	Total Demanda Hídrica Mm3/año	Oferta Hídrica Mm3/año	IUA	Categorización	Oferta Hídrica (Mm3/año) + Aporte río Piedras	IUA +Aporte	Categorización
2020	Optimista	93,48	174,71	53,51	MUY ALTA	200,47	46,63	ALTA
	Pesimista	102,93	174,71	58,92	MUY ALTA	200,47	51,34	MUY ALTA
	Probable	100,86	174,71	57,73	MUY ALTA	200,47	50,31	MUY ALTA
2021	Optimista	92,45	174,71	52,92	MUY ALTA	200,47	46,12	ALTA
	Pesimista	105,19	174,71	60,21	MUY ALTA	200,47	52,47	MUY ALTA
	Probable	102,27	174,71	58,53	MUY ALTA	200,47	51,01	MUY ALTA
2022	Optimista	91,16	174,71	52,18	MUY ALTA	200,47	45,47	ALTA
	Pesimista	107,19	174,71	61,36	MUY ALTA	200,47	53,47	MUY ALTA
	Probable	103,39	174,71	59,18	MUY ALTA	200,47	51,57	MUY ALTA
2023	Optimista	89,86	174,71	51,43	MUY ALTA	200,47	44,82	ALTA
	Pesimista	109,20	174,71	62,50	MUY ALTA	200,47	54,47	MUY ALTA
	Probable	104,49	174,71	59,81	MUY ALTA	200,47	52,12	MUY ALTA

Nota. Elaborado por los autores.

Índice de Vulnerabilidad Hídrica

El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA). Las categorías de este índice se presentan (Tabla 55), teniendo en cuenta el valor del IUA descrito en la (Tabla 94), que fue **MUY ALTO** para todos los años y todos los escenarios, y con base a que el IRH para la cuenca fue de y el índice de regulación hídrica fue de 0,18 (ver Oferta Hídrica), lo que cataloga al río Manzanares como Muy baja. Al Tener un IUA= **MUY ALTO**; y un IRH **Muy Bajo**, la categorización del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento es **MUY ALTO**.

IPPH

El promedio ponderado hidrobiológico es la obtención de un único valor indicador basado en los valores de calidad hidrobiológica de cada una de las comunidades evaluadas en la cuenca priorizada. La ponderación de cada índice es requerida para darle un valor de importancia de acuerdo a las respuestas entre los factores bióticos y abióticos, esto se debe a que los organismos de cada una de las comunidades presentan respuestas distintas a las variables físico-químicas, de esta manera, se da más peso a los valores que mejor respuesta presenten a la calidad físico- química.

$$IPPH = \frac{\sum IHC * VP_{IHC}}{\sum VP_{IHC}}$$

Donde:

IPPH = Índice promedio ponderado hidrobiológico

IHC = Índice hidrobiológico por comunidad

VP = Valor ponderado

Este promedio pretende darle una ponderación a cada índice de acuerdo con el ajuste en una regresión lineal entre el índice físico-químico (ICA) y cada índice hidrobiológico, en este caso de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) se toman los siguientes valores de ponderación:

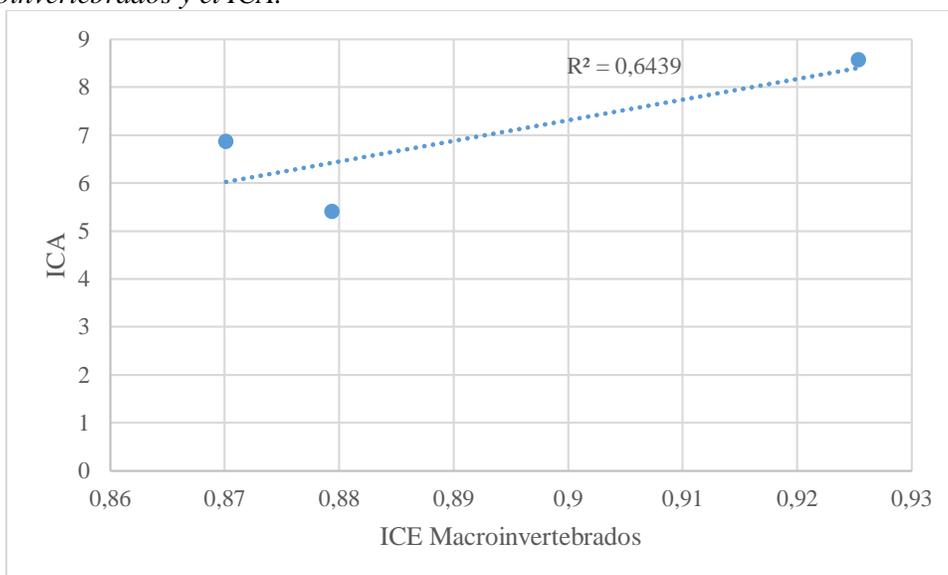
Figura 138. Valores de ponderación de acuerdo con el coeficiente de determinación.

Coeficiente de determinación (R ²)	Ponderación
0	0
< 0,3	1
>0,3 - <0,6	2
>0,6	3

Nota. Fuente anexo 4 guía para la formulación de los PORH de aguas continentales.

Al realizar el proceso de regresión lineal entre el ICA y el ICE de macroinvertebrados acuáticos en el río Manzanares se obtiene que;

Figura 139. Modelo de regresión lineal con su R² para encontrar el valor ponderado entre el ICE de Macroinvertebrados y el ICA.



Nota. Elaborado por los autores.

Al ponderar el resultado, obtenemos que su valor es de 3, y el IHC es de 7. Por tanto, el IPPP es igual a;

$$IPPH = (7 \cdot 3) / 3$$

$$IPPH = 7$$

Lo cual su categoría es aguas ligeramente contaminadas.

Figura 140. Interpretación de los valores del IPPH.

Valor	Interpretación	Color
>7,0 - <=10,0	Aguas muy limpias	Verde
>5,0 - <=7,0	Aguas ligeramente contaminadas	Naranja oscuro
>3,0 - <=5,0	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
>1,0 - <=3,0	Aguas muy contaminadas	Naranja
<= 1,0	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Nota. Fuente anexo 4 guía para la formulación de los PORH de aguas continentales.

FASE 4 ELABORACIÓN DEL PORH

DEFINICIÓN O AJUSTE DE OBJETIVOS Y CRITERIOS DE CALIDAD POR USO

La definición de los objetivos de calidad para el río Manzanares, se basa en la clasificación del cuerpo de agua y de los usos actuales y potenciales identificados para cada tramo, estos se definieron para el corto, mediano y largo plazo teniendo en cuenta lo siguiente:

Línea base de calidad existente.

Los usos actuales y potenciales del recurso por tramos o sectores.

Condiciones de tratamiento y saneamiento previstas en el corto, mediano y largo plazo.

A continuación, se plantean estos objetivos de calidad basándose en lo estipulado en la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y a lo estipulado en la resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estos objetivos se encuentran en (Tabla 95).

Tabla 95. Objetivos de calidad para el río Manzanares en el corto, mediano y largo plazo.

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetro de Calidad	Unidad	Corto Plazo		Mediano Plazo		Largo Plazo	
				Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad
1	Paso el Mango	Oxígeno	mg/l	Abastecimiento de agua para consumo humano Basado en los límites establecidos en Res/2115 del 2007, "Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano"	>6	Abastecimiento de agua para consumo humano Basado en los límites establecidos en Res/2115 del 2007, "Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano"	>6	Abastecimiento de agua para consumo humano Basado en los límites establecidos en Res/2115 del 2007, "Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano"	>6
		pH	Unidad		6,5-9		6,5-9		6,5-9
		Conductividad	mS/cm		<0,15		<0,15		<0,15
		Temperatura	°C		≤ 25		≤ 25		≤ 25
		Sólidos suspendidos	mg/L		<20		<20		<20
		Sólidos disueltos	mg/L		<50		<50		<50
		DBO	mg/L		<5		<5		<5
		COT	mg/L		5		5		5
		Nitratos	mg/L		≤ 10		≤ 10		≤ 10
		Nitritos	mg/L		≤ 0,1		≤ 0,1		≤ 0,1
		Sulfatos	mg/L		250		250		250
		Fosfatos	mg/L		0,5		0,5		0,5
		Cloruros	mg/L		250		250		250
		Hidrocarburos disueltos	µg/L		0,1		0,1		0,1
		Grasas y Aceites	mg/L		<10		<10		<10
		Coliformes Totales	NMP/10 0ml		-20000		-20000		-20000
E coli	MP/100 ml	2000	2000	2000					
2		Oxígeno	mg/l	Agrícola	>4	Agrícola	>5	Agrícola	>6

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetro de Calidad	Unidad	Corto Plazo		Mediano Plazo		Largo Plazo	
				Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad
	Entre Paso el Mango y Santa Marta Urbano	pH	Unidad		6,0-9		6,5-8,5		6,5-8
		Conductividad	mS/cm		<0,25		<0,20		<0,15
		Temperatura	°C		≤ 27		≤ 26		≤ 25
		Sólidos suspendidos	mg/L		<50		<50		<50
		Sólidos disueltos	mg/L		<150		<125		<100
		DBO	mg/L		<5		<5		<5
		COT	mg/L		<5		<5		<5
		Nitratos	mg/L		≤ 10		≤ 5		≤ 2
		Nitritos	mg/L		≤ 0,1		≤ 0,1		≤ 0,1
		Sulfatos	mg/L		250		250		250
		Fosfatos	mg/L		0,5		0,5		0,5
		Cloruros	mg/L		250		250		250
		Hidrocarburos disueltos	µg/L		0,1		0,1		0,1
		Grasas y Aceites	mg/L		<50		<40		<30
		Coliformes Totales	NMP/10 0ml		-20000		-20000		-20000
E coli	MP/100 ml	2000	2000	2000					
3	Entre Santa Marta Urbano hasta la	Oxigeno	mg/l	Preservación de flora y fauna	>4	Preservación de flora y fauna	>5	Preservación de flora y fauna	>5
		pH	Unidad		6,5-9		6,5-9		6,5-8,5
		Conductividad	mS/cm		<0,30		<0,25		<0,25

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetro de Calidad	Unidad	Corto Plazo		Mediano Plazo		Largo Plazo	
				Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad
	desembocadura, Sector Corpamag	Temperatura	°C		≤ 28		≤ 27		≤ 26
		Sólidos suspendidos	mg/L		<50		<50		
		Sólidos disueltos	mg/L		<250		<200		<150
		DBO	mg/L		<5		<5		<5
		COT	mg/L		5		5		5
		Nitratos	mg/L		≤ 10		≤ 8		≤ 5
		Nitritos	mg/L		≤ 0,1		≤ 0,1		≤ 0,1
		Sulfatos	mg/L		250		250		250
		Fosfatos	mg/L		0,5		0,5		0,5
		Cloruros	mg/L		250		250		250
		Hidrocarburos disueltos	µg/L		0,1		0,1		0,1
		Grasas y Aceites	mg/L		<50		<40		<30
		Coliformes Totales	NMP/100ml		-20000		-20000		-20000
		E coli	MP/100 ml		2000		2000		2000
4	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura,	Oxigeno	mg/l	Preservación de flora y fauna	>4	Preservación de flora y fauna	>5	Preservación de flora y fauna	>5
		pH	Unidad		6,5-9		6,5-9		6,5-8,5
		Conductividad	mS/cm		<0,30		<0,25		<0,25
		Temperatura	°C		≤ 28		≤ 27		≤ 26
		Sólidos suspendidos	mg/L		<50		<50		<50

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetro de Calidad	Unidad	Corto Plazo		Mediano Plazo		Largo Plazo	
				Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad	Uso	Objetivo de Calidad
	Sector Puente el Mayor	Sólidos disueltos	mg/L		<250		<200		<150
		DBO	mg/L		<5		<5		<5
		COT	mg/L		5		5		5
		Nitratos	mg/L		≤ 10		≤ 8		≤ 5
		Nitritos	mg/L		≤ 0,1		≤ 0,1		≤ 0,1
		Sulfatos	mg/L		250		250		250
		Fosfatos	mg/L		0,5		0,5		0,5
		Cloruros	mg/L		250		250		250
		Hidrocarburos disueltos	µg/L		0,1		0,1		0,1
		Grasas y Aceites	mg/L		<50		<40		<30
		Coliformes Totales	NMP/100ml		-20000		-20000		-20000
		E coli	MP/100ml		2000		2000		2000

DETERMINACIÓN DE PROHIBICIONES Y CONDICIONAMIENTOS

Teniendo en cuenta los usos potenciales definidos y sus objetivos de calidad asociados, se presentan las restricciones de actividades socioeconómicas en el cuerpo de agua o en sectores del mismo y se fijan las zonas en las que se prohíbe o condiciona la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales. Basados en los resultados de las variables y escenarios modelados, estas prohibiciones y condicionamientos se presentan en (Tabla 96).

Tabla 96. Prohibiciones de actividades conforme a los usos potenciales y los objetivos de calidad planteados para el río Manzanares.

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Prohibiciones
1	Paso el Mango	<p>Concesiones de agua para usos industriales, mineros, piscícolas o proyectos energéticos.</p> <p>Cultivos que implementen prácticas agrícolas de fumigación con pesticidas, fungicidas o insecticidas, en franjas no menor a 100 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente, o a las quebradas del sistema de drenaje del río Manzanares.</p> <p>Cultivos transitorios de hortalizas como Tomate, Cilantro, Cebolla Larga, Cebolla de Bulbo, o cultivo de frutales como Mora, Lulo entre otros, en franjas no menor a 100 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente, o a las quebradas del sistema de drenaje del río Manzanares.</p> <p>Ocupación del cauce por infraestructuras (Casas, negocios, establos, bodegas, muros, vías, galpones, etc) en al menos 50 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente.</p> <p>Ganadería en cercanía al río, o sobre las rondas hídricas en franjas no menor a 100 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente, o a las quebradas del sistema de drenaje del río Manzanares.</p> <p>Implementación de granjas avícolas o piscícolas cercanía al río, o sobre las rondas hídricas o en la franja no menor a 100 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente, o a las quebradas del sistema de drenaje del río Manzanares.</p> <p>Obras de infraestructura sobre el cauce permanente (Obras de captación o presas), debido a la interrupción</p>

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Prohibiciones
2	Entre Paso el Mango y Santa Marta Urbano	<p>de la dinámica fluvial y continuidad del flujo, que afectan el caudal, la temperatura del agua, el transporte de sedimentos, los ecosistemas acuáticos y la fauna acuática.</p> <p>Ganadería sobre las rondas hídricas en franjas no menor a 100 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente, o a las quebradas del sistema de drenaje del río Manzanares.</p> <p>Ocupación del cauce por infraestructuras (Casas, negocios, establos, bodegas, muros, vías, galpones, etc) en al menos 50 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente</p> <p>Obras de infraestructura sobre el cauce permanente (Obras de captación o presas), debido a la interrupción de la dinámica fluvial y continuidad del flujo, que afectan el caudal, la temperatura del agua, el transporte de sedimentos, los ecosistemas acuáticos y la fauna acuática.</p> <p>Alteración del ecosistema ribereño, o ecosistema hídrico-forestal</p> <p>Concesiones de agua con sistemas de riego por gravedad</p> <p>Concesiones de agua para uso agrícola, para cultivos con altos requerimientos hídricos.</p> <p>Concesiones de agua para usos industriales, mineros o piscícolas o proyectos energéticos.</p>
3	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura Sector Corpamag	<p>Vertimientos de aguas residuales de los predios aledaños al río.</p> <p>Vertimientos de aguas industriales de lavaderos de carros y motos.</p> <p>Ocupación del cauce de infraestructuras (saneamiento predial) sobre la ronda hídrica conforme al decreto 2245 del 2017</p> <p>Tala y quema del bosque ribereño del cauce del río Manzanares</p> <p>Extracción minera artesanal de arena del lecho del río, durante los meses de Enero a Junio de cada año</p> <p>Ocupación del cauce por infraestructuras (Casas, negocios, establos, bodegas, muros, vías, galpones, etc) en al menos 50 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente</p>

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Prohibiciones
		Obras de infraestructura sobre el cauce permanente (Obras de captación o presas), debido a la interrupción de la dinámica fluvial y continuidad del flujo, que afectan el caudal, la temperatura del agua, el transporte de sedimentos, los ecosistemas acuáticos y la fauna acuática.
		Alteración geomorfológica del cauce del río por dragados, o remodelación geométrica de las secciones transversales del cauce del río.
		Vertimientos de aguas residuales de los predios aledaños al río
		Vertimientos de aguas industriales de lavaderos de carros y motos.
		Ocupación del cauce de infraestructuras (saneamiento predial) sobre la ronda hídrica conforme al decreto 2245 del 2017
		Tala y quema del bosque ribereño del cauce del río Manzanares
4	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura sector Puente El Mayor	Extracción minera artesanal de arena del lecho del río, durante los meses de Enero a Junio de cada año
		Ocupación del cauce por infraestructuras (Casas, negocios, establos, bodegas, muros, vías, galpones, etc) en al menos 50 metros lineales de distancia paralela al cauce permanente
		Obras de infraestructura sobre el cauce permanente (Obras de captación o presas), debido a la interrupción de la dinámica fluvial y continuidad del flujo, que afectan el caudal, la temperatura del agua, el transporte de sedimentos, los ecosistemas acuáticos y la fauna acuática.
		Alteración geomorfológica del cauce del río por dragados, o remodelación geométrica de las secciones transversales del cauce del río.

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 97. Condicionamientos de actividades conforme a los usos potenciales y los objetivos de calidad planteados para el río Manzanares.

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Condicionamientos
1	Paso el Mango	Cambio del uso del suelo en la parte alta de la cuenca, el uso del suelo debe ser exclusivamente con objetivo de conservación o alguna categoría de conservación.

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Condicionamientos
		<p>Concesiones de agua para la actividad ecoturística y el aumento de instalaciones de hoteles, restaurantes o cabañas de esparcimiento.</p> <p>Es necesario que las infraestructuras de actividad turística o ecoturística, implementen sistemas de tratamiento de aguas residuales (No Pozas Sépticas), en un periodo no mayor a 5 años.</p> <p>El incremento de la frontera agrícola, para prevenir el desbalance hídrico</p> <p>El manejo agrícola de los cultivos permanentes, se debe fomentar las buenas prácticas agrícolas y sembrar en lo posible bajo el esquema de curvas a nivel.</p> <p>Concesiones de agua para riego, se debe priorizar mantener el caudal ecológico.</p> <p>Los sistemas de riego, ya que se deben implementar sistemas de riego eficientes, que reduzcan en la menos el 50% la presión ejercida sobre el recurso hídrico de la cuenca.</p> <p>Los sistemas de prevención de enfermedades de los cultivos mediante la fumigación de pesticidas o fungidas deben ser condicionados a áreas lejanas al cauce del río en el menos 200 metros de distancia lineal paralelo al río.</p> <p>Las cargas contaminantes de las granjas avícolas y porcícolas, en cumplimiento de las metas de reducción de carga contaminante con base en los Objetivos de Calidad.</p> <p>Procesos de reforestación sobre la ronda hídrica, que no sean resultado de un proceso de restauración ecosistémica, con enfoque sobre la seguridad hídrica y soluciones basadas en la naturaleza.</p>
2	Entre Paso el Mango y Santa Marta Urbano	<p>Concesiones de vertimientos de cualquier tipo de agua.</p>
3	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura Sector Corpamag	<p>Concesiones de vertimientos de cualquier tipo de agua.</p>

Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Condicionamientos
4	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura sector Puente El Mayor	Procesos de reforestación sobre la ronda hídrica, que no sean resultado de un proceso de restauración ecosistémica, con enfoque sobre la seguridad hídrica y soluciones basadas en la naturaleza. Concesiones de vertimientos de cualquier tipo de agua

Nota. Elaborado por los autores.

DEFINICIÓN O AJUSTE DE METAS QUINQUENALES DE REDUCCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES

Con base en lo establecido en el acuerdo del consejo directivo No 19 del 2018 por parte de Corpamag, donde se fijan las cargas contaminantes por cada usuario concesionado para vertimientos sobre el río Manzanares, este Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico mantiene lo establecido en este acuerdo, ya que a la fecha no hay más usuarios con permisos de vertimientos por parte de la Autoridad Ambiental, durante el periodo en el que se trabajó este PORH. Por tanto, se mantiene las tasas de carga contaminante.

ARTICULACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PORH CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS – POMCA

El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH es el instrumento de planificación, que le permite a la Autoridad Ambiental competente, fijar la destinación y uso de los cuerpos de agua continentales superficiales y marinos, establece las normas, las condiciones y el programa de seguimiento para alcanzar y mantener los usos potenciales, además de conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies, en un horizonte mínimo de diez años; el POMCA es un instrumento de planificación que orienta y determina ambientalmente las acciones que buscan el desarrollo sostenible de la cuenca. Bajo este contexto, la armonización entre estos instrumentos permitirá al río Manzanares orientar esfuerzos que contribuyan al mejoramiento de las condiciones socio-ambientales, y que estas a su vez repercutan en mejorar la gestión del recurso hídrico en torno al aumento de la oferta, disminución de la demanda y mejoramiento de la calidad de su agua a lo largo del río, además de disminuir las presiones ambientales que sobre el río se ejerce mediante las actividades socio-productivas que la sociedad samaria realiza, como parte de los servicios ecosistémicos que el Manzanares puede ofertar.

En este sentido, las actividades que se proponen como los nuevos objetivos de calidad, las prohibiciones y condicionamientos, sugieren un esfuerzo grande por parte de la autoridad ambiental, y por parte de la administración distrital, como por ejemplo en primera instancia la disminución gradual hasta eliminación de los vertimientos de aguas residuales sobre la ronda hídrica en su parte baja. Esto solo puede lograrse con esta armonización de estos instrumentos, y de la incorporación de los mismos como determinantes ambientales en el POT de Santa Marta, y en los futuros Planes de Desarrollo de la ciudad.

En concordancia con lo anterior este PORH, se armoniza con el POMCA de la subzona hidrográfica en 4 de sus líneas programáticas como son;

Tabla 98. Articulación del PORH con el POMCA

Línea Programática	Línea de Acción	Metas	Proyectos
Manejo y conservación integral del recurso hídrico	Seguridad hídrica	Identificar, priorizar y conservar y/o recuperar el 60% de las áreas y ecosistemas estratégicos asociados directamente a la regulación de la oferta hídrica en la Cuenca hidrográfica de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe	Gestión y conservación de las zonas estratégicas para el balance y regulación hídrica.
		Mantenimiento del caudal ambiental en el 100% de las unidades hidrográficas priorizadas en la Subzona hidrográfica de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al caribe	Ordenamiento y reglamentación del recurso hídrico para la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe – SZH
	Uso sostenible del recurso hídrico	Implementar mecanismos para el uso eficiente y racional del agua en el 100% de las unidades hidrográficas priorizadas por su índice de uso del agua	Implementación de acciones para la reducción de los impactos humanos al recurso hídrico
		Mejorar los índices de calidad del agua en los cauces priorizados para la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe	
Gestión integral de la biodiversidad	Conservación y restauración de los ecosistemas de la cuenca	Desarrollar las medidas pertinentes para la reducción y adaptación del riesgo asociado a la oferta y disponibilidad hídrica en, al menos, los ecosistemas estratégicos de la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe, y para los sectores turístico, agropecuario y de abastecimiento de agua potable	Diseño e implementación de medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados al recurso hídrico
		Establecer zonas de protección ambiental con base en los resultados de la zonificación del POMCA	Manejo integral de áreas con ecosistemas estratégicos no protegidos en la cuenca
Investigación como soporte de la gestión ambiental de la cuenca	Gestión del Conocimiento	Restaurar áreas con procesos de degradación identificadas en la zonificación	Recuperación ecosistémica en áreas de influencia de especies endémicas y/o con algún grado de amenaza
		Desarrollo de estudios ambientales enfocados al conocimiento de la diversidad físico-biótica de la cuenca hidrográfica	Caracterización de las comunidades biológicas en la cuenca de acuerdo con su vulnerabilidad
			Análisis ecosistémico y adaptación de medidas de restauración ecológica

Línea Programática	Línea de Acción	Metas	Proyectos
	Fortalecimiento de la capacidad institucional para la gestión de la información ambiental	Implementar Sistemas de gestión y monitoreo de la información ambiental de la cuenca hidrográfica de los ríos Piedras, manzanares y otros directos al Caribe.	Implementación de la red de monitoreo de la calidad de agua para la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe.

Nota. Elaborado por el Pomca río Manzanares.

