

CM-2022-0005

Barranquilla, Marzo de 2023



**Formulación del plan de
ordenamiento del recurso hídrico**
para la ciénaga de Malambo en el
departamento del Atlántico



CAPITULO V

FASE III: MODELACIÓN Y USOS POTENCIALES

CONTENIDO

5. MODELACIÓN Y USOS POTENCIALES -----	7
MARCO NORMATIVO PRINCIPAL -----	7
COMPONENTES MÍNIMOS DEL PORH – DECRETO 1076 DE 2015 -----	15
5.1. INTRODUCCIÓN -----	20
5.1.1. Desarrollo de componentes estructurantes. -----	22
5.1.2. Carga máxima permisible. -----	25
5.2. OBJETIVOS -----	28
3.1. Objetivo general del estudio.-----	29
3.2. Objetivos específicos -----	29
5.3. GENERALIDADES DE LA CIÉNAGA Y EL MUNICIPIO DE MALAMBO -----	29
5.3.1. Localización de la ciénaga y el área urbana del municipio de Malambo. -----	29
5.3.2. Resumen reporte SUI (www.sui.gov.co).-----	33
5.3.3. Catastro y posesión de las riberas y/o intervención de los Cauces de Cuerpos de Agua de Arroyos, Ciénagas y Ríos principales. -----	53
5.3.4. Aspectos a considerar para la implementación de herramientas de modelación en la ciénaga Malambo. -----	59
5.4. CONCEPTUALIZACIÓN GENERAL-----	60
5.4.1. Estimativo del Límite Máximo Permitido por Factor de Dilución. -----	64
5.4.2. Reacción. -----	67
5.4.3. Transporte. -----	67
5.5. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN -----	68
5.6. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CONSIDERACIONES PRINCIPALES EMPLEADAS PARA LA APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN-----	86
5.7. MODELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA -----	93
5.8. CHEQUEO Y REVISIÓN DE LA SIMULACIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR LA CARGA PERMISIBLE EN LA CIÉNAGA MALAMBO Y LA PROPUESTA PARA COMPLEMENTAR Y/O AJUSTAR LA LÍNEA BASE, LOS OBJETIVOS DE CALIDAD Y ESTABLECER LAS METAS DE REDUCCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE DE ACUERDO A LA MODELACIÓN DE STREETER Y PHELPS -----	105
5.8.1. Interpretación de Resultados.-----	108
5.8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	109
EQUIPOS RECOMENDADOS PARA EL MONITOREO IN SITU. -----	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población por rangos y estimativo de Cc Residencial (kg/d) en el País.-----	25
Tabla 2. Proyección del caudal medio de aguas residuales.-----	31
Tabla 3. Resultados censales a nivel nacional, departamental y municipal, consultados.-----	31
Tabla 4. Resultados del censo nacional de población y vivienda consultados.-----	32
Tabla 5. Número total de personas censadas en la cabecera municipal de Malambo en el CENSO CNPV-2018. -----	32
Tabla 6. Resumen de los consumos, suscriptores, y estimativo de población.-----	33
Tabla 7. Resumen de los consumos, suscriptores, y estimativo de caudales por cada año en el periodo 2011 - 2021 -----	33
Tabla 8. Reporte sui sistema de acueducto municipio de Malambo.-----	34
Tabla 9. Estadística del agua residual generada por suscriptores residenciales (ARD) y no residenciales (ARnD), periodo 2011 - 2021.-----	35
Tabla 10. Reporte SUI del agua residual generada por suscriptores residenciales (ARD) y no residenciales (ARnD), periodo 2011 - 2021.-----	35
Tabla 11. Reporte SUI sistema alcantarillado municipio de Malambo – 2021.-----	36
Tabla 12. Proyección de población urbana - Municipio de Malambo.-----	37
Tabla 13. Propuesta de proyección de población urbana y caudales - Municipio de Malambo, para el ajuste del PSMV presentado en el año 2022.-----	39
Tabla 14. Proyección de caudales de (ARD y/o ARnD) - Municipio de Malambo.-----	40
Tabla 15. Proyección de población y carga contaminante urbana de DBO ₅ .-----	41
Tabla 16. Proyección de población y carga contaminante urbana de SST.-----	42
Tabla 17. Propuesta de Cargas de Control de DBO ₅ , acorde a la norma vigente para el área urbana del Municipio de Malambo.-----	45
Tabla 18. Continuación Propuesta de Cargas de Control de SST y DQO, acorde a la norma vigente para el área urbana del Municipio de Malambo.-----	46
Tabla 19. Propuesta de Cargas de Control parámetros AR urbanas, Artículo 8 Resolución 0631 de 2015, para el área urbana del Municipio de Malambo.-----	47
Tabla 20. Propuesta de codificación de subcuenca de los Humedales del río Magdalena en la ZH 2904, para el Departamento del Atlántico.-----	49
Tabla 21. Ajuste información estudio ASOCARS – U. de Magdalena, para estimar los rendimientos hídricos de las áreas de drenaje del complejo cenagoso de Malambo.-----	51
Tabla 22. Estimativo Cargas Contaminante (Cc), para DBO ₅ + SST, para el año 2021 según reportes del SUI del año 2021, para el área urbana del Municipio de Malambo.-----	63
Tabla 23. Estimativo de áreas y volúmenes para determinar Concentraciones Máximas Permitidas (CMP) en diferentes periodos de tiempo durante un año, para calcular las Cargas Contaminante (Cc), para DBO ₅ + SST. -----	65
Tabla 24. Cálculo de la concentración limite máxima permitida de DBO ₅ , para vertimientos de aguas residuales en diferentes periodos de tiempo, en los cuatro puntos principales de vertimiento en el Espejo de Agua de la ciénaga Malambo, acorde a las medidas realizadas en el año 2022.-----	66
Tabla 25. Cálculo de la concentración limite máxima permitida de DBO ₅ , para vertimientos de aguas residuales en un año y grafica resumen en diferentes periodos de tiempo, para cuatro puntos principales de vertimiento en el Espejo de Agua de la ciénaga Malambo, acorde a las medidas realizadas en el año 2022.-----	67
Tabla 26. Producción primaria de las aguas lenticas, con base en medidas de Clorofila a, en (mg/m ³), según - Tapia 2006.-----	69

Tabla 27. Estimación de la productividad en la Ciénaga de acuerdo a las medidas obtenidas en las estaciones de monitoreo según (Tapia 2006) y ecuación aplicada en el Embalse del Guájaro.	70
Tabla 28. Fórmulas para estimar el estado Trófico aplicando los indicadores de Eutrofia.	71
Tabla 29. Escala de valores del estado Trófico en los cuerpos de agua.	71
Tabla 30. Escala de valores del estado Trófico en los cuerpos de agua, aplicando ecuaciones realizada en la modelación del Embalse del Guájaro.	72
Tabla 31. Cálculo del Índice de Estado Trófico con la ecuación de Carlson.	73
Tabla 32. Cálculo del Índice de Estado Trófico con la ecuación de Aizaki.	73
Tabla 33. Medidas utilizadas para la determinación del Estado Trófico de la ciénaga Malambo.	74
Tabla 34. Cálculo estimado de la demanda total de oxígeno por superficie en las estaciones.	75
Tabla 35. Ejemplo de cálculo estimado de la producción de oxígeno por fotosíntesis para el promedio de las medidas realizadas.	76
Tabla 36. Cálculo estimado de la producción de oxígeno por fotosíntesis.	78
Tabla 37. Cálculo de los ICA o WQI, para las diferentes estaciones.	79
Tabla 38. Continuación Cálculo ICA o WQI, para las diferentes estaciones.	80
Tabla 39. Resumen del Cálculo del ICA o WQI, para las diferentes estaciones.	80
Tabla 40. Metodologías aplicadas para estimar la calidad del agua en las diferentes estaciones.	83
Tabla 41. Datos tomados para estimar por diferentes metodologías la calidad del agua en la Ciénaga Malambo en las diferentes estaciones.	84
Tabla 42. Índice de calidad por mineralización - ICOMI.	84
Tabla 43. Índice de calidad por materia orgánica - ICOMO.	85
Tabla 44. Índice de calidad por SST - ICOSUS.	85
Tabla 45. Índice de calidad por contaminación trófica - ICOTRO.	86
Tabla 46. Batimetría estimada para las herramientas de modelación.	88
Tabla 47. Áreas y volúmenes estimados para las herramientas de modelación.	88
Tabla 48. Análisis de la modelación, de Streeter and Phelps, estimando los tiempos de recuperación del OD (Periodo de 6 a 10 días), en las zonas de descargas de aguas residuales a la Ciénaga Malambo.	94
Tabla 49. Análisis con medidas de Temperatura, DBO5 y OD, en la Ciénaga Malambo y los valores asumidos de la constante K1.	95
Tabla 50. Resultados de la modelación después de los vertimientos de aguas residuales, generando los valores de Temperatura, DBO5 y OD, con concentraciones inferiores a 5 mg DBO5/L y superiores a 4 mg OD /L.	96
Tabla 51. Resultados de la modelación después de los vertimientos de aguas residuales, generando los valores de las cargas orgánicas máximas y permitidas como Kg por día de DBO5.	97
Tabla 52. Análisis 1, Recuperación del OD en la estación Punto 1.	98
Tabla 53. Análisis 2, Recuperación del OD en la estación Punto 2.	99
Tabla 54. Análisis 3, Recuperación del OD en la estación Punto 3.	100
Tabla 55. Análisis 4, Recuperación del OD en la estación Punto 4.	101
Tabla 56. Resumen de cargas permitidas de DBO5, por estación.	102
Tabla 57. Resumen de los principales parámetros utilizados en la modelación.	103
Tabla 58. Datos y resultados en la estimación del estado trófico en las estaciones de monitoreo principales de la ciénaga Malambo.	104
Tabla 59. Datos y resultados en la estimación del estado trófico en las estaciones de monitoreo principales de la Ciénaga Malambo.	105
Tabla 60. Proyección Caudales de AR y Concentración media de DBO5 y SST.	106
Tabla 61. Proyección Cargas Contaminantes de AR, para DBO5 y SST.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general del Decreto Único 1076 de 2015.-----	17
Figura 2. Esquema propuesto para interpretar holísticamente las líneas de flujo del recurso hídrico en el esquema económico del País -----	18
Figura 3. Esquema propuesto para interpretar holísticamente las líneas de flujo del recurso hídrico en el esquema económico del País -----	19
Figura 4. Localización General del Complejo de ciénagas de Malambo y líneas de flujo de caudales en complejo cenagoso.-----	21
Figura 5. Información de Centros Poblados en el País. -----	22
Figura 6. Localización de Centros Poblados del País, en las Zonas Hidrográficas de los ríos Cauca y Magdalena. -----	23
Figura 7. Información de la Población por Departamentos en el País. -----	24
Figura 8. Esquema de migración e intercambio de caudales en el complejo cenagosos de Malambo. -----	26
Figura 9. Esquema de migración e intercambio de caudales (Continuación). -----	27
Figura 10. Localización general de la ciénaga Malambo. -----	30
Figura 11. Proyecciones de población del municipio de Malambo - Atlántico. -----	38
Figura 12. Proyecciones de Caudal ARD + ARnD y Cc (CMP) para DBO ₅ y SST para el área urbana del municipio de Malambo - Atlántico. -----	43
Figura 13. Proyecciones de Caudal ARD + ARnD y Cc (CMP) para DBO ₅ y SST para el área urbana del municipio de Malambo – Atlántico, y propuesta de (Cc) para proyección de cargas meta (Cm) el posible quinquenio 2024 - 2028.-----	44
Figura 14. Mapa de cuencas de la zona hidrográfica 2904, en el Departamento del Atlántico, IDEAM. -----	50
Figura 15. Modelación de la microcuenca del Arroyo San Blas, utilizando el software SWMM de la EPA (Agencia Protección Ambiental - USA). Modelación caudales y concentraciones de DBO ₅ , – Línea Base -----	52
Figura 16. Localización zonas hidrográficas en el departamento del Atlántico, según Estudio Nacional de Aguas (ENA, 2010, 2014 y 2018) del IDEAM. -----	54
Figura 17. Registro Catastral del IGAC de las Ciénagas que componen el Complejo Cenagoso de Malambo y que al parecer están con matrículas de propiedad y uso económico asignado. -----	56
Figura 18. Área con afectación predial del espejo de agua influencia directa de las descargas de ARD y/o ARnD del municipio de Malambo y la subdivisión predial que rodean la ciénaga (Fuente IGAC). -----	59
Figura 19. Análisis de Aguas de Consumo versus Aguas Residuales según Datos SUI año 2021, para el área urbana del Municipio de Malambo.-----	62
Figura 20. Subdivisiones asumidas en los procesos de modelación, con respecto a las estaciones de monitoreo y aporte de escorrentía por arroyos. -----	69
Figura 21. Ajuste de la ecuación del IET con respecto a la transparencia con el Disco Secchi, tomando datos del estudio de la Universidad del Atlántico. -----	72
Figura 22. Datos de la radiación solar en Colombia (Fuente IDEAM). -----	77
Figura 23. Demanda de OD por AHOD comparado con la Oferta de OD por Fotosíntesis.-----	78
Figura 24. Resumen del cálculo de los ICA en P1 y P2 - 2022. -----	81
Figura 25. Resumen del cálculo de los ICA en P3 y P4 - 2022. -----	82
Figura 26. Zonificación propuesta para las herramientas de modelación. -----	87
Figura 27. Áreas demarcadas aproximadamente en los P1, P2, P3 y P4. -----	89
Figura 28. Área estimada para la estación Punto 1. -----	89
Figura 29. Área estimada para la estación Punto 2. -----	90
Figura 30. Área estimada para la estación Punto 3. -----	91
Figura 31. Área estimada para la estación Punto 4. -----	92
Figura 32. Análisis 1. Recuperación del OD a los 6 días, estación Punto 1.-----	98

Figura 33. Análisis 2. Recuperación del OD a los 8 días, estación Punto 2.-----	99
Figura 34. Análisis 3. Recuperación del OD a los 9 días, estación Punto 3.-----	100
Figura 35. Análisis 4. Recuperación del OD a los 10 días, estación Punto 4.-----	101

5. MODELACIÓN Y USOS POTENCIALES

MARCO NORMATIVO PRINCIPAL

DECRETO 1076 DE 2015

Fecha modificación norma	Tema
Decreto 1076 de 2015 (26 de mayo)	Expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 1850 de 2015 (16 de septiembre)	Adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el trámite de elección de los representantes del Sector Privado ante el Consejo Directivo de las Corporaciones Autónomas Regionales.
Decreto 1956 de 2015 (05 de octubre)	Efectúan unas precisiones al Decreto <u>1076</u> de 2015, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 2220 de 2015 (20 de noviembre)	Adiciona una sección al Decreto <u>1076</u> de 2015 en lo relacionado con las licencias y permisos ambientales para Proyectos de Interés Nacional y Estratégicos (PINE).
Decreto 1272 de 2016 (03 de agosto)	Adiciona un <u>capítulo</u> al Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la tasa compensatoria por caza de fauna silvestre y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1421 de 2016 (01 de septiembre)	Adiciona y modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, <u>1073</u> de 2015, respecto de la adopción de medidas relacionadas con el Beneficio y Comercialización de minerales y se adiciona y modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, <u>1076</u> de 2015, respecto del licenciamiento ambiental para plantas de beneficio.
Decreto 1648 de 2016 (21 de octubre)	Adiciona un <u>Capítulo</u> al Título 9, de la Parte 2, del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa Compensatoria por la utilización permanente de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2099 de 2016 (22 de diciembre de 2016)	Modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto <u>1076</u> de 2015, en lo relacionado con la "Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales" y se toman otras determinaciones.
Decreto 2141 de 2016 (23 de diciembre)	Adiciona una <u>sección</u> al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el ajuste a la tasa retributiva.
Decreto 075 de 2017 (20 de enero)	Modifican el literal <u>h</u> del artículo 2.2.9.3.1.2, el artículo <u>2.2.9.3.1.15</u> , el párrafo <u>2</u> del artículo 2.2.9.3.1.8 y el numeral <u>4</u> del artículo

Fecha modificación norma	Tema
	2.2.9.3.1.17 del Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la "Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales" y se toman otras determinaciones.
Decreto 250 de 2017 (14 de febrero)	Modifican los artículos <u>2.2.1.4.1.1</u> y <u>2.2.1.4.1.2</u> del capítulo 4 - Humedales, Sección 1 -OTUN del Decreto 1076 de 2015 y se toman otras determinaciones.
Decreto 251 de 2017 (14 de febrero)	Adiciona una <u>sección</u> al Decreto 1076 de 2015, con el fin de designar el Complejo de Humedales del Alto Rio Cauca Asociado a la Laguna de Sonso para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley <u>357</u> de 1997.
Decreto 415 de 2017 (13 de marzo)	Adiciona al Título 4 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, un Capítulo <u>3</u> en el que se establece el Plan de Ordenación y Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera (Pomiuac) Caribe Insular, en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.
Decreto 585 de 2017 (05 de abril)	Adiciona al Libro 2, Parte 2, Título 8, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, un Capítulo <u>3A</u> relacionado con el Consejo Nacional del Agua.
Decreto 926 de 2017 (01 de junio)	Modifica el epígrafe de la parte <u>5</u> y adiciona el título <u>5</u> a la parte 5 del libro 1 del Decreto 1625 de 2016 Único Reglamentario en Materia Tributaria y el título <u>11</u> de la parte 2 de libro 2 al Decreto 1076 de 2015 Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, para reglamentar el párrafo <u>3º</u> del Artículo 221 y el párrafo <u>2</u> del Artículo 222 de la Ley 1819 de 2016
Decreto 1120 de 2017 (29 de junio)	Modifican los numerales <u>3</u> y <u>4</u> del artículo 2.2.9.3.1.17 del Decreto 1076 de 2015 y se toman otras determinaciones.
Decreto 1155 de 2017 (07 de julio)	Modifican los artículos <u>2.2.9.6.1.9</u> , <u>2.2.9.6.1.10</u> , y <u>2.2.9.6.1.12</u> del Libro 2, Parte 2, Título 9, Capítulo 6, Sección 1, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa por Utilización de Aguas y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1573 de 2017 (28 de septiembre)	Adiciona una sección al Decreto <u>1076</u> de 2015, con el fin de designar al Complejo de Humedales Lagos de Tarapoto para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley <u>357</u> de 1997.
Decreto 1655 de 2017 (10 de octubre)	Adiciona al Libro 2, parte 2, Titulo 8, Capitulo <u>9</u> del Decreto 1076 de 2015, cinco nuevas secciones en el sentido de establecer la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Información Forestal, el Inventario Forestal Nacional y el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono que hacen parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia, y se dictan otras disposiciones.

Fecha modificación norma	Tema
Decreto 2245 de 2017 (29 de diciembre)	Reglamenta el artículo <u>206</u> de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una <u>sección</u> al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.
Decreto 050 de 2018 (16 de enero)	Modifica parcialmente el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 284 de 2018 (15 de febrero)	Adiciona el Decreto número <u>1076</u> de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones.
Decreto 356 de 2018 (22 de febrero)	Adiciona una <u>sección</u> al Decreto <u>1076</u> de 2015, con el fin de designar al Complejo Cenagoso de Ayapel para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley <u>357</u> de 1997.
Decreto 703 de 2018 (30 de abril)	Efectúa unos ajustes al Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1007 de 2018 (14 de junio)	Modifica el Capítulo <u>8</u> del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la reglamentación de los componentes generales del incentivo de pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos que tratan el Decreto-ley número <u>870</u> de 2017 y los artículos <u>108</u> y <u>111</u> de la Ley 99 de 1993, modificados por los artículos <u>174</u> de la Ley 1753 de 2015 y <u>210</u> de la Ley 1450 de 2011, respectivamente.
Decreto 1090 de 2018 (28 de junio)	Adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1190 de 2018 (12 de julio)	Adiciona una sección al Decreto número 1076 de 2015, con el fin de designar al Complejo Cenagoso de Zapatosa para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997.
Decreto 1235 de 2018 (18 de julio)	Adiciona una sección al Decreto número <u>1076</u> de 2015, con el fin de designar al complejo de humedales de la cuenca del río Bitá para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley <u>357</u> de 1997.
Decreto 1390 de 2018 (02 de agosto)	Adiciona un <u>Capítulo</u> al Título 9, de la Parte 2, del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa

Fecha modificación norma	Tema
	Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable en bosques naturales y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1468 de 2018 (06 de agosto)	Adiciona una sección al Decreto <u>1076</u> de 2015, con el fin de designar al Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley <u>357</u> de 1997.
Decreto 2462 de 2018 (28 de diciembre)	Modifica el Decreto <u>1076</u> de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en relación con la exigencia del Diagnóstico Ambiental de Alternativas para los proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1532 de 2019 (26 de agosto)	Modifica la Sección <u>1</u> del Capítulo 1 del Título 2 de la Parte 2 del Libro 2 y se sustituye la Sección 12 del Capítulo 1 del Título 2 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible <u>1076</u> de 2015, en relación con las plantaciones forestales.
Decreto 446 de 2020 (21 de marzo)	Modifica el artículo <u>2.2.11.1.2</u> del Capítulo 1 del Título 11 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, y se adiciona un artículo al Capítulo 1 del Título 11 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la acreditación de organismos de verificación de reducciones de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
Decreto 465 de 2020 (23 de marzo)	Adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la adopción de disposiciones transitorias en materia de concesiones de agua para la prestación del servicio público esencial de acueducto, y se toman otras determinaciones en el marco de la emergencia sanitaria declarada por el Gobierno nacional a causa de la Pandemia COVID-19.
Decreto 1210 de 2020 (02 de septiembre)	Modifica y adiciona parcialmente el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, se reglamenta parcialmente el artículo <u>279</u> de la Ley 1955 de 2019 y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1540 de 2020 (24 de noviembre)	Modifica los artículos <u>2.2.8.4.1.22</u> y <u>2.2.8.6.4.2</u> del Decreto 1076 de 2015 en relación con el trámite de presentación y aprobación del Plan de Acción Cuatrienal de las Corporaciones Autónomas Regionales y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 1585 de 2020 (02 de diciembre)	Modifica y adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Diagnóstico Ambiental de Alternativas y el trámite de licenciamiento ambiental y se dictan otras disposiciones.
Decreto 281 de 2021 (18 de marzo)	Adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, con una nueva sección en lo relacionado con el establecimiento de medidas para la protección

Fecha modificación norma	Tema
	y conservación de Tiburones, Rayas Marinas y Quimeras de Colombia.
Decreto 644 de 2021 (16 de junio)	Sustituye los artículos <u>2.2.9.2.1.4.</u> y <u>2.2.9.2.1.5.</u> , se adiciona un <u>parágrafo</u> al artículo 2.2.9.2.1.3. y se adiciona el artículo <u>2.2.9.2.1.8.A.</u> del Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la financiación y destinación de recursos para la gestión integral de los páramos en Colombia.
Decreto 690 de 2021 (24 de junio)	Adiciona y modifica el Decreto Único Reglamentario <u>1076</u> de 2015, del sector de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el manejo sostenible de la flora silvestre y los productos forestales no maderables, y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 1630 de 2021 (30 de noviembre)	Adiciona el Decreto <u>1076</u> de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la gestión integral de las sustancias químicas de uso industrial, incluida su gestión del riesgo, y se toman otras determinaciones.

Artículo 2.2.3.1.6.5. De la armonización de los instrumentos de planificación. Dentro de las fases de elaboración del **Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica** se deberá considerar los instrumentos de planificación y/o manejo de recursos naturales renovables existentes; en caso de ser conducente, dichos instrumentos deben ser ajustados y armonizados por la respectiva autoridad ambiental competente en la fase de ejecución, a la luz de lo definido en el respectivo plan. Para este fin, deberá tenerse en cuenta entre otros los siguientes instrumentos:

1. Planes de Manejo de Humedales.

2. Plan de Manejo de Páramos.

3. Planes de Manejo Integrales de Manglares.

4. Delimitación de Rondas Hídricas

5. Planes de Manejo Forestal y Planes de Aprovechamiento Forestal.

6. Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

7. Reglamentación de Usos de Agua y de Vertimientos

8. El componente ambiental de los Programas de Agua para la Prosperidad.

9. Planes de vida y/o planes de etnodesarrollo en el componente ambiental.

10. Los demás instrumentos de planificación ambiental de los recursos naturales renovables.

DEL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS

Adicionada por el Artículo 1, Decreto Nacional 2245 de 2017.