Por otro lado, las acciones que en el PORH se presentan como la propuesta de objetivos de calidad, las prohibiciones y condicionamientos se encuentran en total articulación con los proyectos priorizados en el POMCA (Ver tabla 5.10, documento fase de formulación POMCA subzona hidrográfica 1501) que se describen a continuación:

Figura 141. Imagen de la priorización de proyectos en el POMCA de la subzona hidrográfica 1501.

Tabla 5.10. Priorización de proyectos en el marco del POMCA

ORDEN DE PRIORIDAD	PROYECTOS
TRANSVERSAL	Implementación de un sistema de información geográfica para el POMCA PMODC
	Fortalecimiento de la interacción entre actores en la Cuenca
1	Ordenamiento y reglamentación del recurso hídrico para la Cuenca de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe
2	Gestión y conservación de las zonas estratégicas para el balance y regulación hídrica
3	Implementación de acciones para la reducción de los impactos humanos al recurso hídrico
4	Caracterización de las comunidades biológicas en la Cuenca de acuerdo con su vulnerabilidad
5	Manejo integral de áreas con ecosistemas estratégicos no protegidos en la Cuenca
6	Manejo de áreas afectadas por usos agropecuarios
7	Construcción participativa para la sostenibilidad de la Cuenca
8	Diseño e implementación de medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados al recurso hídrico
9	Recuperación ecosistémica en áreas de influencia de especies endémicas y/o algún grado de amenaza
10	Análisis ecosistémico y adaptación de medidas de restauración ecológica
11	Implementación de la red de monitoreo de la calidad del agua para la Cuenca
12	Fortalecimiento de la red de monitoreo hidrológico para las 5 corrientes principales de la Cuenca
13	Diseño e implementación de sistemas de alerta temprana
14	Evaluación de los riesgos a escala de detalle como determinante para el ordenamiento territorial
15	Cultura del riesgo en comunidades vulnerables a eventos naturales extremos

En este sentido, todo lo presentado en las acciones a desarrollar en el PORH para el río Manzanares respecto a los objetivos de calidad, las prohibiciones y condicionamientos, se encuentra en armonía con lo planteado por las líneas programáticas y los proyectos priorizados por el POMCA de la subzona hidrográfica 1501 “río Piedras, río Manzanares y otros directos al Caribe”.

ARTICULACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PORH CON OTROS INSTRUMENTOS

Basado en el párrafo 1 del artículo 2.2.3.3.1.8. del decreto 1076 del 2015, y en la resolución 2287 del 2017 de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena, donde se niega la aprobación del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del distrito de Santa Marta, y tomando como referencia lo planteado en el nuevo Plan de Ordenamiento Territorial del distrito de Santa Marta que categoriza toda la franja paralela al río Manzanares en un ancho no menor a 30 metros de distancia desde su cauce permanente, como *Suelo de Protección*; el PORH para el río Manzanares con sus acciones planteadas en los objetivos de calidad, las prohibiciones y condicionamientos y las metas de carga contaminante, así como los resultados del diagnóstico sobre sus aspectos de calidad del agua físico-química e hidrobiológica, y teniendo en cuenta la conectividad ecosistémica de este río entre la estrella hídrica de San Lorenzo y el mar Caribe, el PORH se convierte en determinante ambiental para la planeación del PSMV del distrito de Santa Marta con mucho énfasis sobre la prohibición de los vertimientos de aguas residuales sobre su ronda hídrica (ver censo de Usuarios Fase diagnóstico) donde se evidencia el número alto de vertimientos de estas aguas por la ausencia de conexión a la red de alcantarillado de estas zonas, así como el saneamiento predial de la ronda hídrica.

ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO

Para medir la efectividad del PORH, se establece un programa específico de monitoreo del recurso hídrico, definiendo las actividades necesarias, requerimientos logísticos y los tiempos pertinentes para el monitoreo y seguimiento de los criterios y objetivos de calidad. Adicionalmente, se incorporan los indicadores hidrobiológicos. A continuación, se describe el monitoreo del recurso hídrico conforme a las condiciones de la calidad del agua y las condiciones de la ribera del río o su ronda hídrica.

Calidad del Agua

La calidad del agua, es tal vez, el principal indicador que permite conocer las condiciones ambientales y sociales que un río puede tener, en este sentido, en este PORH se establece que el monitoreo debe estar en función del mismo, y bajo los criterios físico-químicos e hidrobiológicos, y para tal se plantea el monitoreo como se describe en (Tabla 99 y Tabla 100). Por otro lado, en este programa de monitoreo, es necesario plantear la necesidad que el seguimiento se realice sobre la ribera del río, este es un indicador que permite conocer el estado de alteración o recuperación del cauce, ya que las funciones del ecosistema ribereño inciden directamente sobre la calidad del recurso hídrico, funciones ecosistémicas han sido muy bien documentadas.

Tabla 99. Programa de monitoreo de la calidad del agua con enfoque físico-químico

Programa	Requerimientos	Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetros	Unidades	Periodicidad
Monitoreo de la calidad del agua físico-química, para establecer el cumplimiento de los objetivos de calidad.	Se debe realizar el monitoreo de las condiciones físico-químicas del agua en puntos aleatorios por cada tramo, esta actividad debe realizarse bajo la metodología establecida en la Guía para la modelación de la calidad del agua, y con laboratorios acreditados o certificados por el IDEAM para tal fin.	1	Paso el Mango	Oxígeno	mg/l	Trimensual en condiciones hidrológicas contrastantes
				pH	Unidad	
				Conductividad	mS/cm	
				Temperatura	°C	
				Sólidos suspendidos	mg/L	
				Sólidos disueltos	mg/L	
				DBO	mg/L	
				COT	mg/L	
				Nitratos	mg/L	
				Nitritos	mg/L	
				Sulfatos	mg/L	
				Fosfatos	mg/L	
				Cloruros	mg/L	
				Hidrocarburos disueltos	µg/L	
				Grasas y Aceites	mg/L	
		Coliformes Totales	NMP/100ml			
		E coli	MP/100ml			
		2	Entre Paso el Mango y Santa Marta Urbano	Oxígeno	mg/l	Trimensual en condiciones hidrológicas contrastantes
				pH	Unidad	
				Conductividad	mS/cm	
Temperatura	°C					
Sólidos suspendidos	mg/L					
Sólidos disueltos	mg/L					

Programa	Requerimientos	Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetros	Unidades	Periodicidad
				DBO	mg/L	
				COT	mg/L	
				Nitratos	mg/L	
				Nitritos	mg/L	
				Sulfatos	mg/L	
				Fosfatos	mg/L	
				Cloruros	mg/L	
				Hidrocarburos disueltos	µg/L	
				Grasas y Aceites	mg/L	
				Coliformes Totales	NMP/100ml	
				E coli	MP/100ml	
		3	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura, Sector Corpamag.	Oxigeno	mg/l	Trimensual en condiciones hidrológicas contrastantes
				pH	Unidad	
				Conductividad	mS/cm	
				Temperatura	°C	
				Sólidos suspendidos	mg/L	
				Sólidos disueltos	mg/L	
				DBO	mg/L	
				COT	mg/L	
				Nitratos	mg/L	
				Nitritos	mg/L	
				Sulfatos	mg/L	
				Fosfatos	mg/L	
				Cloruros	mg/L	
				Hidrocarburos disueltos	µg/L	

Programa	Requerimientos	Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetros	Unidades	Periodicidad
				Grasas y Aceites	mg/L	
				Coliformes Totales	NMP/100ml	
				E coli	MP/100ml	
		4	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura, Sector Puente el Mayor	Oxigeno	mg/l	Trimensual en condiciones hidrológicas contrastantes
				pH	Unidad	
				Conductividad	mS/cm	
				Temperatura	°C	
				Sólidos suspendidos	mg/L	
				Sólidos disueltos	mg/L	
				DBO	mg/L	
				COT	mg/L	
				Nitratos	mg/L	
				Nitritos	mg/L	
				Sulfatos	mg/L	
				Fosfatos	mg/L	
				Cloruros	mg/L	
				Hidrocarburos disueltos	µg/L	
				Grasas y Aceites	mg/L	
				Coliformes Totales	NMP/100ml	
				E coli	MP/100ml	

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 100. Programa de monitoreo de la calidad del agua con enfoque hidrobiológico.

Requerimientos	Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetros a medir	Unidades	Periodicidad
Se debe realizar el monitoreo hidrobiológico del agua, en puntos aleatorios por cada tramo, esta actividad debe realizarse bajo la metodología establecida en la Guía para la modelación de la calidad del agua, y con profesional especializado en la temática de zoología acuática continental.	1	Paso el Mango	Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos en diferentes coriotosos (Grava, sedimentos, macrófitas, hojarasca) en diferentes condiciones de la columna de agua (corriente rápida y corriente lenta)	No de Ind/grupo taxonómico	Bianual en condiciones hidrológicas contrastantes
			Estructura y composición de Perifiton en diferentes sustratos (piedras y macrófitas)	No de Ind/grupo taxonómico	
			Estructura y composición de peces	No de Ind/grupo taxonómico	
	2	Entre Paso el Mango y Santa Marta Urbano	Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos en diferentes coriotosos (Grava, sedimentos, macrófitas, hojarasca) en diferentes condiciones de la columna de agua (corriente rápida y corriente lenta)	No de Ind/grupo taxonómico	Bianual en condiciones hidrológicas contrastantes
			Estructura y composición de Perifiton en diferentes sustratos (piedras y macrófitas)	No de Ind/grupo taxonómico	
			Estructura y composición de peces	No de Ind/grupo taxonómico	
	3	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura, Sector Corpamag	Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos en diferentes coriotosos (Grava, sedimentos, macrófitas, hojarasca) en diferentes condiciones de la columna de agua (corriente rápida y corriente lenta)	No de Ind/grupo taxonómico	Bianual en condiciones hidrológicas contrastantes
			Estructura y composición de Perifiton en diferentes sustratos (piedras y macrófitas)	No de Ind/grupo taxonómico	
			Estructura y composición de peces	No de Ind/grupo taxonómico	
	4	Entre Santa Marta Urbano hasta la desembocadura,	Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos en diferentes coriotosos (Grava, sedimentos, macrófitas, hojarasca) en diferentes condiciones de la	No de Ind/grupo taxonómico	Bianual en condiciones hidrológicas contrastantes

Requerimientos	Numero de Tramo	Nombre del Tramo	Parámetros a medir	Unidades	Periodicidad
		Sector Puente el Mayor	columna de agua (corriente rápida y corriente lenta)		
			Estructura y composición de Perifiton en diferentes sustratos (piedras y macrófitas)	No de Ind/grupo taxonómico	
			Estructura y composición de peces	No de Ind/grupo taxonómico	

Nota. Elaborado por los autores.

INDICE DE BOSQUE RIBERA

El índice de calidad del bosque propuesto por Munné et al., (1998, 2003) integra aspectos estructurales de la vegetación ribereña (cobertura, estructura), aspectos de la morfología de la ribera y el grado de intervención del terreno (cauces, terrazas, diques). Antes del cálculo del índice QBR, se deben diferenciar el cauce permanente y la ronda hídrica. La evaluación de cada componente se hace de forma independiente. Cada sección está compuesta por uno o varios factores, a los cuales se les asigna una puntuación de 0, 5, 10 o 25 según el estado de la zona. Este índice se centra en cuatro aspectos fundamentales de la vegetación ribereña que se describen a continuación con sus respectivos criterios para la puntuación.

Grado de cobertura vegetal natural de la zona ribereña

Se destaca el papel de la vegetación como elemento estructural del ecosistema de ribera. La calidad disminuye a medida que se pierde la vegetación nativa y la conectividad con los ecosistemas adyacentes.

Figura 142. Categorización del grado de cobertura vegetal para el IQR.

PUNTUACIÓN	CRITERIO
25	> 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera
10	50-80% de cubierta vegetal de la zona de ribera
5	10-50% de cubierta vegetal de la zona de ribera
0	<10% de cubierta vegetal de la zona de ribera
+10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total
+5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%
-5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%
-10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%

Estructura de la vegetación

Se analiza la similitud entre la cobertura vegetal existente y la vegetación que debería estar presente de manera natural en la zona.

Figura 143. Categorización del criterio de la estructura de la vegetación para la evaluación del IQR.

PUNTUACIÓN	CRITERIO
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %
+10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %
+5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %
+5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque
-5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %
-5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad
-10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %

Calidad de la cobertura vegetal

Hace referencia específicamente a su naturalidad y complejidad. La naturalidad está relacionada con las especies arbóreas nativas que se tendrían que encontrar en una situación sin alteración de ribera, y la complejidad incluye diferentes elementos como la continuidad a lo largo del río de las comunidades vegetales naturales, la disposición en galería de las diferentes comunidades o la existencia de distintas especies arbóreas y arbustivas. Además, la presencia de especies introducidas en la zona se penaliza en esta parte del índice.

Figura 144. Categorización de la calidad de la cobertura vegetal para la evaluación del IQR.

PUNTUACIÓN	CRITERIO	TIPO		
		1	2	3
25	número de especies diferentes de árboles autóctonos	>1	>2	>3
10	número de especies diferentes de árboles autóctonos	1	2	3
5	número de especies diferentes de árboles autóctonos	-	1	1-2
0	Sin árboles autóctonos			
+10	si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río, uniforme y ocupando > 75 % de la ribera (en toda su anchura)			
+5	si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50 - 75 % de la ribera)			
+5	si existe una disposición en galería de diferentes comunidades			
+5	si el número diferente de especies de arbustos es:	> 2	> 3	> 4
-5	si existen estructura construidas por el hombre			
-5	si existe alguna especie de árbol introducida (alóctona) aislada			
-10	si existen especies de árboles alóctonas formando comunidades			
-10	si existen vertidos de basuras			

Tipo geomorfológico de la zona de ribera

Tabla 101. categorización del tipo geomorfológico de la ribera para la evaluación del IQR.

Puntuación Total	Tipo	Descripción del tipo geomorfológico
>8	1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un extenso bosque de ribera
Entre 5 y 8	2	Riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
<5	3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso

Grado de alteración del cauce

Se consideran las modificaciones el cauce y en las riberas. En la (Figura 145) se presentan los criterios para evaluar el grado de naturalidad.

Figura 145. Categorización del grado de alteración del cauce para la evaluación del IQR.

Puntuación	Criterio
25	el cauce del río no ha estado modificado
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del cauce
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el cauce del río
0	río canalizado en la totalidad del tramo
-10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
-10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río

Interpretación de la calificación

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25, por lo que los puntos en exceso o por defecto no se contabilizan. En tal sentido, la puntuación final será el resultado de la suma de los cuatro bloques y, por lo tanto, variará entre 0 y 100. los descriptores para la interpretación de la calificación en cinco niveles asociados a los colores que se indican respectivamente. Tales colores pueden ser representados cartográficamente y sirve para realizar el respectivo seguimiento de la calidad, compararlo con otros lugares o constatar la evolución de un mismo punto frente a perturbaciones naturales o antrópicas (Posada-Posada y Arroyave-Maya, 2015).

Tabla 102. Clasificación del IQR.

Descriptor	Ámbito numérico	Color
Degradación extrema, calidad pésima	(0-25)	
Alteración fuerte, calidad mala	(30-50)	
Inicio de alteración importante, calidad aceptable	(55-70)	
Ligeramente perturbado, calidad buena	(75-90)	
Sin alteraciones, estado natural	>95	

Por último, se resalta la relevancia que, La Corporación Autónoma Regional del Magdalena, definirá los indicadores que permitan verificar en el corto, mediano y largo plazo la implementación del programa de seguimiento, tales como: número de acciones de monitoreo, número de acciones de control y vigilancia, informes o conceptos de seguimiento y monitoreo, entre otros, este PORH propone herramientas de seguimiento al indicador calidad del agua, y no sobre los ítems oferta y demanda hídrica.

ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS Y ACTIVIDADES

Los proyectos que se presentan en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Manzanares, son pertinentes con la política nacional de la gestión integral del recurso hídrico de Colombia, y se articula armónicamente con el Pomca de la suzona hidrográfica 1501 “río piedras, río manzanares y otros directos al Caribe”, el cual ya fue adoptado por Corpamag, en este contexto es importante señalar que los proyectos se enmarcan sobre los tres pilares de la Gestión Integral del Recurso Hídrico como es; Oferta, Calidad y Demanda, estos proyectos se presentan a manera de resumen en la siguiente tabla.

EJE	ESTRATEGIA	PROYECTO	META	INDICADORES	INVERSIÓN REQUERIDA	TIEMPO REQUERIDO EN MESES
Oferta	Fortalecimiento de la seguridad hídrica en la cuenca del río Manzanares	Declaración de área protegida la parte alta de la cuenca del río Manzanares.	Declarar como área protegida regional la parte media-alta y alta de la cuenca del río Manzanares, por encima de la cota 1500 msnm.	Numero de hectareas de área protegida (aproximadamente 800 hectareas)	\$ 2.800.000.000,00	48
		Implementación de procesos de cosecha del agua sobre la cuenca.	Proyecto de retención y almacenamiento de agua en la parte baja de la cuenca	Litros de agua retenidos	\$ 40.000.000.000,00	48
		Identificar, priorizar, conservar y/o recuperar el 30% de las áreas y ecosistemas estratégicos asociados directamente a la regulación de la oferta hídrica en la Cuenca hidrográfica del río Manzanares y sus principales afluentes.	Implementación de procesos de restauración activa y pasiva para fortalecer la regulación y retención hídrica en la cuenca alta y media del río Manzanares.	Hectareas restauradas	\$ 6.500.000.000,00	48
		Mantenimiento del caudal ambiental en el río Manzanares y sus afluentes principales como las quebradas Onaca, Girocasaca, Vira Vira y Tamacá	Mantener el caudal ambiental del río y sus principales afluentes principales	Caudales	\$ 2.500.000.000,00	120
		Reglamentación de la corriente hídrica del río Manzanares	Río Reglamentado Documento y resolución del acotamiento de la ronda hídrica del río Manzanares	Resolución de reglamentación	\$ 650.000.000,00	24
		Acotamiento de la ronda hídrica del río Manzanares	Resolución de acotamiento	\$ 250.000.000,00	24	
		Saneamiento predial de la ronda hídrica del río Manzanares en la parte baja de la cuenca los últimos 12 kilómetros	Saneamiento predial de la ronda hídrica del río Manzanares en su parte baja	No de predios	\$ 200.000.000.000,00	120
Calidad	Conservación del recurso hídrico	Implementación de un PSMV sobre los sectores aledaños al río Manzanares en el sector urbano.	Plan piloto de saneamiento y manejo de vertimientos en la ronda hídrica del río Manzanares (Parte Baja)	Vertimientos Saneados	\$ 600.000.000,00	12
		Rehabilitación de la vegetación ribereña de la ronda hídrica	Plan de restauración ribereña de la ronda hídrica	Hectareas resturadas	\$ 2.600.000.000,00	120

Demanda Hídrica	Usos sostenible del recurso hídrico	Rehabilitación de las condiciones hidráulicas e hidrológicas y geomorfológicas del río en la parte baja	Rehabilitar las condiciones hidráulicas, hidrológicas y geomorfológicas de la ribera del río Manzanares (Ampliar el ancho del río en 10 metros sobre su base, y 30 metros sobre su cota de ribera)	Hectareas rehabilitas	\$ 5.000.000.000,00	36
		Rehabilitación de las condicones hidrobiológicas del río	Rehabilitación de las condiciones hidrobiológicas del río	Biodiversidad acuática	\$ 3.200.000.000,00	60
		Diseño e implementación de sistemas de riego con eficiencias mayor al 80% (aspersión o goteo)	Implementación de 500 sistemas eficientes de riego en la cuenca media	No de Sistemas de riego	\$ 5.000.000.000,00	24
		Implementación de sistemas eficientes de ahorro de agua para uso potable en los usuarios de la cuenca.	Implementación de sistemas eficientes de ahorro de agua	No de Hogares con Sistemas de uso eficiente y ahorro de agua	\$ 5.000.000.000,00	48
		Implementación de procesos que permitan la disminución de; intensidad del consumo y perdidas, en los usuarios del río Manzanares para consumo de agua potable.	Proyecto de mejoramiento del sistema de tratamiento y conducción del acueducto de los usuarios de agua potable.	% disminuución de Intensidad de consumo % de disminución de perdidas del sistema de acueducto	\$ 15.000.000.000,00	120

BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 22nd Edition). Washington: American Public Health Association.
- Barbour, M. T., Gettitsen, J., Snyder, B., & Stribling, J. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish* (Vol. second edition). Washington D.C.: EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Boltovskoy, D. (1981). *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino* (No. C/592 S6/1981). Mar del Plata. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- Castro Huertas, M. A. (2015). *Aplicación del QUAL2KW en la modelación de la calidad del agua del río Guacaica, Departamento de Caldas, Colombia*. Tesis de grado de para optar el título de Especialista en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Caldas, Manizales. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/51032/1/1053781847.2015.pdf>
- CORPAMAG. (2018). *Formulación del POMCA, río Piedras, río Manzanares y Otros directos al Caribe*. Documento General, Fase diagnóstico, Caracterización Básica y del sistema físico-biológico, Corporación Autónoma Regional del Magdalena, Santa Marta. Retrieved Marzo 16, 2019, from <https://www.corpamag.gov.co/index.php/es/proceso-pomcas/documentacion-pomcas>
- Dominguez, E., & Fernandez, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Tucumán, Argentina.
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M. L., Hubbard, M. D., & Nieto, C. (2006). *Diversidad Acuática en América Latina; Ephemeroptera de América del Sur* (Vol. 2). Sofía, Moscú: Pensoft.
- Duque, S. R., & Donato, C. (1992). *Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia*. Bogotá D.C.: Cuadernos Divulgativos, Facultad de ciencias, Universidad Javeriana.
- Dussart, B. (1965). Les diferentes catégories de plaction. *Hydrobiologia*(26), 72-74.

- Edler, L., & Elbrachter, M. (2010). *The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis*. Paris.
- FAO. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines*. Rome.
- Forero, L. C., Longo, M., Ramírez, R. J., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE) Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 233-247.
- Geitler, L. (1932). *Cyanophyceae*. In L. Rabenhorst *Kryptogamen Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz* (Vol. 14). Leipzig.
- Guizao-R, J. C., & Diaz-Bolaños, J. F. (2007). *Simulación de la calidad del agua del río Manzanares utilizando el modelo QUAL 2K*. Tesis de Grado, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad del Magdalena, Santa Marta. Retrieved Marzo 15, 2020, from <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/bitstream/123456789/274/1/IAS-00026.pdf>
- Hauer, F., & Lamberty, G. (1996). *Methods in stream ecology*. New York, USA: Academic Press.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*(7), 1451-1456. doi:10.1111/2041-210X.12613
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogota D.C.
- IDEAM, I. d. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D.C.
- Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental*, 23(2), 12-19.
- Kanel, P., Lee, S., Lee, Y., & Pelletier, G. J. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *Journal Ecological Modelling*, 2, 503-517. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.12.033>
- Komarek, J., & Anagnostidis, K. (2005). *Cyanoprokaryota 2 Teil*. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Lance-Bertalot, H., & Krammer, K. (1987). *"Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Berlin-Stuttgart: Bibliotheca Diatomologica.

- Licursi, M., & Gómez, N. (2003). Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la Llanura Pampeana Argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática*, 21, 31-49.
- Llanero, P. (2013). Fecundidad y fertilidad de *Macrobrachium amazonicum* (Héller 1862) (Decápoda, Palaemonidae) del Piedemonte Llanero Colombiano. *REVISTA MVZ CÓRDOBA*, 18(3).
- Lund, J. W., Kipling, C., & Le Cren, E. D. (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*(11), 143-170. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00007865>
- Maciel, C. R., & Valenti, W. C. (2009). Biology, fisheries, and aquaculture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*: a review. *Nauplius*, 17(2), 61-79.
- MADS. (2018). *Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, D.C. Colombia.
- MADS. (2018). *Guía para el ordenamiento del recurso hídrico continental superficial*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, D.C. Colombia.
- Malone, T. C. (1980). *Algal size; en The physiological ecology of phytoplankton*. Oxford, UK: Morris, I, Blackwell Scientific Publications.
- MAVDT, M. d. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (2008). *An introducción to the acuatic insects of Nort America*. UnitedStates of America: Kendall/Huntpublishing Company.
- Meruane, J. A., Morales, M. C., Galleguillos, C. A., Rivera, M. A., & Hosokawa, H. (2006). Experiencias y resultados de investigaciones sobre el camarón de río del norte *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) (Decapoda: Palaemonidae): historia natural y cultivo. *Gayana*, 70(2), 280-292.
- Ministerio de desarrollo económico. (2003). *RAS- Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico* (Vol. 1). Bogotá D.C., Colombia.
- Montoya, Y. M., & Aguirre, N. (2009). Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (Ciénagas) en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 12(3), 85-106.
- Núñez, J. (2006). *Gestión Energética de hoteles*. Confederación empresarial de Madrid CEOE-Unión Fenosa, Comunidad de Madrid- Dirección general de industria energía y minas-

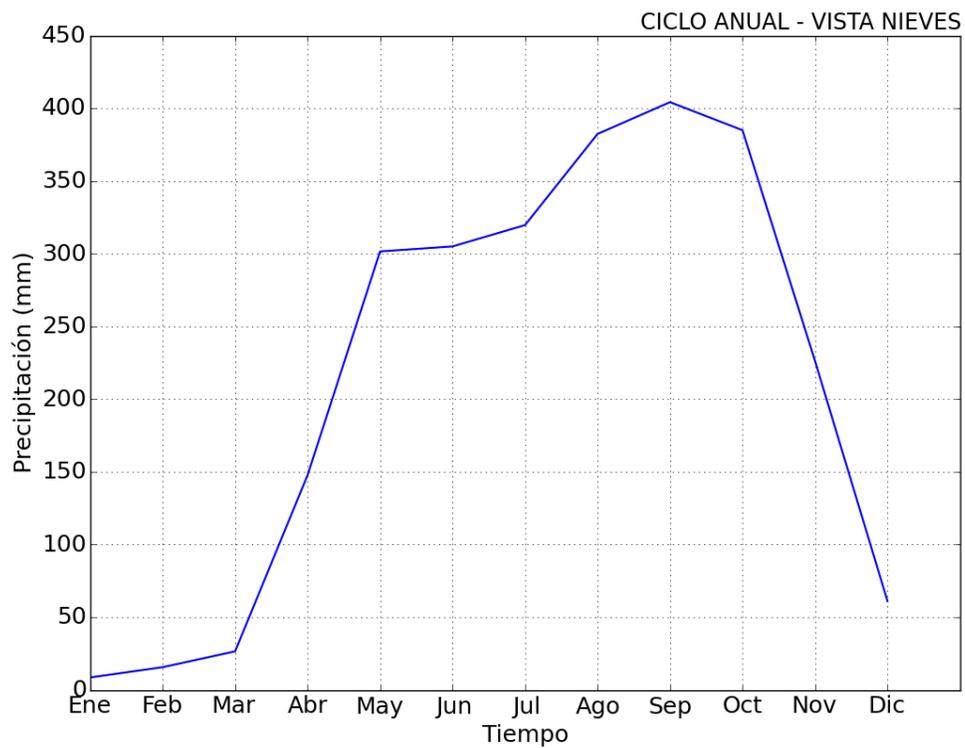
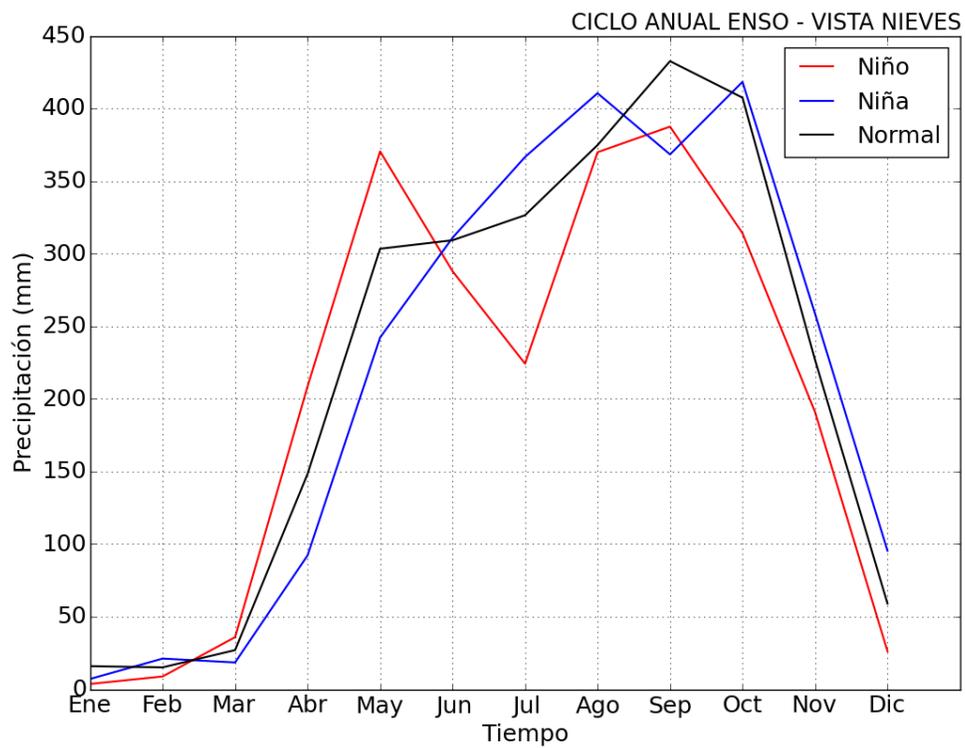
- Consejería de economía e innovación tecnológica. Madrid: Asociación empresarial hotelera de Madrid. Retrieved Junio 15, 2020
- Pelletier, G., Chapra, S., & Tao, H. (2006). *QUAL2Kw-A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration*.
- Perrin, C., Michel, C., & Andreassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 275-289.
- Pinilla, G. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Bogota D.C: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez, A. M., & Plata-Díaz, Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, 13(1), 199-215.
- Ramirez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogota, D.C.: Panamericana.
- Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Rangel, O. (2010). *Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad-Ecología y manejo ambiental*. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez-Almaráz, G. A., Muñoz-Martínez, R., & Millán-Cervantes, A. (2010). Desarrollo larval de *Palaemonetes mexicanus* y *P. hobbsi* (Caridea: Palaemonidae) cultivadas en el laboratorio. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81, 73-97.
- Roldan, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldan, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda ed.). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40, 254-274.
- Toro, J., Schuster, j., Kurosawa, J., & Araya, E. (2003). *Diagnóstico de la calidad de agua en sistemas Lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores Rio Maipo (Santiago: Chile)*. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Chile.

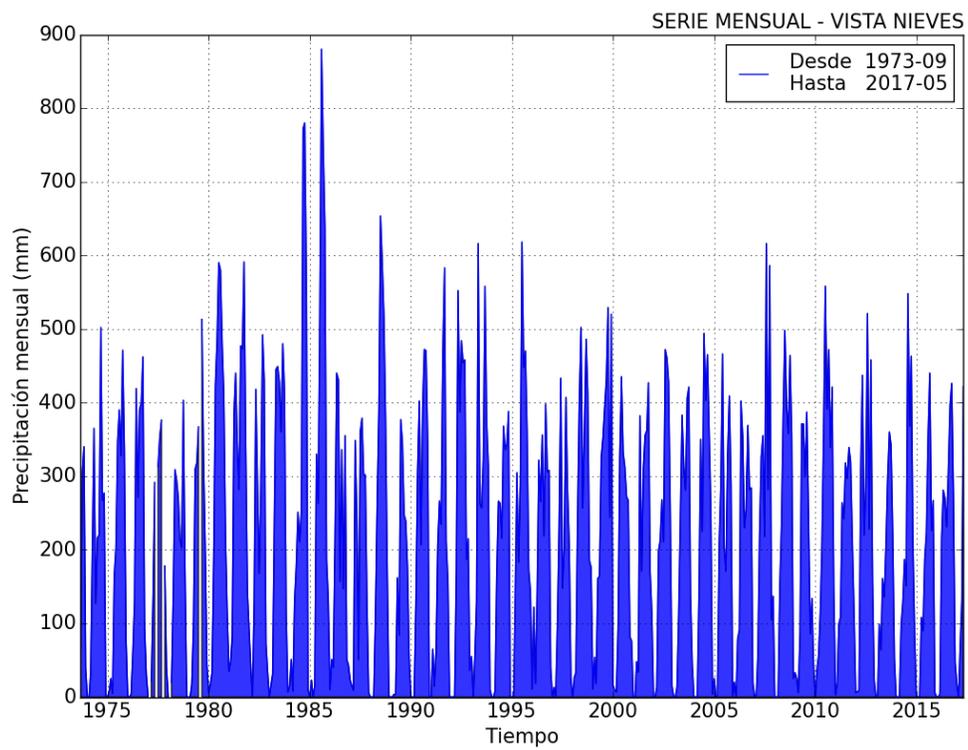
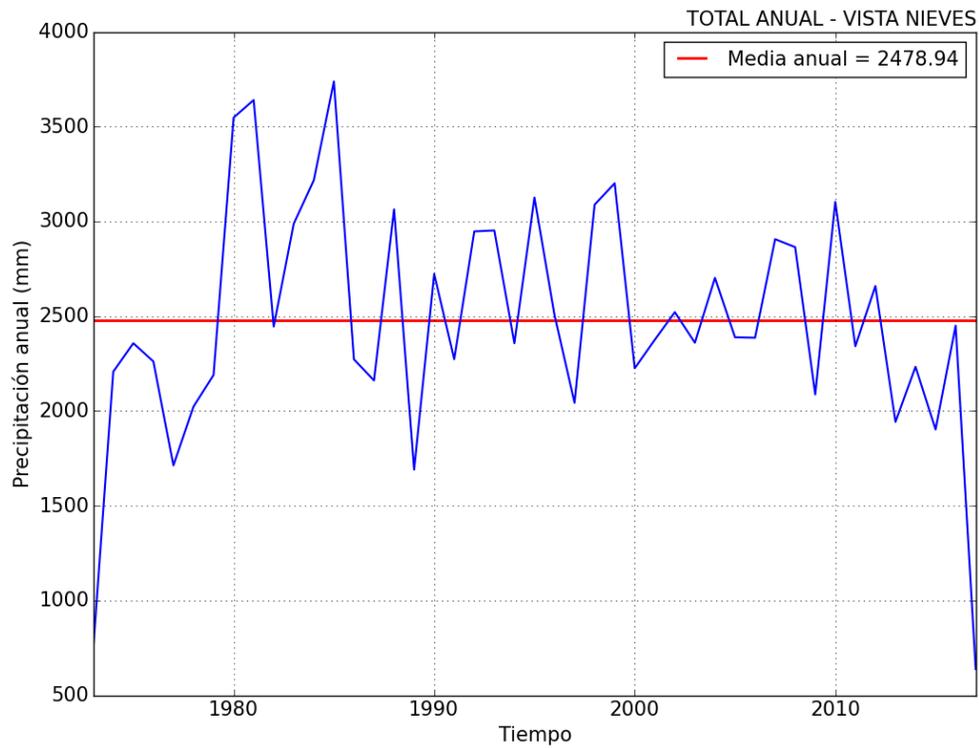
UNICEF-OMS. (2015). *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización*. Ginebra, Suiza.

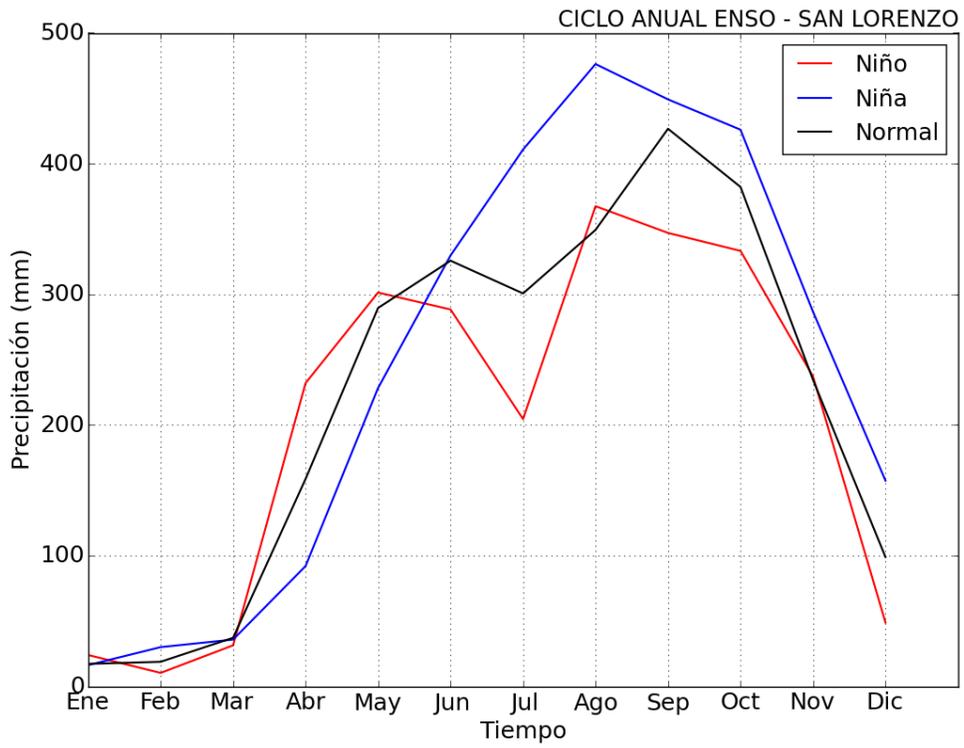
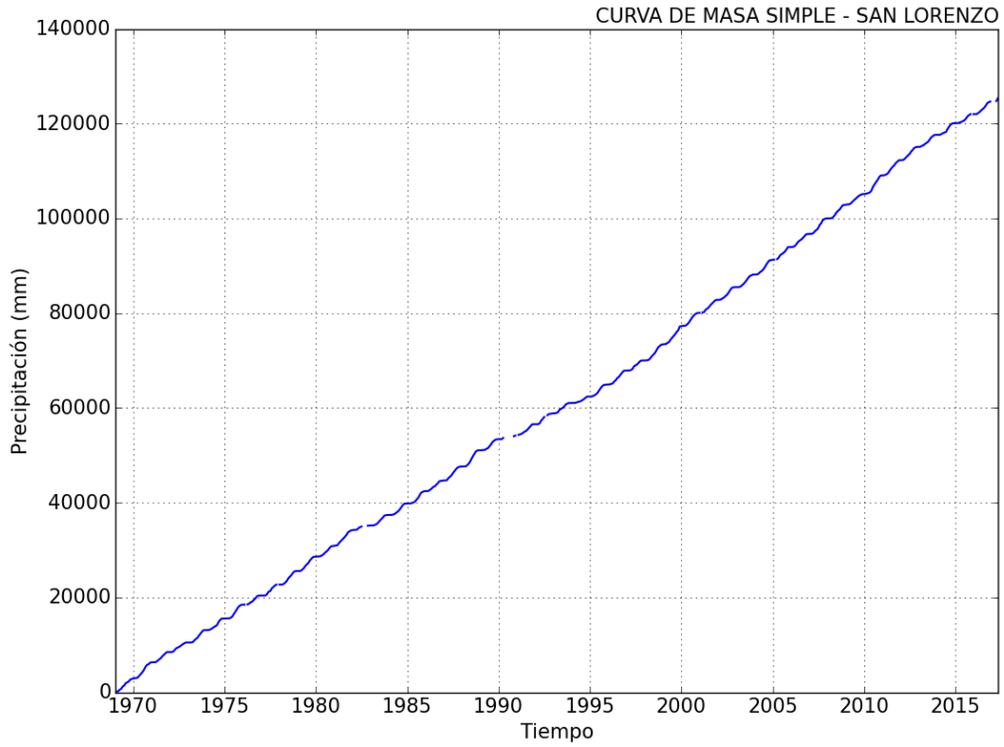
Zuñiga, M. d., & Cardona, W. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. In J. C. Cantera, *Caudal ambiental: conceptos experiencias y desafíos* (pp. 167-198). Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.

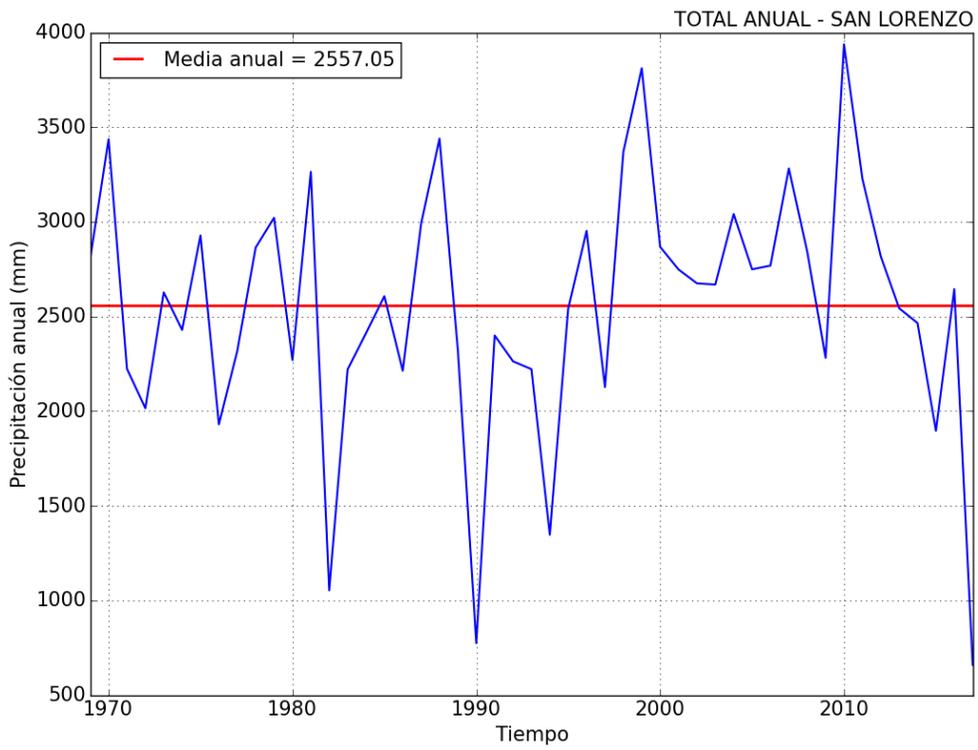
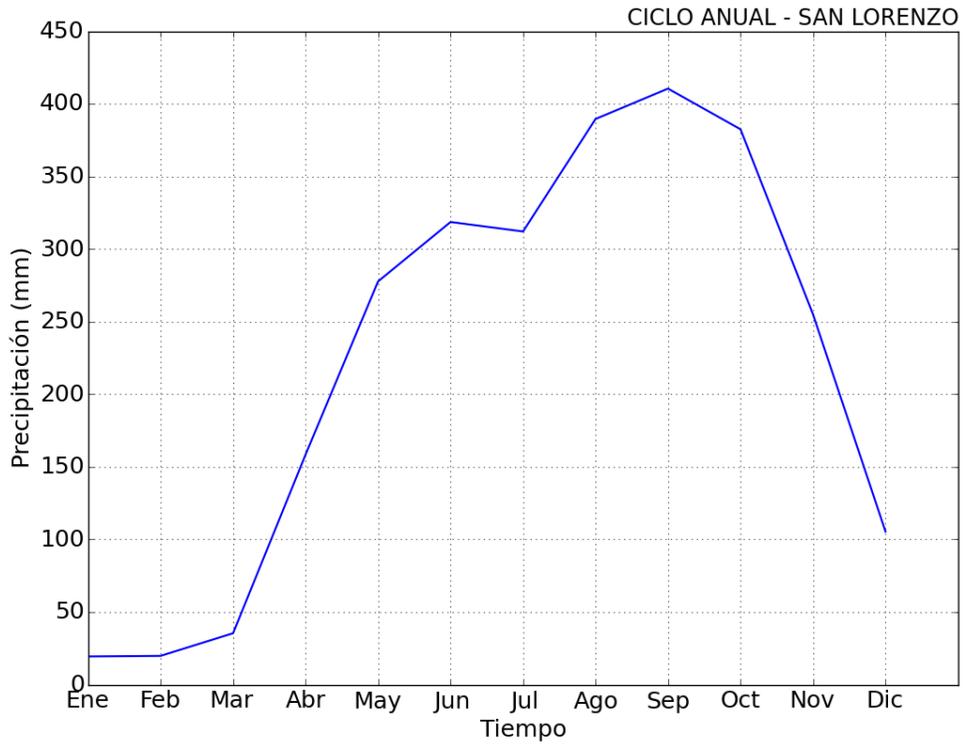
ANEXOS

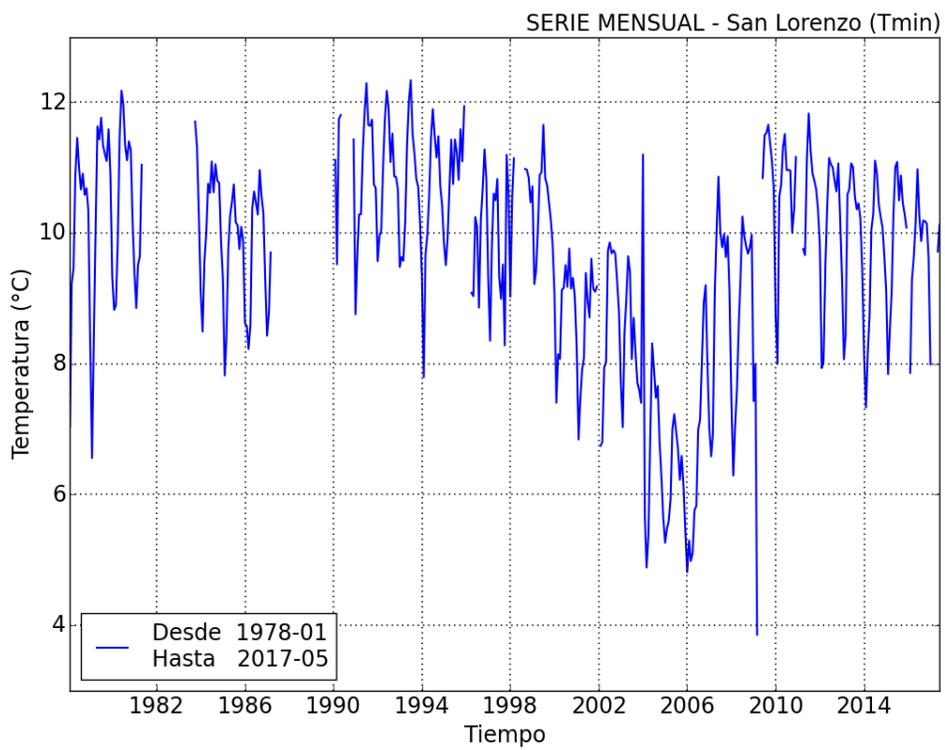
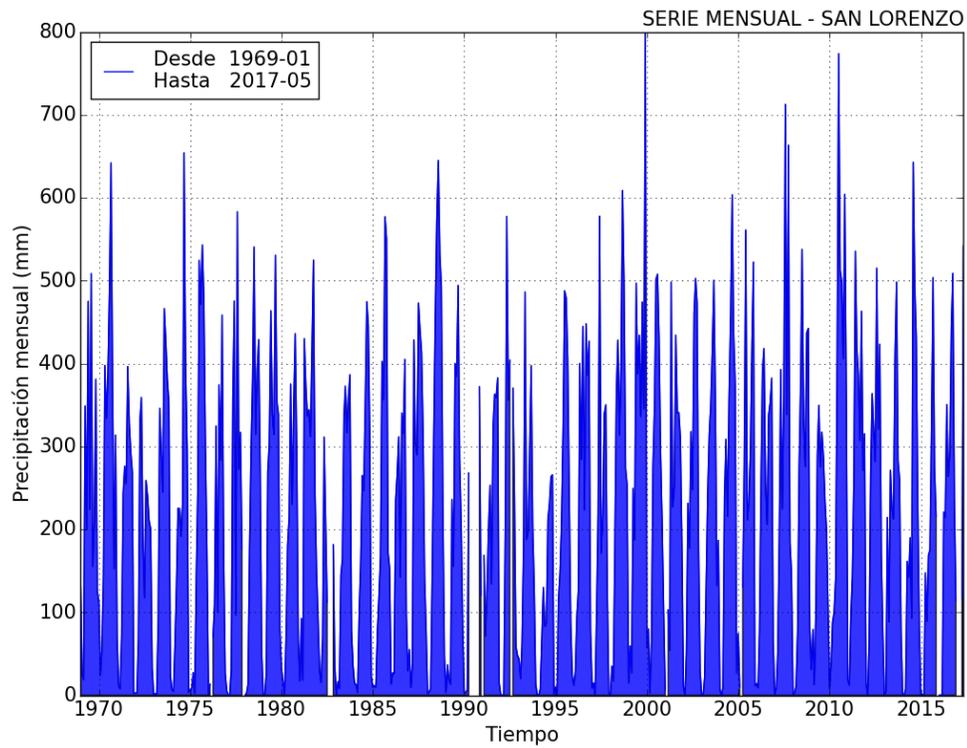
Anexo 1. Graficas de las series históricas en diferente resolución para las estaciones analizadas.