<El texto adicionado es el siguiente>

Artículo 2.2.3.2.3A.1. Objeto y ámbito de aplicación. El presente decreto tiene por objeto **establecer los criterios técnicos con base en los cuales las Autoridades Ambientales competentes realizarán los estudios para el acotamiento de las rondas hídricas** en el área de su jurisdicción.

La ronda hídrica se constituye en una **norma de superior jerarquía** y **determinante ambiental**.

Artículo 2.2.3.2.3A.2. Definiciones. Para efectos de la aplicación e interpretación del presente decreto, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

1. Acotamiento: Proceso mediante el cual la Autoridad Ambiental competente define el límite físico de la ronda hídrica de los cuerpos de agua en su jurisdicción.

2. Cauce permanente: Corresponde a la faja de terreno que ocupan los niveles máximos ordinarios de un cuerpo de agua sin producir desbordamiento de sus márgenes naturales.

3. Línea de mareas máximas: Corresponde a la elevación máxima a la que llega la influencia del mar en los cuerpos de agua debido a la marea alta o pleamar y la marea viva o sicigial.

4. Ronda Hídrica: Comprende la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del **cauce permanente de ríos y lagos**, **hasta** de treinta metros de ancho.

Así mismo **hará parte de la ronda hídrica el área de protección o conservación aferente**. Tanto para la faja paralela como para el área de protección o conservación aferente se establecerán directrices de manejo ambiental, conforme a lo dispuesto en la "Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia".

Artículo 2.2.3.1.6.12. De las medidas para la administración de los recursos naturales renovables. En la fase de formulación se deberá definir e identificar los recursos naturales renovables que deben ser objeto de implementación de instrumentos de planificación y/o administración por parte de las autoridades ambientales competentes, tales como:

1. Bosques sujetos de restricción para aprovechamiento forestal.
2. Ecosistemas objeto de medidas de manejo ambiental.
- 3. Zonas sujetas a evaluación de riesgo.**
4. Especies objeto de medidas de manejo ambiental
5. Áreas sujetas a declaratoria de áreas protegidas
6. Áreas de páramo objeto de delimitación o medidas de manejo
- 7. Áreas de humedales objeto de delimitación o medidas de manejo**
8. Áreas de manglares objeto de delimitación o medidas de manejo
- 9. Cuerpos de agua y/o acuíferos sujetos a plan de ordenamiento del recurso hídrico.**
- 10. Cuerpos de agua y/o acuíferos sujetos a reglamentación del uso de las aguas.**
- 11. Cuerpos de agua sujetos a reglamentación de vertimientos.**
- 12. Cauces, playas y lechos sujetos de restricción para ocupación.**
- 13. Cuerpos de agua priorizadas para la definición de ronda hídrica.**
14. Acuíferos objeto de plan de manejo ambiental.

DECRETO ÚNICO 1076 DE 2015.

CAPÍTULO 3. ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO Y VERTIMIENTOS

SECCIÓN 1

DISPOSICIONES GENERALES

SUBSECCIÓN 1

NOCIONES

Artículo 2.2.3.3.1.1. Objeto. El presente capítulo establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el **Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.**

Parágrafo. Derogado por el numeral 4 del Artículo 12, Decreto Nacional 050 de 2018

El texto derogado era el siguiente:

Parágrafo: Cuando quiera que en este decreto se haga referencia al suelo, se entenderá que este debe estar asociado a un acuífero.

(Decreto 3930 de 2010, art. 1).

Artículo 2.2.3.3.1.2. Ámbito de aplicación. El presente decreto aplica a las autoridades ambientales competentes definidas en el presente decreto, **a los generadores de vertimientos y a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado.**

(Decreto 3930 de 2010, art. 2).

Artículo 2.2.3.3.1.3. Definiciones. Modificado por el Artículo 2, Decreto Nacional 050 de 2018. <El nuevo texto es el siguiente> “Aguas continentales. Cuerpos de agua que se encuentran en tierra firme hasta la línea de más alta marea promedio. **Se localizan en las tierras emergidas, ya sea en forma de aguas superficiales o aguas subterráneas**”.

“Aguas marinas. Las contenidas en la zona económica exclusiva, mar territorial, aguas interiores, incluyendo las contenidas hasta la línea de más alta marea promedio”.

“Capacidad de asimilación. Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias o formas de energía, a través de procesos físicos, químicos y biológicos”.

“Carga contaminante. Es el producto de la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio. Se expresa en unidades de masa sobre tiempo”.

“Caudal ambiental. Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido **para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos**”.

“Objetivo de calidad. Conjunto de criterios de calidad definidos para alcanzar los usos del agua asignados **en un horizonte de tiempo determinado**, en un **sector o tramo específico de un cuerpo de agua**”.

Otras modificaciones: Modificado por el numeral 5, del Artículo 12, Decreto Nacional 050 de 2018, Modificado por el numeral 6, Artículo 12, Decreto Nacional 050 de 2018.

Artículo 2.2.5.1.2.11. De las emisiones permisibles. Toda **descarga** o emisión de contaminantes a la atmósfera **sólo podrá efectuarse dentro de los límites permisibles y en las condiciones señaladas por la ley y los reglamentos.**

Los permisos de emisión se expedirán para el nivel normal, y ampararán la emisión autorizada siempre que en el área donde la emisión se produce, **la concentración de contaminantes no exceda los valores fijados para el nivel de prevención**, o que la descarga contaminante no sea directa causante, por efecto de su desplazamiento, de concentraciones superiores a las fijadas para el nivel de prevención en otras áreas.

(Decreto 948 de 1995, art. 13).

Artículo 2.2.9.7.2.1. Definiciones. Para los efectos del presente capítulo se adoptan las siguientes definiciones:

(Carga contaminante diaria Cc). Es el resultado de multiplicar **el caudal promedio por la concentración de una sustancia, elemento o parámetro contaminante** por el factor de

conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas por día, es decir:

$$Cc = Q \times C \times 0.0036 \times t$$

Dónde:

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (L/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/L)

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

En el cálculo de la carga contaminante de cada sustancia, elemento o parámetro contaminante objeto del cobro de la tasa retributiva por vertimientos, se deberá descontar a la carga presente en el vertimiento puntual, las mediciones de la carga existente en el punto de captación, siempre y cuando se capte en el mismo cuerpo de agua receptor de la descarga objeto del pago de la tasa.

Caudal promedio (Q). Corresponde al volumen de vertimientos por unidad de tiempo durante el período de muestreo. Para los efectos del presente capítulo, el caudal promedio se expresará en litros por segundo (L/s).

Concentración (C). Es la masa de una sustancia, elemento o parámetro contaminante, por unidad de volumen del líquido que lo contiene. Para los efectos del presente capítulo, la concentración se expresará en miligramos por litro (mg/L).

Consecuencia nociva. Es el resultado de incorporar al recurso hídrico uno o varios elementos, sustancias o parámetros contaminantes, cuya concentración y caudal sean potencialmente capaces de degradar el recurso o que alteren las condiciones de calidad del mismo.

Cuerpo de Agua. Sistema de origen natural o artificial, localizado sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento.

Límites permisibles de vertimiento. Es el contenido permitido de una sustancia, elemento o parámetro contaminante, en forma individual, mezclado o en combinación, o sus productos de metabolismo establecidos en los permisos de vertimiento y/o en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV.

Objetivos de calidad. Es el conjunto de variables, parámetros o elementos con su valor numérico, que se utiliza para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso.

Proyectos de inversión en descontaminación y monitoreo de la calidad del recurso hídrico. Son todas aquellas inversiones para el mejoramiento, monitoreo y evaluación de la calidad del recurso hídrico, **incluyendo la elaboración y ejecución de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico,** inversiones en interceptores, emisarios finales y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Hasta un 10% del recaudo de la tasa retributiva podrá utilizarse para la cofinanciación de estudios y diseños asociados a estas obras.

Punto de captación. Es el sitio o lugar donde el usuario toma el recurso hídrico para cualquier uso.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento, de manera directa o indirecta al cuerpo de agua.

Recurso Hídrico. Para los efectos de este decreto, se entiende como recurso hídrico todas las aguas superficiales continentales y aguas marinas costeras.

Tarifa de la tasa retributiva. Es el valor que se cobra por unidad de carga contaminante vertida al recurso hídrico.

Usuario. Es toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, que realiza vertimientos puntuales en forma directa o indirecta al recurso hídrico.

Vertimiento al recurso hídrico. Es cualquier descarga final al recurso hídrico de un elemento, sustancia o parámetro contaminante, que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen.

Vertimiento puntual directo al recurso hídrico. Es aquel vertimiento realizado en un punto fijo y directamente al recurso hídrico.

Vertimiento puntual indirecto al recurso hídrico. Es aquel vertimiento que se realiza desde un punto fijo a través de un canal natural o artificial o de cualquier medio de conducción o transporte a un cuerpo de agua superficial.
(Decreto 2667 de 2012, art. 3).

COMPONENTES MÍNIMOS DEL PORH – DECRETO 1076 DE 2015

Artículo 2.2.3.3.1.8. Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico. Modificado por el numeral 7 del Artículo 12, Decreto Nacional 050 de 2018. El Ordenamiento del Recurso Hídrico por parte de la autoridad ambiental competente se realizará mediante el desarrollo de las siguientes fases:

1. Declaratoria de ordenamiento. Una vez establecida la prioridad y gradualidad de ordenamiento del cuerpo de agua de que se trate, la autoridad ambiental competente mediante resolución, declarará en ordenamiento el cuerpo de agua y/o acuífero y definirá el cronograma de trabajo, de acuerdo con las demás fases previstas en el presente artículo.

2. Diagnóstico. Fase en la cual **se caracteriza la situación ambiental actual del cuerpo de agua y/o acuífero, involucrando variables físicas, químicas y bióticas y aspectos antrópicos que influyen en la calidad y la cantidad del recurso.**

Implica por lo menos **la revisión, organización, clasificación y utilización de la información existente, los resultados de los programas de monitoreo de calidad y cantidad del agua en caso de que existan, los censos de usuarios, el inventario de obras hidráulicas, la oferta y demanda del agua, el establecimiento del perfil de calidad actual del cuerpo de agua y/o acuífero, la determinación de los problemas sociales derivados del uso del recurso y otros aspectos que la autoridad ambiental competente considere pertinentes,**

3. Identificación de los usos potenciales del recurso. A partir de los resultados del diagnóstico, se deben identificar los usos potenciales del recurso **en función de sus condiciones naturales y los conflictos existentes o potenciales.**

Para tal efecto se deben aplicar los modelos de simulación de la calidad del agua para varios escenarios probables, los cuales deben tener como propósito la mejor condición natural factible para el recurso. **Los escenarios empleados** en la simulación, deben incluir los aspectos ambientales, sociales, culturales y económicos, así como la gradualidad de las actividades a realizar, para garantizar la sostenibilidad del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

4. Elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico. La autoridad ambiental competente, con fundamento en la **información obtenida del diagnóstico y de la identificación de los usos potenciales del cuerpo de agua y/o acuífero,** elaborará **un documento que contenga como mínimo;**

- a) La **clasificación del cuerpo de agua** en ordenamiento.
- b) El **inventario de usuarios**
- c) El uso o **usos a asignar.**
- d) Los **criterios de calidad para cada uso.**
- e) Los **objetivos de calidad a alcanzar** en el corto, mediano y largo plazo.
- f) Las **metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes** de que trata el capítulo 5 del título 9, parte 2, libro 2 del presente Decreto o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.
- g) La **articulación** con el Plan de Ordenación de Cuencas Hidrográficas en caso de existir y,
- h) El **programa de seguimiento y monitoreo** del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico será **adoptado mediante resolución.**

Parágrafo 1. En todo caso, el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico **deberá definir la conveniencia de adelantar la reglamentación del uso de las aguas, de conformidad con lo establecido en el Artículo 2.2.3.2.13.2 presente Decreto o la norma que lo modifique o sustituya, y la reglamentación de vertimientos según lo dispuesto en el presente decreto o de administrar el cuerpo de agua a través de concesiones de agua y permisos de vertimiento.** Así mismo, dará lugar al **ajuste de la reglamentación del uso de las aguas, de la reglamentación de vertimientos, de las concesiones, de los**

permisos de vertimiento, de los planes de cumplimiento y de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos y de las metas de reducción, según el caso.

Parágrafo 2. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expedirá la Guía para el Ordenamiento del Recurso Hídrico.

Parágrafo 3. El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico, tendrá un horizonte mínimo de diez (10) años y su ejecución se llevará a cabo para las etapas de corto, mediano y largo plazo. La revisión y/o ajuste del plan deberá realizarse al vencimiento del período previsto para el cumplimiento de los objetivos de calidad y con base en los resultados del programa de seguimiento y monitoreo del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

(Decreto 3930 de 2010, art. 8).

NOTA: El texto subrayado "y/o acuífero", "y/o acuíferos" fue derogado por el Modificado por el numeral 7 del Artículo 12, del Decreto Nacional 050 de 2018.

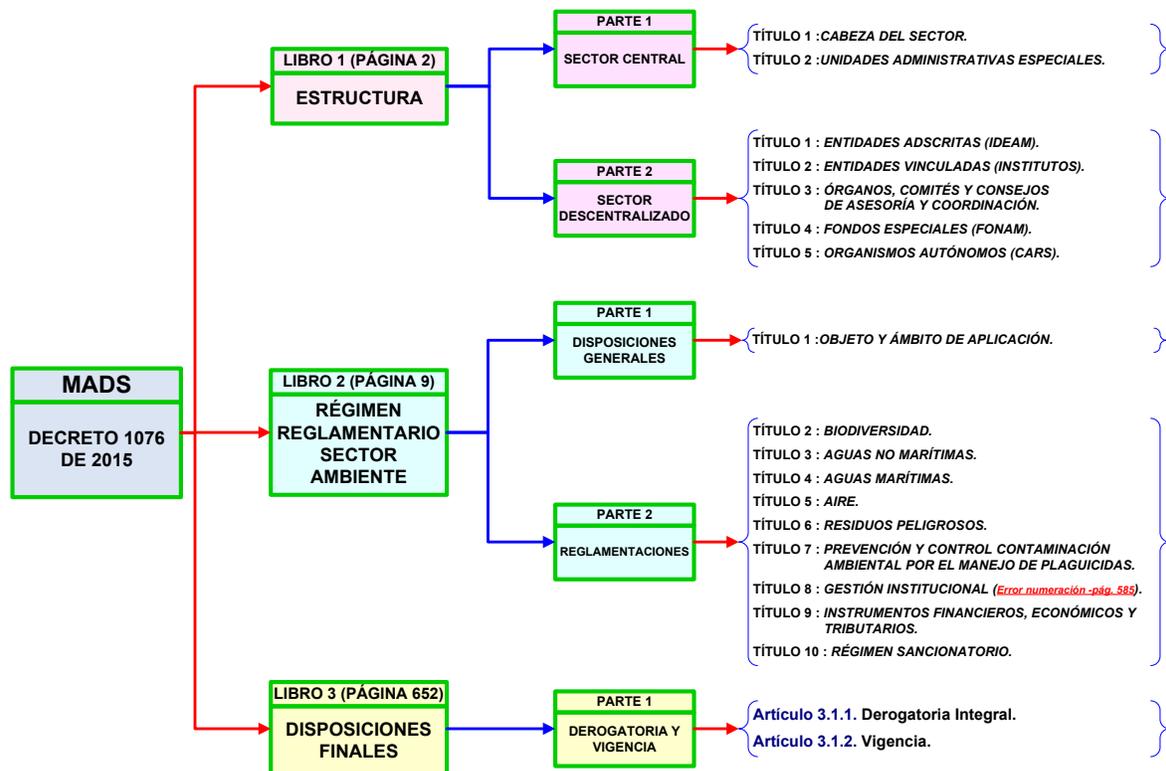
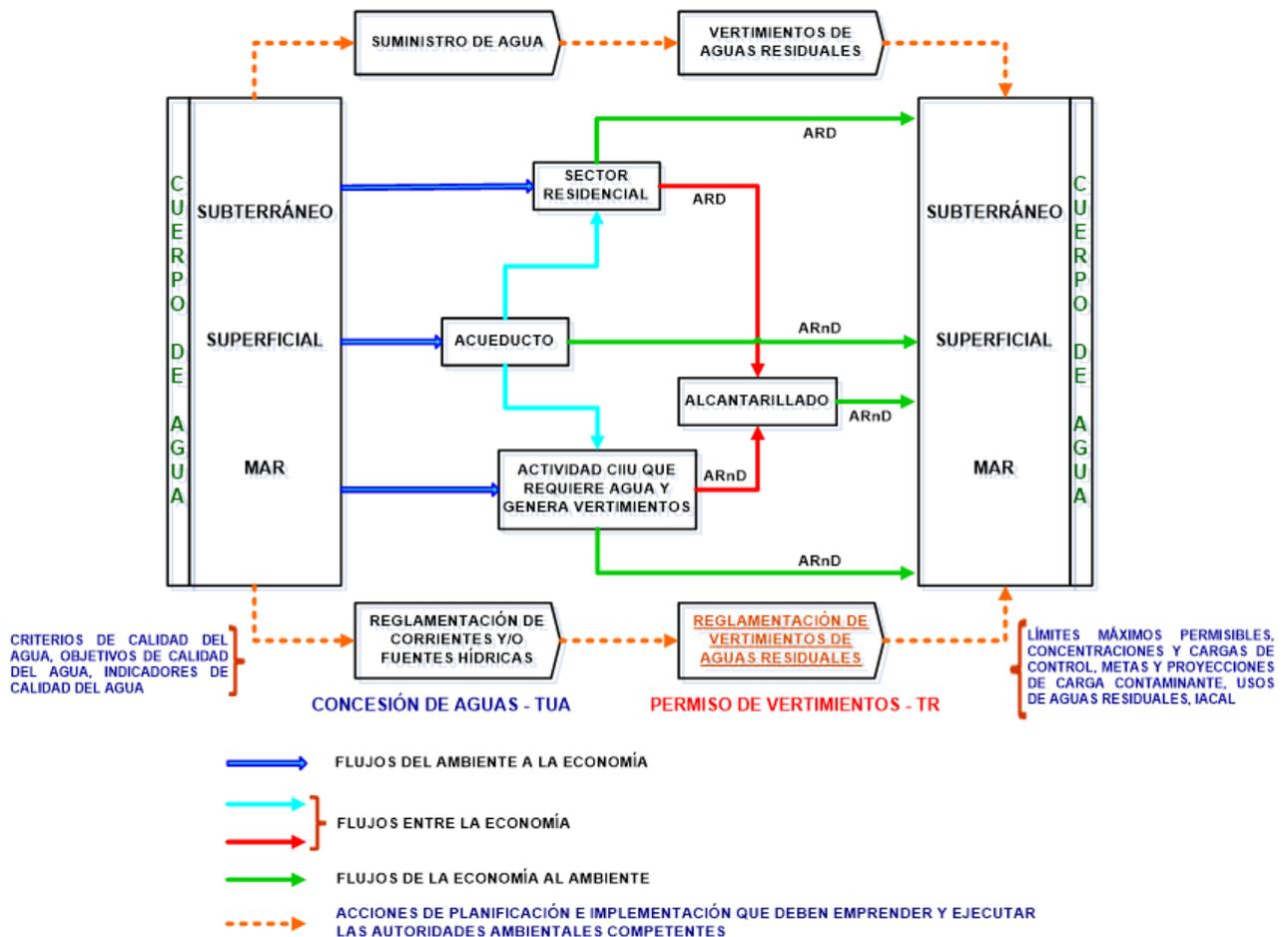


Figura 1. Estructura general del Decreto Único 1076 de 2015.

ESQUEMA RECOMENDADO PARA ARTICULAR ACTIVIDADES DEL POMCA Y DEL PORH, EN LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO QUE DEBEN EMPRENDER Y EJECUTAR LAS AUTORIDADES AMBIENTALES COMPETENTES



FUENTE BASE : SISTEMA DE CONTABILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA INTEGRADA (SCAEI-ONU)
MODIFICACIÓN Y AJUSTE PARA COLOMBIA : REINALDO SEGURO SEGURO - CONSULTOR

Figura 2. Esquema propuesto para interpretar holísticamente las líneas de flujo del recurso hídrico en el esquema económico del País

Es claro que para realizar acciones que permitan estimar y/o calcular, la capacidad de carga contaminante (Cc), principalmente por vertimientos de residuos líquidos, en periodos de tiempo, donde se debe tener la claridad de la procedencia y disposición final de los residuos asociados a la Actividad Económica, codificada en el CIU, en el esquema económico de flujos del recurso hídrico para captarlo y/o contaminarlo, para después regresarlo al mismo cuerpo de agua a través de un sistema de drenaje adecuado que cumpla con la normativa. (Del cuerpo de agua, captar agua para el consumo, utilizarlo en la Actividad Económica CIU, y luego los residuos líquidos son recolectados, transportados, tratarlos y vertidos adecuadamente otra vez al cuerpo de agua)

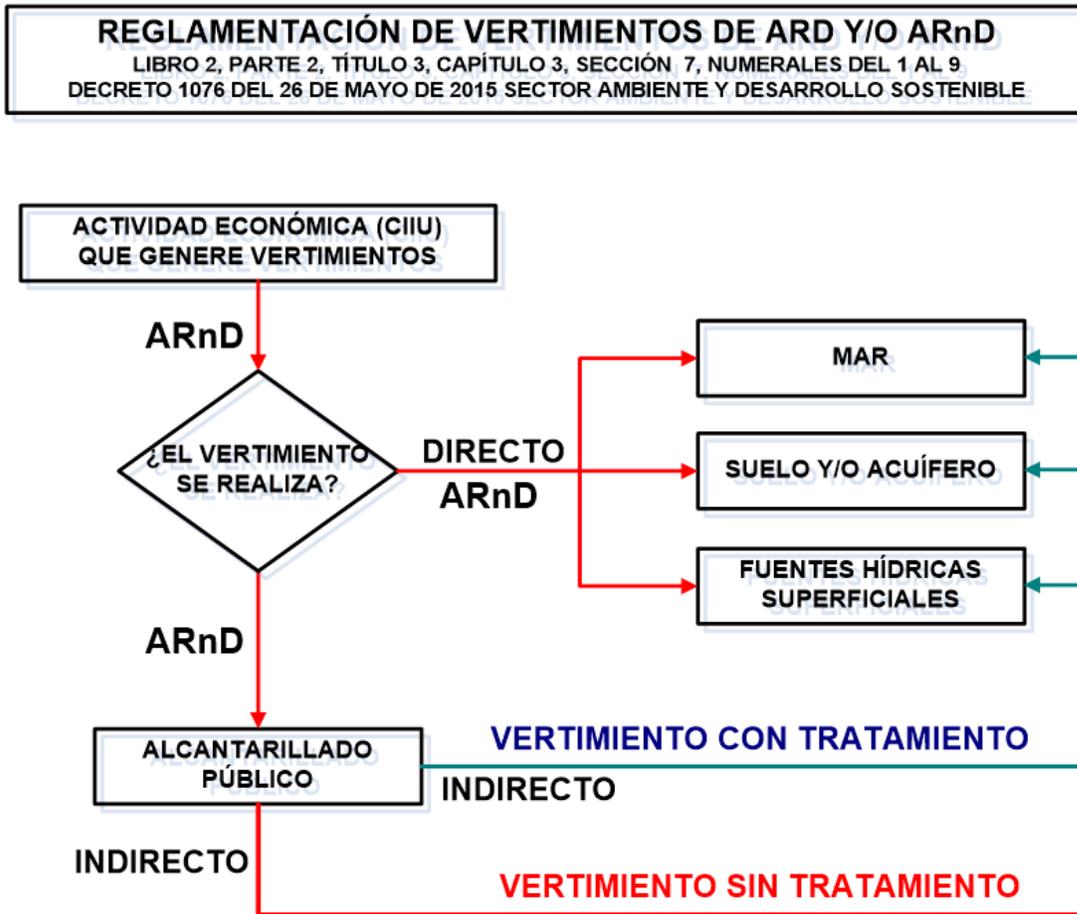


Figura 3. Esquema propuesto para interpretar holísticamente las líneas de flujo del recurso hídrico en el esquema económico del País

Tal como se muestra la secuencia del esquema, se trata de verificar las líneas de flujo del recurso hídrico en la economía, para tener claridad, cuando se pretenda realizar la Reglamentación de Vertimientos, acorde a lo dispuesto desde el Artículo 2.2.3.3.7.1., hasta el Artículo 2.2.3.3.7.9.