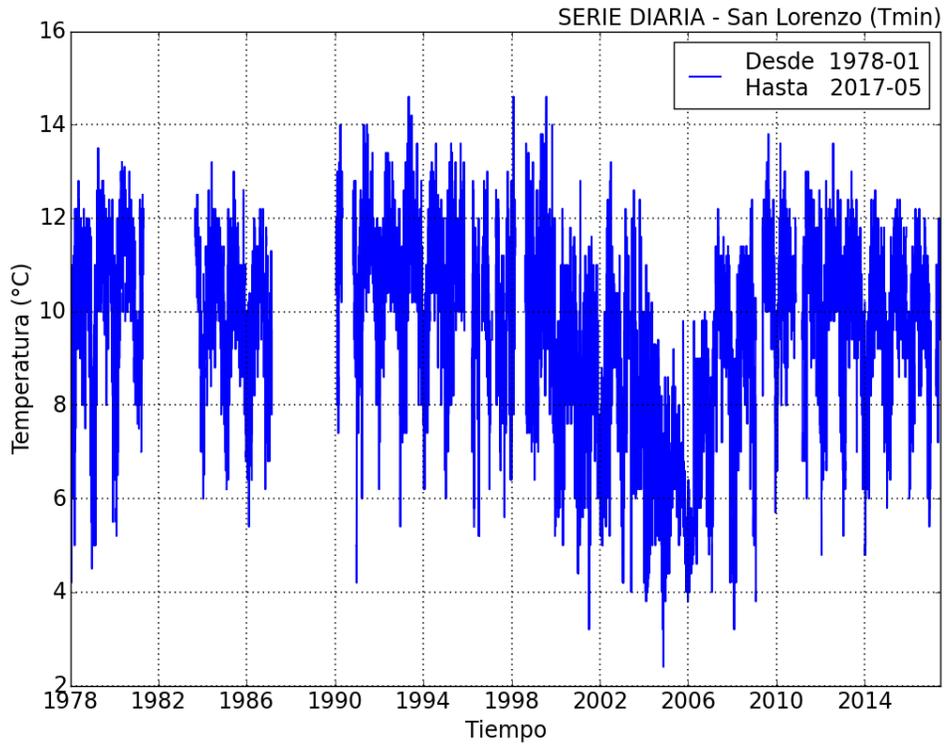




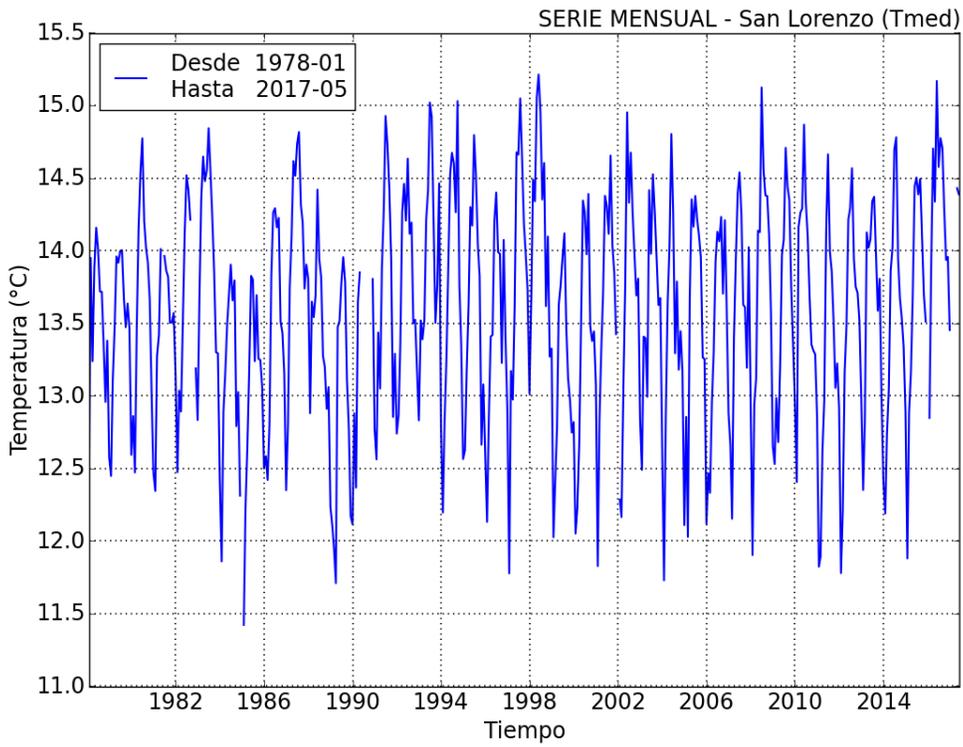


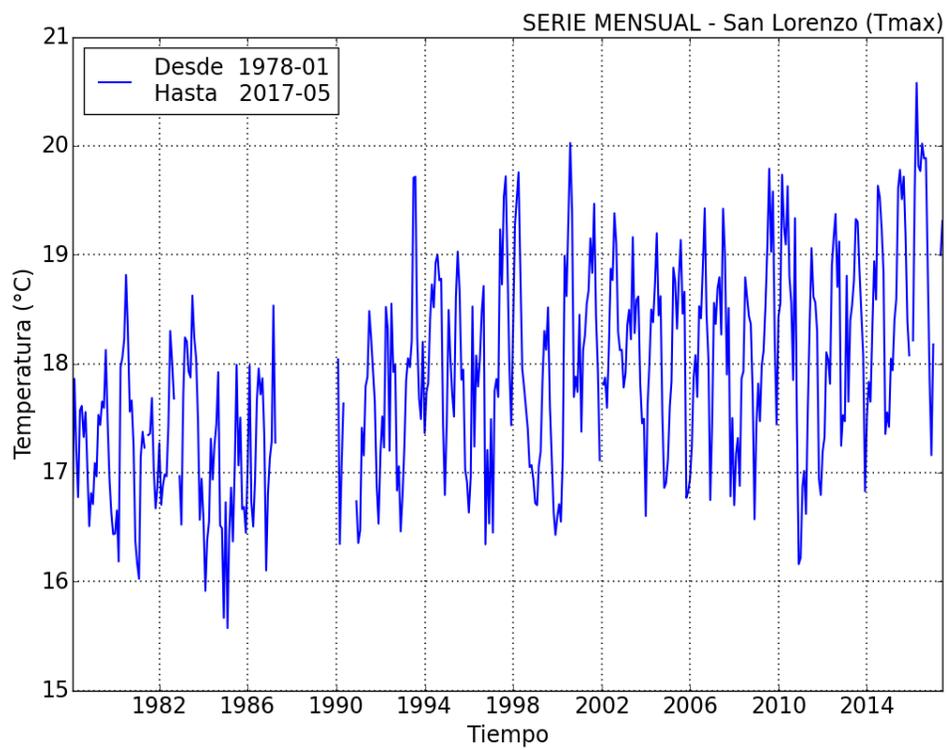
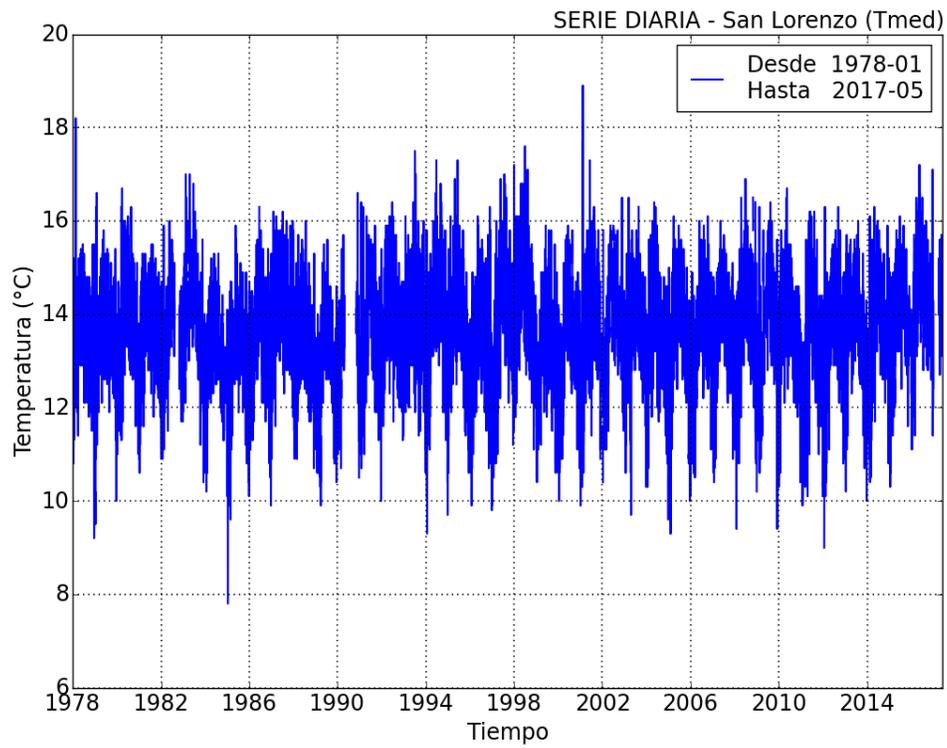


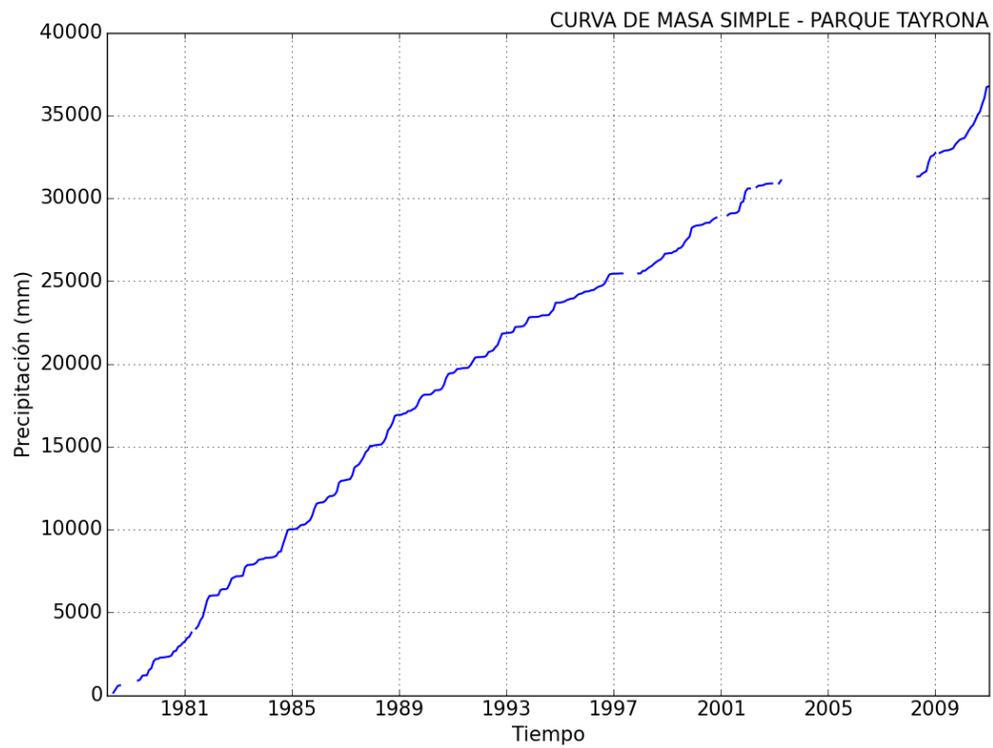
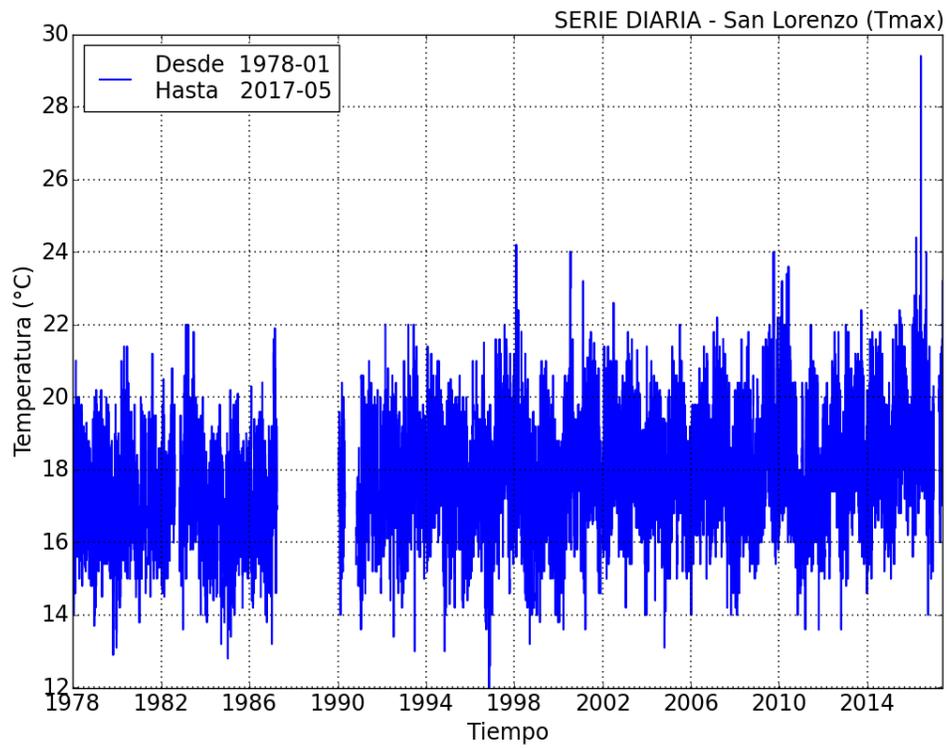


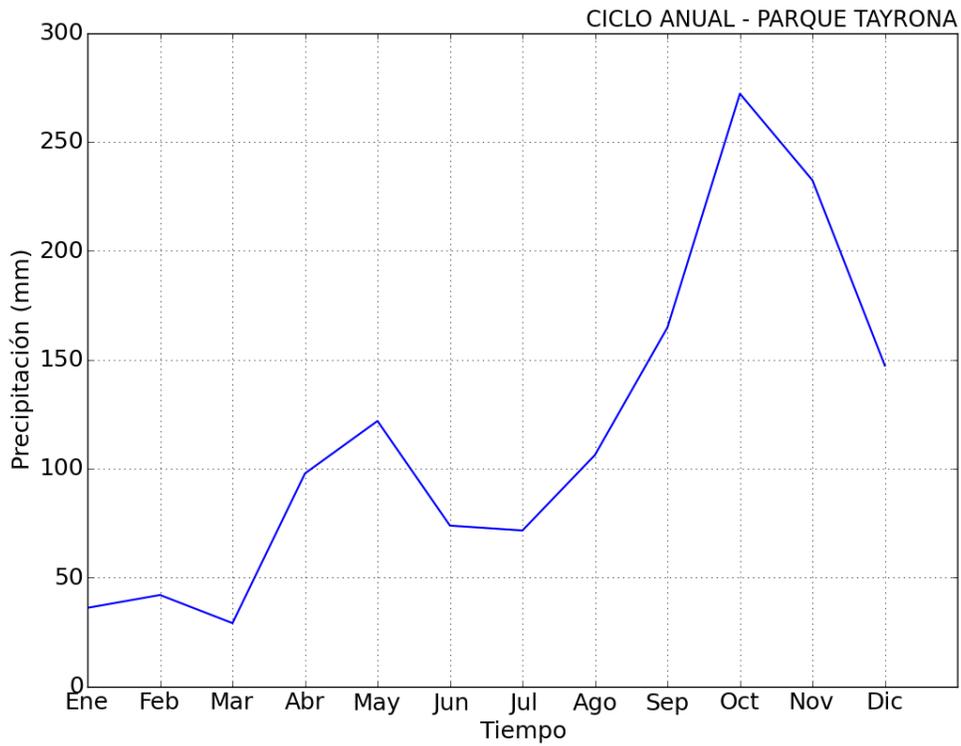
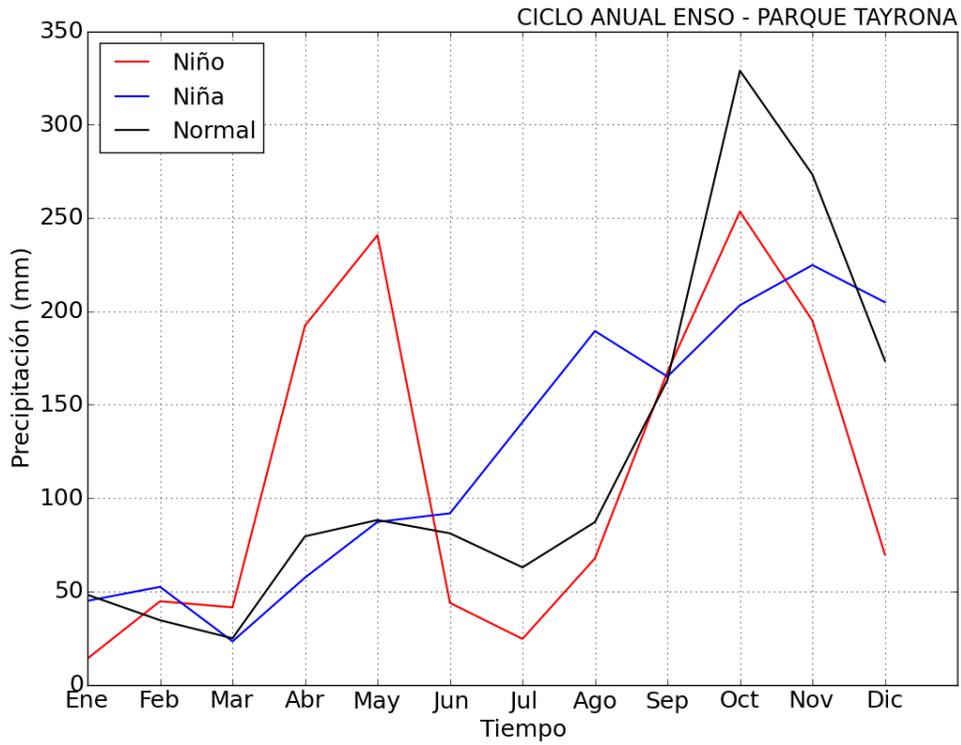


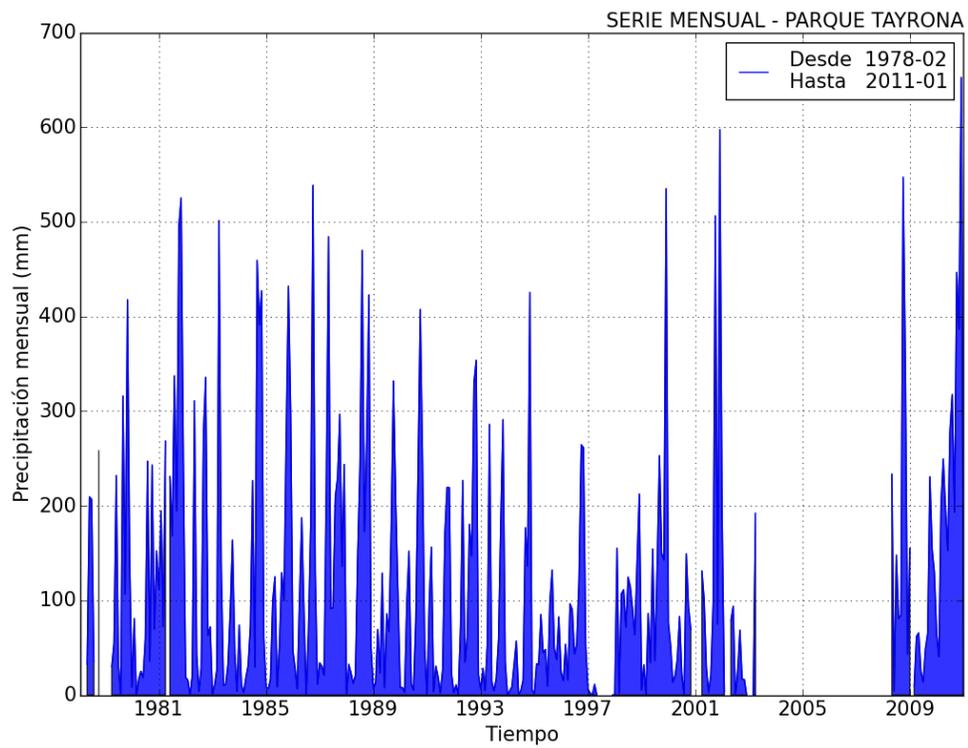
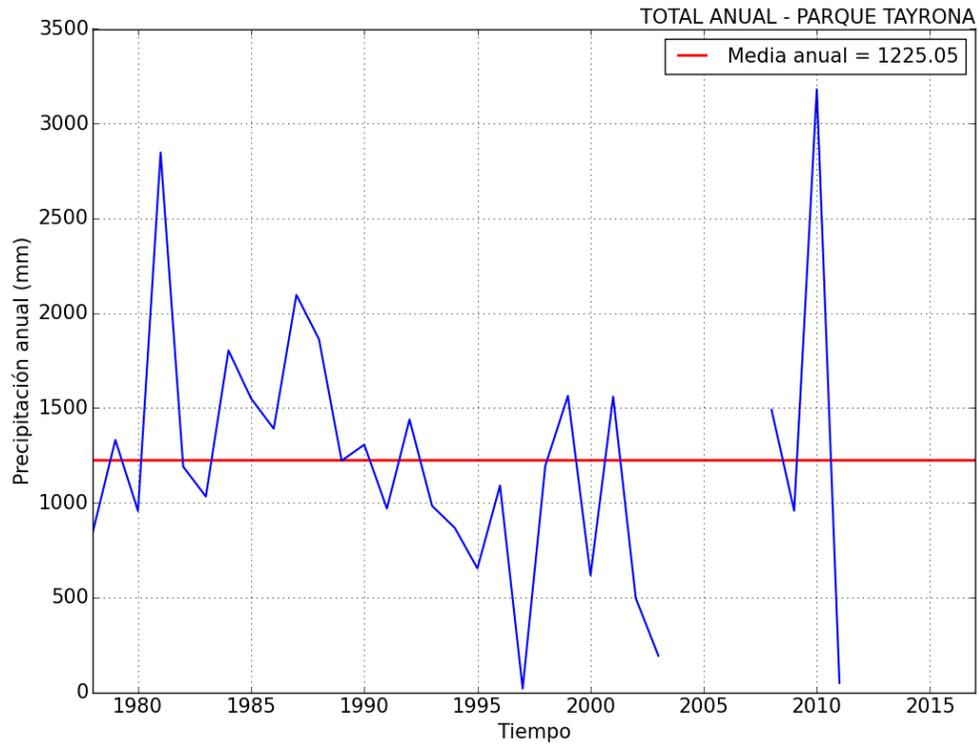
8

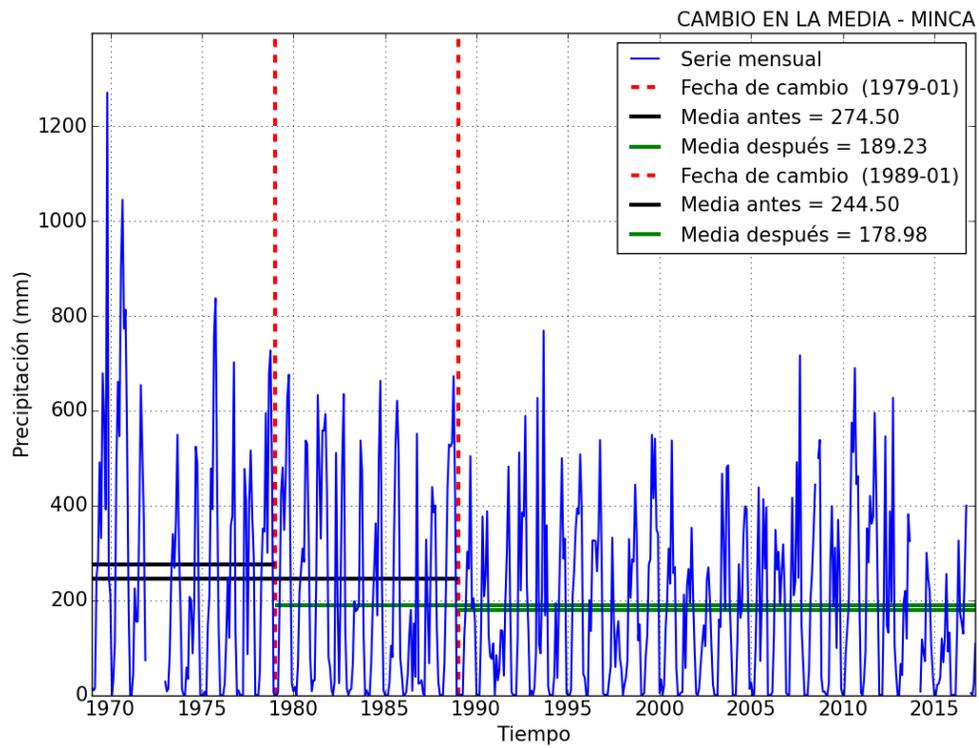
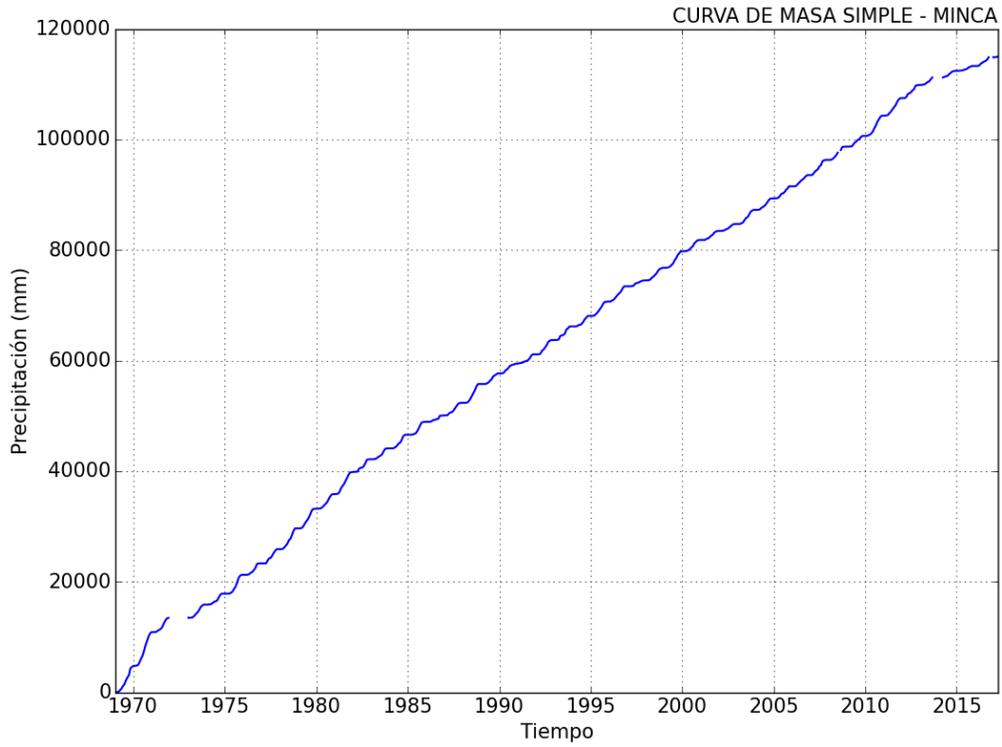


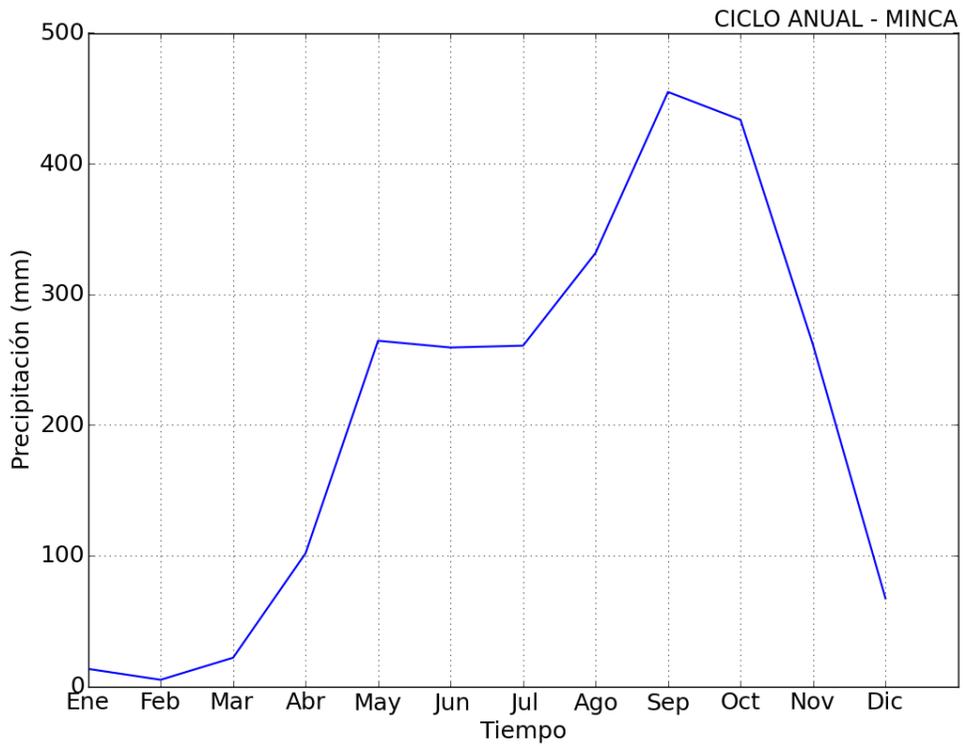
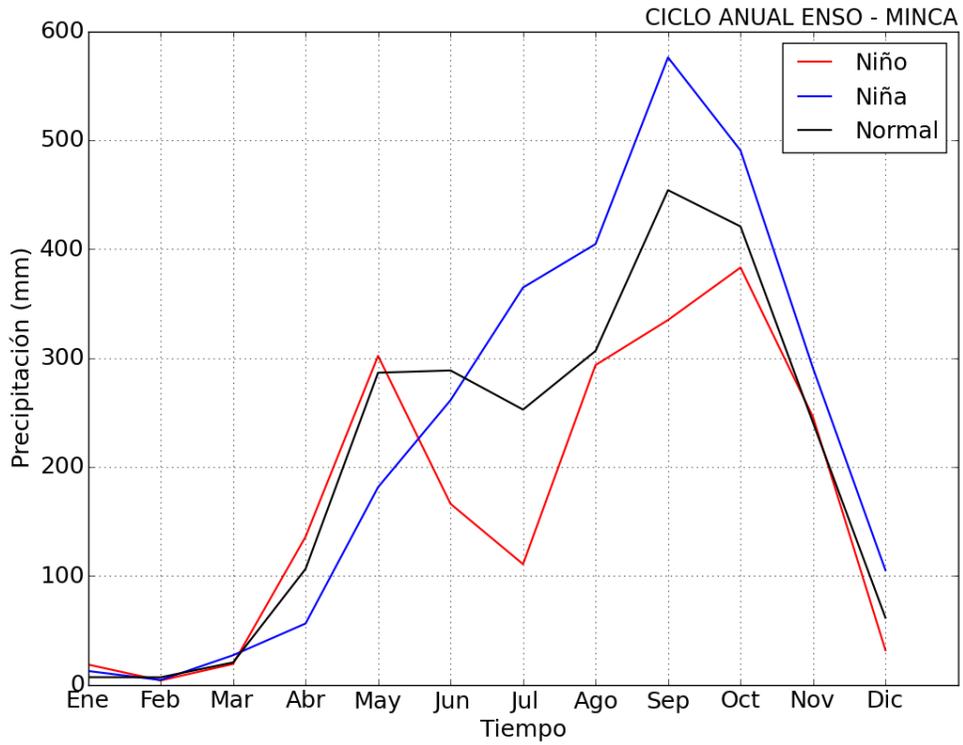


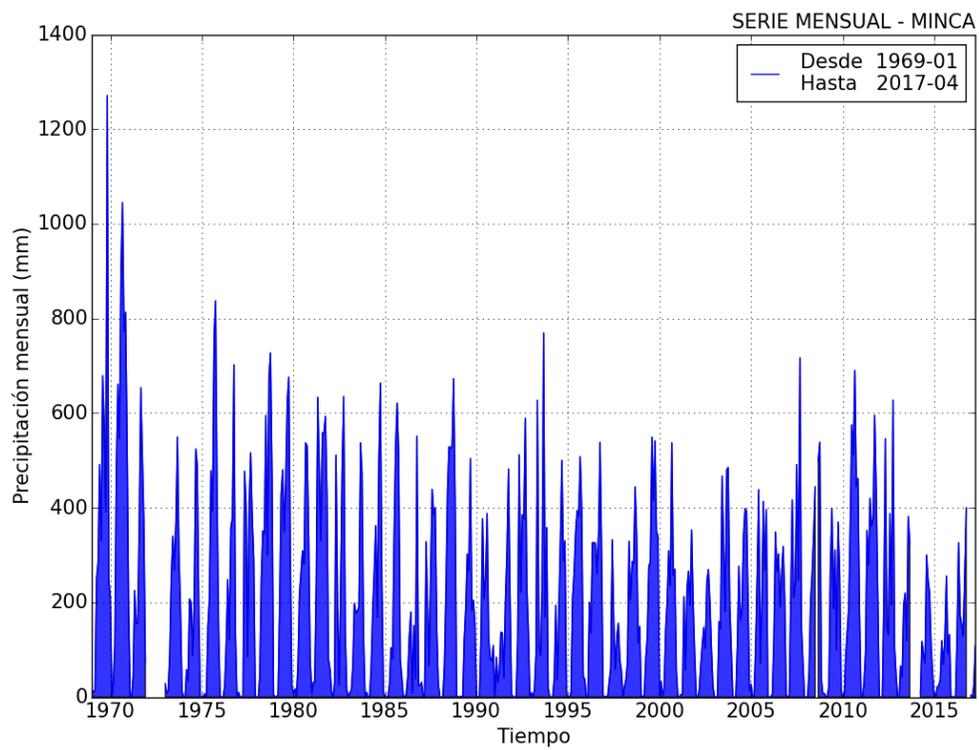
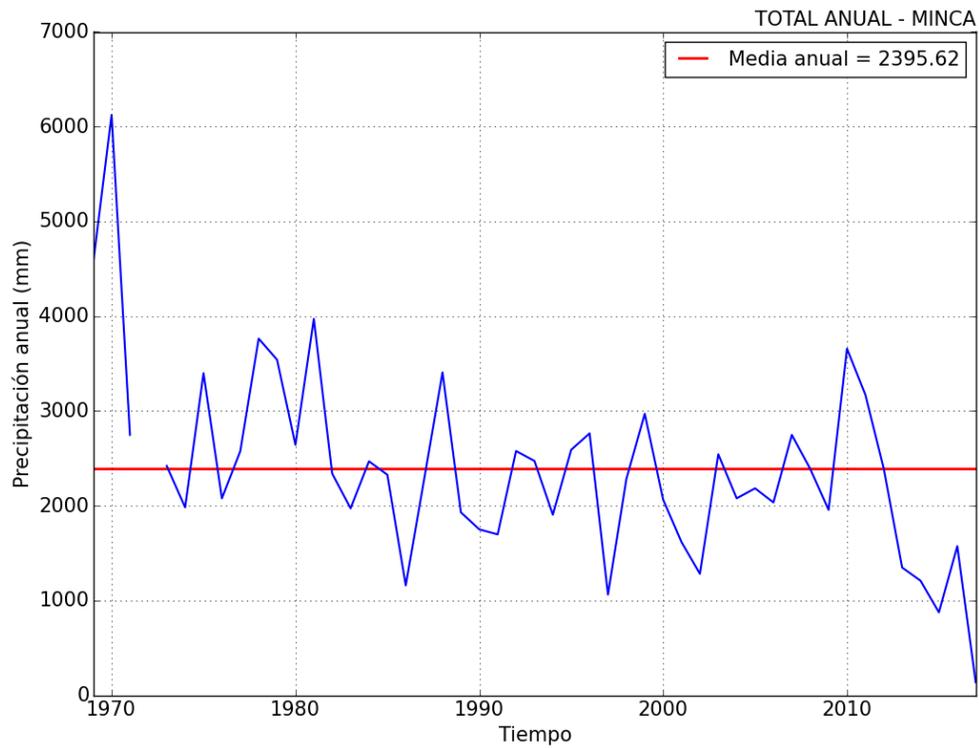


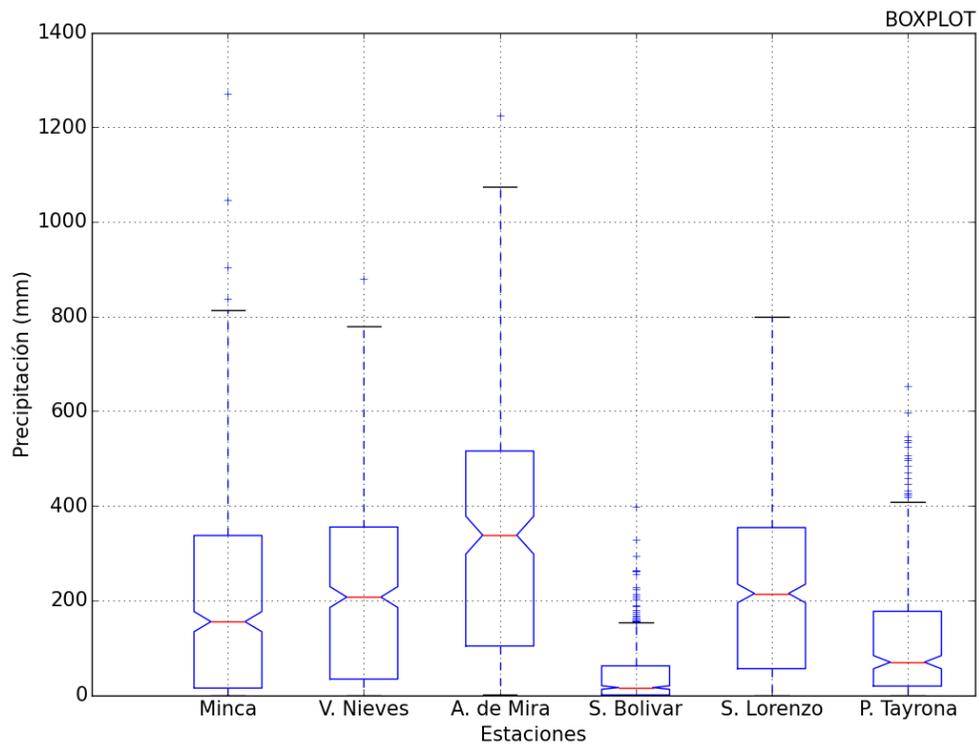
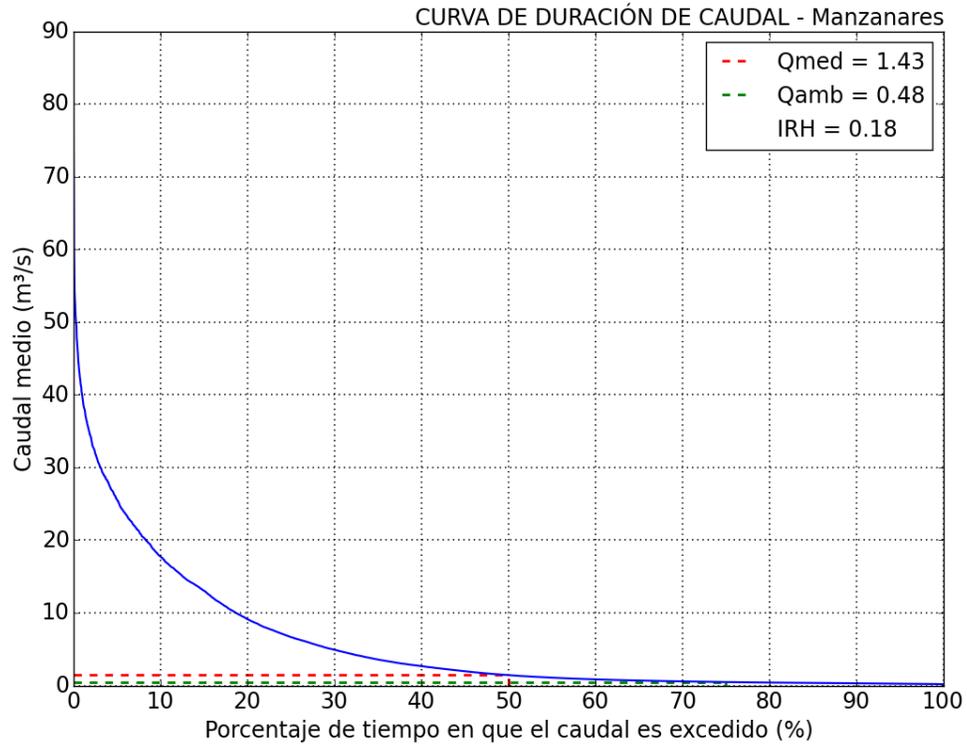


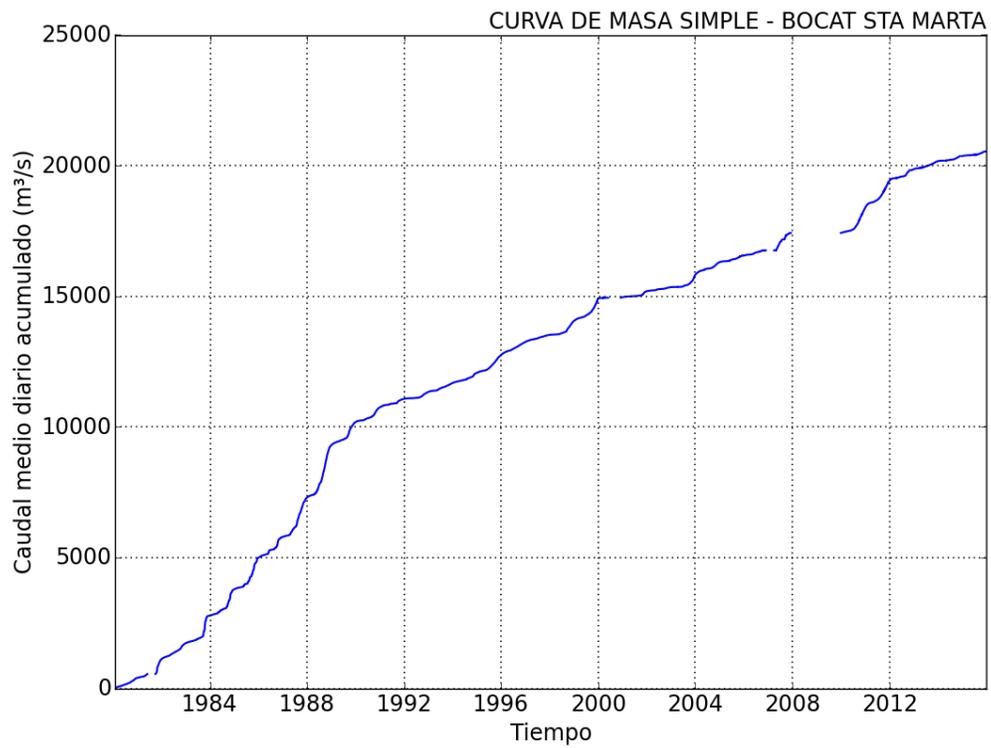
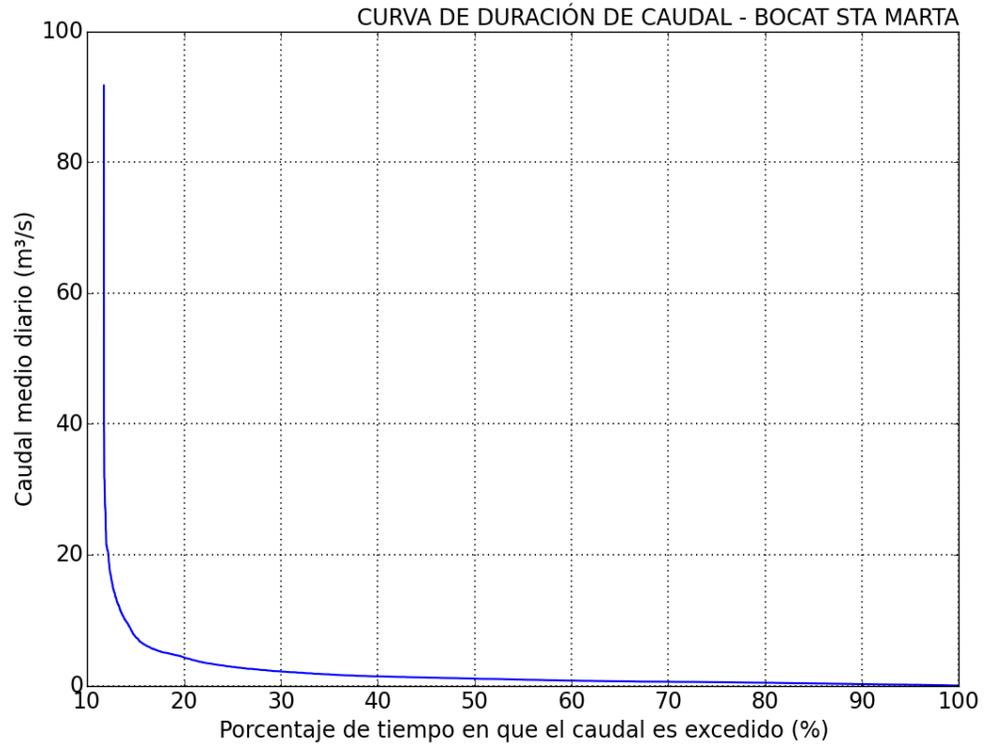


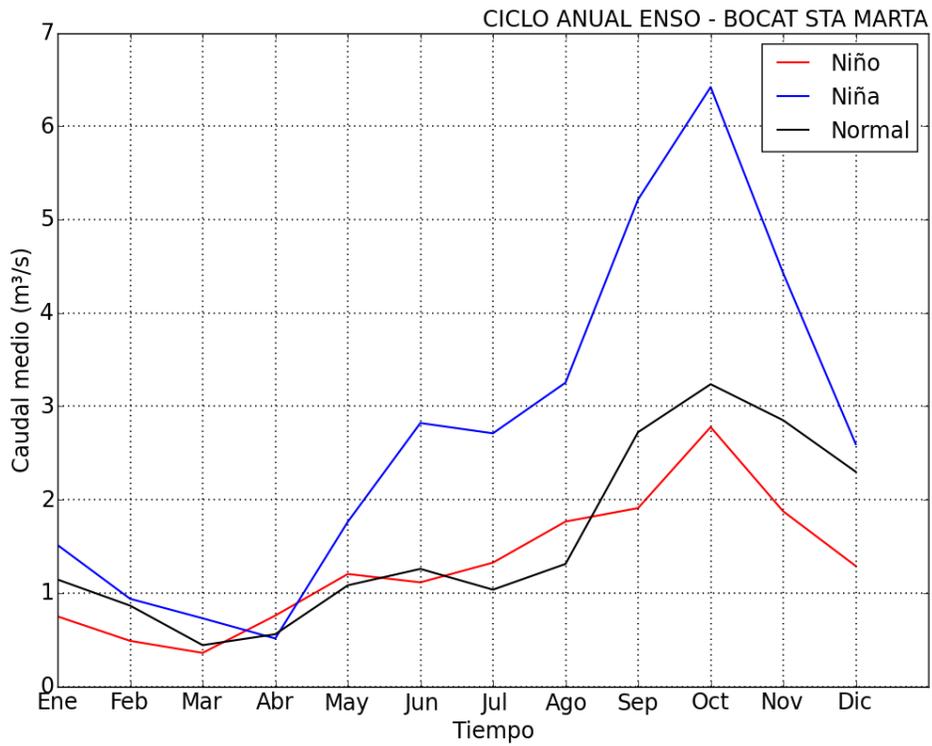
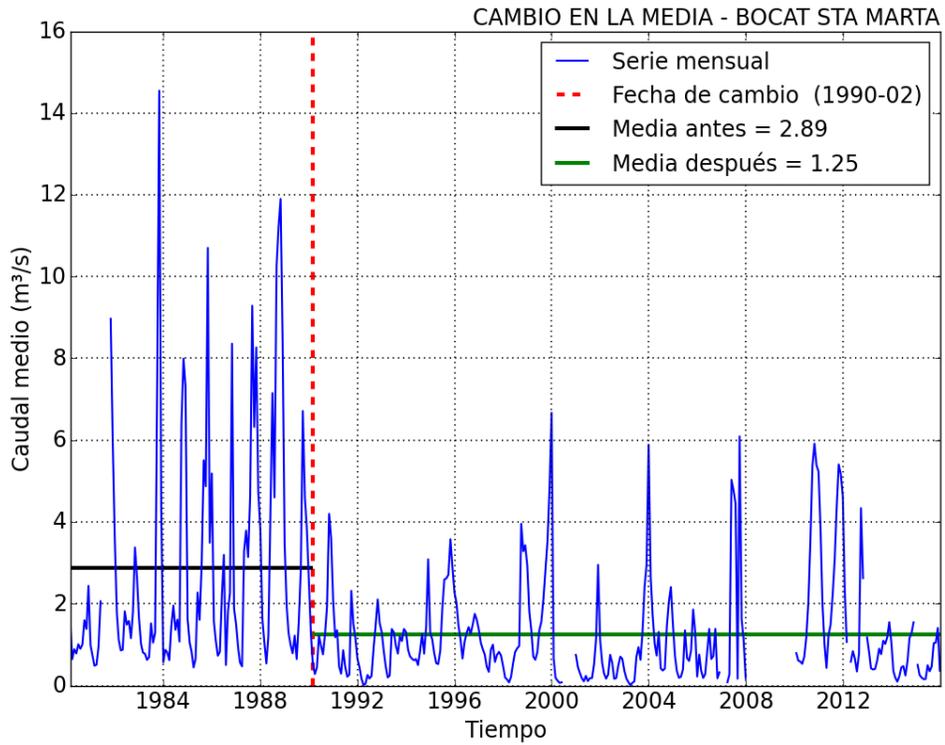