5.1. INTRODUCCIÓN

Para el presente estudio de modelación, se considera que el principal aportante de Carga Contaminante es el área urbana del municipio de Malambo, la cual se localiza en la margen izquierda (Occidental) del Río Magdalena, tal como se muestra en la siguiente imagen de localización general; además de estimar la escorrentía que llega a través de las fuentes tributarias que alimentan dicha ciénaga.

Igualmente se realizará un análisis del estado trófico y la calidad del agua en los 4 puntos principales de monitoreo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, de los parámetros medidos en dichos puntos en el PSMV y datos de caracterización del año 2022, así como resultados de otros estudios.

Para adelantar la modelación, se propone dividir el espejo de agua de la Ciénaga Malambo en cuatro zonas de acuerdo a los 4 puntos de monitoreo principales, donde llega la mayor carga contaminante por tributación de la escorrentía de las fuentes hídricas superficiales, estimando el área y volumen de agua para cada una de estas zonas, teniendo en cuenta las direcciones de los flujos que se presentan según la información del componente hidrológico e hidráulico de la zona que tributa directa e indirectamente a la Ciénaga de Malambo, Atlántico para el año 2023, entre otros parámetros medidos en dicho estudio y que se deben considerar en los análisis que se requieran en la estimación de la Capacidad de Carga Orgánica Contaminante (Cc).

Este proceso de estimación y cálculo de la capacidad de carga contaminante (Cc), en el marco de la normativa ambiental establecida en el Decreto 1076 de 2015 y la norma de vertimientos, es fundamental en la gestión del recurso hídrico en la zona del Complejo Cenagoso Principal de Malambo, compuesto principalmente por las Ciénagas del Convento, Ciénaga de Malambo y Ciénaga de La Bahía o Mesolandia en la margen izquierda del Río Magdalena y 25 km aproximadamente a la desembocadura al mar caribe, en el Departamento del Atlántico.

Se resalta que lo ideal es concebir que la Ciénaga de Malambo, hace parte de un Complejo Cenagoso creado por la influencia de las crecientes del Río Magdalena y que funcionan como zonas de amortiguación de las crecientes, intercambio biológico (Íctico principalmente), así como la regulación de caudales de escorrentía de fuentes hídricas tributarias a éstas, de la parte interna de las cuencas hidrográficas.

Es prioridad realizar la gestión en la AAC, para incluir estas zonas cenagosas en zonas de protección que harían parte de las determinantes ambientales de acuerdo a la Ley 388 de 1997 de ordenamiento territorial y posteriormente en zonas de protección de humedales RAMSAR.

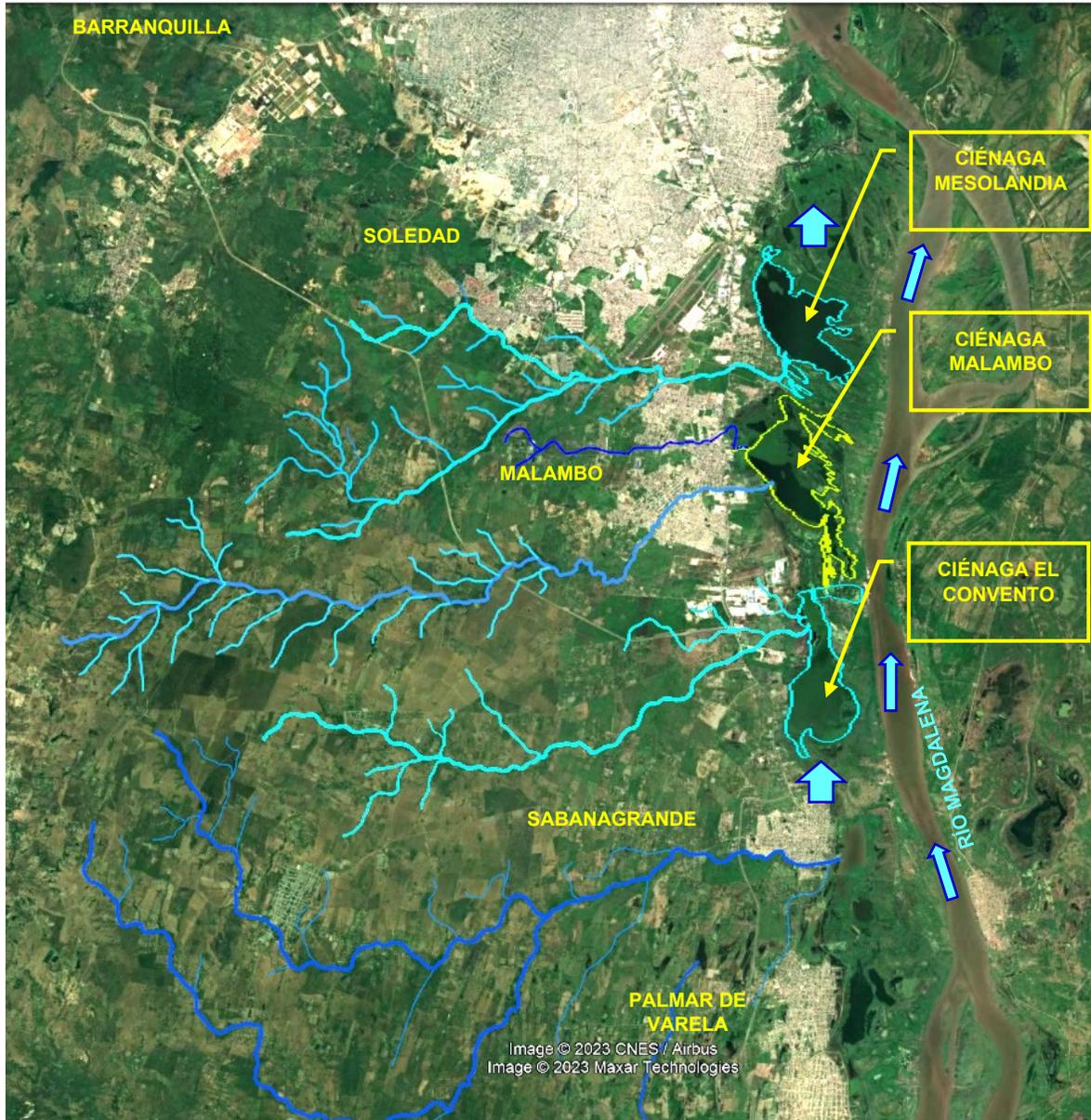


Figura 4. Localización General del Complejo de ciénagas de Malambo y líneas de flujo de caudales en complejo cenagoso.

Para la estimación de la Capacidad de Carga Contaminante (Cc), se recomienda integrar en la gestión inicial un próximo estudio de capacidad de carga en el complejo cenagoso de las ciénagas localizadas en la margen izquierda del Río Magdalena, que hacen parte de la zona hidrográfica con código # 2904, acorde al ENA 2013 del IDEAM; los cuales deberán ser parte de las zonas de protección de humedales RAMSAR.

5.1.1. Desarrollo de componentes estructurantes.

Es de considerar que además en la zona de estudio, al final de la descarga del Río Magdalena al mar, discurren gran parte de los vertimientos de aguas residuales de las mayorías de vertimientos de aguas residuales del País, ya que las cuencas que tributan directamente al Mar Caribe, son la de los Ríos Cauca y Magdalena, donde se asienta prácticamente más del 75% de los 6.613 Centros Poblados del País; ver resumen DANE a octubre de 2022.



Figura 5. Información de Centros Poblados en el País.

Por las condiciones del drenaje de aguas servidas en el País, que en gran parte tributan a las zonas hidrográficas de los ríos Cauca y Magdalena, y que los municipios más aportantes de carga contaminante del País se localizan en estas zonas, y a su vez en los del Departamento del Atlántico, que vierten directa e indirectamente a través de complejos cenagosos las aguas residuales urbanas (ARD + ARnD), de los alcantarillados públicos (Centros Poblados usuarios PSMV) de las áreas urbanas de municipios de Barranquilla, Soledad, Malambo, Sabanagrande, Palmar de Varela, Ponedera, San Juan de la Cruz y Suán, sobre la margen izquierda de la Cuenca Baja del Río Magdalena, jurisdicción de la CRA.

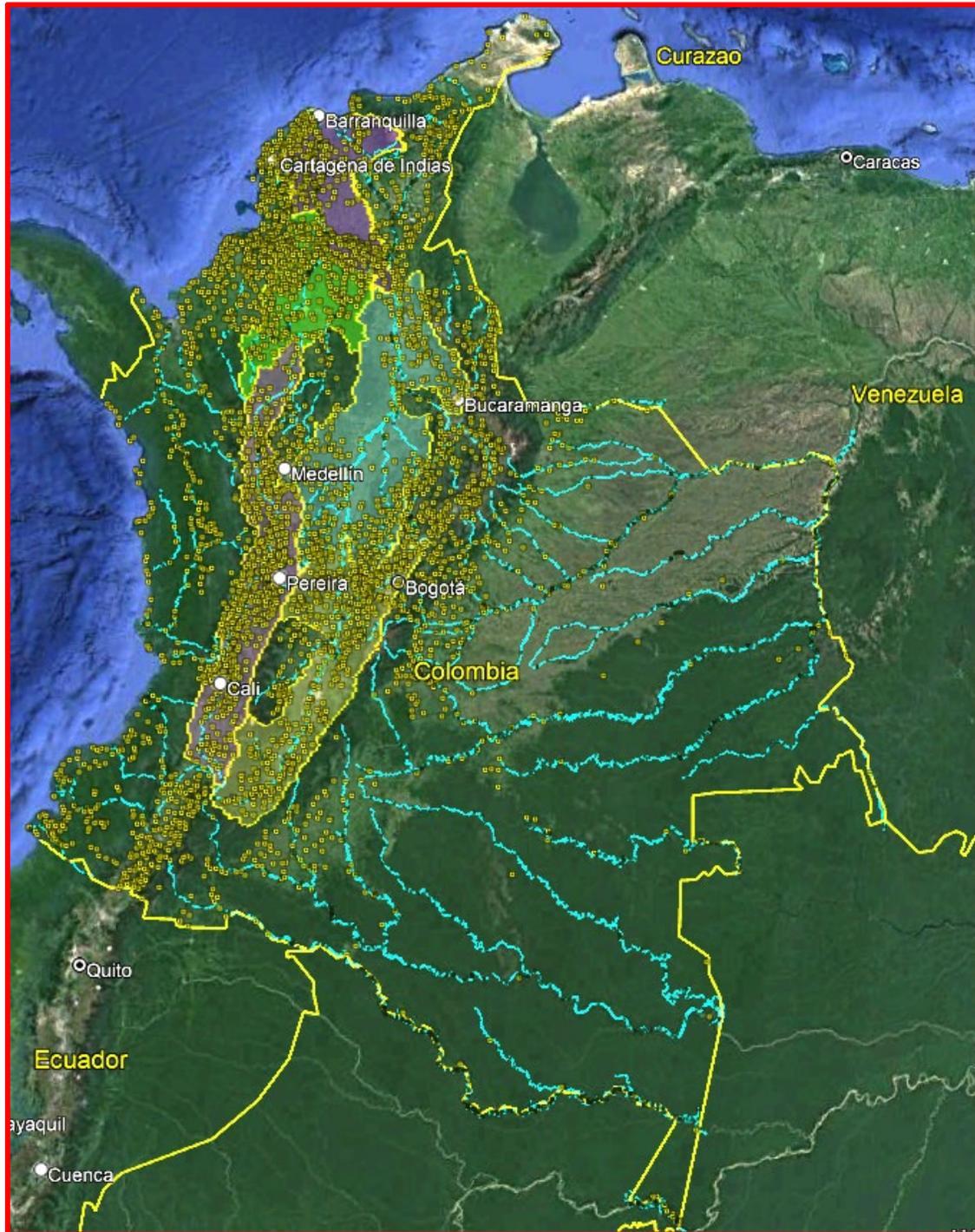


Figura 6. Localización de Centros Poblados del País, en las Zonas Hidrográficas de los ríos Cauca y Magdalena.

Se aprecia como la gran nube de centros poblados del País se localizan en las vertientes de la zona andina (Cordilleras Occidental, Central y Oriental).

En la siguiente gráfica se aprecia como el Departamento del Atlántico, después de Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca, se ubica en el 4º puesto con 2.225.854 habitantes urbanos (Usuarios PSMV), de un total departamental de 2.342.265, equivalentes al 95% de la población urbana (PSMV), que a un aporte per cápita promedio de carga contaminante Residencial (ARD), de Cc de DBO₅ de 0,033 kg/hab-d, puede generar 73.453 kg/d (73,5 Ton/d, 26.811 Ton/año), más Cc de SST de 0,030 kg/hab-d, puede generar 66.776 kg/d (66,8 Ton/d, 24.373 Ton/año), para un total aproximado de 51.184 Ton/año de Cc Doméstica.

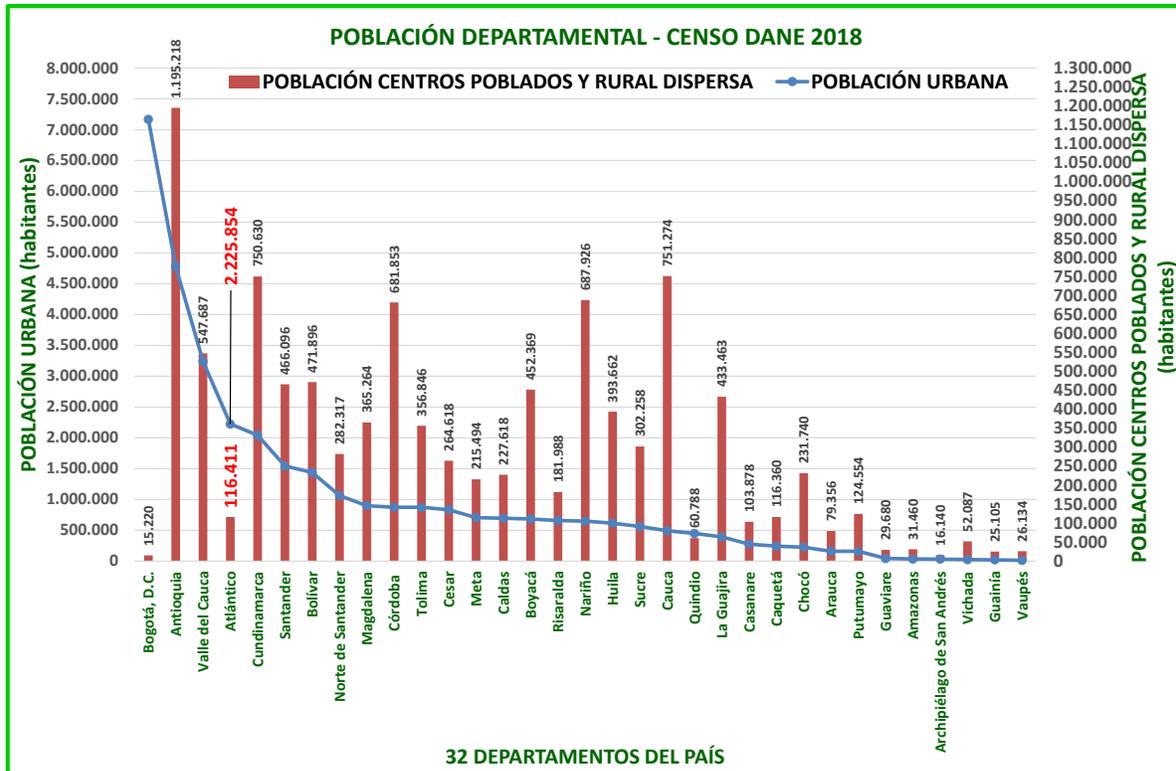


Figura 7. Información de la Población por Departamentos en el País.

Según los datos del Censo 2018 del DANE, existen 569.927 viviendas ocupadas en las áreas urbanas de los municipios del Departamento del Atlántico, de las 643.769 viviendas totales reportadas, donde viven 594.500 hogares, lo que permite estimar una densidad (3,744 hab/hogar), (3,907 hab/vivienda ocupada) y (3,457 hab/vivienda reportada).

Para los municipios de Barranquilla, Soledad, Malambo y Sabanagrande, se tiene un reporte de 1.836.327 habitantes urbanos (82,5%) del Departamento del Atlántico, que se muestra en la siguiente tabla resumen de datos reportados en el Censo DANE 2018.

Tabla 1. Población por rangos y estimativo de Cc Residencial (kg/d) en el País.

CLASIFICACIÓN POR GRUPOS DE POBLACIÓN URBANA EN MUNICIPIOS CON BASE EN DATOS DEL CENSO DANE 2018	PROMEDIO HABITANTES EN NUMERO DE CABECERAS MUNICIPALES		TOTAL POBLACIÓN URBANA CABECERAS MUNICIPALES CON BASE CENSO DANE 2018		TOTAL POBLACIÓN CENTROS POBLADOS Y POBLACIÓN RURAL DISPERSA CON BASE CENSO DANE 2018		NUMERO DE ÁREAS NO MUNICIPALIZADAS Y MUNICIPIOS		TOTAL POBLACIÓN CON BASE CENSO DANE 2018		APORTE PERCÁPITA DBO ₅	APORTE PERCÁPITA SST	CARGA CONTAMINANTE - Cc - RESIDENCIAL (ARD)
	(habitantes)	(habitantes)	(Porcentaje)	(habitantes)	(Porcentaje)	(número)	(Porcentaje)	(habitantes)	(Porcentaje)	0,033 kg/d	0,030 kg/d	(kg/d)	
ÁREAS NO MUNICIPALES (ANM)				34.787		20 ANM	1,78%	34.787	0,08%				
URBANAS ENTRE 96 - 500 hab.	352	13.746	0,04%	85.903	0,85%	39 Municipios	3,48%	99.649	0,23%	454	412	866	
URBANAS ENTRE 501 - 1.000 hab.	720	69.076	0,20%	307.971	3,06%	96 Municipios	8,56%	377.047	0,85%	2.280	2.072	4.352	
URBANAS ENTRE 1.001 - 2.000 hab.	1.487	251.279	0,74%	940.648	9,35%	169 Municipios	15,06%	1.191.927	2,70%	8.292	7.538	15.831	
URBANAS ENTRE 2.001 - 6.000 hab.	3.622	1.195.325	3,50%	2.332.535	23,19%	330 Municipios	29,41%	3.527.860	7,99%	39.446	35.860	75.305	
URBANAS ENTRE 6.001 - 13.000 hab.	8.911	1.951.499	5,72%	2.239.852	22,27%	219 Municipios	19,52%	4.191.351	9,49%	64.399	58.545	122.944	
URBANAS ENTRE 13.001 - 30.000 hab.	19.943	2.492.820	7,31%	1.465.849	14,57%	125 Municipios	11,14%	3.958.669	8,96%	82.263	74.785	157.048	
URBANAS ENTRE 30.001 - 100.000 hab.	53.956	3.938.805	11,55%	1.304.296	12,97%	73 Municipios	6,51%	5.243.101	11,87%	129.981	118.164	248.145	
URBANAS ENTRE 100.001 - 140.000 hab.	114.271	2.285.411	6,70%	357.656	3,56%	20 Municipios	1,78%	2.643.067	5,98%	75.419	68.562	143.981	
URBANAS MAYORES A 140.001 hab.	706.744	21.909.066	64,24%	987.893	9,82%	31 Municipios	2,76%	22.896.959	51,84%	722.999	657.272	1.380.271	
TOTAL		34.107.027	100%	10.057.390	100%	1.122	100%	44.164.417	100%	1.125.532	1.023.211	2.148.743	

De los 140.230 kg/d de Cc Doméstica del Departamento del Atlántico (6,53% de la Cc Residencial del País), 5,4% para la zona Cenagosa de los municipios de Barranquilla, Soledad, Malambo y Sabanagrande, se puede estimar como la línea base para determinar la proyección de Carga Contaminante - Cc en un horizonte mínimo de diez años acorde a la normativa ambiental vigente para PORH.

5.1.2. Carga máxima permisible.

Es necesario considerar que el complejo cenagoso de Malambo, tiene una interrelación de flujos que migran desde la entrada de intercambio de los caudales del río por **CRECIENTES** que inundan y/o la incidencia indirecta por infiltración del agua del Río que está a una mayor profundidad (5 a 7 metros) y que por fuerzas de empuje infiltran las ciénagas someras que están a la margen izquierda del Río Magdalena con profundidades en promedio entre 0,8 m y 1,2 m, lo que garantiza un aporte de gran caudal en todo el tiempo por infiltración (Nivel freático), ver análisis grafico en la planta perfil. Además, esto influye en la variabilidad del **ESTADO TRÓFICO** de los humedales del complejo cenagoso de Malambo y al indicador de calidad del agua, por lo que se estimará y modelará la Carga Máxima Permisible con base en las concentraciones vertidas de ARD y/o ARnD, según Resolución 0631 de 2015 y de Carga Máxima Permisible según Artículos Transitorios del Decreto 703 de 2018 y el Decreto 1076 de 2015 (Cálculo de las Cargas A y B).

En la siguiente grafica se aprecia como sería la incidencia del Nivel Freático del Río Magdalena, sobre el complejo somero cenagoso de malambo, donde se concentran los puntos de vertimientos de (ARD y/o ARnD) y la variabilidad estacional por verano, invierno y/o cambio climático.

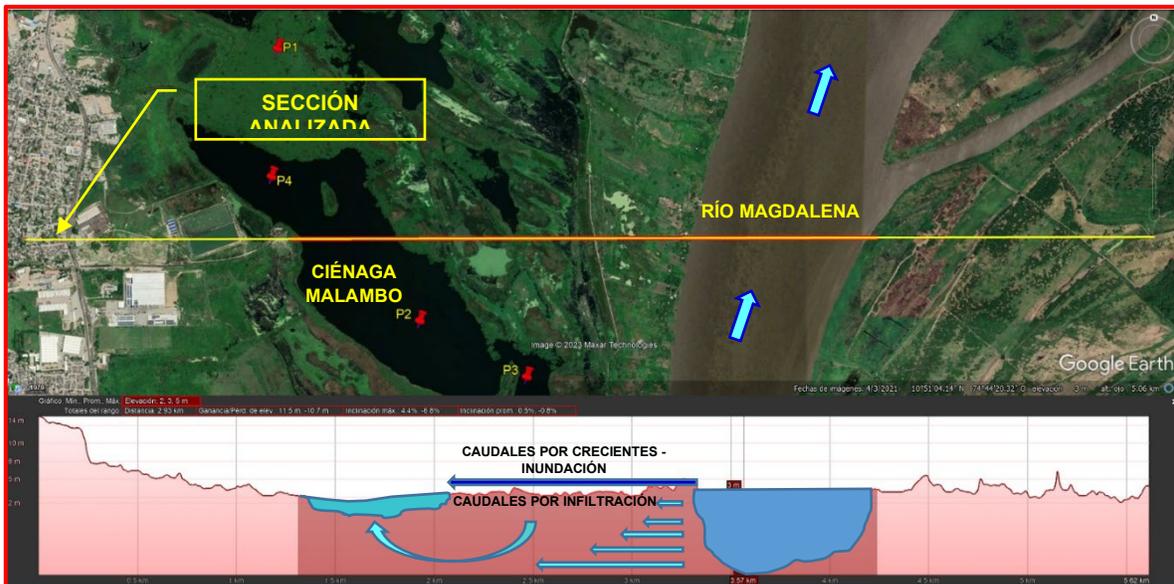


Figura 8. Esquema de migración e intercambio de caudales en el complejo cenagosos de Malambo.

Fuente: Google Earth, con esquemas complementarios del ingeniero Reinaldo Seguro Asesor Consultoría.

En el análisis gráfico de la migración de caudales de recambio y de acuerdo a la incidencia del Río Magdalena, la resiliencia que supuestamente muestra la Ciénaga de Malambo en la zona de monitoreos, depende directa e indirectamente de estas entradas de agua y flujos que son los que no se pueden interrumpir con las actividades antrópicas, que se realizan en la zona de influencia de dicho complejo cenagosos.

Por lo anterior la proyección de carga contaminante (Cc), pasa a un segundo plano, cuando no se manejan y reglamentan adecuadamente los Residuos Sólidos, depositados en estas áreas adyacentes a la ciénaga y a los llenos para secar las zonas cenagosas y ocupar dichas áreas con usos inapropiados del suelo; por tanto, se deben plantear medidas de planificación desde el Ordenamiento Territorial y Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), en la zona.

El reporte de la profundidad del Río en esta sección, es tomado del estudio “Modelación de la capacidad máxima de asimilación de vertimientos de carga orgánica en la Ciénaga de Mesolandia, Departamento del Atlántico, Ingeniera Luz Elena Alean Vera, UNAL - Colombia, Bogotá, 2009.

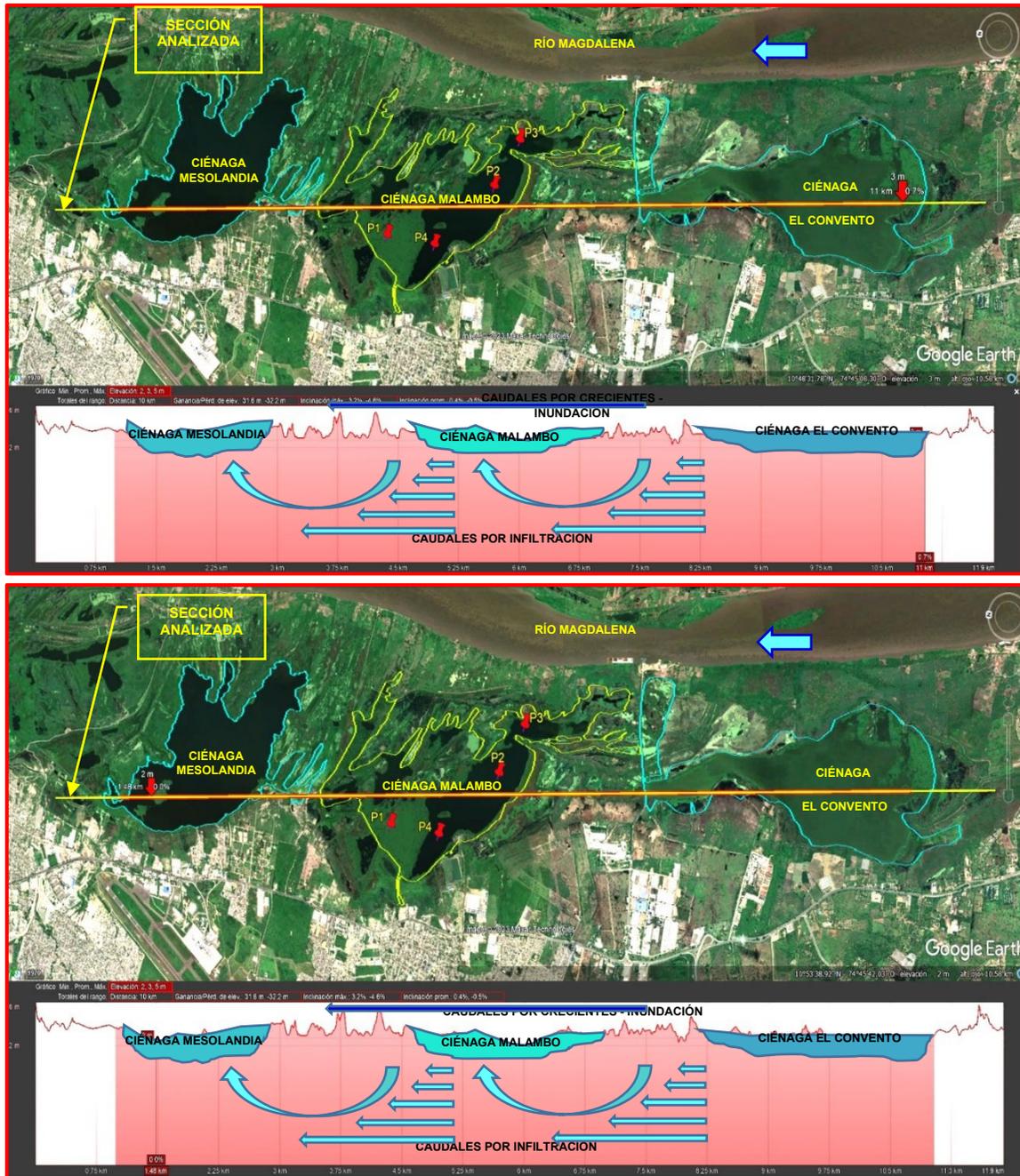


Figura 9. Esquema de migración e intercambio de caudales (Continuación).

Respecto a un análisis gráfico del comportamiento de **flujos en serie entre ciénagas y en paralelo a la margen izquierda del Río Magdalena**, como se muestra en las secciones de las figuras anteriores, se muestra esquemáticamente como sería la migración de caudales en el complejo cenagosos de Malambo, donde se puede apreciar el paso de **3 msnm a 2msnm**, diferencia aproximada de alturas entre los espejos de agua de las Ciénagas del Complejo Malambo, desde la ciénaga El Convento hasta la Ciénaga Mesolandia o La Bahía (flujo en serie entre lagunas).

En el Decreto 1076 de 2015, se estipula que según el Artículo 2.2.3.3.9.17. TRANSITORIO. Cálculo de la carga de control. Reporta que la carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias de interés sanitario tóxicas, **se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:**

Ecuaciones planteadas en la normatividad, para el cálculo, control y seguimiento **Artículo 2.2.3.3.9.21. TRANSITORIO. Cálculos**

A = (Q) (CDC) (0.0864)

B = (Q) (CV) (0.0864)

Parágrafo 1. Corregido por el numeral 25 art. 25, Decreto Nacional 703 de 2018. Para los efectos de las ecuaciones a que se refiere el presente artículo adóptense las siguientes convenciones;

A: **Carga de control, kg./d.**

Q: **Caudal promedio del vertimiento, L/s.**

B: **Carga en el vertimiento kg./d.**

CDC: **Concentración de control, mg/L. (Establecida en la Resolución 0631 de 2015)**

CV: **Concentración en el vertimiento, mg/L.**

0.0864: **Factor de conversión tiempo.**

El Decreto estipula que, para el control y la medición de Cargas Máximas Permisibles, se utilizará las ecuaciones establecidas en el anterior **Artículo 2.2.3.3.9.17**, acorde a lo establecido en **Artículo 2.2.3.3.9.20 TRANSITORIO. Control**. El control del pH, temperatura (T), material flotante, sólidos sedimentables, caudal y sustancias solubles en hexano, en el vertimiento, se hará con base en unidades y en concentración. **El de los sólidos suspendidos y el de la demanda bioquímica de oxígeno con base en la carga máxima permisible (CMP)**, de acuerdo con las regulaciones que para tal efecto sean expedidas.

(Decreto 1594 de 1984, art. 78).

En el **Artículo 2.2.3.3.9.21. TRANSITORIO. Cálculos**. Las normas de vertimiento correspondientes a las ampliaciones que hagan los usuarios del recurso se calcularán de acuerdo con lo establecido en los artículos 2.2.3.3.9.17, 2.2.3.3.9.18, 2.2.3.3.9.19 y 2.2.3.3.9.20 del presente Decreto.

(Decreto 1594 de 1984, art. 79).

5.2. OBJETIVOS

Predecir el estado trófico, la calidad del agua y la carga máxima orgánica que puede asimilar la Ciénaga Malambo a través de modelos matemáticos, con base en las medidas obtenidas en el monitoreo realizado en el año 2022, entre otros monitoreos realizados en la Ciénaga de Malambo por la AAC, en el marco del PORH.

3.1. Objetivo general del estudio.

Previo al análisis y evaluación de los resultados obtenidos en la caracterización de aguas para los diferentes parámetros medidos en el laboratorio; determinar el índice de calidad del agua, el índice del estado trófico de la Ciénaga, e igualmente la recomendación sobre la capacidad de asimilación de carga orgánica para las cuatro principales estaciones monitoreadas en 2022, utilizando modelos matemáticos que permitan predecir el escenario más apropiado para garantizar el equilibrio ecológico de la Ciénaga y permitir el aprovechamiento adecuado de ésta.

3.2. Objetivos específicos

- Sectorización de la Ciénaga, acorde a los resultados obtenidos en las 6 estaciones monitoreadas, de las cuales se toman las 4 principales estaciones localizadas en el espejo de agua donde se recibe la mayor cantidad de carga contaminante (P1, P2, P3 y P4), considerando el estado trófico, la calidad del agua y la capacidad de asimilación de carga orgánica (Análisis estacional y variabilidad de flujos).
- Estimar los volúmenes de agua de la Ciénaga por áreas aferentes a cada estación de monitoreo.
- Implementar la herramienta y/o herramientas de modelación, para predecir y/o simular las condiciones de carga orgánica que pueden ser vertidas a la Ciénaga, y que permitan garantizar el equilibrio ecológico en éste.
- Implementar la herramienta y/o herramientas de modelación, para determinar el índice del estado trófico y el índice de calidad del agua en la sectorización definida para la Ciénaga de acuerdo a las estaciones monitoreadas.
- Proponer o sugerir el escenario más apropiado, respecto a los ajustes que se deben considerar para la línea base, las metas de reducción de carga contaminante y los objetivos de calidad, de acuerdo a las medidas obtenidas en los 4 Puntos Principales de estaciones monitoreadas.

5.3. GENERALIDADES DE LA CIÉNAGA Y EL MUNICIPIO DE MALAMBO

5.3.1. Localización de la ciénaga y el área urbana del municipio de Malambo.

En la siguiente figura se presenta la localización general del área urbana del municipio de Malambo y la Ciénaga Malambo, con los 4 puntos principales de monitoreo de agua que se realizaron en el año 2022.

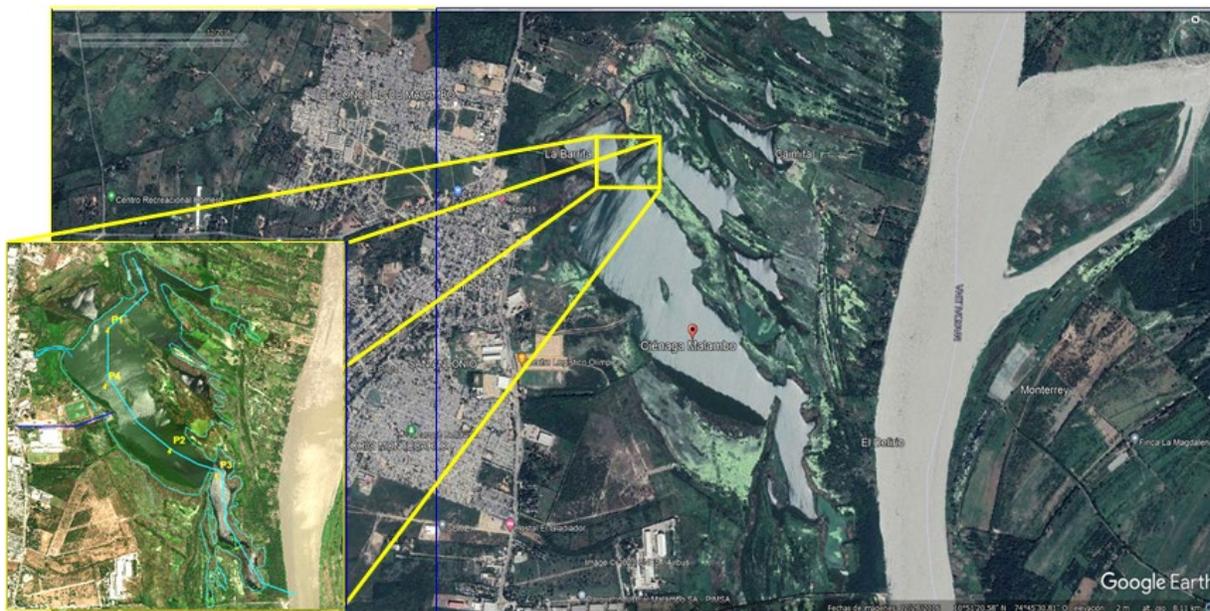


Figura 10. Localización general de la ciénaga Malambo.

Es importante resaltar que la población asentada en el área de influencia de la Ciénaga Malambo, asociada al desarrollo industrial de la zona, es la mayor aportante de Cc para lo cual se toman las proyecciones de población urbana del DANE hasta el año 2035 y luego se proyecta la Población Urbana, con base en la tasa de crecimiento adoptada por el DANE hasta el año 2050 que es la que tiene mayor incidencia sobre el cuerpo de agua, y que además, de éste se capta agua para diferentes usos en el área de influencia de la Ciénaga. Así mismo se anexa el documento del Perfil Municipal de Malambo emitido por el DANE en el año 2005, actualizado en el 2010 y luego en el 2018 y donde se aprecia la evolución que ha tenido la zona urbana y el incremento de la infraestructura en el municipio de Malambo, comparando las coberturas de servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, que son servicios que se relacionan directa e indirectamente con la calidad del agua en la ciénaga. Igualmente se evalúa y analiza parte de la información del documento presentado a la CRA (AAC), y presentado por Aguas de Malambo del PSMV en el año 2022, donde se han referenciado datos estimados como la proyección de población calculada en este documento, la cual se ha revisado y comparado con las cifras obtenidas por esta Consultoría en el presente estudio, con el fin de realizar comparativos ajustados a datos del DANE, y de la información tomada del SUI en la última década (Periodo 2011 a 2021). Tabla tomada del PSMV, donde aparece proyección de población y caudal medio.

Tabla 2. Proyección del caudal medio de aguas residuales.

AÑO	USUARIOS (1)	COBERTURA	TOTAL PREDIOS	DEN. VIV (2)	POBLACION CABECERA	DOTACION	Coef. Retorno	CAUDAL MEDIO
	Total Usuarios	(%)	(USUARIO)	(hab/viv)	(hab)	(L/Hab/Dia)	(%)	Qm
2019	20193	81,73%	24707	4,6	113652	140	85	156,53
2021	24570	88,75%	27684	4,6	127346	140	85	175,40
2022	22626	92,09%	24570	4,6	113022	140	85	155,67
2023	21400	80,00%	26750	4,6	123050	140	85	169,48
2024	34525	90,00%	38361	4,6	176461	140	85	243,04
2025	38121	100,00%	38121	4,6	175357	140	85	241,52
2026	38500	100,00%	38500	4,6	177100	140	85	243,92
2027	38956	100,00%	38956	4,6	179198	140	85	246,81
2028	39367	100,00%	39367	4,6	181088	140	85	249,42
2029	39787	100,00%	39787	4,6	183020	140	85	252,08
2030	40212	100,00%	40212	4,6	184975	140	85	254,77
2031	40645	100,00%	40645	4,6	186967	140	85	257,51
2032	41081	100,00%	41081	4,6	188973	140	85	260,27

CONVENCIÓN:

- (1) Usuarios según AGUAS DE MALAMBO S.A. E.S.P.
(2) Densidad según Censo DANE 2018
(3) Longitud de Redes de 101,73 Km actual 2021

De las siguientes tablas resumen extraídas del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV-DANE de 2018 versión 3), se toman los siguientes datos:

Tabla 3. Resultados censales a nivel nacional, departamental y municipal, consultados.





El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia

Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018

Principales resultados censales a nivel nacional, departamental y municipal por área total, cabeceras municipales, centros poblados y rural disperso CNPV 2018

1. [Principales resultados censales: Total de Unidades de Viviendas censadas según condición de ocupación, hogares y población censada a nivel nacional, departamental y municipal por área, 2018](#)
2. [Principales resultados censales: Población Total Censada en Hogares Particulares y en Lugares Especiales de Alojamiento \(LEA\) por área total, cabecera municipal, centros poblados y rural disperso, 2018.](#)

Fuente: Censo DANE, CNPV 2018.

Tabla 4. Resultados del censo nacional de población y vivienda consultados.

DANE INFORMACIÓN PARA TODOS			El futuro es de todos Gobierno de Colombia						
Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018									
Total de Unidades de Viviendas censadas según condición de ocupación, hogares y población censada a nivel nacional, departamental y municipal por área, 2018									
			Total Cabecera Municipal						
Código DIVIPOLA	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	Unidades de Vivienda según Condición de Ocupación				VIHOPE		
			Unidades de vivienda con personas ausentes	Unidades de vivienda de uso temporal	Unidades de vivienda desocupadas	Unidades de vivienda con personas presentes	Unidades de vivienda	Hogares	Personas
08433	Atlántico	Malambo	1.281	78	2.177	27.204	30.740	28.039	112.799

Fuente: Censo DANE, CNPV 2018.

Se aprecia que para el año 2018, se reportaron un total de 30.740 viviendas, 28.039 hogares y 112.799 personas; donde se resalta que las viviendas ocupadas con personas presentes fueron de 27.204 viviendas (Densidad de personas por vivienda = $112.799 \text{ personas} / 27.204 \text{ viviendas} = \mathbf{4,15 \text{ personas/vivienda}}$); pero si se toma la densidad con respecto a los inmuebles construidos (Suscriptores), se tendría una Densidad por Suscriptores de:

$Ds = 112.799 \text{ personas} / 30.740 \text{ suscriptores} = \mathbf{3,67 \text{ personas / suscriptor}}$.

Acorde al resultado anterior, se puede llegar al siguiente análisis, que la proyección debe tomarse con base en la capacidad instalada y no utilizada; ya que actualmente se tienen Dotaciones netas de acuerdo al SUI, inferiores a 140 L/persona-d, lo cual debe seguir lo estipulado en el Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017, del RAS, que la proyección de caudal se deberá con la Dn de 140 L/hab-d.

En la siguiente tabla, se verifica nuevamente el número total de personas censadas en la cabecera municipal de Malambo en el CENSO CNPV-2018.

Tabla 5. Número total de personas censadas en la cabecera municipal de Malambo en el CENSO CNPV-2018.

DANE INFORMACIÓN PARA TODOS			El futuro es de todos Gobierno de Colombia								
Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018											
Población Total Censada en Hogares Particulares y en Lugares Especiales de Alojamiento (LEA) por área total, cabecera municipal, centros poblados y rural disperso, 2018.											
Código DIVIPOLA	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	Total			Total Cabecera Municipal			Total Resto Municipal (Centros Poblados y Rural Disperso)		
			Personas en hogares particulares	Personas en LEA	Personas total	Personas en hogares particulares	Personas en LEA	Personas total	Personas en hogares particulares	Personas en LEA	Personas total
08433	Atlántico	Malambo	119.704	216	119.920	112.583	216	112.799	7.121	0	7.121

Fuente: Censo DANE, CNPV 2018.

5.3.2. Resumen reporte SUI (www.sui.gov.co).

De los reportes tomados de la página del Sistema Único de Información (SUI), de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPP) y anexos al presente informe, se presenta una estadística básica y resumen de los reportes del sistema de acueducto para el municipio de Malambo en el periodo 2011 a 2021, considerando los usuarios del último reporte para el año 2021.

Tabla 6. Resumen de los consumos, suscriptores, y estimativo de población.

ESTRATO	CONSUMO TOTAL (m3/año)	NÚMERO DE SUSCRIPTORES	PROMEDIO DE CONSUMO	CONSUMO POR SUSCRIPTOR Y/O HABITANTE PERIODO REPORTE SISTEMA ACUEDUCTO SUI 2011 - 2021				NÚMERO DE HABITANTES Y/O SUSCRIPTORES PERIODO SUI 2011 - 2021 (hab) y/o (suscriptores)	TOTAL HABITANTES Y/O SUSCRIPTORES CON ACUEDUCTO	TOTAL HABITANTES Y/O SUSCRIPTORES CON ACUEDUCTO
				(m3/suscriptor-año)	(m3/suscriptor-d)	(L/suscriptor-d)	(L/hab-d)		MEDIANA	PROMEDIO
Estrato 1	20.437.345	167.569	1.388	122	0,334	334	122	460.832 hab		
Estrato 2	8.724.794	64.467	1.588	135	0,371	371	135	177.291 hab	94.403 hab	
Estrato 3	529.560	4.187	1.487	126	0,347	347	126	11.615 hab		
Estrato 4	7.475	113	448	66	0,181	181	66	311 hab		
Industrial	4.282.302	351	107.049	12.200	33,425	33.425	11.732.334	351 suscriptor		
Comercial	671.398	2.848	2.716	236	0,646	646	1.839.203	2.848 suscriptor	548 suscriptores	
Oficial	2.817.001	744	55.516	3.786	10,373	10.373	7.717.811	744 suscriptor	986 suscriptores	
Especial	193	2	463	97	0,264	264	529	2 suscriptor		
TOTAL	37.469.979	240.281	170.674	16.769	45,942	45.942	21.290.325			
PROMEDIO	4.683.747	30.035	21.334	2.096	5,743	5.743	2.661.291			
MEDIA GEOMÉTRICA	426.905	1.289	3.204	331	0,908	908	7.670			
MEDIANA	1.744.155	1.796	1.542	131	0,359	359	332			
TOTAL RESIDENCIAL	29.699.174	236.336	4.930						DENSIDAD ESTIMADA DE ACUERDO A LA COBERTURA DE ACUEDUCTO REPORTADA EN EL SUI DESDE 2011 A 2021	
PROMEDIO RESIDENCIAL	7.424.794	59.084	1.233	112	0,308	308	112			
MEDIA GEOMÉTRICA RESIDENCIAL	916.593	8.455	1.104	108	0,297	297	108			
MEDIANA RESIDENCIAL	4.627.177	34.327	1.442	124	0,340	340	124			

Tabla 7. Resumen de los consumos, suscriptores, y estimativo de caudales por cada año en el periodo 2011 - 2021

AÑO	CONSUMO TOTAL (m3/año)								TOTAL		ALMACENAMIENTO REQUERIDO	
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Industrial	Comercial	Oficial	Especial	(m3/año)	(L/s)	(L/d)	(m3/d)
2011	1.039.356	806.484	88.320	37	27.563	38.701	240.339		2.242.811	71	2.048.229	2.048
2012	1.599.931	1.002.292	90.469	25	63.058	42.859	272.773		3.073.419	97	2.806.775	2.807
2013	1.906.541	919.298	72.028		65.015	50.225	268.172		3.283.292	104	2.998.440	2.998
2014	1.946.255	859.287	61.278		70.521	56.041	264.652		3.260.048	103	2.977.213	2.977
2015	2.032.696	874.297	55.368		71.539	67.996	289.181		3.393.092	108	3.098.714	3.099
2016	2.133.953	825.981	44.524		1.056.553	64.139	277.455		4.404.621	140	4.022.485	4.022
2017	2.577.196	1.008.802	41.678		81.149	57.937	259.951	0	4.028.730	128	3.679.205	3.679
2018	2.411.341	848.077	32.893	1.571	272.176	107.639	248.869		3.924.584	124	3.584.095	3.584
2019	2.197.104	735.541	23.448	5.471	94.472	97.344	271.973	270	3.427.642	109	3.130.267	3.130
2020	2.394.198	778.111	21.772	3.142	960.024	87.869	337.922	89	4.585.147	145	4.187.349	4.187
2021	2.395.878	802.165	21.230	2.700	1.614.704	97.903	357.687	104	5.294.392	168	4.835.061	4.835

Tabla 8. Reporte sui sistema de acueducto municipio de Malambo.

PERIODICIDAD	Agregación de los hijos de 'Anual'
TIEMPO	Hijos de '2021'
SERVICIO	Agregación de los hijos de 'ACUEDUCTO'
EMPRESA	Todos
UBICACION_GEOGRAFICA	Agregación de los hijos de 'MALAMBO'
UBICACION	Todos
USO	Todos
ESTRATO	Lista 'Estrato 1', 'Estrato 2', 'Estrato 3', 'Estrato 4', 'Estrato 5', 'Estrato 6', 'ZNI - Oficial', 'Industrial', 'Comercial', 'Oficial', 'Especial', 'Temporal', 'Multiusuario Mixto', 'Provisional'
Medidas	Facturación total, Consumo total, Numero de suscriptores, Subsidios, ... (3 más)

ESTRATO	TIEMPO		Medidas								
	MESES	Medidas	Facturación total	Consumo total	Numero de suscriptores	Subsidios	Contribuciones	Promedio de Facturación total	Promedio de Consumo	Valor Facturado por unidad	Numero de periodos
Estrato 1	4.370.978,779	2.395.878,0	18.740,00	2.036.837.831,2	0,00	239.802,39	127,85				
Estrato 2	1.470.641.312	802.165,0	4.970,00	532.066.653,4	0,00	256.600,19	161,40				
Estrato 3	59.328.629	21.230,0	159,00	4.516.154,8	0,00	195.354,06	133,52				
Estrato 4	11.614.439	2.700,0	25,00	23,0	0,00	128.340,90	108,00				
Estrato 5											
Estrato 6											
Industrial	4.001.214.392	1.614.704,0	86,00	0,0	910.242.117,78	1.463.993,76	18.775,63				
Comercial	383.335.324	97.903,0	387,00	0,0	99.916.339,79	377.630,14	252,98				
Oficial	643.967.103	357.687,0	71,00	0,0	0,00	626.952,24	5.037,85				
Especial	327.873	104,0	1,00	0,0	0,00		104,00				
Temporal											
Multiusuario Mixto											

	CONSUMO RESIDENCIAL m3/año	RESIDENCIALES Suscriptores	CONSUMO RESIDENCIAL L/d	DOTACIÓN RESIDENCIAL			
TOTAL	3.221.973	23.894,0	8.827.323	127,85 L/hab-d			
PROMEDIO	805.493	5.973,5	2.206.831	161,40 L/hab-d			
MEDIA GEOMÉTRICA	102.450	780,04	280.684	133,52 L/hab-d			
MÁXIMO	2.395.878	18.740,0	6.564.049	108,00 L/hab-d			
MÍNIMO	2.700	25,000	7.397	130,69 L/hab-d			
MEDIANA	411.698	2.564,5	1.127.938				

	DENSIDAD POBLACIÓN/SUSCRIPTOR				ESTRATO	Suscriptores	POBLACIÓN EQUIVALENTE ESTIMADA	POBLACIÓN EQUIVALENTE ESTIMADA
	L/d	L/suscriptor-d	L/hab-d	3,669453481 hab/suscriptor				
Estrato 1	6.564.049,3	350,3	95,46 L/hab-d		18.740	68.766	68.766	
Estrato 2	2.197.712,3	442,2	120,51 L/hab-d		4.970	18.237	18.237	
Estrato 3	58.164,4	365,8	99,69 L/hab-d		159	583	583	
Estrato 4	7.397,3	295,9	80,64 L/hab-d		25	92	92	
Estrato 5								
Estrato 6								
Industrial	4.423.846,6	51.440,1	14018,46 L/suscriptor-d		86	316	316	
Comercial	268.227,4	693,1	188,88 L/suscriptor-d		387	1.420	1.420	
Oficial	979.964,4	13.802,3	3761,41 L/suscriptor-d		71	261	261	
Especial	284,9	284,9	77,65 L/suscriptor-d		1	4	4	
Temporal								
Multiusuario Mixto								
TOTAL					24.439	89.678	89.678	

ESTIMATIVO CARGAS CUMPLIENDO RESOLUCIÓN 0631 DE 2015			
ESTRATO	90,00 mg/L		
Estrato 1	590,76 kg/d	2.206.831 L/d - PROMEDIO	99,1 L/hab-d - PROMEDIO
Estrato 2	197,79 kg/d	280.684 L/d - MEDIA GEOMÉTRICA	98,1 L/hab-d - MEDIA GEOMÉTRICA
Estrato 3	5,23 kg/d	6.564.049 L/d - MÁXIMO	121 L/hab-d - MÁXIMO
Estrato 4	0,67 kg/d	7.397 L/d - MÍNIMO	81 L/hab-d - MÍNIMO
Estrato 5	0,00 kg/d	1.127.938 L/d - MEDIANA	98 L/hab-d - MEDIANA
Estrato 6	0,00 kg/d		
Industrial	398,15 kg/d	1.418.081 L/d - PROMEDIO	7.248 L/suscriptor-d - PROMEDIO
Comercial	24,14 kg/d	134.916 L/d - MEDIA GEOMÉTRICA	3.441 L/suscriptor-d - MEDIA GEOMÉTRICA
Oficial	88,20 kg/d	4.423.847 L/d - MÁXIMO	51.440 L/suscriptor-d - MÁXIMO
Especial	0,03 kg/d	268.227 L/d - MÍNIMO	285 L/suscriptor-d - MÍNIMO
TOTAL	1304,97 kg/d	624.096 L/d - MEDIANA	7.248 L/suscriptor-d - MEDIANA
	476313,39 kg/año		

Unidades de vivienda con personas presentes	Unidades de vivienda	Hogares	Personas
27.204	30.740	28.039	112.799
COMPARAR CON POBLACIÓN EQUIVALENTE SUI			
DENSIDADES CALCULADAS			
4,15 hab/vivienda			
3,67 hab/suscriptor			
hab CENSO DANE 2018			
89.678			
23.121			

Cálculos necesarios para la comparación y análisis de la información desde los datos del SUI del servicio de Acueducto Urbano de Malambo.

Tabla 9. Estadística del agua residual generada por suscriptores residenciales (ARD) y no residenciales (ARnD), periodo 2011 - 2021.

RESUMEN SUI, DEL AGUA RESIDUAL GENERADA, TRANSPORTADA, TRATADA Y VERTIDA POR EL SISTEMA PÚBLICO DE ALCANTARILLADO DEL ÁREA URBANA DE MALAMBO - ATLÁNTICO (m ³ /año)								
AÑO	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Industrial	Comercial	Oficial	Especial
2011	464.128	726.981	82.389	37	1.118	17.055	27.110	
2012	914.967	934.628	86.473	25	18.394	29.163	28.067	
2013	1.244.199	877.714	68.715		15.239	29.581	24.031	
2014	1.287.786	825.628	58.596		12.679	27.564	21.888	
2015	1.485.833	839.625	52.686		12.089	34.889	28.076	
2016	2.130.856	824.461	44.253		1.048.294	60.937	235.382	
2017	2.037.351	995.768	40.765		15.084	34.384	19.469	
2018	2.066.512	871.513	32.214	1.323	45.793	96.632	24.267	
2019	1.918.268	730.711	22.805	4.751	58.567	83.481	26.690	270
2020	2.085.840	771.293	20.811	3.015	236.197	72.459	27.414	89
2021	2.110.022	794.994	20.577	2.486	364.297	85.068	23.231	163
PROMEDIO	1.613.251	835.756	48.208	1.940	166.159	51.928	44.148	174
MEDIA GEOMÉTRICA	1.483.475	832.167	42.688	593	36.950	44.842	30.499	158
MEDIANA	1.918.268	825.628	44.253	1.905	18.394	34.889	26.690	163

Tabla 10. Reporte SUI del agua residual generada por suscriptores residenciales (ARD) y no residenciales (ARnD), periodo 2011 - 2021.

AÑO	GENERACIÓN (ARD + ARnD) TOTAL (m3/año)								TOTAL		TDH PTAR	
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Industrial	Comercial	Oficial	Especial	(m3/año)	(L/s)	(h)	(d)
2011	464.128	726.981	82.389	37	1.118	17.055	27.110		1.320.829	42	0,180	0,00751
2012	914.967	934.628	86.473	25	18.394	29.163	28.067		2.013.729	64	0,180	0,00751
2013	1.244.199	877.714	68.715		15.239	29.581	24.031		2.261.492	72	0,180	0,00751
2014	1.287.786	825.628	58.596		12.679	27.564	21.888		2.236.155	71	0,180	0,00751
2015	1.485.833	839.625	52.686		12.089	34.889	28.076	0	2.455.213	78	0,180	0,00751
2016	2.130.856	824.461	44.253		1.048.294	60.937	235.382	0	4.346.199	138	0,180	0,00751
2017	2.037.351	995.768	40.765		15.084	34.384	19.469	0	3.144.838	100	0,180	0,00751
2018	2.066.512	871.513	32.214	1.323	45.793	96.632	24.267		3.140.272	100	0,180	0,00751
2019	1.918.268	730.711	22.805	4.751	58.567	83.481	26.690	270	2.847.562	90	0,180	0,00751
2020	2.085.840	771.293	20.811	3.015	236.197	72.459	27.414	89	3.219.138	102	0,180	0,00751
2021	2.110.022	794.994	20.577	2.486	364.297	85.068	23.231	163	3.402.859	108	0,180	0,00751

Tabla 11. Reporte SUI sistema alcantarillado municipio de Malambo – 2021.

PERIODICIDAD	Agregación de los hijos de 'Anual'								
TIEMPO	Hijos de '2021'								
SERVICIO	Agregación de los hijos de 'ALCANTARILLADO'								
EMPRESA	Todos								
UBICACION_GEOFRAFICA	Agregación de los hijos de 'MALAMBO'								
UBICACION	Todos								
USO	Lista 'Estrato 1', 'Estrato 2', 'Estrato 3', 'Estrato 4', 'Estrato 5', 'Estrato 6', 'ZNI - Oficial', 'Industrial', 'Comercial', 'Oficial', 'Especial', 'Temporal', 'Multiusuario Mixto', 'Provisional'								
ESTRATO	Facturación total, Consumo total, Numero de suscriptores , Subsidios, ... (3 más)								
Medidas									
	TIEMPO MES	Medidas Medidas							
ESTRATO	dic-21								
ESTRATO	Facturación total	Consumo total	Numero de suscriptores	Subsidios	Contribuciones	Promedio de Consumo	Promedio Consumo - Diferencia		
Estrato 1	1.910.061,688	2.110.022,0	17.042,00	937.432.307,0	,00	123,81	92	31	
Estrato 2	732.639,421	794.994,0	4.922,00	274.603.612,4	,00	161,52	121	41	
Estrato 3	28.064,063	20.577,00	155,0	2.274.795,75	,00	132,75	99	34	
Estrato 4	4.044,481	2.486,00	37,0	9,32	,00	67,19	50	17	
Estrato 5									
Estrato 6									
Industrial	365.488,112	364.297,00	77,0	,00	82.127.502,05	4.731,13	3532	1199	
Comercial	158.618,212	85.068,00	367,0	,00	40.510.517,16	231,79	173	59	
Oficial	28.792,852	23.231,0	60,00	,0	,00	387,18	289	98	
Especial	158,348	163,0	1,00	,0	,00	163,00	122	41	

	CONSUMO RESIDENCIAL m3/año	RESIDENCIALES Suscriptores	CONSUMO RESIDENCIAL + CCIAL m3/mes				DOTACIÓN RESIDENCIAL
			175835,17				123,81 L/hab-d
TOTAL	3.400.838,0	22.156,0	66249,50				161,52 L/hab-d
PROMEDIO	425.104,8	5.539,0	1714,75	Promedio	121,3	121,32 L/hab-d	67,19 L/hab-d
MEDIA GEOMÉTRICA	42206,21606	832,8	207,17	Media Geométrica	115,6	115,57 L/hab-d	
MÁXIMO	2.110.022,0	17.042,0	30358,08	Máximo	161,5	161,52 L/hab-d	
MÍNIMO	163,0	37,0	7089,00	Mínimo	67,2	67,19 L/hab-d	
MEDIANA	54.149,5	2.538,5		Mediana	128,3	128,28 L/hab-d	

				DENSIDAD POBLACIÓN/SUSCRIPTOR		
	L/d	L/suscriptor-d	L/hab-d	3,669453481 hab/suscriptor		
Estrato 1	5.780.882,2	339,2	92,4 L/hab-d	Estrato 1	17.042	62.535
Estrato 2	2.178.065,8	442,5	120,6 L/hab-d	Estrato 2	4.922	18.061
Estrato 3	56.375,3	363,7	99,1 L/hab-d	Estrato 3	155	569
Estrato 4	6.811,0	184,1	50,2 L/hab-d	Estrato 4	37	136
Industrial	998.074,0	12.962,0	3532,4 L/suscriptor-d	Industrial	77	283
Comercial	233.063,0	635,0	173,1 L/suscriptor-d	Comercial	367	1.347
Oficial	63.646,6	1.060,8	289,1 L/suscriptor-d	Oficial	60	220
Especial	446,6	446,6	121,7 L/suscriptor-d	Especial	1	4
ESTIMATIVO CARGAS CUMPLIENDO RESOLUCIÓN 0631 DE 2015				TOTAL	22.661	83.153

ESTRATO	90,00 mg/L	RESIDENCIAL	RESIDENCIAL
Estrato 1	520,28 kg/d	2005533,6 L/d - PROMEDIO	90,6 L/hab-d - PROMEDIO
Estrato 2	196,03 kg/d	263688,2 L/d - MEDIA GEOMÉTRICA	86,3 L/hab-d - MEDIA GEOMÉTRICA
Estrato 3	5,07 kg/d	5780882,2 L/d - MÁXIMO	120,6 L/hab-d - MÁXIMO
Estrato 4	0,61 kg/d	6811,0 L/d - MÍNIMO	50,2 L/hab-d - MÍNIMO
Industrial	89,83 kg/d	1117220,5 L/d - MEDIANA	95,8 L/hab-d - MEDIANA
Comercial	20,98 kg/d	NO RESIDENCIAL	NO RESIDENCIAL
Oficial	5,73 kg/d	323807,5 L/d - PROMEDIO	3776,1 L/suscriptor-d - PROMEDIO
Especial	0,04 kg/d	50708,0 L/d - MEDIA GEOMÉTRICA	1405,2 L/suscriptor-d - MEDIA GEOMÉTRICA
TOTAL	838,56 kg/d	998074,0 L/d - MÁXIMO	12962,0 L/suscriptor-d - MÁXIMO
	306075,42 kg/año	446,6 L/d - MÍNIMO	446,6 L/suscriptor-d - MÍNIMO
		148354,8 L/d - MEDIANA	847,9 L/suscriptor-d - MEDIANA

Unidades de vivienda con personas presentes		Unidades de vivienda		Hogares		Personas		COMPARAR CON POBLACIÓN EQUIVALENTE SUI
27.204		30.740		28.039		112.799		
DENSIDADES CALCULADAS						hab CENSO DANE 2018		29.646
4,1 hab/vivienda								
3,7 hab/suscriptor								

Tabla 12. Proyección de población urbana - Municipio de Malambo.

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN		
MUNICIPIO DE MALAMBO DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO		
AÑO Y FUENTE DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN URBANA PROYECTADA (hab)	TASA DE CRECIMIENTO URBANA
2022	134.166	
2023	135.649	1,11%
2024	137.147	1,10%
2025	138.661	1,10%
2026	140.191	1,10%
2027	141.737	1,10%
2028	143.300	1,10%
2029	144.879	1,10%
2030	146.474	1,10%
2031	148.087	1,10%
2032	149.716	1,10%
2033	151.362	1,10%
2034	153.026	1,10%
2035	154.707	1,10%
2036	156.406	1,10%
2037	158.122	1,10%
2038	159.857	1,10%
2039	161.610	1,10%
2040	163.381	1,10%
2041	165.170	1,10%
2042	166.978	1,09%
2043	168.806	1,09%
2044	170.652	1,09%
2045	172.517	1,09%
2046	174.402	1,09%
2047	176.307	1,09%
2048	178.231	1,09%
2049	180.176	1,09%
2050	182.141	1,09%

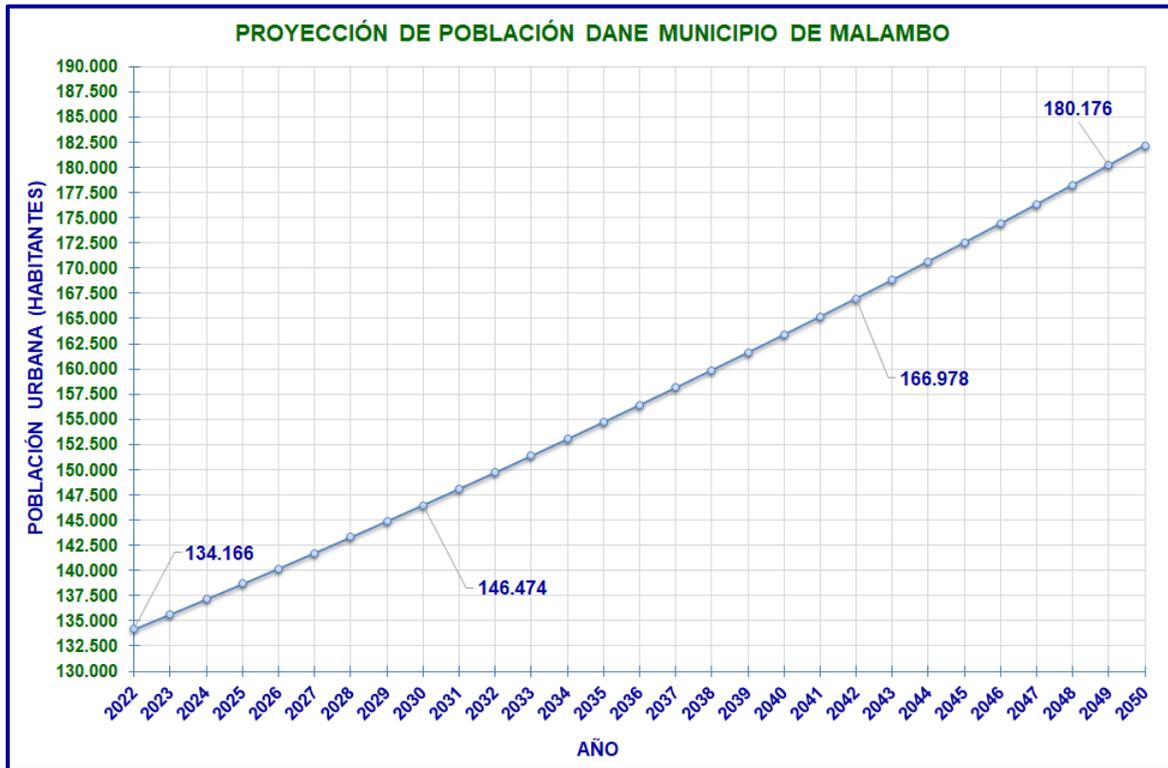


Figura 11. Proyecciones de población del municipio de Malambo - Atlántico.

En el análisis gráfico de la proyección adoptada de acuerdo a la tasa de crecimiento de la población urbana del municipio de Malambo, se aprecia una tasa decreciente en el tiempo, que pasaría de 1,11% a 1% en el periodo 2023 – 2050.

Para el periodo de diseño de infraestructura de agua potable y saneamiento, se toman 25 años, donde la PTAR actual del área urbana del municipio de Malambo compuesta por un sistema de reactores anaerobios de flujo ascendente tipo - RAMFLA o UASB, complementados con dos unidades de Lagunas de Oxidación y/o estabilización (Facultativas – 2,2 ha), en las cuales se presenta el fenómeno de “Ballenas”, flotación de la Geomembrana que recubre el fondo de lagunas, que puede generarse por procesos de presión del nivel freático del nivel del Río Magdalena, y/o procesos anaerobios que generan gases en el subsuelo de las lagunas y/o falla en las llaves y colocación de filtros de drenaje, capas de geotextil y sistemas de anclaje, que se pueden reparar, como ha pasado en otros proyectos similares (Lagunas del Municipio de La Ceja Antioquia, 2001).

Tabla 13. Propuesta de proyección de población urbana y caudales - Municipio de Malambo, para el ajuste del PSMV presentado en el año 2022.

AÑO	PROYECCIÓN DE POBLACIÓN	TASA DE CRECIMIENTO	ALTITUD (m.s.n.m.)	DOTACIÓN NETA - RAS (L/hab-d)	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS ADMITIDAS - RAS	DOTACIÓN BRUTA DE AGUA DE CONSUMO PROYECTADA	CAUDAL MEDIO (Qmed)
	(hab)					(L/hab-d)	(L/s)
2022	169.346		20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	365,9
2023	171.217	1,11%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	369,9
2024	173.108	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	374,0
2025	175.019	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	378,1
2026	176.951	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	382,3
2027	178.902	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	386,5
2028	180.875	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	390,8
2029	182.868	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	395,1
2030	184.881	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	399,4
2031	186.917	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	403,8
2032	188.973	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	408,3
2033	191.051	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	412,8
2034	193.151	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	417,3
2035	195.273	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	421,9
2036	197.417	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	426,5
2037	199.584	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	431,2
2038	201.773	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	435,9
2039	203.985	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	440,7
2040	206.221	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	445,5
2041	208.479	1,10%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	450,4
2042	210.762	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	455,3
2043	213.068	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	460,3
2044	215.398	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	465,4
2045	217.753	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	470,5
2046	220.132	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	475,6
2047	222.536	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	480,8
2048	224.965	1,09%	20 m.s.n.m.	140	25,0%	187	486,0

Para un caudal medio proyectado al año 2048, de 486 L/s, se tendría un Tiempo de Retención Hidráulico de aproximadamente dos meses (60 días), que en periodos de sequía y/o verano, pueden afectar intensamente la calidad del agua y estado trófico de la Ciénaga (Espejo de agua), lo que puede incrementarse si se presentan eventos de escorrentía súbitas por precipitaciones no esperadas, por cambio climático, lo cual se aliviaría con los aportes de caudales en épocas de invierno.

Tabla 14. Proyección de caudales de (ARD y/o ARnD) - Municipio de Malambo.

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN PROYECTADA (habitantes)	COBERTURA SISTEMA ACUEDUCTO	DOTACIÓN NETA DE AGUA DE CONSUMO PROYECTADA	CAUDAL NETO DE AGUA DE CONSUMO	FACTOR DE RETORNO PARA AGUAS RESIDUALES	COBERTURA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES (L/s)				
	(hab)		(L/hab-d)	(L/s)			GENERADO	RECOLECTADO	TRANSPORTADO	TRATADO	VERTIDO
2023	171.217	95%	140	263,56	85,0%	85,5%	224	192	192	192	224
2024	173.108	95%	140	266,47	85,0%	85,5%	227	194	194	194	227
2025	175.019	95%	140	269,42	85,0%	85,5%	229	196	196	196	229
2026	176.951	95%	140	272,39	85,0%	85,5%	232	198	198	198	232
2027	178.902	95%	140	275,39	85,0%	85,5%	234	200	200	200	234
2028	180.875	95%	140	278,43	85,0%	85,5%	237	202	202	202	237
2029	182.868	95%	140	281,50	85,0%	85,5%	239	205	205	205	239
2030	184.881	95%	140	284,60	85,0%	85,5%	242	207	207	207	242
2031	186.917	95%	140	287,73	85,0%	85,5%	245	209	209	209	245
2032	188.973	95%	140	290,90	85,0%	85,5%	247	211	211	211	247
2033	191.051	98%	140	303,38	85,0%	93,1%	258	240	240	240	258
2034	193.151	98%	140	306,72	85,0%	93,1%	261	243	243	243	261
2035	195.273	98%	140	310,09	85,0%	93,1%	264	245	245	245	264
2036	197.417	98%	140	313,49	85,0%	93,1%	266	248	248	248	266
2037	199.584	98%	140	316,93	85,0%	93,1%	269	251	251	251	269
2038	201.773	98%	140	320,41	85,0%	93,1%	272	254	254	254	272
2039	203.985	98%	140	323,92	85,0%	93,1%	275	256	256	256	275
2040	206.221	98%	140	327,47	85,0%	93,1%	278	259	259	259	278
2041	208.479	98%	140	331,06	85,0%	93,1%	281	262	262	262	281
2042	210.762	98%	140	334,68	85,0%	93,1%	284	265	265	265	284
2043	213.068	100%	140	345,25	85,0%	100,0%	293	293	293	293	293
2044	215.398	100%	140	349,03	85,0%	100,0%	297	297	297	297	297
2045	217.753	100%	140	352,84	85,0%	100,0%	300	300	300	300	300
2046	220.132	100%	140	356,70	85,0%	100,0%	303	303	303	303	303
2047	222.536	100%	140	360,59	85,0%	100,0%	307	307	307	307	307
2048	224.965	100%	140	364,53	85,0%	100,0%	310	310	310	310	310

Realizando una proyección adecuada de generación de aguas residuales urbanas (ARD + ARnD), del Municipio de Malambo en el Departamento del Atlántico, del estimativo de recolección, transporte, tratamiento y vertimiento de aguas tratadas y no tratadas, acorde a las coberturas del servicio de alcantarillado reportadas en el SUI (Sistema único de información de la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios), y asumidas de acuerdo a las recomendaciones de la normativa técnica (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento – RAS – Resolución 0330 de 2017 y Resolución 0799 del 09 de diciembre de 2021) y la normativa ambiental (Decreto 1076 de 2015 y Resolución 0631 de 2015); así como la articulación a los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), que hacen parte de las propuestas que deberá cubrir las proyecciones del PSMV presentado a la CRA, para la aprobación.

Es de aclarar que este documento presentado a la AAC, podrá ajustarse en el tiempo de acuerdo a los demás planes o componentes de planificación como el PORH y a las dinámicas del desarrollo en el área de influencia de las ciénagas que componen el Complejo Cenagoso de Malambo.

Tabla 15. Proyección de población y carga contaminante urbana de DBO₅.

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN PROYECTADA (habitantes)	CONCENTRACIÓN MEDIDA VERTIMIENTO ARD		REMOCIÓN DE CARGA EN LA PTAR		APORTE PERCAPITA DE CARGA (g/hab-d)		PROYECCIÓN DE CARGA (Kg/d)				
		[DBO5]	[SST]	(DBO5)	(SST)	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	CARGA DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)				
								GENERADA	RECOLECTADA	TRANSPORTADA	TRATADA	VERTIDA
2023	171.217	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5333	4560	4560	4357	237
2024	173.108	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5392	4610	4610	4405	240
2025	175.019	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5452	4661	4661	4454	242
2026	176.951	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5512	4713	4713	4503	245
2027	178.902	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5573	4765	4765	4553	248
2028	180.875	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5634	4817	4817	4603	250
2029	182.868	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5696	4870	4870	4654	253
2030	184.881	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5759	4924	4924	4705	256
2031	186.917	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5822	4978	4978	4757	259
2032	188.973	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5886	5033	5033	4809	262
2033	191.051	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6305	5870	5870	5609	280
2034	193.151	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6374	5934	5934	5670	283
2035	195.273	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6444	5999	5999	5733	286
2036	197.417	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6515	6065	6065	5796	290
2037	199.584	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6586	6132	6132	5859	293
2038	201.773	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6659	6199	6199	5924	296
2039	203.985	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6732	6267	6267	5988	299
2040	206.221	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6805	6336	6336	6054	303
2041	208.479	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6880	6405	6405	6120	306
2042	210.762	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6955	6475	6475	6187	309
2043	213.068	294,12	450,00	95,6%	96,8%	35,00	53,55	7457	7457	7457	7126	331
2044	215.398	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7539	7539	7539	7204	335
2045	217.753	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7621	7621	7621	7283	339
2046	220.132	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7705	7705	7705	7362	342
2047	222.536	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7789	7789	7789	7443	346
2048	224.965	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7874	7874	7874	7524	350

Acorde a los análisis realizado en la ciénaga con base en estado trófico de acuerdo a la fase estacional de ingresos e intercambio de caudales y flujos en el humedal, en épocas de verano, invierno y eventos de cambio climático, (Caudales por escorrentía, infiltración y/o crecientes del Río Magdalena que inundan los espejos de agua de las ciénagas incrementando su profundidad hasta 2 m en promedio), incidiendo en la variabilidad de la calidad del agua y del aporte de Carga Contaminante Orgánica (Cc), que dependerá de estos fenómenos que inciden directamente en la predicción de la capacidad de carga, con base en la infraestructura y remoción a través de la PTAR construida y que entra en operación en el año 2023.

Tabla 16. Proyección de población y carga contaminante urbana de SST.

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN PROYECTADA (habitantes)	CONCENTRACIÓN MEDIDA VERTIMIENTO ARD		REMOCIÓN DE CARGA EN LA PTAR		APORTE PERCAPITA DE CARGA (g/hab-d)		PROYECCIÓN DE CARGA (Kg/d)				
		[DBO5] (mg/L)	[SST] (mg/L)	(DBO5)	(SST)	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	CARGA DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)				
								GENERADA	RECOLECTADA	TRANSPORTADA	TRATADA	VERTIDA
2023	171.217	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9091	7773	7773	7526	289
2024	173.108	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9191	7859	7859	7609	292
2025	175.019	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9293	7945	7945	7693	296
2026	176.951	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9395	8033	8033	7778	299
2027	178.902	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9499	8122	8122	7863	302
2028	180.875	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9604	8211	8211	7950	306
2029	182.868	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9710	8302	8302	8038	309
2030	184.881	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9817	8393	8393	8126	312
2031	186.917	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	9925	8485	8485	8216	316
2032	188.973	275,53	469,67	95,6%	96,8%	31,15	53,10	10034	8579	8579	8306	319
2033	191.051	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10026	9334	9334	9037	319
2034	193.151	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10136	9437	9437	9137	322
2035	195.273	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10248	9541	9541	9237	326
2036	197.417	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10360	9645	9645	9339	330
2037	199.584	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10474	9751	9751	9441	333
2038	201.773	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10589	9858	9858	9545	337
2039	203.985	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10705	9966	9966	9649	341
2040	206.221	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10822	10076	10076	9755	344
2041	208.479	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	10941	10186	10186	9862	348
2042	210.762	282,97	450,00	95,6%	96,8%	33,00	52,48	11061	10297	10297	9970	352
2043	213.068	294,12	450,00	95,6%	96,8%	35,00	53,55	11410	11410	11410	11047	363
2044	215.398	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	12047	12047	12047	11664	383
2045	217.753	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	12179	12179	12179	11791	387
2046	220.132	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	12312	12312	12312	11920	392
2047	222.536	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	12446	12446	12446	12050	396
2048	224.965	294,12	470,00	95,6%	96,8%	35,00	55,93	12582	12582	12582	12182	400

Tomando una proyección de Cc de DBO5 vertida para el año 2048 de aproximadamente 350 Kg/d, y de Cc de SST vertida para el año 2048 de aproximadamente 400 Kg/d, considerando que equivalen en promedio del 4,5% al 3% de la carga contaminante generada respectivamente para ambos parámetros, donde los porcentajes de remoción para DBO₅ deberá ser de aproximadamente 95,6%, y para SST de 96,8% aproximadamente, lo cual se podrá lograr una vez coloquen en funcionamiento la PTAR, recolecten el 100% de las Aguas residuales en los cinco últimos años del periodo de diseño establecido de 25 años (Año 2048), para la infraestructura de tratamiento y de recolección, transporte y manejo adecuado en el tiempo.

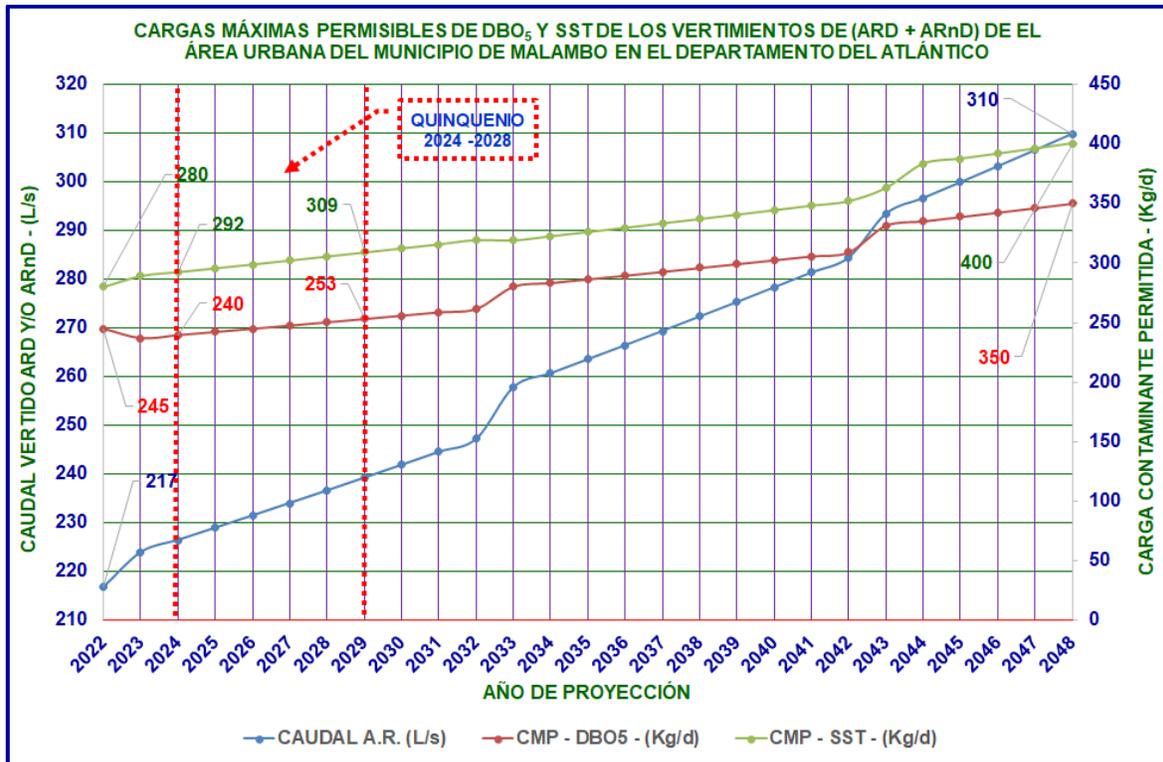


Figura 12. Proyecciones de Caudal ARD + ARnD y Cc (CMP) para DBO₅ y SST para el área urbana del municipio de Malambo - Atlántico.

De la gráfica anterior se puede observar que el caudal en el periodo de 25 años, pasará de un estimado de 216,92 L/s para el año 2022 y 310 L/s en el año 2048, donde la carga contaminante (Cc) para DBO₅, pasará de 245,02 Kg/d a 350 Kg/d, y de (Cc) para SST de 280,03 Kg/d, hasta 400 Kg/d en el año 2048; lo que permitiría garantizar un manejo adecuado de las cargas contaminantes que se deberán aportar en el periodo de 25 años, lo cual hará parte de proceso de control y seguimiento adelantado por la AAC (CRA), al cumplimiento del PSMV.

Igualmente, con esta propuesta de proyección de carga, se podrá adelantar el proceso de cargas meta (Cm), para un próximo quinquenio que puede ser el de 2024 – 2028, considerando el cumplimiento de Objetivos de Calidad y la Norma de Vertimientos, que para este caso es restrictivo y se debe garantizar remociones de Cc en la PTAR, ente el 95,6% al 96,8% aproximadamente.

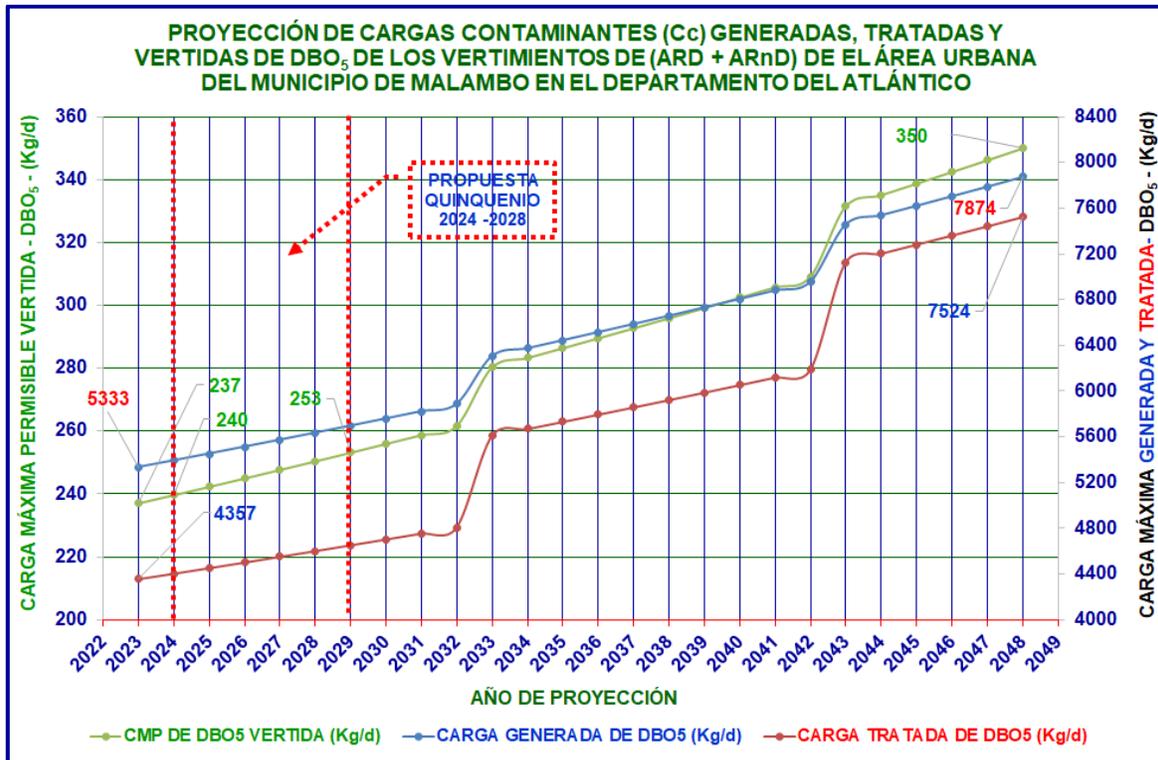


Figura 13. Proyecciones de Caudal ARD + ARnD y Cc (CMP) para DBO₅ y SST para el área urbana del municipio de Malambo – Atlántico, y propuesta de (Cc) para proyección de cargas meta (Cm) el posible quinquenio 2024 - 2028.

Para la modelación se podrá tomar diferentes caudales de Agua Residual Doméstica (ARD) y Agua Residual No Doméstica (ARnD), acorde a las definiciones de la Resolución 0631 de 2015 (**Norma de vertimientos de aguas residuales a fuentes hídricas superficiales y/o a sistemas de alcantarillados públicos**), y **Concentraciones Máximas Permisibles (CMP) de los principales parámetros de Carga Contaminante (Cc)**, para proyectar los vertimientos y realizar la modelación, calculando las Cargas Máximas Permisibles (CMP), teniendo en cuenta los cálculos que se deben realizar con base en la ecuación de lo dispuesto en los Artículos Transitorios del Decreto 1076 de 2015 - **Artículo 2.2.3.3.9.21. y Artículo 2.2.3.3.9.17.**, así como lo dispuesto además en el **Artículo 2.2.3.3.9.20** sobre el control, estimados y que reporta la norma unificada para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Del documento de PSMV presentado a la CRA, para su evaluación y aprobación, del “ANEXO No. 7 Tabulación Reporte de la Caracterización de los Vertimientos **Registros Históricos** - (**Reportes 2017- 2021 LABORMAR**)”; se tiene el siguiente resumen de parámetros medidos en los colectores principales de la Red de Alcantarillado Público de Malambo

Tabla 17. Propuesta de Cargas de Control de DBO5, acorde a la norma vigente para el área urbana del Municipio de Malambo.

ARTÍCULOS TRANSITORIOS VIGENTES DECRETO 1076 DE 2015 Y MODIFICATORIOS - DECRETO 050 DE 2018 Y DECRETO 703 DE 2018

ARTÍCULO 2.2.3.3.9.18. TRANSITORIO. *Diferencia de cargas.*

ARTÍCULO 2.2.3.3.9.19. TRANSITORIO. *Reducción del caudal promedio del vertimiento.*

ARTÍCULO 2.2.3.3.9.20. TRANSITORIO. *Control.*

ARTÍCULO 2.2.3.3.9.21. TRANSITORIO. *Cálculos.*

Artículo 2.2.3.3.9.17. Transitorio. Cálculo de la carga de control. La carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias de que trata el artículo anterior, se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$A = (Q) (CDC) (0.0864)$$

$$B = (Q) (CV) (0.0864)$$

Parágrafo 1. Para los efectos de las ecuaciones a que se refiere el presente artículo adóptense las siguientes convenciones:

A: Carga de control, Kg./día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, L/seg.

B: Carga en el vertimiento Kg./día.

CDC: Concentración de control, mg/L.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/L.

0.0864: Factor de conversión.

**PROPUESTA PARA REGLAMENTAR DBO5 EN VERTIMIENTOS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE
ALCANTARILLADOS PÚBLICOS CON TRATAMIENTO Y/O SIN TRATAMIENTO**

DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD
P: Población Proyectada año 2048	224.965	hab	A	0,0016	Kg/d
Dn: Dotación neta	140	L/hab-d	B	0,0431	Kg/d
Q: Caudal promedio del vertimiento	364,53	L/s	CDC - DBO ₅	11,1	mg/L
CDC: Concentración de control - DBO₅	11,1	mg/L	CV	308,0	mg/L
CV: Concentración en el vertimiento	308,0	mg/L	Q	0,00162	L/s
Aporte Percápita	43,1	g/hab-d	P - (Población)	1	hab
B: Carga en el vertimiento	9.700,5	Kg/d	Dneta	140	L/hab-d
A: Carga de control	350,0	Kg/d	Aporte Percápita	43,1	g/hab-d
Remoción para cumplir Carga de Control	96,4%		Remoción	96,4%	
Chequeo aporte percápita	1,6	g/hab-d	Chequeo ap-percápita	1,6	g/hab-d

Tabla 18. Continuación Propuesta de Cargas de Control de SST y DQO, acorde a la norma vigente para el área urbana del Municipio de Malambo.

PROPUESTA PARA REGLAMENTAR SST EN VERTIMIENTOS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE ALCANTARILLADOS PÚBLICOS CON TRATAMIENTO Y/O SIN TRATAMIENTO					
DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD
P: Población Proyectada año 2048	224.965	hab	A	0,0018	Kg/d
Dn: Dotación neta	140	L/hab-d	B	0,0525	Kg/d
Q: Caudal promedio del vertimiento	364,53	L/s	CDC - SST	12,7	mg/L
CDC: Concentración de control - SST	12,7	mg/L	CV	375,2	mg/L
CV: Concentración en el vertimiento	375,2	mg/L	Q	0,00162	L/s
Aporte Percápita	52,5	g/hab-d	P - (Población)	1	hab
B: Carga en el vertimiento	11.816,0	Kg/d	Dneta	140	L/hab-d
A: Carga de control	400,0	Kg/d	Aporte Percápita	52,5	g/hab-d
Remoción para cumplir Carga de Control	96,6%		Remoción	96,6%	
Chequeo aporte percápita	1,8	g/hab-d	Chequeo ap-percápita	1,8	g/hab-d
PROPUESTA PARA REGLAMENTAR DQO EN VERTIMIENTOS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE ALCANTARILLADOS PÚBLICOS CON TRATAMIENTO Y/O SIN TRATAMIENTO					
DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPTOR	CANTIDAD	UNIDAD
P: Población Proyectada año 2048	224.965	hab	A	0,0028	Kg/d
Dn: Dotación neta	140	L/hab-d	B	0,1101	Kg/d
Q: Caudal promedio del vertimiento	364,53	L/s	CDC - DQO	20,0	mg/L
CDC: Concentración de control - DQO	20,0	mg/L	CV	786,2	mg/L
CV: Concentración en el vertimiento	786,2	mg/L	Q	0,00162	L/s
Aporte Percápita	110,1	g/hab-d	P - (Población)	1	hab
B: Carga en el vertimiento	24.760,4	Kg/d	Dneta	140	L/hab-d
A: Carga de control	630,0	Kg/d	Aporte Percápita	110,1	g/hab-d
Remoción para cumplir Carga de Control	97,5%		Remoción	97,5%	
Chequeo aporte percápita	2,8	g/hab-d	Chequeo ap-percápita	2,8	g/hab-d

ARTÍCULO 2.2.5.1.2.9. De las normas de emisión restrictivas. La autoridad ambiental competente en el lugar en que se haya declarado alguno de los niveles de concentración de contaminantes de que tratan los artículos precedentes podrá, además de tomar las medidas que el presente Decreto autoriza, dictar para el área afectada normas de emisión, para fuentes fijas o móviles, más restrictivas que las establecidas por las normas nacionales, regionales, departamentales o locales vigentes. En tal caso, las normas más restrictivas se dictarán conforme a las reglas del **Principio de Rigor Subsidiario** de que trata el artículo 63 de la Ley 99 de 1993.

Salvo la ocurrencia de una circunstancia sobreviniente de grave peligro, ninguna autoridad ambiental podrá dictar para el área de su jurisdicción normas de emisión más restrictivas que las establecidas para el nivel nacional, sin la previa declaratoria de los niveles señalados en la presente sección

Datos Caracterización del Anexo 7 del PSMV de 2022, presentado a la CRA.

Tabla 19. Propuesta de Cargas de Control parámetros AR urbanas, Artículo 8 Resolución 0631 de 2015, para el área urbana del Municipio de Malambo.

CARGA DE CONTROL PARA EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL MUNICIPIO DE MALAMBO - DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO SEGÚN LO ESTIPULADO EN EL ARTICULO 8 DE LA RESOLUCIÓN 0631 DE 2015					
PARÁMETROS	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO CON UNA CARGA MAYOR A 3.000.00 kg/día DBO5	CARGA DE CONTROL ALCANTARILLADO PÚBLICO MAYORES A 60000 HABITANTES Y DOTACIÓN NETA DE 140 L/hab-d	RESULTADOS PROMEDIOS COLECTORES PRINCIPALES PERIODO 2017 - 2021 - PSMV 2022	OBSERVACIÓN, ANÁLISIS Y/O RECOMENDACIÓN
Generales			Dn = 140 L/hab-d		
pH	Unidades de pH	6 a 9		7,6	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	150	1.260 - kg/d	786,2	NO CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	70	588 - kg/d	308,0	NO CUMPLE
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	70	588 - kg/d	375,2	NO CUMPLE
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5		1,0	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	10	84 - kg/d	88,1	NO CUMPLE
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte		<0.00021	CUMPLE
Fenoles Totales	mg/L	Análisis y Reporte			
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte		3,2	CUMPLE
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte		NO DETECTABLE	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte		<0.000287	CUMPLE
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte		<0.001	CUMPLE
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte		0,18	
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	Análisis y Reporte		1,5	
Fósforo Total (P)	mg/L	1	8 - kg/d	2,7	
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte		4,3195	
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte		0,012	
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Análisis y Reporte		63,105	
Nitrógeno Total (N)	mg/L	50	420 - kg/d	92,31	NO CUMPLE
Iones					
Cianuro Total (CN)	mg/L	0,50	3,60 - kg/d	0,023583333	CUMPLE
Cloruros (Cl)	mg/L	Análisis y Reporte		67,62	
Sulfatos (SO4 2-)	mg/L	Análisis y Reporte		<3,98	
Sulfuros (S2-)	mg/L	Análisis y Reporte		NO DETECTABLE	
Metales y Metaloides					
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte		1,483005	
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,72 - kg/d	NO DETECTABLE	
Cinc (Zn)	mg/L	3	21,60 - kg/d	0,859950	CUMPLE
Cobre (Cu)	mg/L	1	7,20 - kg/d	0,022413	CUMPLE
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	3,60 - kg/d	NO DETECTABLE	
Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y Reporte		3,993625	
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,14 - kg/d	NO DETECTABLE	
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	3,60 - kg/d	NO DETECTABLE	
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte		NO DETECTABLE	
Piomo (Pb)	mg/L	0,50	3,60 - kg/d	NO DETECTABLE	
Otros Parámetros para Análisis y reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte		<8	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte		416,915	
Dureza Cálcica	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte		88,4905	
Dureza Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte		129,405	
Color Real (Medidas de absorbancia a longitudes de onda: 436 nm)	m ^l -1	Análisis y Reporte		7,9515	Revisar y analizar bien, parámetros que indican al parecer contaminación inorgánica, de acuerdo a la relación de biodegradabilidad
Color Real (Medidas de absorbancia a longitudes de onda: 525 nm)	m ^l -1	Análisis y Reporte		4,436	DBO5/DQO, con media a poca biodegradabilidad (al parecer vertimiento de ARnD - Alto)
Color Real (Medidas de absorbancia a longitudes de onda: 620 nm)	m ^l -1	Análisis y Reporte		2,9165	
TOTAL PARÁMETROS	39	39	14	38	15

Es de aclarar que los vertimientos actuales de aguas residuales (ARD + ARnD) del área urbana del municipio de Malambo en el Departamento de Atlántico, **superan las cargas máximas permitidas** (CMP) de acuerdo a cálculos realizados por diferentes métodos y la dinámica estacional que se presenta en esta zona hidrográfica, donde la ruta crítica se presenta en época de verano y/o secas de estiaje, cuando no hay intercambio de caudales por Escorrentía Superficial, por Crecientes del Río Magdalena inundando los complejos cenagosos, y cuando hay presión por infiltración del nivel freático, cuando sube el nivel de agua en el Río Magdalena y Arroyos Tributarios. Por lo anterior se **concluye que los Objetivos de Calidad de la Ciénaga, y las Concentraciones de las Aguas Vertidas, deberán ser más restrictivas que las propuestas en la norma de vertimientos (Resolución 0631 de 2015)**, sobre concentraciones máximas permisibles a fuentes hídricas superficiales y/o alcantarillados públicos.

Igualmente **se recomienda analizar los aspectos normativos**, para gestionar la declaratoria de protección de las zonas cenagosas de la margen izquierda del Río Magdalena y declarar como zona de humedales del proceso de protección **RAMSAR**,

incluyendo como **determinante ambiental** en los procesos de **ordenamiento ambiental de los municipios de la jurisdicción de la CRA.**

En el Departamento del Atlántico, se cuenta con tres subcuencas hidrográficas, la cuenca del Río Magdalena, la cuenca del canal del Dique (Río Cauca), y la cuenca del Mar Caribe, se estima que éstas cubren aproximadamente 22.000 hectáreas de humedales de tipo cenagosos, de los cuales el Complejo de Ciénagas de Malambo (287 ha +329 ha +288 ha = 904 ha), equivalentes al .4,11% de los humedales en las tres subcuencas hidrográficas en el Atlántico.

De acuerdo a los reportes desde el año 2002, de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, estos humedales están siendo impactados ambientalmente por la disposición inadecuada de residuos líquidos y sólidos, entre otras llenos de tierra que interrumpen los caños que comunican las ciénagas del complejo cenagoso de Malambo (Ciénaga El Convento, Ciénaga Malambo y Ciénaga Mesolandia) a lo largo de la margen izquierda del Río Magdalena en dirección a la desembocadura al Mar Caribe a 25 km aproximadamente.

Como parte del complejo cenagoso del departamento del Atlántico se destaca la Ciénaga de Malambo por su importancia. Esta ciénaga corresponde a una zona de amortiguación de las crecientes del río Magdalena y es un ecosistema de interés social, económico y ambiental, ya que aún existen comunidades que desarrollan actividades agropecuarias, entre otras que se han venido perdiendo como la pesca debido a la contaminación creciente en dichas ciénagas impactando negativamente el ecosistema.

Igualmente, la Ciénaga de Malambo debe contar con un plan de ordenamiento del recurso, que involucre un análisis de sus condiciones ambientales, que establezca medidas de control para evitar el deterioro de la calidad del agua y por ende del ecosistema, y que permita el aprovechamiento sostenible de su productividad ictiológica y la explotación turística de su riqueza ambiental.

Las falencias en la planificación conllevan a que no existan acciones claras sobre el manejo del recurso, y no se tengan identificados y controlados los factores que influyen y afectan el ecosistema.

La estimación de la capacidad de carga contaminante en el complejo cenagoso, es fundamental por cada ciénaga, en este caso será lo correspondiente a la Ciénaga Malambo, utilizando herramientas de modelación de la hidrología, hidráulica y de calidad del agua a través del modelo matemático SWMM de la EPA, que constituye en una herramienta útil para definir y tomar las decisiones adecuadas en la gestión del recurso hídrico (Administración, control y seguimiento), articulad al PORH de la Ciénaga de Malambo, de una forma simplificada, los procesos de transporte y de transformación física, química y biológica, que ocurren en los cuerpos de agua, sirven para evaluar tanto la calidad del agua, como para apoyar la toma de decisiones en la implementación de sistemas o medidas de

saneamiento para el manejo y control del recurso hídrico, acogiendo parte de la información existente del informe en la fase de diagnóstico del convenio del año 2011, entre ASOCARS y la Universidad del Magdalena, sobre los ajustes al plan de ordenación y manejo del complejo de humedales, y determinación de la ronda hídrica de algunos humedales – Fase Diagnóstico.

Tabla 20. Propuesta de codificación de subcuenca de los Humedales del río Magdalena en la ZH 2904, para el Departamento del Atlántico.

SUBCUENCA/CODIGO	SUBCUENCA (CODIGO)*	NOMBRE DE LA CUENCA	AREA (Ha)	PERIMETRO (km)
Río Magdalena (2904)	2904-1	Arroyos área urbana	11.082,2	61.809,7
	2904-2	Arroyo Caracoli	6.211,3	43.833,1
	2904-3	Arroyo San Blas	5.535,7	42.276,8
	2904-4	Arroyo Pital	6.584,07	38.723,1
	2904-5	Arroyo Caño Fístula	11.868,8	55.215,5
	2904-6	Arroyo San Martín	7.464,1	35.548,5
	2904-7	Arroyo Grande	21.356,2	102.855,5
	2904-8	Ay Yeguas – Guayepo	10.421,7	55.772,5
	2904-9	Arroyo El Cojo	9.581,9	71.081,8
	2904-10	Arroyo Hondo	8.746,7	50.347,3
	2904-11	Arroyo Gallego	10.056,2	52.175,5
	2904-12	Arroyo Piedras	11.086,01	47.949,1
	2904-13	Dique**	4.680	46.208

Tomado del Estudio de ASOCARS – Universidad de Magdalena, año 2011. Ajuste del plan de ordenación y manejo del complejo de humedales – Fase Diagnóstico.

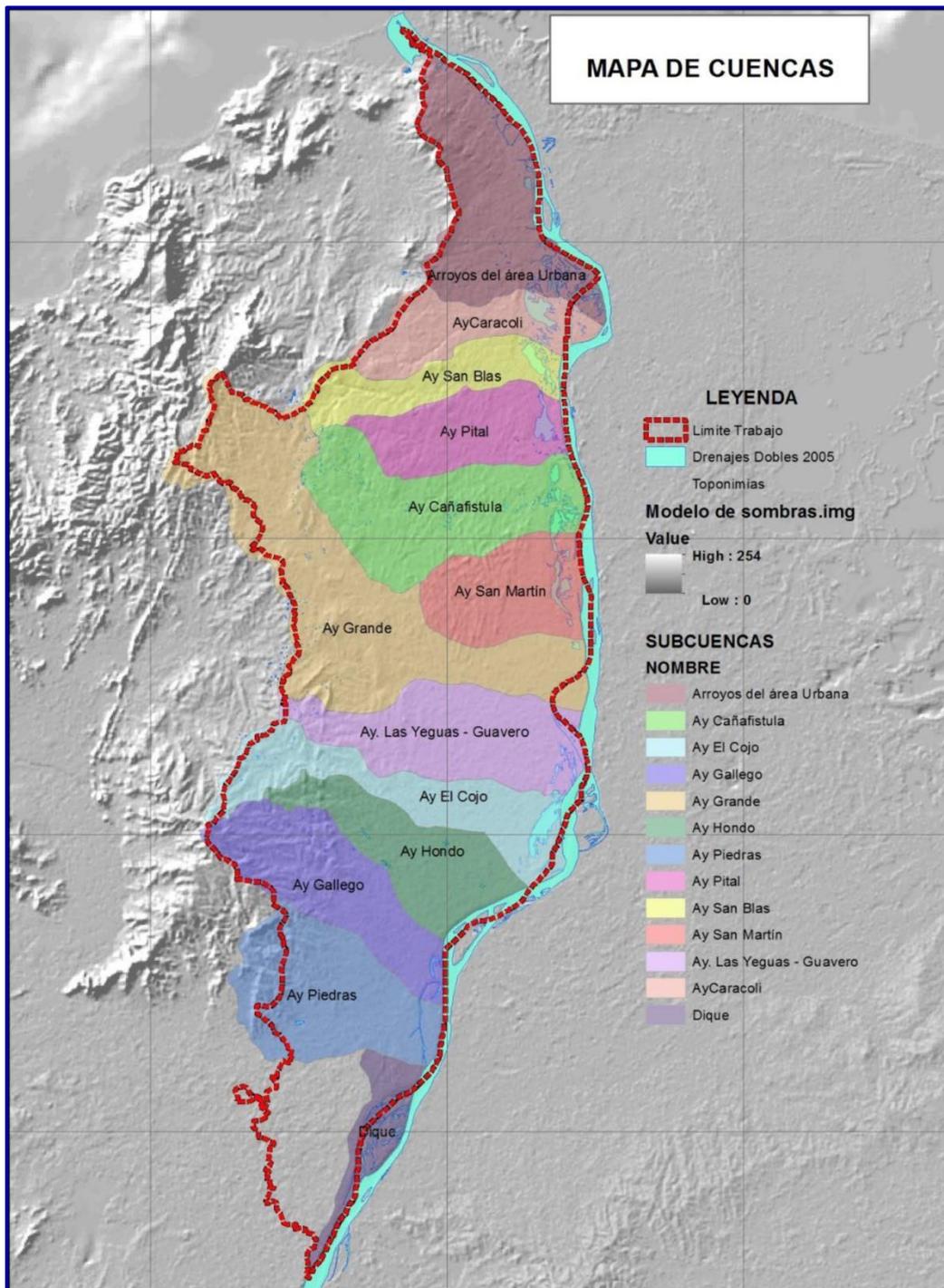


Figura 14. Mapa de cuencas de la zona hidrográfica 2904, en el Departamento del Atlántico, IDEAM.

Tomado del Estudio de ASOCARS – Universidad de Magdalena de 2011. Ajuste del plan de ordenación y manejo del complejo de humedales, y determinación de la ronda hídrica de algunos humedales – Fase Diagnóstico.

Tabla 21. Ajuste información estudio ASOCARS – U. de Magdalena, para estimar los rendimientos hídricos de las áreas de drenaje del complejo cenagoso de Malambo.

SUBCUENCA	MICROCUENCA	ÁREA			VOLUMEN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE LA CUENCA (1980 - 2011) (X 100 m ³)	OFERTA			RENDIMIENTO MÁXIMO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE LA CUENCA	
		(m ²)	(km ²)	(ha)		(m ³ /d)	(m ³ /año)	(L/s)	(L/s-ha)	(L/s-km ²)
2MA	ARROYO CARACOLÍ	55.354.779,53	55,4	5.535,5	810.520,0	73.966,0	26.997.592,0	856,1	0,155	15,5
3MA	ARROYO SAN BLAS	53.242.574,88	53,2	5.324,3	888.644,0	81.095,5	29.599.845,0	938,6	0,176	17,6
4MA	ARROYO PITAL	63.589.080,25	63,6	6.358,9	1.779.196,0	162.365,1	59.263.246,0	1.879,2	0,296	29,6
5MA	ARROYO CAÑAFISTOLA	115.325.839,50	115,3	11.532,6	704.462,0	64.287,5	23.464.927,0	744,1	0,065	6,5
PROMEDIO		71.878.068,54	71,9	7.187,8	1.045.705,5	95.428,5	34.831.402,5	1.104,5	0,173	17,3
MEDIA GEOMÉTRICA		68.183.742,60	68,2	6.818,4	974.750,0	88.953,3	32.467.943,2	1.029,6	0,151	15,1
MEDIANA		59.471.929,89	59,5	5.947,2	849.582,0	77.530,7	28.298.718,5	897,3	0,165	16,5

Modificación Tabla 1.42 de Oferta Hídrica Superficial del Informe de Diagnóstico ASOCARS – U. de Magdalena.

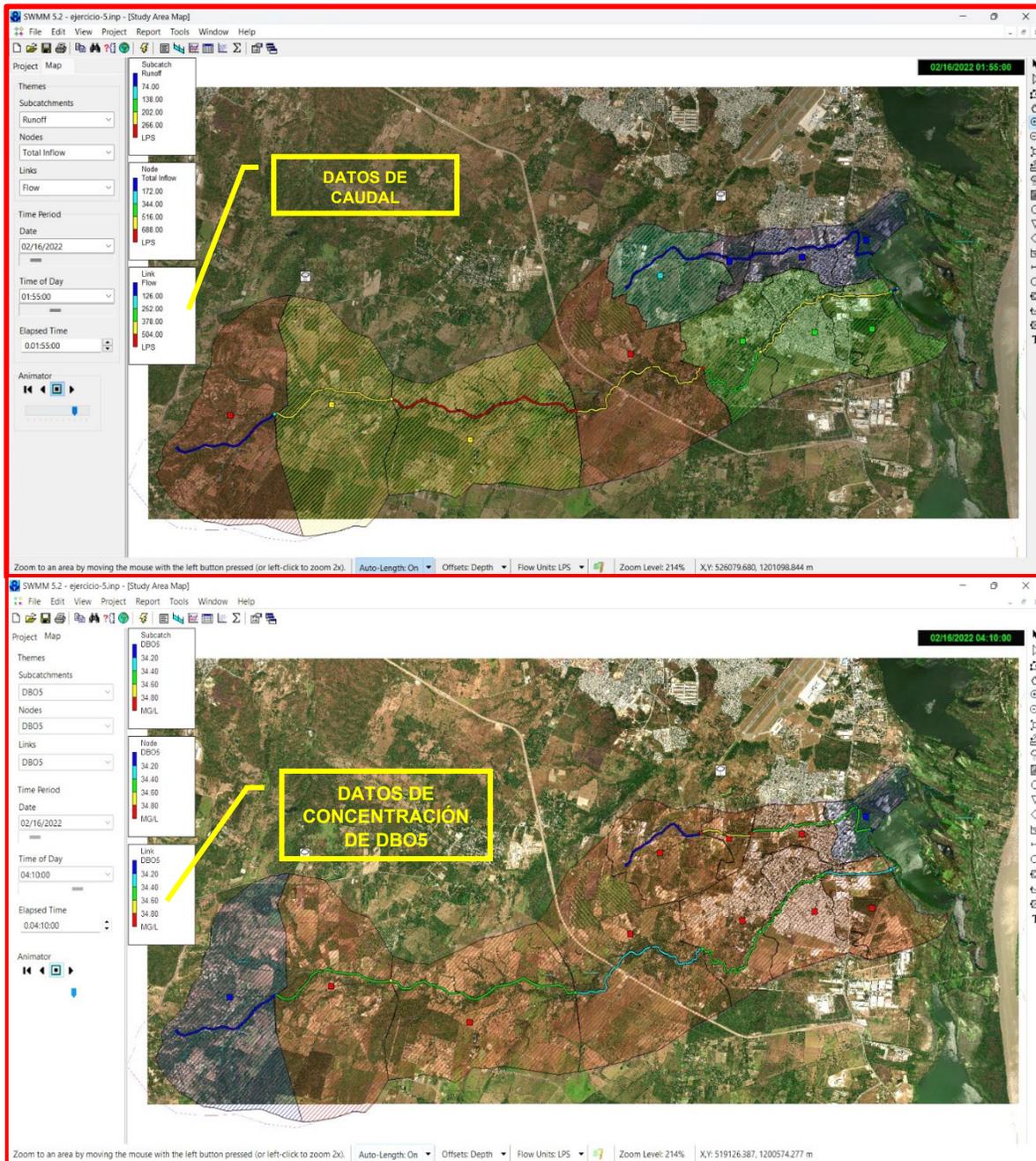


Figura 15. Modelación de la microcuenca del Arroyo San Blas, utilizando el software SWMM de la EPA (Agencia Protección Ambiental - USA). Modelación caudales y concentraciones de DBO5, – Línea Base

5.3.3. Catastro y posesión de las riberas y/o intervención de los Cauces de Cuerpos de Agua de Arroyos, Ciénagas y Ríos principales.

Las Ciénagas al igual que muchos humedales figuran entre los ecosistemas más productivos en diferentes zonas del país, del mismo modo se encuentran entre los hábitats más amenazados y se han perdido o alterado debido a usos del suelo relacionados con la conurbación de zonas pobladas en las periferias de éstas, así como procesos agrícolas y pecuarios, piscicultura intensiva, construcción de infraestructura industrial, entre otras formas de intervención del sistema ecológico e hidrológico que las componen.

Para el caso del Complejo Cenagosos de Malambo, las diferentes intervenciones realizadas por los habitantes que ocupan y se posesionan de los terrenos y espejos de agua, donde según la información catastral del IGAC, hasta los espejos de agua de estas ciénagas, cuentan con matrículas y usos económicos de tipo agropecuario, lo cual se puede interpretar como zonas de terrenos, más que de humedales de transición de las crecientes del Río Magdalena, y que hacen parte de cauce del río, según la normativa de rondas hídricas, y que son invadidas por las poblaciones ribereñas asentadas hasta en los Cauces y zonas inundables, que no deberían de estar con matrículas inmobiliarias y/o matrículas catastrales, acorde a la información que permite corroborar dicha información.

Es concluyente que las Autoridades Ambientales Competentes (AAC), deben unificar criterios para la declaratoria de las Ciénagas formadas por el cauce del Río Magdalena, (Ver convenio CORANTIOQUIA Y CORMAGDALENA en los complejos cenagosos del Magdalena Medio), y reglamentar la invasión antrópica de ciénagas y zonas aledañas a éstas, las cuales se recomiendan declarar como zonas de protección por riesgos, cambio climático y protección de la flora y fauna especialmente.

Localización Zonas Hidrográficas - Departamento del Atlántico, IDEAM.

- ZH – 1206 :** Caribe - Litoral (Arroyos directos al caribe)
- ZH – 2909 :** Bajo Magdalena, Cauca – Magdalena (Ciénaga Mallorcaín)
- ZH – 2903 :** Bajo Magdalena, Cauca Magdalena (Canal del Dique Margen Derecho)
- ZH – 2904 :** Bajo Magdalena, Cauca Magdalena (Directos al bajo magdalena entre Calamar y Desembocadura - Margen Izquierda)

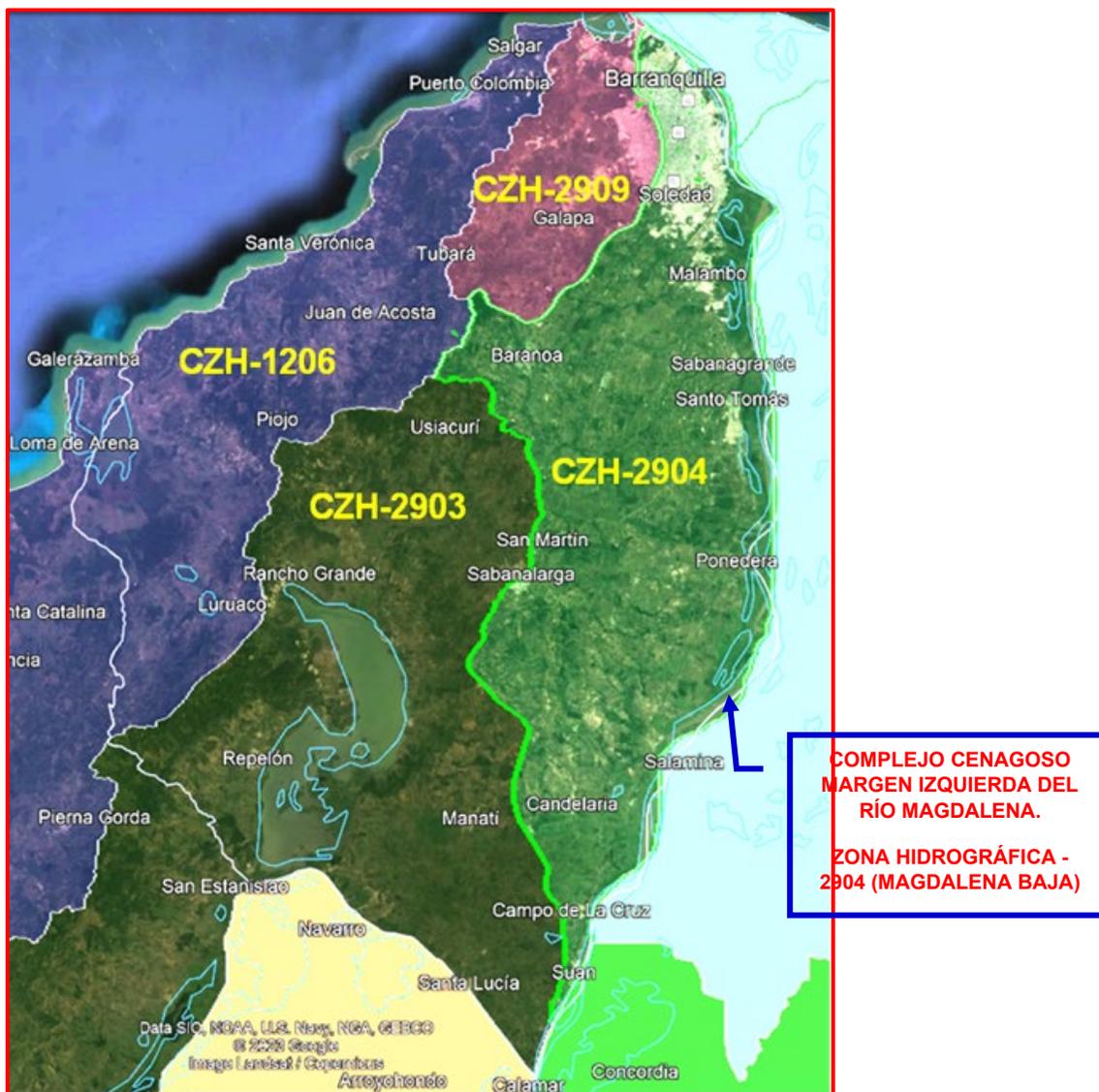


Figura 16. Localización zonas hidrográficas en el departamento del Atlántico, según Estudio Nacional de Aguas (ENA, 2010, 2014 y 2018) del IDEAM.

Del Decreto 1076 de 2015, en el **Artículo 2.2.2.1.2.10. Determinantes ambientales**. Hace referencia a la reserva, alinderación, declaración, administración y sustracción de las áreas protegidas bajo las categorías de manejo integrantes del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, son determinantes ambientales y por lo tanto normas de superior jerarquía que no pueden ser desconocidas, contrariadas o modificadas en la elaboración, revisión y ajuste y/o modificación de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios y distritos, de acuerdo con la Constitución y la Ley.

Conforme a lo anterior, las entidades territoriales no pueden regular el uso del suelo de las áreas reservadas, delimitadas y declaradas como áreas del SINAP, quedando sujetas a respetar tales declaraciones y a armonizar los procesos de ordenamiento territorial municipal que se adelanten en el exterior de las áreas protegidas con la protección de estas. Durante el proceso de concertación a que se refiere la Ley 507 de 1999, las Corporaciones Autónomas Regionales deberán verificar el cumplimiento de lo aquí dispuesto.

Parágrafo. Cuando la presente Ley se refiera a Planes de Ordenamiento Territorial se entiende, que comprende tanto los Planes de Ordenamiento Territorial propiamente dichos, como los planes básicos de ordenamiento territorial y los esquemas de ordenamiento territorial, en los términos de la Ley 388 de 1997. - (Decreto 2372 de 2010, art. 19).

Con base en la normativa anterior y la estipulada constitucionalmente, relacionada con la Ley de Gestión del Riesgo (Ley 1523 de 2012), y los Determinantes Ambientales de la Ley 388 de 1997, así como normativa de Rondas Hídricas, se debe considerar lo siguiente, para planificar como reglamentar la capacidad de carga contaminante en dichas zonas, con los usos de suelo ya definidos.

Para estimar la capacidad de carga contaminante (Cc), de la Ciénaga de Malambo, se deberá tener en cuenta que en el tramo del río Magdalena donde se localiza el complejo cenagoso de Malambo, llega algo más del 50% de la Cc del País, ya que la gran mayoría de Centros Poblados del País tributan a esta fuente hídrica y al Río Cauca.

Si bien se recomienda analizar la posibilidad de acciones para la rehabilitación de humedales y cuerpos de aguas naturales como los complejos cenagosos, que actualmente son intervenidos antrópicamente, afectando los recursos naturales como la flora, fauna y los intercambios biológicos, microbiológicos, que funcionan acorde al comportamiento estacional que se presentan en los complejos cenagosos de este tipo.

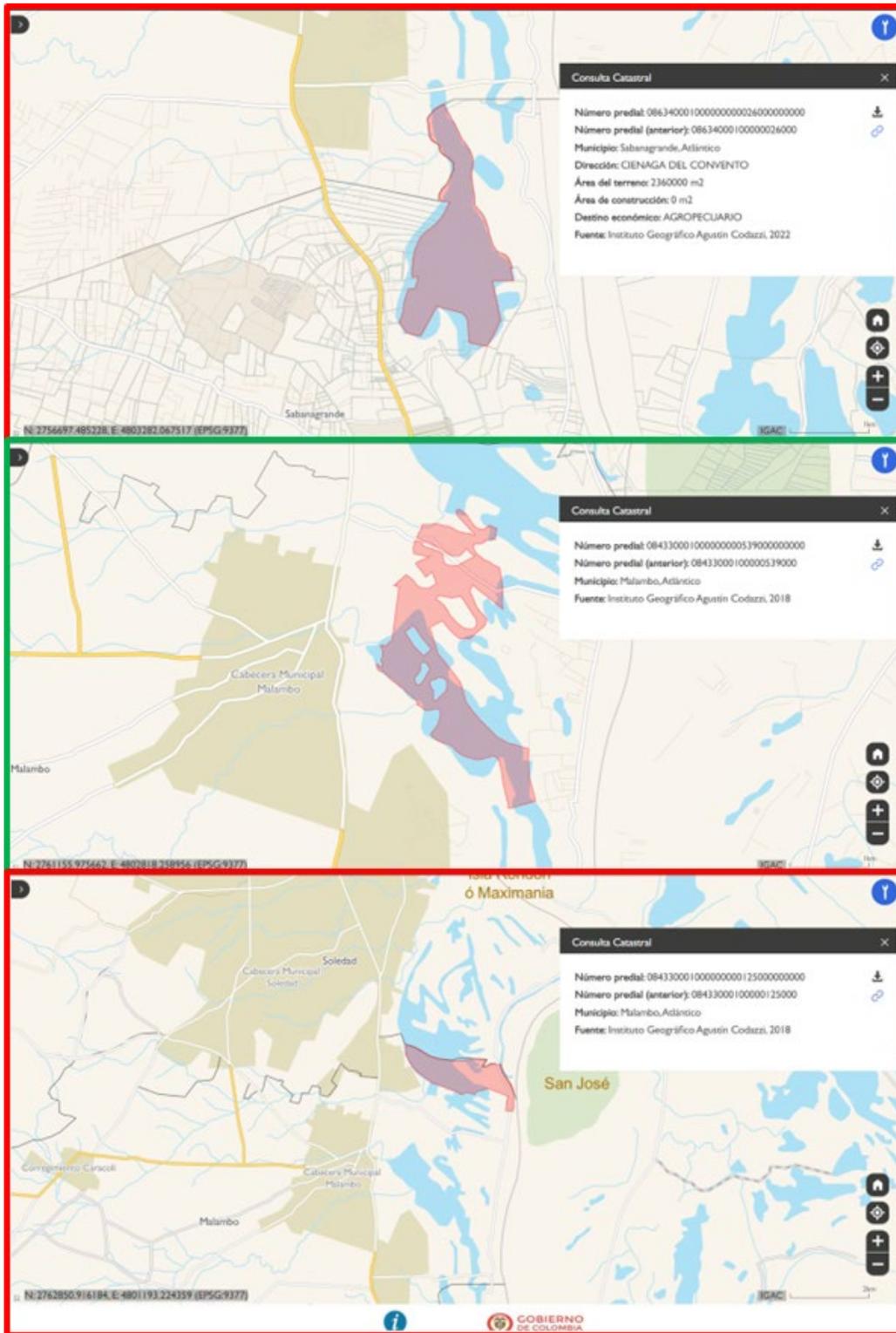


Figura 17. Registro Catastral del IGAC de las Ciénagas que componen el Complejo Cenagoso de Malambo y que al parecer están con matrículas de propiedad y uso económico asignado.

Es necesario REGLAMENTAR los usos del suelo considerando que estas áreas son de intercambio ambiental. Ya que los usos del suelo, se están cambiando inapropiadamente por usos que no deben ser permitidos sobre los CAUCES de LOS CUERPOS DE AGUA, que son potestad del Estado, como son la influencia de usos pecuarios, agrícolas e industriales, así como la conurbación en el área de influencia.

En los sistemas de ciénaga del Caribe Colombiano no se han implementado estudios que conduzcan al planteamiento de estrategias de restauración, aun considerando que muchos de estos ecosistemas requieren un desarrollo equilibrado, el cual debe garantizar su sostenibilidad en el tiempo. **En este sentido, se hace necesario el planteamiento de estudios ecológicos que diagnostiquen los niveles de impacto y estrategias para su manejo y conservación**, en el marco del ordenamiento del recurso hídrico, a través de los PORH.

En el Departamento del Atlántico se encuentran humedales de relevantes atributos por los bienes y servicios ambientales que prestan, actualmente se utilizan para distrito de riego, piscicultura, agricultura, explotación agropecuaria y consumo humano (Acueductos), tal es el caso de la Ciénaga de Malambo con un espejo de agua en su capacidad máxima de aproximadamente 250 hectáreas como mínimo con profundidades promedias entre 0.9 m. y 1.1 m., (Aproximadamente con un volumen de 2.500.000 m³), que al comparar con una demanda actual de aguas de consumo doméstico de aproximadamente 300 L/s que supliría el consumo de Malambo durante tres meses (90 días); este cuerpo de agua representa beneficios a la población, además que mantiene el equilibrio ecológico entre los ecosistemas asociados a estos espejos de agua.

La Ciénaga de Malambo, localizada en jurisdicción del municipio de su mismo nombre, se ha visto afectada por el incremento de la población y el uso inadecuado que se le ha dado, mediante vertimiento de aguas residuales, domésticas, residuos sólidos; así como las falencias que se presentan en los planes de manejo pesquero, de turismo, y en educación ambiental comunitaria, que se vea reflejada en las comunidades, para evitar en temporadas de lluvias, el vertimiento de residuos sólidos a los arroyos y se presentan prácticas inadecuadas de la actividad ganadera y la agricultura; escorrentía que de acuerdo al uso del suelo, aporta gran cantidad de Cc (Carga contaminante).

En el componente del Ordenamiento del Recurso Hídrico de Malambo; así como la el control que se debe realizar sobre la **invasión de la ronda hídrica de la ciénaga**, y el control sobre las características fisicoquímicas del agua, al ser contaminadas con materia orgánica y heces fecales, que pueden incrementar la eutroficación del sistema acuático, afectando cada día la capacidad para realizar el intercambio de servicios ambientales en un equilibrio adecuado entre el Río Magdalena, Los Arroyos y las Ciénagas, afectando por ende la productividad y el sustento de las comunidades.

Igualmente la escorrentía ocasiona un aporte de sedimentos (Sólidos en suspensión) a la Ciénaga de Malambo, ya que históricamente los terrenos aledaños han sido objeto de

diferentes usos; los cuales se han incrementado en las dos últimas décadas (Año 2000 a hoy), en especial el incremento de la industria y el comercio, extensos cultivos en las zona rural que tributa a las áreas de drenaje de los arroyos que llegan a las ciénagas directa e indirectamente, lo cual debe ser considerado ya que afecta la calidad del agua y la capacidad de ésta, por presencia de agroquímicos.

El objetivo de evaluar la calidad y la capacidad de carga contaminante, es para tener un parámetro de comparación de la productividad o estabilidad ecológica de la ciénaga. Este análisis es el primer paso para fortalecer las estaciones de monitoreo de la calidad de agua en los complejos cenagosos de la rivera del Río Magdalena, ya que establecer un modelo para determinar la calidad del agua y la capacidad del recurso hídrico para asimilar carga contaminante (Cc), por vertimientos de aguas residuales (ARD y/o ARnD), es muy complejo por la característica estacional (Invierno, verano y cambio climático), donde los flujos de caudales varían en cantidad y características de los vertimientos, en especial las que aportan más Cc en el aporte por la Escorrentía Superficial y el grado de Inundación por las crecientes del Río Magdalena (Ver secuencia por más de 20 años, de las fotografías de Google Earth desde el año 2001 hasta la fecha).

Esto permitirá planear herramientas dinámicas que se ajusten a los cambios estacionales que permita tomar decisiones y emitir recomendaciones a favor de la conservación y preservación de estos cuerpos de agua, acorde a los usos del suelo y del agua, los cuales se constituirían en parte fundamental para la propuesta de un plan de manejo ambiental del área de los complejos cenagosos, con fines de restauración, recuperación y de conservación de éstos cuerpos de agua y verificar si pueden ser incluidos en los sistemas de Humedales RAMSAR.



Fotografía 1. Canalización Arroyo San Blas hacia la ciénaga Malambo.

Prácticamente el único centro poblado de importancia es la cabecera municipal de Malambo, y la extensión de este que rodea y es el área de influencia en su mayoría del área de la Ciénaga de Malambo en el Departamento del Atlántico, tal como se muestra en la siguiente figura del IGAC, donde se aprecia la subdivisión de los predios que rodean la Ciénaga, así como otros cuerpos de agua. Además, se debe considerar un estimativo de área de espejo de agua de 420 hectáreas, para un volumen total de aproximadamente de 3,78 millones de metros cúbicos.

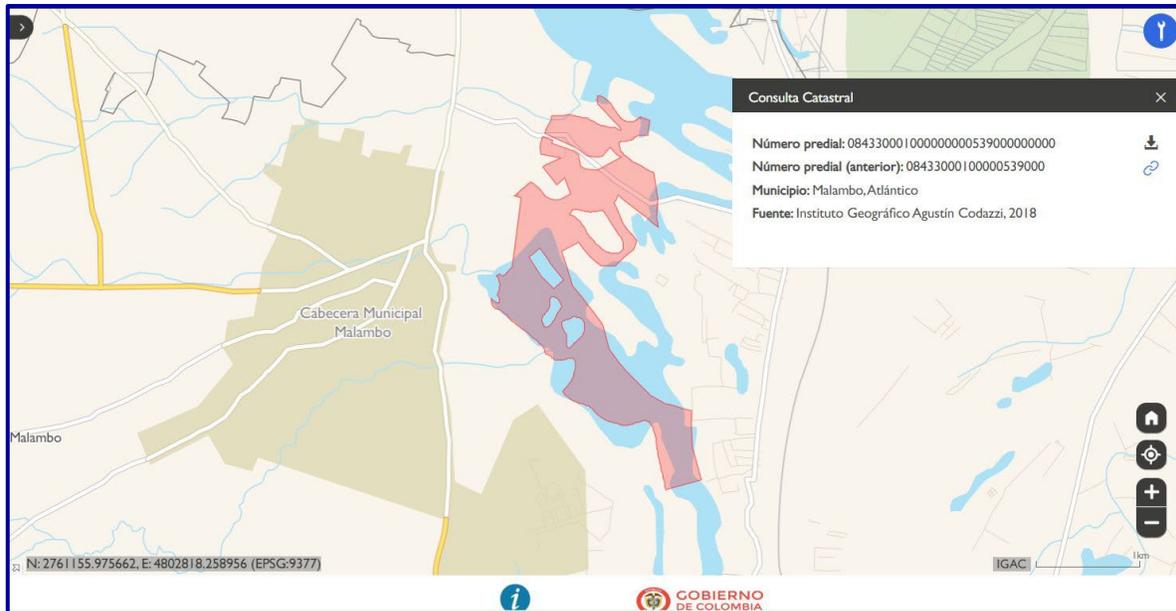


Figura 18. Área con afectación predial del espejo de agua influencia directa de las descargas de ARD y/o ARnD del municipio de Malambo y la subdivisión predial que rodean la ciénaga (Fuente IGAC).

5.3.4. Aspectos a considerar para la implementación de herramientas de modelación en la ciénaga Malambo.

El comportamiento de la carga contaminante (C_c) en los cuerpos de agua lenticos, es esencialmente dinámica, ya que los contaminantes están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales, aún en aguas quietas, presentan procesos fisicoquímicos y biológicos, por descomposición, por efectos de la fotosíntesis, así como variaciones de temperatura y pH, cuando se realizan vertimientos por escorrentía, inundación y/o infiltración o exfiltración que se puede presentar cuando baja ostensiblemente el nivel en las ciénagas someras hasta en un 50% ($h = 0.5$ m.) en promedio. Los fenómenos de transporte de contaminantes han sido ampliamente estudiados y han dado origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen generalmente el comportamiento de las sustancias contaminantes en la calidad del agua a través de índices y/o estados tróficos en cuerpos lenticos, que tienen entrada y salida de caudales o líneas de flujo que dependen en gran proporción del clima y las condiciones estacionales de éste en diferentes épocas del año, lo que hace variable y compleja la simulación del estado de calidad del agua de los

cuerpos receptores de vertimientos de ARD y/o ARnD. Los modelos se deben calibrar en el tiempo, para bajar la incertidumbre y ajustar las predicciones que permiten tomar decisiones para la planificación del recurso hídrico y manejar adecuadamente la mayoría de los problemas de contaminación del agua.

5.4. CONCEPTUALIZACIÓN GENERAL

Un modelo trata de representar simplificada y/o generar condiciones similares a la realidad, cuando se emprenden acciones que no siempre se pueden medir continuamente en el tiempo, en el cual sólo se incluyen aquellos aspectos que tienen relevancia para solucionar el problema que se pretenda estudiar y/o analizar; inicialmente se deben realizar acopio de mediciones, estados visuales en diferentes épocas del año, mediciones in situ de parámetros como temperatura, pH, SD, Conductividad, Turbiedad, entre otros, que se pueden tomar con sondas multiparámetros, lo que permite una primera evaluación subjetiva, como primera fase y luego a través de otros indicadores utilizando ecuaciones y/o algoritmos, que permitan dilucidar el estado que puede generarse cuando se pretende realizar acciones antrópicas (Vertimientos de ARD y/o ARnD) y/o naturales que afecten las condiciones de calidad y capacidad de asimilación y/o degradación de carga orgánica en el tiempo y/o espacio.

También se deben considerar cambios en aspectos físicos, químicos y/o biológicos por condiciones geométricas, pendientes y materiales si representan a escala la geometría y las propiedades de los materiales de un sistema, como son las maquetas y los modelos hidráulicos a escala, también pueden ser analógicos, si representan las propiedades de un sistema a través de fenómenos diferentes pero que tienen un comportamiento similar, e igualmente también existen modelos conceptuales, en los cuales se identifican las características relevantes de un sistema, pero sin llegar a representarlas cuantitativamente, sólo con el fin de tener una mejor comprensión del sistema y por último, están los modelos matemáticos, es decir, aquellos en que las relaciones principales entre los elementos relevantes de un sistema se reemplazan por relaciones matemáticas que las representan en forma aproximada.

Para el caso de la ciénaga Malambo, en la modelación de la calidad del agua, se han realizado algunos ejercicios para representar el comportamiento de la calidad del agua con respecto a la carga contaminante que se genera natural y antrópicamente, lo cual se ha representado en forma general, ya que no se cuenta con una rutina que permita calibrar dicho modelo en el tiempo, teniendo en cuenta la variabilidad estacional por cambios en los flujos de caudales que se presentan en dicho sistema como se ha explicado anteriormente (Caudales por Escorrentía, Inundación y/o Intercambio de flujos por Nivel Freático – Infiltración o Exfiltración), y solo se cuenta con algunas medidas puntuales en algunos periodos de tiempo, sin cumplir con medidas que se realicen simultáneamente en condiciones de similitud espacial y temporal, especialmente identificando épocas de invierno y verano, o en eventos de cambio climático.

Para el desarrollo de la modelación en la Ciénaga Malambo, se ha tomado la aplicación del modelo matemático de calidad de aguas desarrollado por Streeter y Phelps en 1925, para estudiar el balance de oxígeno en el río Ohio (EUA), el cual a través del tiempo ha tenido transformaciones que actualmente se utilizan para determinar la caída de oxígeno por el vertimiento de ARD, generalmente como carga orgánica la cual se biodegrada en el tiempo o por condiciones de cambios de velocidad generalmente. Aunque dicho modelo sólo pretendía ser una aplicación particular de los conceptos cinéticos relativos a la oxidación de la materia orgánica desarrollados por el propio Phelps, en la actualidad se sigue aplicando, aunque con el agregado de conceptos complementarios que lo hacen más completo.

En la actualidad existen numerosos programas computacionales generalizados que permiten configurar modelos matemáticos de calidad de agua con relativa facilidad. Aunque en estricto rigor un modelo es la representación de un sistema real, es decir, un sistema caracterizado por las variables que definen la configuración espacial, el comportamiento hidráulico y la cinética de las reacciones entre los parámetros de calidad.

Uno de los aspectos básicos más relevantes que se debe considerar en la modelación de una Ciénaga, es el concepto de dilución, debido a la magnitud generalmente del volumen retenido en el tiempo, con respecto al volumen de vertimientos que se pueden predecir y/o medir en periodos de tiempo cortos (Periodos de 8, 16 y/o 24 horas o más); así como las cargas contaminantes (Cc) de tipo orgánico, asociadas a los vertimientos de ARD y/o ARnD.

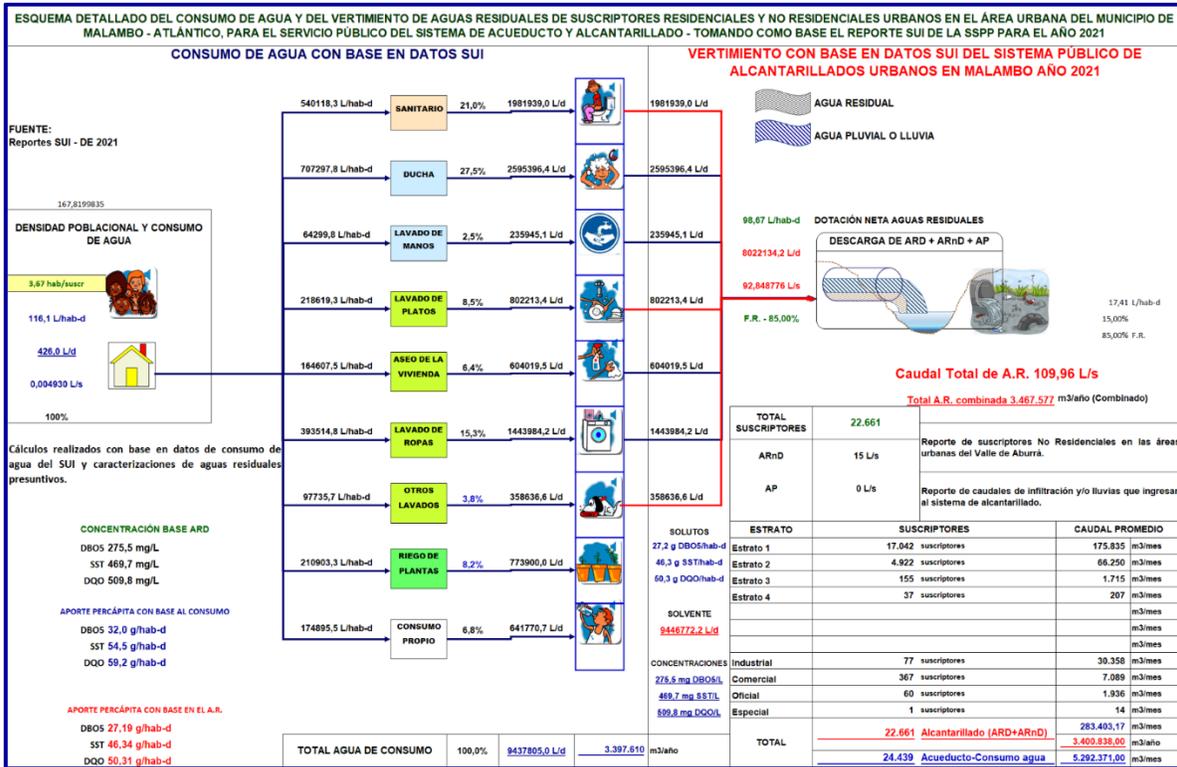


Figura 19. Análisis de Aguas de Consumo versus Aguas Residuales según Datos SUI año 2021, para el área urbana del Municipio de Malambo.

En el anterior ejercicio, se muestra un esquema de cómo se distribuye el consumo de agua reportado para el año 2021 del SUI y la generación de ARD de suscriptores Residenciales; y en la siguiente Tabla se reportan los aportes de cargas asociadas los suscriptores No Residenciales (Industrial, Comercial, Oficial y Especial), para estimar la Cc por DBO₅ + SST.

Tabla 22. Estimativo Cargas Contaminante (Cc), para DBO5 + SST, para el año 2021 según reportes del SUI del año 2021, para el área urbana del Municipio de Malambo.

CONCENTRACIONES TOMADAS DEI PSMV 2022 Y MONITOREOS REALIZADOS POR LA CRA; ASÍ COMO CÁLCULO DE APORTES PERCÁPITA CON BASE EN LA INFORMACIÓN DEL SUI PARA EL AÑO 2021		
CONCENTRACIÓN BASE ARnD INDUSTRIAL		CONCENTRACIÓN BASE ARnD COMERCIAL
DBO5	1370,0 mg/L	450,0 mg/L
SST	1720,0 mg/L	500,0 mg/L
APORTE PERCÁPITA CON BASE AL CONSUMO		
DBO5	159,04 g/suscriptor-d	52,24 g/suscriptor-d
SST	199,67 g/suscriptor-d	58,04 g/suscriptor-d
APORTE PERCÁPITA CON BASE EN EL A.R.		
DBO5	135,18 g/suscriptor-d	44,40 g/suscriptor-d
SST	169,72 g/suscriptor-d	49,34 g/suscriptor-d
CONCENTRACIÓN BASE ARnD OFICIAL		CONCENTRACIÓN BASE ARnD ESPECIAL
DBO5	500,0 mg/L	1250,0 mg/L
SST	600,0 mg/L	2000,0 mg/L
APORTE PERCÁPITA CON BASE AL CONSUMO		
DBO5	58,04 g/suscriptor-d	145,11 g/suscriptor-d
SST	69,65 g/suscriptor-d	232,17 g/suscriptor-d
APORTE PERCÁPITA CON BASE EN EL A.R.		
DBO5	49,34 g/suscriptor-d	123,34 g/suscriptor-d
SST	59,20 g/suscriptor-d	197,35 g/suscriptor-d
ESTIMATIVO CARGA CONTAMINANTE SEGÚN SUI - MALAMBO 2021		
ESTRATO	CARGA CONTAMINANTE ESTIMADA	
	Carga DBO5 (kg/d)	Carga SST (kg/d)
ESTRATO 1	1.700,15	2.898,09
ESTRATO 2	491,03	837,01
ESTRATO 3	15,46	26,36
ESTRATO 4	3,69	6,29
Industrial	38,20	47,95
Comercial	59,80	66,44
Oficial	10,86	13,03
Especial	0,45	0,72
TOTAL	242,0 Kg/d	277,0 Kg/d
	0,2420 Ton/d	0,2770 Ton/d
	7,2600 Ton/mes	8,3100 Ton/mes
	88330 Kg/año	101105 Kg/año
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CARGA	89,6%	92,9%
SE ESTIMA EN PROMEDIO UNA Cc DE DBO ₅ + SST PARA EL AÑO 2021	519 Kg/d	

5.4.1. Estimativo del Límite Máximo Permitido por Factor de Dilución.

La dilución se produce por la mezcla de las descargas concentradas con el agua natural con baja concentración de cuerpos de agua lenticos como Ciénagas que pueden tener gran intercambio de flujos y aportes de agua por eventos de escorrentía, por infiltración de aguas freáticas del Río Magdalena y/o Crecientes el Río Magdalena, que inundan estos cuerpos de aguas naturales someros (De baja profundidad media de 0,9 a 1,1 m), y que amortiguan los efectos de inundación de las riberas u orillas del río, evitando inundaciones de cultivos, zonas urbanas y demás áreas que se deben proteger de acuerdo a la nueva normativa de Gestión de Riesgo.

Para el caso de la Ciénaga Malambo, la dilución es un indicador que se debe considerar en la modelación de la calidad del agua y la asimilación de carga orgánica, ya que esta afecta la dinámica que se presenta en la Ciénaga para todos los esquemas de modelación que se pretendan aplicar y se propone tener en cuenta la siguiente ecuación en los ejercicios o metodologías de modelación, para lo cual se propone aplicar la siguiente ecuación.

$$C_i = T_{LMi} (1 + F_d)$$
$$F_d = \frac{Q_{medMP}}{Q_{