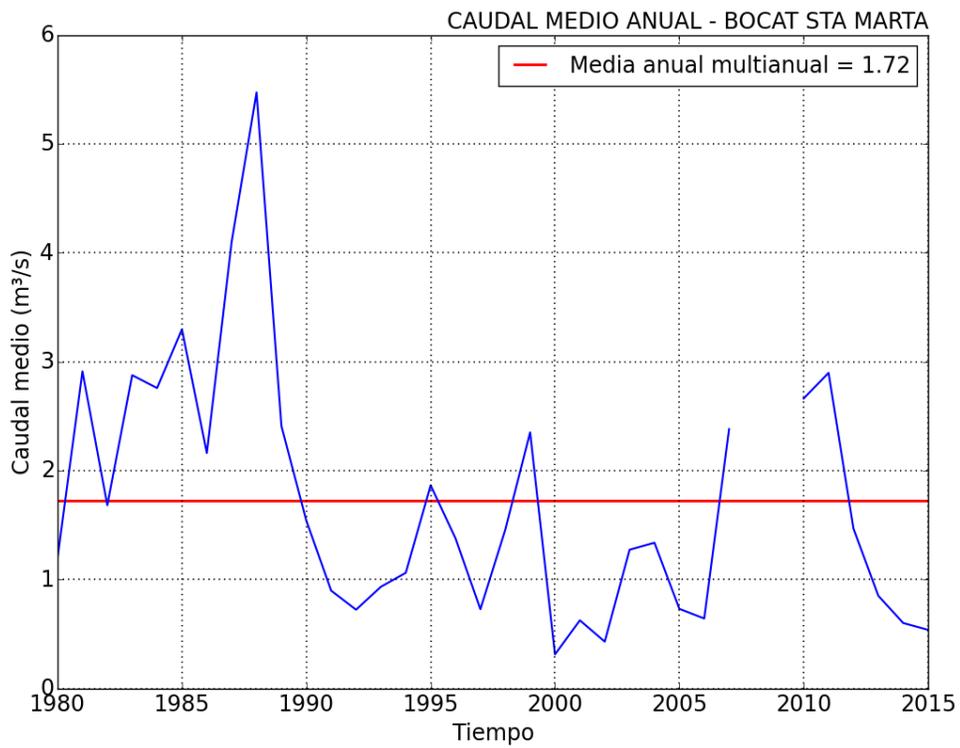
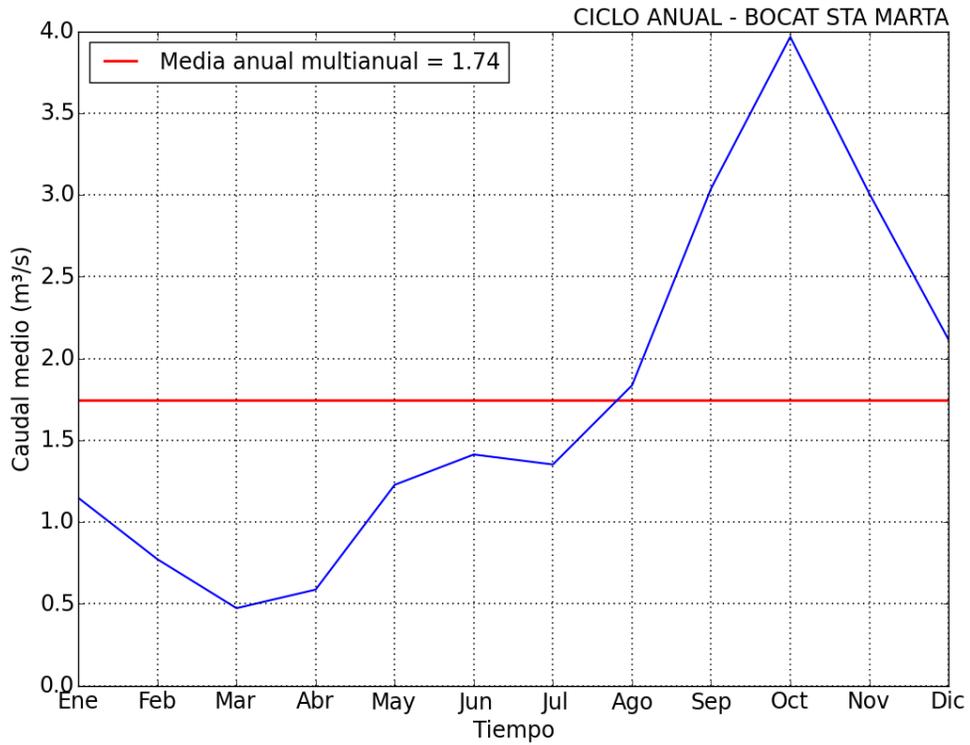


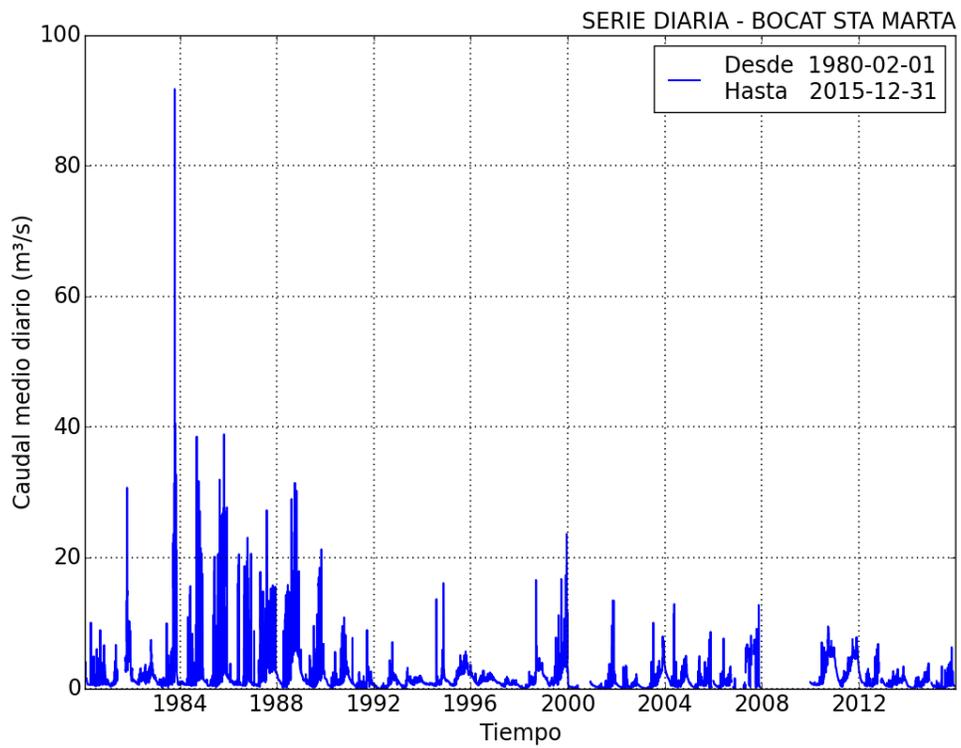
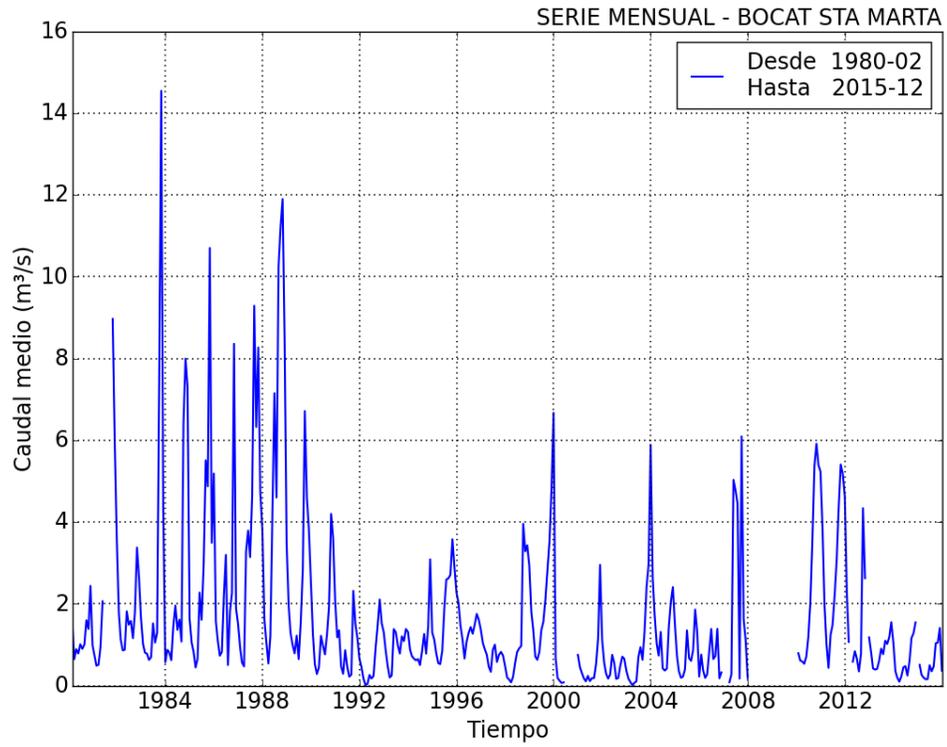


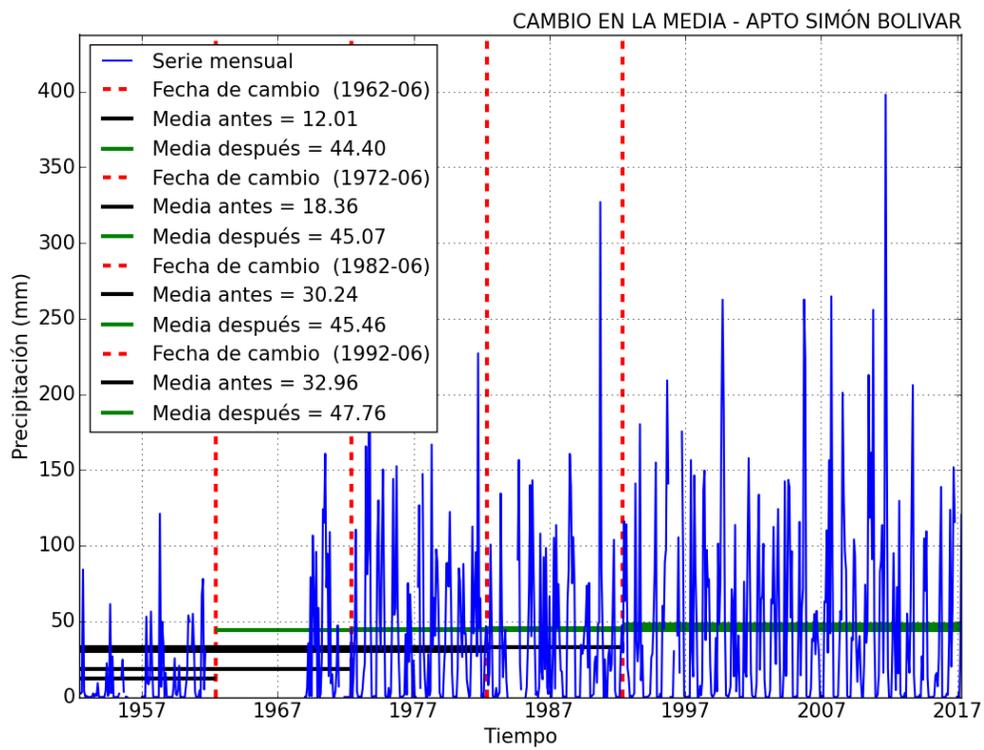
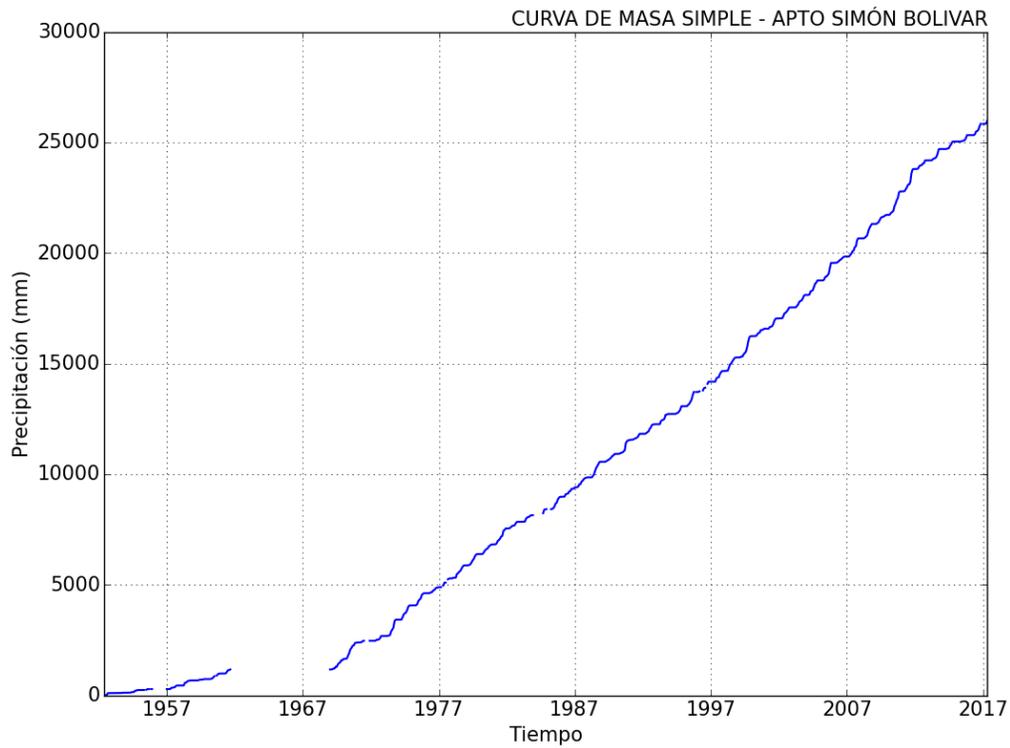


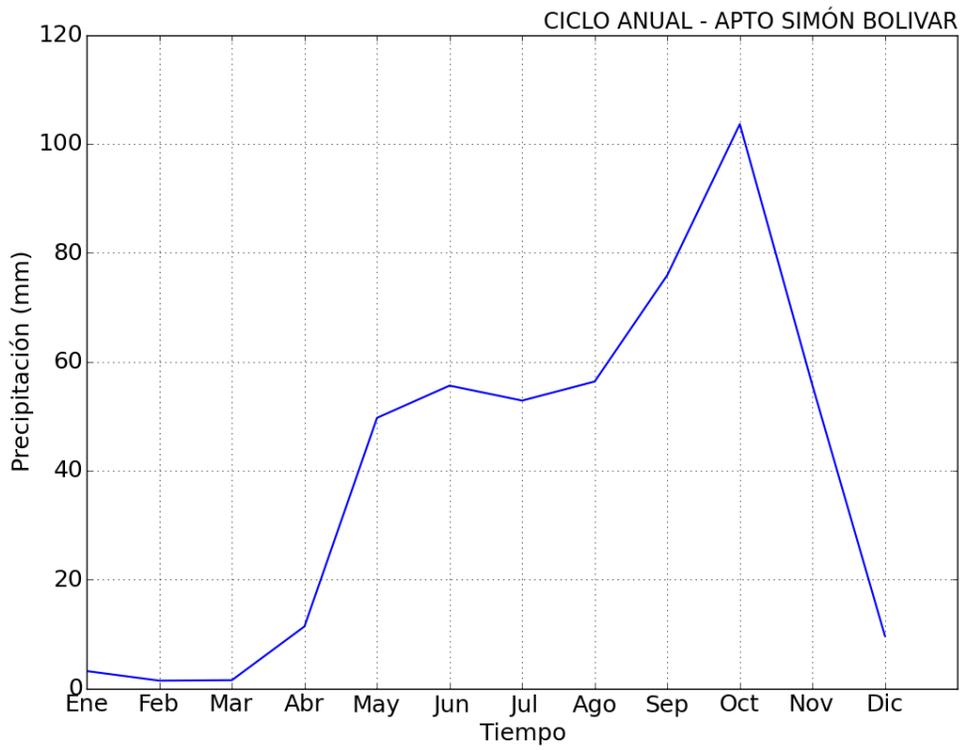
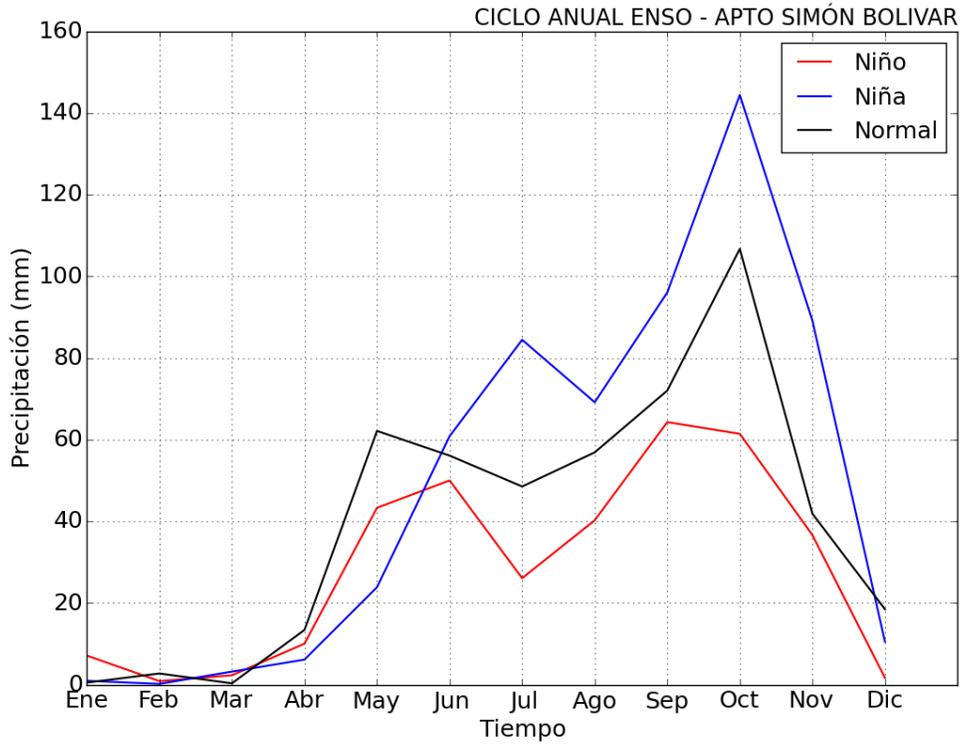


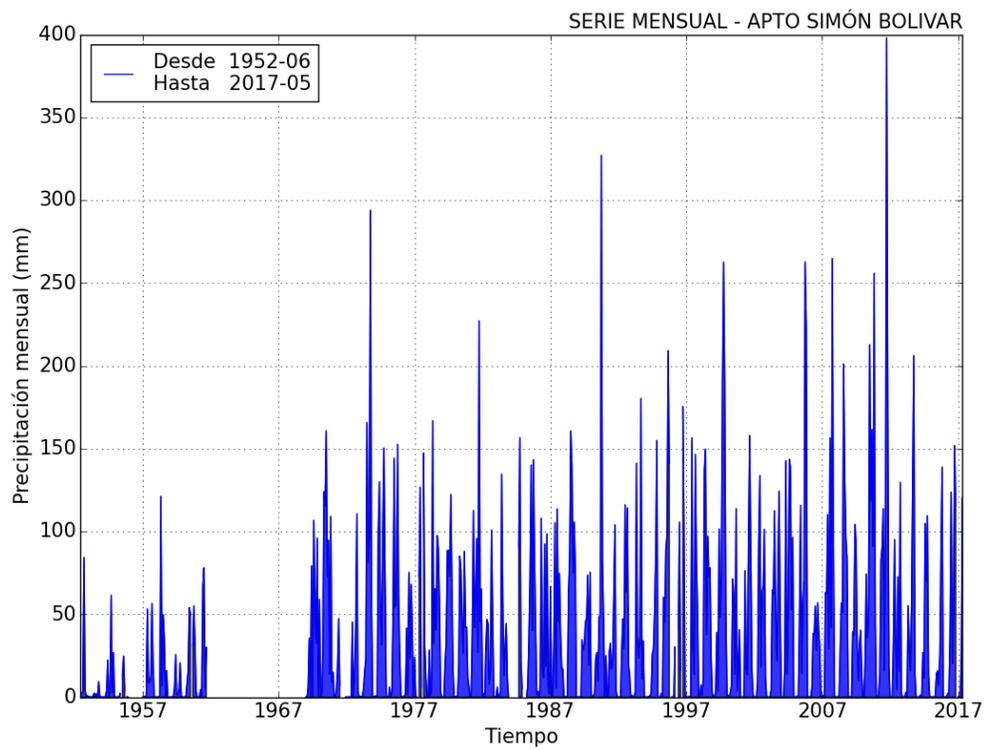
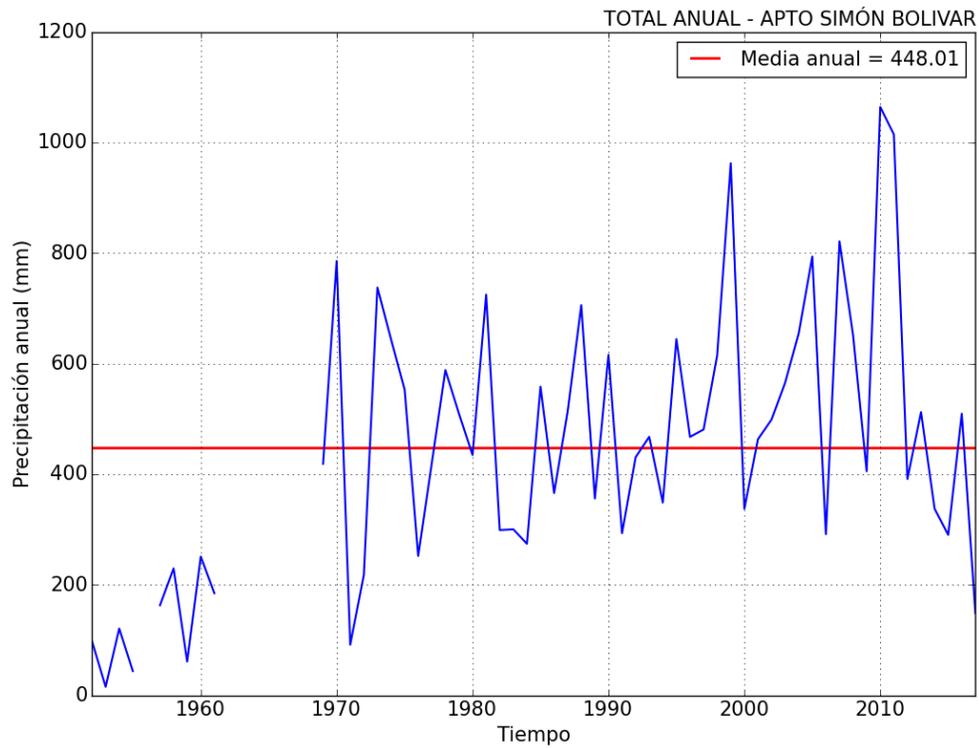


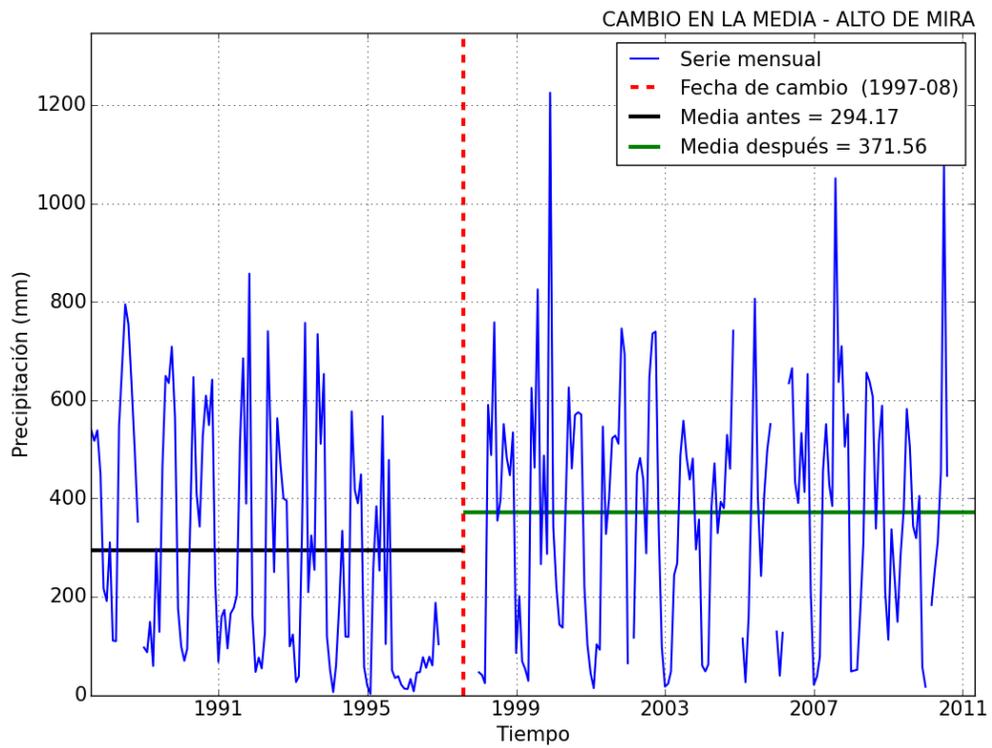
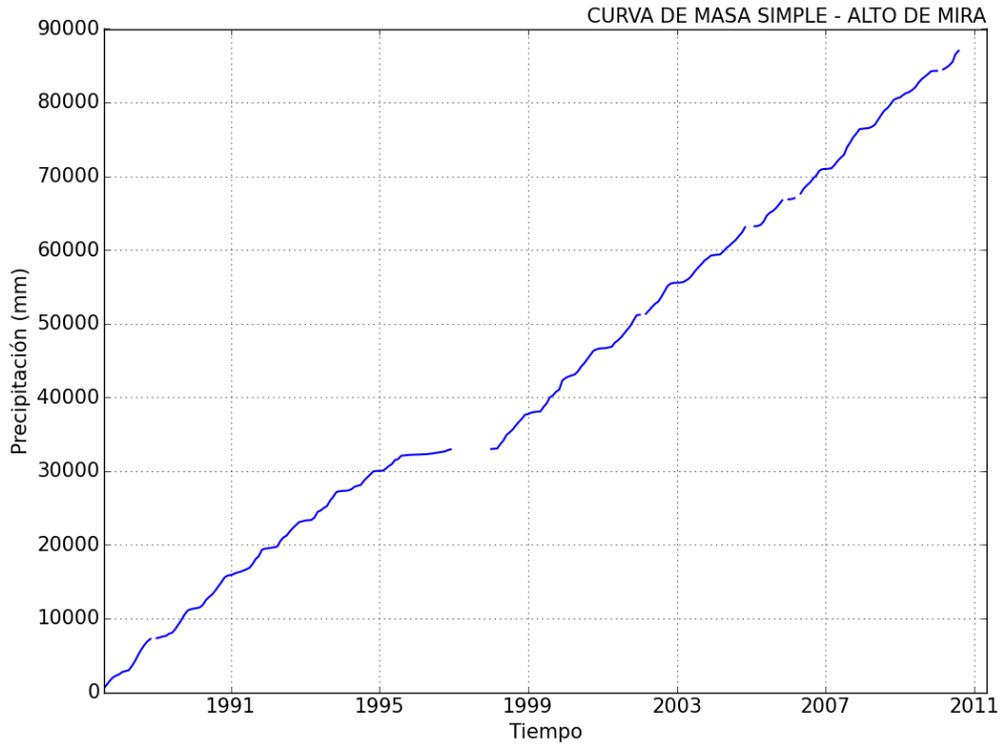


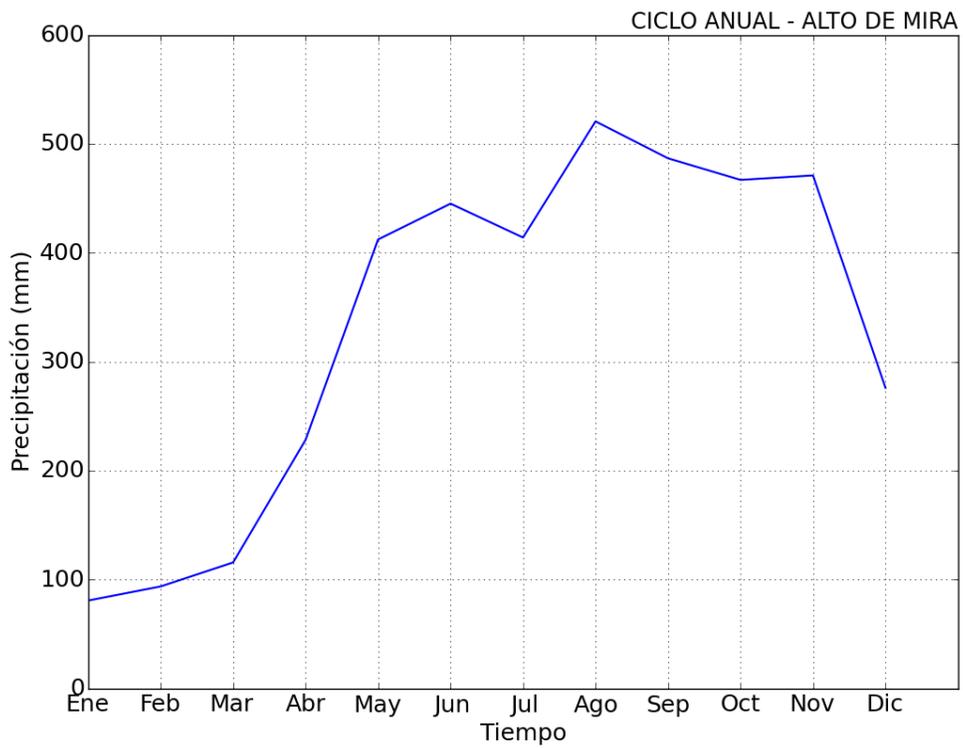
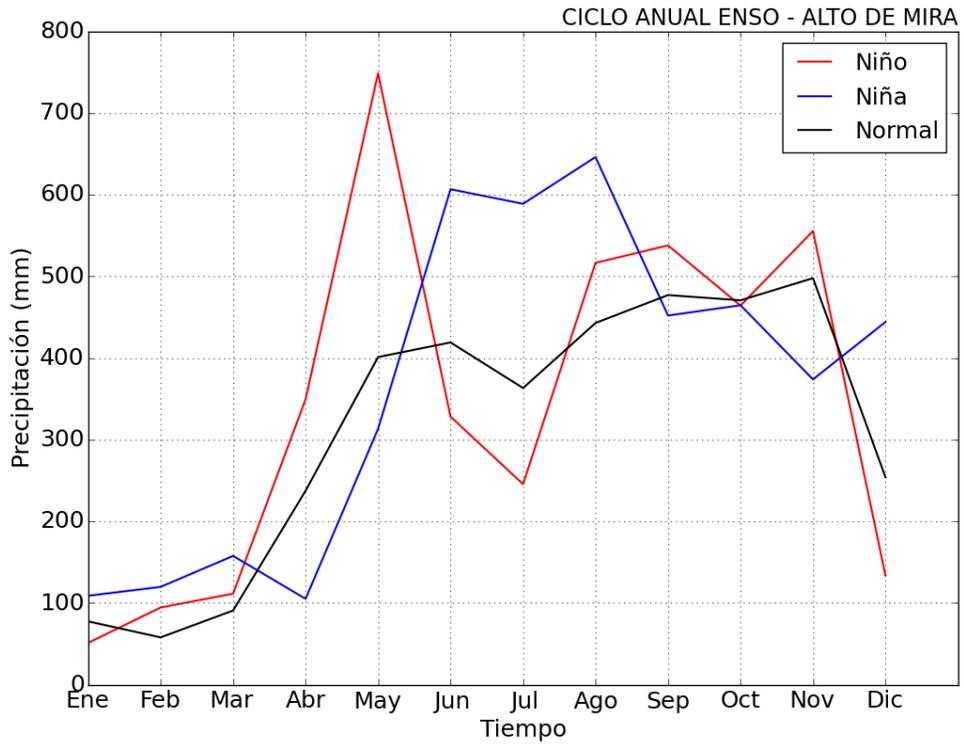


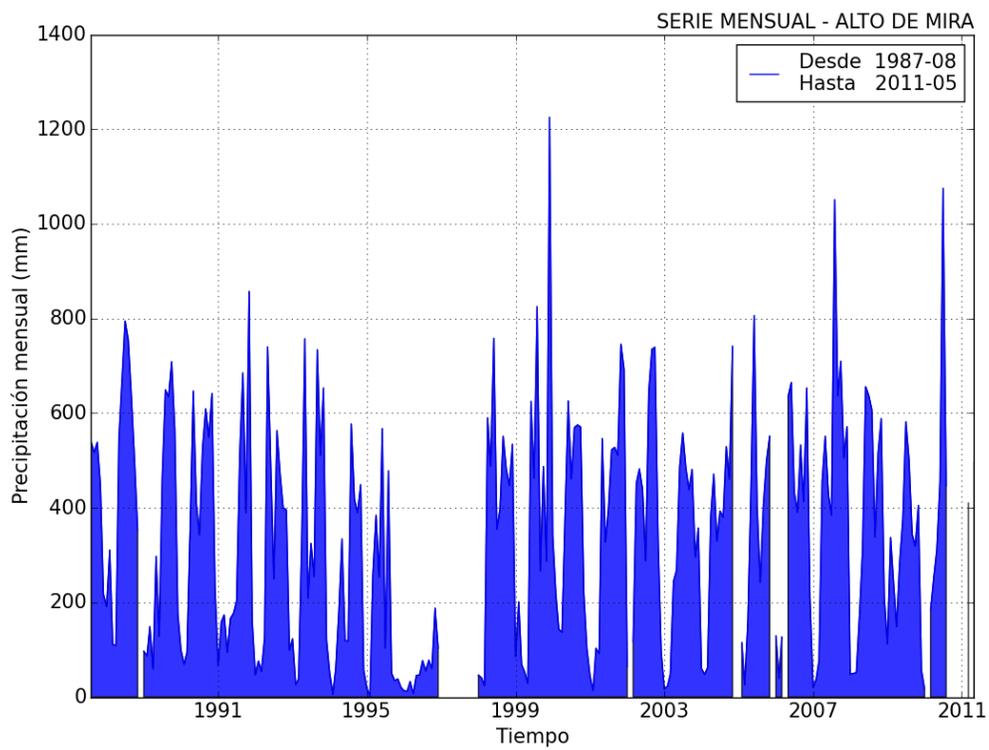
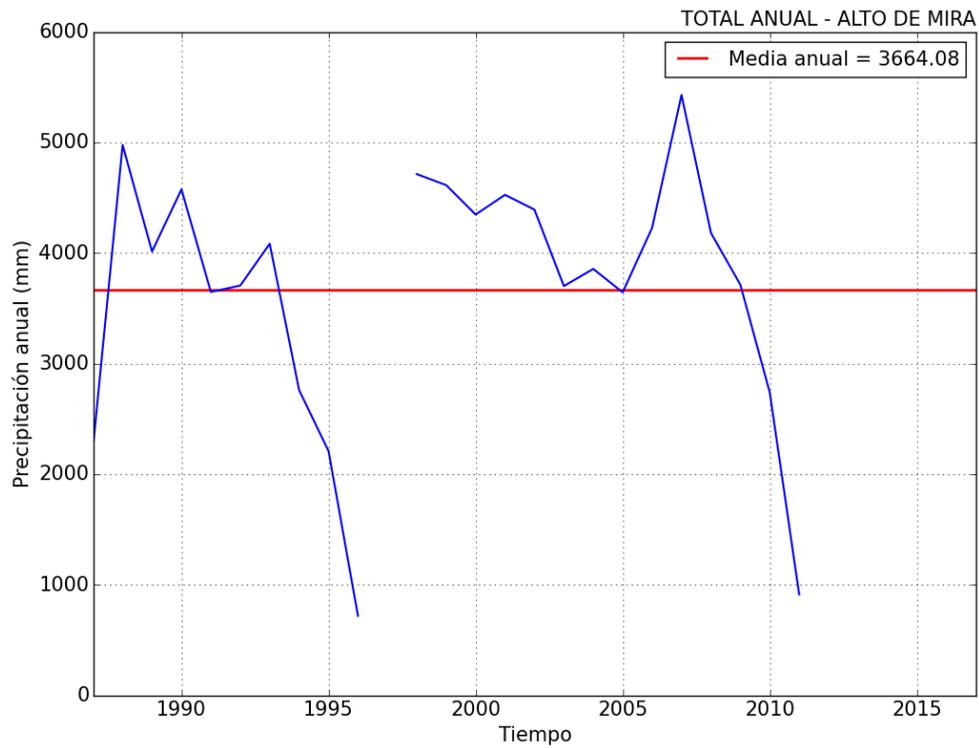


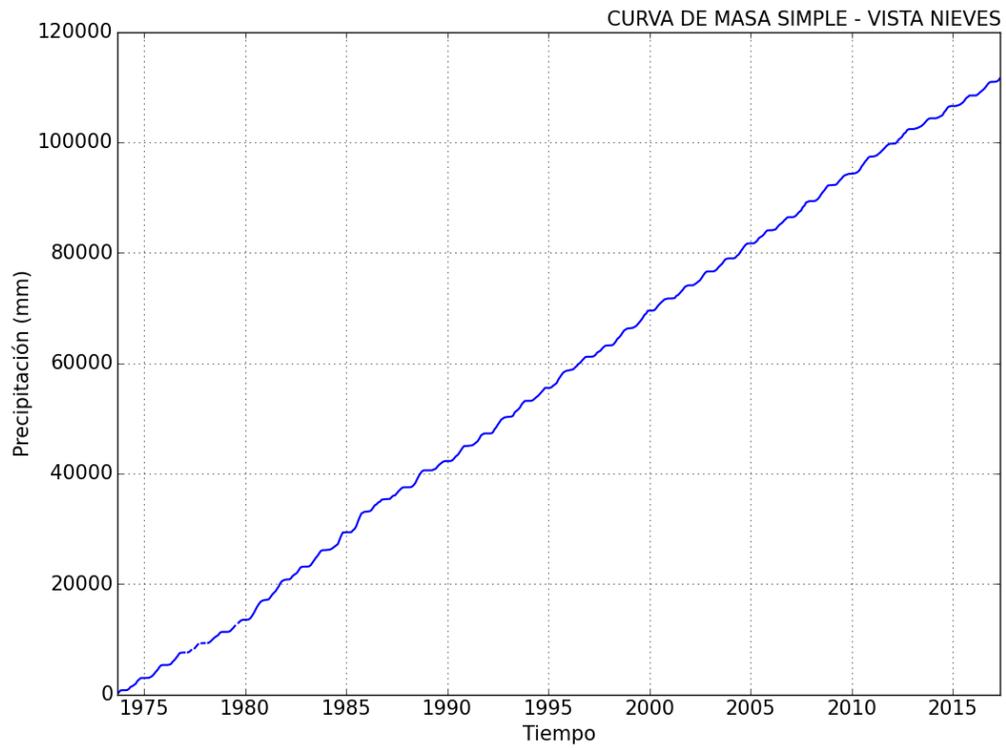












Anexo 2. Informe de resultados de análisis físico-químicos de las muestras para calidad del agua, realizado por el INVEMAR.



CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS AGUAS DEL RIO MANZANARES, SANTA MARTA, MAGDALENA

CON – CSC -005-19 ITF
OPS –VEX – No. 0720-2019



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
"José Benito Vives de Andrés" - INVEMAR

Santa Marta D.T.C.H., Diciembre de 2019





CUERPO DIRECTIVO INVEMAR

- Director General**
Francisco Armando Arias Isaza
- Subdirector de Coordinación Científica**
Jesús Antonio Garay Tinoco
- Subdirectora Administrativa**
Sandra Rincón Cabal
- Coordinadora de Investigación e Información para la Gestión Marina y Costera (GEZ)**
Paula Cristina Sierra Correa
- Coordinador Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)**
David Alejandro Alonso Carvajal
- Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)**
Luisa Fernanda Espinosa Díaz
- Coordinadora Programa Geociencias Marinas y Costeras (GEO)**
Constanza Ricaurte Villota
- Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos y Costeros (VAR)**
Mario Enrique Rueda Hernández
- Coordinador Servicios Científicos (CSC)**
Julián Mauricio Betancourt Portela

Citar como:
J. BETANCOURT, H. PERTUZ., 2019. Caracterización Físicoquímica de las Aguas del Río Manzanares, Santa Marta. OPS –VEX – No. 0720-2019. UNIMAGDALENA-INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 15 p. + Anexos.

Preparado por:

COORDINACIÓN DE SERVICIOS CIENTÍFICOS

INVEMAR Julian Betancourt Jefe de Proyecto	UNIMAGDALENA Raul Sarabia Supervisor
--	--

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación CSC
Hector Pertuz
Químico

GRUPO DE APOYO

Logística Oscar Fawcett	Laboratorio Freiman Ayala – Tecnólogo
----------------------------	--

Imagen portada: Imágenes obtenidas en el muestreo realizado en campo (UNIMAGDALENA-INVEMAR), Hector Pertuz.

INVEMAR
Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero
Santa Marta D.T.C.H., Colombia
Teléfono: (57) (5) 4328600
www.invemar.org.co





TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	ALCANCE DEL ESTUDIO.....	6
2.1.	OBJETIVO.....	6
3.	METODOLOGÍA.....	6
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	6
3.2.	Fase de laboratorio.....	7
4.	RESULTADOS.....	9
4.1.	Mediciones “in situ”.....	9
4.2.	Sólidos.....	10
4.3.	Indicadores de Materia orgánica.....	10
4.4.	Nutrientes.....	11
4.5.	Contaminantes orgánicos.....	12
4.6.	Metales disueltos.....	12
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	14
6.	ANEXOS.....	15



Informe Técnico Final
 Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
 CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Galguero Tel. 4329900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Versión 8		
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No		12083		
		FECHA DE EMISIÓN		2019-11-30		
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE		CSG		DIRECCIÓN		
CONTACTO		JULIAN BETANGOURT		CALLE 25 # 2-55 PLAYA GALGUERO - CSG		
		PROYECTO		UNIMAGDALENA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ		AGUA		SUBMATRIZ		
PLAN DE MUESTREO		305		AGUA MARINA		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-LABCAM-18		FECHA DE TOMA		
				2019-10-31 11:00H		
LUGAR DE MUESTREO		RIO MANZANARES		FECHA DE RECEPCIÓN		
				2019-10-31		
OTROS		PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO		E00		
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	In situ - OXIGENO DISUELTUO	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	4,97	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	In situ - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	8,30	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	In situ - CALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	In situ - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	29,8	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	In situ - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,210	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2016						
CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
 Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
 CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Galguero Tel. 4328900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Versión 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No		12082	
FECHA DE EMISIÓN		2019-11-30			
DATOS DEL CLIENTE					
NOMBRE		CGC		DIRECCIÓN	
CONTACTO		JULIAN BETANCOURT		CALLE 25 # 2 -55 PLAYA GALGUERO - CGC	
PROYECTO		UNIMAGDALENA			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
MATRIZ		AGUA		SUBMATRIZ	
PLAN DE MUESTREO		305		AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-LABCAM-18		FECHA DE TOMA	
LUGAR DE MUESTREO		RIO MANZANARES		2019-10-31 10:51H	
OTROS		PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO		2019-10-31	
E08					
RESULTADO DE ANÁLISIS					
ENSAYO		MÉTODO		UNIDADES	
RESULTADO		ANALISTA		FECHA DE ANÁLISIS	
a Insitu - OXIGENO DISUELTOS		Standard Methods N°4500-O G		mg/L	
5,10		HECTOR EMILIO PERTUZ		2019-10-31	
a Insitu - pH		Standard Methods N° 4500-H B		UNIDAD	
7,82		HECTOR EMILIO PERTUZ		2019-10-31	
a Insitu - SALINIDAD		Standard Methods N° 2520 B		UNIDAD	
0,10		HECTOR EMILIO PERTUZ		2019-10-31	
a Insitu - TEMPERATURA		Standard Methods N° 2550 B		°C	
26,8		HECTOR EMILIO PERTUZ		2019-10-31	
a Insitu - CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		Standard Methods N° 2510 B		mS/cm	
0,250		HECTOR EMILIO PERTUZ		2019-10-31	
OBSERVACIONES:					
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018					
CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM		

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



	Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorio de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-35, Playa Salguero Tel. 4329000 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co	FT-LABCAM-13 Versión 8			
PAGINA 1 DE 1	INFORME DE RESULTADOS No	12081	FECHA DE EMISION	2019-11-30	
DATOS DEL CLIENTE					
NOMBRE	CSC	DIRECCIÓN	CALLE 25 # 2-35 PLAYA SALGUERO - CSC		
CONTACTO	JULIAN BETANCOURT		PROYECTO	UNIMAGDALENA	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
MATRIZ	AGUA	SUBMATRIZ	AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL		
PLAN DE MUESTREO	305	FECHA DE TOMA	2019-10-31 10:40H		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PR-LABCAM-18	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-10-31		
LUGAR DE MUESTREO	RIO MANZANARES	PUNTO O ESTACION DE MUESTREO	E07		
OTROS					
RESULTADO DE ANÁLISIS					
ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a Insitu - OXIGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	4,80	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	8,25	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	26,1	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,210	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:					
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0673 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018					
 CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			 LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM		

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
 Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
 CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Salguero Tel. 4329900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Versión 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No		12080	
FECHA DE EMISIÓN		2019-11-30			
DATOS DEL CLIENTE					
NOMBRE		CSC		DIRECCIÓN	
CONTACTO		JULIAN BETANCOURT		CALLE 25 # 2 -55 PLAYA SALGUERO - CSC	
PROYECTO		UNIMAGDALENA			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
MATRIZ		AGUA		SUBMATRIZ	
PLAN DE MUESTREO		305		AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-LABCAM-18		FECHA DE TOMA	
LUGAR DE MUESTREO		RÍO MANZANARES		2019-10-31 10:25H	
OTROS		PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO		2019-10-31	
RESULTADO DE ANÁLISIS		E00			
RESULTADO DE ANÁLISIS					
ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a Insitu - OXIGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	5,20	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	7,72	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	25,9	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,220	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:					
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018					
 CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			 LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM		

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 a 2-55, Playa Salguero Tel. 4328900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Version 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No	12070	FECHA DE EMISIÓN	2019-11-30
DATOS DEL CLIENTE					
NOMBRE	CGC		DIRECCIÓN	CALLE 25 # 2 -55 PLAYA SALGUERO - CGC	
CONTACTO	JULIAN BETANCOURT		PROYECTO	UNIMAGDALENA	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
MATRIZ	AGUA	SUBMATRIZ	AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL		
PLAN DE MUESTREO	305	FECHA DE TOMA	2019-10-31 10:00H		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PR-LABCAM-18	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-10-31		
LUGAR DE MUESTREO	RIO MANZANARES	PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO	E05		
OTROS					
RESULTADO DE ANÁLISIS					
ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a Insitu - OXIGENO DISUELTUO	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	4,80	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	8,20	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	25,4	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a Insitu - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,220	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:					
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018					
CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM		

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Galguero Tel. 4328900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Versión 8		
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No		12078		
		FECHA DE EMISIÓN		2019-11-30		
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE		CGO		DIRECCIÓN		
CONTACTO		JULIAN BETANCOURT		CALLE 25 # 2 -55 PLAYA GALGUERO - CGO		
		PROYECTO		UNIMAGDALENA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ		AGUA		SUBMATRIZ		
PLAN DE MUESTREO		305		FECHA DE TOMA		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-LABCAM-18		2019-10-31 02:41H		
LUGAR DE MUESTREO		RIO MANZANARES		FECHA DE RECEPCIÓN		
OTROS		PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO		2019-10-31		
		E04				
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	Insitu - OXÍGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	5,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	7,61	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,00	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	25,8	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mG/cm	0,230	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0846 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2016						
 CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			 LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

Los resultados de este informe solamente son válidos para los muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Salguero - Tel. 4326600 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co			FT-LABCAM-13 Versión 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No	12077	FECHA DE EMISIÓN	2019-11-30	
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE	CSC		DIRECCIÓN	CALLE 25 # 2-55 PLAYA SALGUERO - CSC		
CONTACTO	JULIAN BETANCOURT		PROYECTO	UNIMAGDALENA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ	AGUA	SUBMATRIZ	AGUA MARINA			
PLAN DE MUESTREO	305	FECHA DE TOMA	2019-10-31 00:25H			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PR-LABCAM-18	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-10-31			
LUGAR DE MUESTREO	RIO MANZANARES	PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO	E03			
OTROS						
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	Insitu - OXIGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	5,80	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	8,20	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,00	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	25,8	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,190	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018						
CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3181) JEFE DE LABCAM			LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Salguero Tel. 4328600 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co			FT-LABCAM-13 Versión 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No	12970	FECHA DE EMISIÓN	2019-11-30	
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE	CSC		DIRECCIÓN	CALLE 25 # 2-55 PLAYA SALGUERO - CSC		
CONTACTO	JULIAN BETANCOURT		PROYECTO	UNIMAGDALENA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ	AGUA	SUBMATRIZ	AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL			
PLAN DE MUESTREO	305	FECHA DE TOMA	2019-10-31 08:55H			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PR-LABCAM-18	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-10-31			
LUGAR DE MUESTREO	RIO MANZANARES	PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO	E02			
OTROS						
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	Institu - OXIGENO DISUELTU	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	6,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Institu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	7,85	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Institu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,00	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Institu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	25,3	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Institu- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mC/cm	0,180	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018						
CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

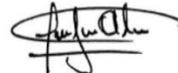
Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



Informe Técnico Final
 Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
 CON-CSC-005-19



6. ANEXOS

		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Salguero Tel. 4328900 Ext. 148 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co			FT-LABCAM-13 Versión 8	
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No	12975	FECHA DE EMISIÓN	2019-11-30	
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE		CGC		DIRECCIÓN	CALLE 25 # 2 -55 PLAYA SALGUERO - CGC	
CONTACTO		JULIAN BETANCOURT		PROYECTO	UNIMAGDALENA	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ	AGUA	SUBMATRIZ	AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL			
PLAN DE MUESTREO	365	FECHA DE TOMA	2019-10-31 08:17H			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PR-LABCAM-18	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-10-31			
LUGAR DE MUESTREO	RIO MANZANARES	PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO	E01			
OTROS						
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	Instru - OXÍGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	6,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Instru - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	7,97	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Instru - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,00	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Instru - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	24,0	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Instru - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,120	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2016						
 CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3181) JEFE DE LABCAM			 LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.



5. BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 edition. Washington. 2012. 1463 p.
- BUCHMAN, M.F. 2008 NOAA Screening Quick Reference Tables NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 p.
- GARAY, J., G. RAMIREZ, J. BETANCOURT, B. MARIN, B. CADAVID, L. PANIZZO, J. LESMES, H. SANCHEZ y A. FRANCO. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- KIELY, G. 1999. Ingeniería Ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw Hill. España. 133 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015. Decreto No. 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 653 p.
- RODIER, J. 1990. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 269-272.
- STRICKLAND, J., y T. PARSONS. 1972. A practical Handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin. 167: 310p.



Tabla 4.6. Contenido de metales disueltos en aguas del río Manzanares: Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Calcio (Ca), Magnesio (Mg)

Punto de Muestreo	Fe ($\mu\text{g/L}$)	Hg ($\mu\text{g/L}$)	Pb ($\mu\text{g/L}$)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
P1	32,8	<0,30	<2,0	1,7	6,18
P2	26,0	<0,30	<2,0	3,42	10,8
P3	37,0	<0,30	<2,0	3,65	13,5
P4	42,5	<0,30	<2,0	4,89	17,9
P5	34,0	<0,30	<2,0	4,93	17
P6	32,8	<0,30	<2,0	4,84	15,2
P7	45,5	<0,30	<2,0	5,27	15,1
P8	28,8	<0,30	<2,0	4,47	14,4
P9	30,8	<0,30	<2,0	4,68	14,2
P10	59,0	<0,30	<2,0	4,58	19,2
Valor de referencia para efectos crónicos*	1000	0,77	2,5	-	-

*Buchman, 2008.



4.5. Contaminantes orgánicos

En la Tabla 4.5 se presentan los resultados del análisis de las variables indicadoras de contaminación orgánica antropogénica tales como: fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites, hidrocarburos disueltos y dispersos, y cianuros.

Dado que la legislación nacional presenta los valores en términos de CL50, y aún no se han realizado las mediciones pertinentes para establecer estas concentraciones, como criterio de comparación se presentan los valores de referencia de la NOAA, valores para efectos agudos.

Tabla 4.5. Contenido de fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites (G y A), hidrocarburos disueltos y dispersos (HPDD), y cianuros en aguas del río Manzanares.

Punto de Muestreo	Fenoles (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)	G y A (mg/L)	HPDD (µg/L)	Cianuros (µg/L)
P1	<0,60	<0,5	<1,00	1,46	<10
P2	<0,60	<0,5	<1,00	1,94	<10
P3	<0,60	<0,5	<1,00	9,46	<10
P4	<0,60	<0,5	<1,00	7,16	<10
P5	<0,60	<0,5	<1,00	9,52	<10
P6	<0,60	<0,5	<1,00	7,92	<10
P7	<0,60	<0,5	<1,00	12	<10
P8	<0,60	<0,5	<1,00	14,2	<10
P9	<0,60	<0,5	<1,00	11,2	<10
P10	<0,60	<0,5	<1,00	12,8	<10
Valor de referencia para efectos agudos*	10,2	-	-	-	22

*Buchman, 2008.

4.6. Metales disueltos

En esta clasificación agrupamos las mediciones de los metales disueltos: hierro (Fe), mercurio (Hg), plomo (Pb), calcio (Ca), magnesio (Mg) (Tabla 4.6).

Dado que la legislación nacional presenta los valores en términos de 0.01CL50, y aún no se han realizado las mediciones pertinentes para establecer estas concentraciones, como criterio de comparación se presentan los valores de referencia de la NOAA, valores para efectos crónicos.



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



Punto de Muestreo	DBO 5 (mg/L)	DBO 5 filtrada (mg/L)	COT (mg/L)
P3	<4,23	<4,23	0,93
P4	<4,23	<4,23	1,26
P5	<4,23	<4,23	1,50
P6	<4,23	<4,23	1,89
P7	<4,23	<4,23	1,40
P8	<4,23	<4,23	1,29
P9	<4,23	<4,23	0,79
P10	<4,23	<4,23	1,27
Valor de referencia	-	-	-

4.4. Nutrientes

En la Tabla 4.4 se presentan los resultados de las mediciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo Total y alcalinidad, si bien estas variables dependen del ingreso y transformación de la materia orgánica, pueden tener otras connotaciones ambientales al estimular la producción primaria en los cuerpos de aguas.

Las anteriores variables no poseen un valor regulatorio, sin embargo, las concentraciones registradas se encuentran entre lo reportado por estudios realizados en otros ríos (Kiely, 1999).

Tabla 4.4. Medición de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo total; y alcalinidad en aguas del río Manzanares.

Punto de Muestreo	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitrógeno amoniacal (µg/L)	Nitritos (µg/L)	Nitratos (µg/L)	Ortofosfatos (µg/L)	Fósforo total (µg/L)	Alcalinidad (mg/L)
P1	<0,65	5,07	<3,10	0,88	266,0	59,8	203	55,1
P2	6,18	7,23	<3,10	3,06	303,0	92,6	286	72,4
P3	7,52	9,34	176,00	3,47	3,9	114,0	329	77,8
P4	10,80	8,55	176,00	10,50	500,0	133,0	374	89,6
P5	10,70	8,58	106,00	19,30	506,0	128,0	374	90,7
P6	10,00	10,30	11,50	17,80	547,0	113,0	362	86,4
P7	9,94	10,30	<3,10	15,30	550,0	111,0	361	87,5
P8	9,80	10,20	49,70	21,00	584,0	125,0	360	84,2
P9	9,38	10,60	29,90	21,50	588,0	125,0	367	82,1
P10	9,36	10,00	34,90	23,00	592,0	127,0	346	87,5
Valor de referencia	-	-	-	-	-	-	-	-



4.2. Sólidos

En la Tabla 4.2 se presentan los valores de sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables y sólidos disueltos totales, en las muestras de agua entregadas por Unimagdalena. Las anteriores variables no poseen un valor regulatorio, sin embargo, las concentraciones registradas se encuentran entre lo reportado por estudios realizados en otros ríos.

Tabla 4.2. Valores de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS) y sólidos disueltos (SD) en aguas del río Manzanares.

Punto de Muestreo	SST (mg/L)	SV (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
P1	5,20	1,14	4,20	71,4
P2	13,60	3,92	4,90	104,0
P3	35,20	5,93	28,50	124,0
P4	25,40	4,37	9,80	133,0
P5	30,30	5,13	17,50	113,0
P6	18,20	3,62	9,57	134,0
P7	18,80	3,61	11,10	127,0
P8	25,70	4,39	17,90	146,0
P9	24,10	4,15	15,30	130,0
P10	23,60	4,34	12,60	143,0
Valor de referencia	-	-	-	-

4.3. Indicadores de Materia orgánica

Dentro de esta clasificación agrupamos las mediciones de Demanda biológica de oxígeno (DBO5) y contenido de carbono orgánico (COT) (Tabla 4.3). Las anteriores variables no poseen un valor regulatorio, sin embargo, las concentraciones registradas se encuentran entre lo reportado por estudios realizados en otros ríos.

Tabla 4.3. Contenido de DBO y COT; en aguas del río Manzanares

Punto de Muestreo	DBO 5 (mg/L)	DBO 5 filtrada (mg/L)	COT (mg/L)
P1	<4,23	<4,23	1,58
P2	<4,23	<4,23	1,92



*Variables acreditadas; **Subcontratados

4. RESULTADOS

4.1. Mediciones “in situ”

En la Tabla 4.1 se presentan las mediciones obtenidas en campo para las variables de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad; adicionalmente también se presenta la información de turbidez. Para aquellas variables para las que existe normativa nacional, los resultados se comparan con el valor de referencia dado (Decreto 1076 de 2015, artículos 2.2.3.3.9.10 Criterios de calidad para preservación de flora y fauna).

Tabla 4.1. Valores de temperatura (TEMP), oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad (COND) y turbidez (TURB) en aguas del río Manzanares.

Punto de Muestreo	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	COND. (mS/cm)	TURB. (NTU)
P1	24,0	6,10	7,97	0,12	5,03
P2	25,3	6,10	7,85	0,18	4,19
P3	25,9	5,60	8,20	0,19	25,80
P4	25,6	5,10	7,61	0,23	13,00
P5	25,4	4,80	8,2	0,22	25,20
P6	25,9	5,20	7,72	0,22	13,70
P7	26,1	4,80	8,25	0,21	8,62
P8	26,6	5,10	7,82	0,25	22,20
P9	26,6	4,97	8,3	0,21	6,71
P10	27,1	5,0	7,81	0,25	16,40
Valor de referencia, Decreto 1076 de 2015	-	4,0	4,5 - 9,9	-	-



Informe Técnico Final
Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
CON-CSC-005-19



Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)*.	Incubación por 5 días SM 5210 B, Incubación por cinco y determinación óptica de medición de luminiscencia ISO 17289	10
DBO5 filtrada*	Determinación de la DBO5 previa filtración de la muestra	10
Carbono orgánico total (COT)*	Método de combustión catalítica y determinación por analizador de carbono total, SM 5310 B	10
Cloruros	Titulación SM 4500-Cl- B.	10
Sulfatos*	Método Fotométrico modificado, Rodier, 2009.	10
Nitrógeno amoniacal	Método Colorimétrico de azul de Indofenol, Strickland y Parsons, 1972	10
Nitritos*	Método Colorimétrico de la Sulfanilamida, Strickland y Parsons, 1972	10
Nitratos*	Reducción con cadmio y método colorimétrico de la sulfanilamida, Strickland y Parsons, 1972	10
Ortofosfatos*	Método colorimétrico del ácido ascórbico, Strickland y Parsons, 1972	10
Fosforo Total	Digestión acida y cuantificación por ICP.	10
Sólidos suspendidos totales*	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (SM 2540-D)	10
Sólidos suspendidos Volátiles	Filtración en membrana de fibra de vidrio, calcinación a 550°C y gravimetría (SM 2540-E)	10
Sólidos sedimentables*	Sedimentación en cono Inhoff y método gravimétrico (SM 2540-F)	10
Sólidos disueltos totales	Método gravimétrico, secado a 180°C, (SM 2540-C)	10
Fenoles*	Pretratamiento por destilación y determinación por método colorimétrico, SM 5530-B.D	10
Tensoactivos (SAAM)**	Extracción líquido-líquido, colorimetría, SM 5540-C.	10
Grasas y aceites*	Extracción líquido-líquido y cuantificación gravimétrica SM 5520-B.C.	10
Hidrocarburos disueltos y dispersos*	Extracción líquido-líquido y determinación Fluorométrica. Manual No.13, UNESCO/COI	10
Cianuros**	Flujo segmentado. ASTM D7511-12	10
Hierro disuelto*.	Tratamiento con APDC y MIBK para extracción selectiva, seguido de reextracción en fase ácida con HNO3 1N y posterior cuantificación por espectroscopia ICP-OES. SM 3030 B, SM 3111 C modificado y SM 3120 B.	10
Plomo (Pb)		10
Mercurio (Hg)*		10
Calcio disuelto*	Dilución y lectura directa para cuantificación por espectrometría de AA con llama. SM 3030 B, 3111 B	10
Magnesio disuelto*.		10



2. ALCANCE DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO

Analizar las características fisicoquímicas en muestras de agua del río Manzanares recolectadas por la universidad del Magdalena.

3. METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras para el análisis fisicoquímico del agua del río Manzanares, fueron recolectadas sobre el lecho del río Manzanares el 31 de octubre de 2019 por UNIMAGDALENA, en una red de 10 estaciones que comprende desde el corregimiento de Bonda (sector Las Cascadas) hasta el Barrio Minuto de Dios en el casco urbano de la ciudad de Santa Marta. La entrega de muestras se realizó ese mismo día. Una vez entregadas las muestras a INVEMAR, estas se procesaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LabCAM) de acuerdo a los estándares establecidos. (Figura 3.1).



1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, el INVEMAR realizó el análisis de características fisicoquímicas en muestras de agua del Río manzanares, desde el corregimiento de Bonda hasta el Barrio el Minuto de Dios en el casco urbano de la ciudad de Santa Marta.

En este informe final, se presentan los métodos utilizados para el análisis de laboratorio y los resultados obtenidos a partir de las muestras entregadas por Unimagdalena el 31 de octubre del presente año.

La información fisicoquímica obtenida en este muestreo se contextualizó dentro de la legislación ambiental colombiana vigente en el caso de existir o en referencias internacionales.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Ubicación aproximada del área de estudio.	7
--	---

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Variables y métodos de análisis de muestras de aguas continental.	7
Tabla 4.1. Valores de temperatura (TEMP), oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad (COND) y turbidez (TURB) en aguas del río Manzanares.	9
Tabla 4.2. Valores de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS) y sólidos disueltos (SD) en aguas del río Manzanares.	10
Tabla 4.3. Contenido de DBO y COT; en aguas del río Manzanares.	10
Tabla 4.4. Medición de cloruros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo Total; y alcalinidad en aguas del río Manzanares.	11
Tabla 4.5. Contenido de fenoles, tensoactivos (SAAM), grasas y aceites (G y A), hidrocarburos disueltos y dispersos (HPDD), y cianuros en aguas del río Manzanares.	12
Tabla 4.6. Contenido de metales disueltos en aguas del río Manzanares: Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Calcio (Ca), Magnesio (Mg).	13



Informe Técnico Final
 Caracterización fisicoquímica de las aguas del río Manzanares, Santa Marta
 CON-CSC-005-19



		Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA Laboratorio Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina Calle 25 # 2-55, Playa Galguero Tel. 4328900 Ext. 146 - Santa Marta, COLOMBIA http://invemar.org.co leydy.alarcon@invemar.org.co		FT-LABCAM-13 Versión 8		
PAGINA 1 DE 1		INFORME DE RESULTADOS No		12084		
		FECHA DE EMISIÓN		2019-11-30		
DATOS DEL CLIENTE						
NOMBRE		CGC		DIRECCIÓN		
CONTACTO		JULIAN BETANCOURT		CALLE 25 # 2 -55 PLAYA GALGUERO - CGC		
		PROYECTO		UNIMAGDALENA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MATRIZ		AGUA		SUBMATRIZ		
PLAN DE MUESTREO		305		AGUA CONTINENTAL SUPERFICIAL		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-LABCAM-18		FECHA DE TOMA		
				2019-10-31 11:17H		
LUGAR DE MUESTREO		RIO MANZANARES		FECHA DE RECEPCIÓN		
				2019-10-31		
OTROS		PUNTO O ESTACIÓN DE MUESTREO		E10		
RESULTADO DE ANÁLISIS						
	ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ANALISTA	FECHA DE ANÁLISIS
a	Insitu - OXIGENO DISUELT	Standard Methods N°4500-O G	mg/L	5,00	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - pH	Standard Methods N° 4500-H B	UNIDAD	7,81	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - SALINIDAD	Standard Methods N° 2520 B	UNIDAD	0,10	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - TEMPERATURA	Standard Methods N° 2550 B	°C	27,1	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
a	Insitu - CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Standard Methods N° 2510 B	mS/cm	0,250	HECTOR EMILIO PERTUZ	2019-10-31
OBSERVACIONES:						
a. Los resultados de estos análisis se encuentran acreditados por el IDEAM bajo resolución 0646 de abril de 2016, resolución de 0675 de marzo 2017 y resolución 3180 de diciembre del 2018						
 CESAR AUGUSTO BERNAL (PQ-3161) JEFE DE LABCAM			 LEYDY JOHANNA ALARCÓN MURILLO (PQ-4020) JEFE DE CALIDAD LABCAM			

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.

Anexo 3. Respuesta de la ESSMAR, respecto a la solicitud de información sobre los consumos de agua en la ciudad de Santa Marta



SUBGERENCIA TÉCNICA COMUNICACIÓN EXTERNA
ESSMAR ESP EXTERNA ENVIADA



Santa Marta, 11 de Octubre de 2019

RADICADO 00002729
21 OCT 2019 Hora: 12:00m
Al contestar cite 500-1021-19

Señor (a):
EDWIN MAURICIO CHACON VELASQUEZ
Vicerrector de Extensión y Proyección Social
Universidad del Magdalena
La Ciudad.

Asunto: Respuesta a Solicitud de radicado N° 3003 del 6 de septiembre de 2019

Respetado señor (a)

De la manera más atenta, luego de recibir su petición con el número radicado 3003, nos permitimos responder a solicitud en los siguientes términos:

- Número de usuarios y consumos promedios diario o semanal de agua potable en las localidades 1 y 2 de la ciudad de Santa Marta

R. En nuestro sistema comercial de abonados, no tenemos agrupados los usuarios por localidades sino por Zonas de Abastecimiento o Ciclos de Facturación. Sin embargo, las localidades 1 y 2 del Distrito de Santa Marta, hacen referencia a lo que se denomina "Acueducto Norte" en nuestro sistema y la información de promedio diario de consumo de acuerdo a cada estrato residencial es la siguiente a corte del periodo de agosto.

Uso / Estrato	Usuarios	Consumo Litros Diario
Residencial 1	13.036	20
Residencial 2	20.026	289
Residencial 3	32.036	305
Residencial 4	8.854	317
Residencial 5	2.858	331
Residencial 6	1.812	457
TOTAL	78.822	1.965

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
GRUPO DE GESTIÓN DOCUMENTAL

22 OCT 2019

COMUNICACION EXTERNA RECIBIDA
21689 HORA: 10:15a

- Número de usuarios comerciales e industriales y consumos promedios en las Localidades 1 y 2 de la ciudad de Santa Marta.

R. Conforme a lo descrito en el punto anterior, los usuarios los tenemos agrupados por Zonas de Abastecimiento y/o Ciclos de Facturación y no por localidades. Sin embargo, ésta información a corte del periodo de agosto, es la que se encuentra como "Acueducto Norte" en nuestro sistema comercial así:



Km 7 Troncal del Caribe
Línea: +57 (5) 4358201
gerencia@essmar.gov.co

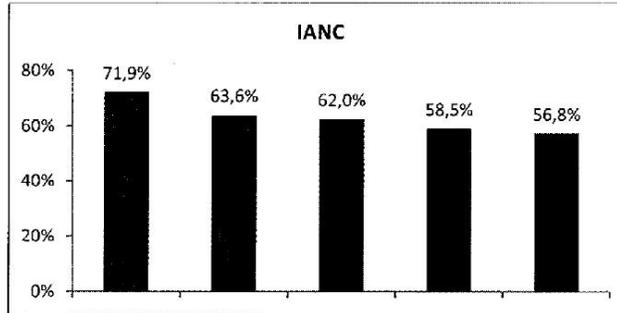
Uso / Estrato	Usuarios	Consumo Litros Diario
COMERCIAL	5.206	880
INDUSTRIAL	77	3.905
TOTAL	5.282	4.784

3. Pérdidas técnicas de agua (Agua extraída y no consumida) en el proceso de captación y potabilización (Planta de Mamatoco), y distribución del agua en la ciudad de Santa Marta, localidades 1 y 2.

R. Nuestro departamento de agua no contabilizada, no tiene agrupadas la pérdidas técnicas ni comerciales por localidad, sin embargo mes a mes llevamos el cuadro recomendado por la IWA para control y seguimiento, a continuación presentamos los datos:

BALANCE HÍDRICO - MES AGOSTO								
Volumen de entrada al sistema 2 622 255	Consumo Autorizado 1 140 997	Porcentaje de Pérdidas 56.5%	Autorizado Facturado 1 133 819		Facturado Medido 1 083 192		Agua Facturada 1 133 819	
	Volumen de Pérdidas 1 481 259		Autorizado No Facturado 7 178		Facturado No Medido 50 627			
			Pérdidas Comerciales 697 762	26.6%	Medido No Facturado 820			20.0%
					No Medido No Facturado 6 358			
Pérdidas Técnicas 783 497	29.9%	Consumo No Autorizado 524 451		6.6%	Agua No Facturada 1 488 436			
		Inexactitud y Errores de Medición 173 311						
		Fugas Conducción y Redes Principales 548 448						
Fugas en Tanques 39 175		1.5%						
Fugas en Acometidas 195 874		7.5%						

Adicionalmente solo como referencia presentamos la evolución de este indicador desde que la ESSMAR E.S.P es el operador del sistema:



Cordialmente,

4. Número de usuarios minero-energéticos (Canteras, Termoeléctricas, o industrias de producción de hormigón o concreto), y consumo promedio de agua anual, para la ciudad de Santa Marta.

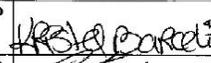
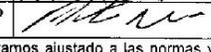
R. Conforme a lo descrito en los puntos anteriores, no contamos con una clasificación de este grupo de usuarios solo se distinguen: residenciales, comerciales e industriales, los Sin embargo. esta información a corte del periodo de agosto es la que se encuentra como "Acueducto Norte" en nuestro sistema comercial así:

Uso / Estrato	Usuarios	Consumo Litros Diario
COMERCIAL	5.205	880
INDUSTRIAL	77	3.905
TOTAL	5.282	4.784



ING. LUIS FELIPE GUTIERREZ CASTILLO
 Subgerente técnico
 500-1021-19

 **UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**
COMUNICACIÓN
PRESENTADA SIN ANEXO

	NOMBRE	CARGO	FIRMA
Elaboró:	Kristel Barceló	Asistente de Operación y Mantenimiento (En Misión)	
Aprobó:	Antonio Nieto	Director de Operación y Mantenimiento (En Misión)	

Los arriba firmantes declaramos que hemos revisado el presente documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales y/o técnicas vigentes, por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma.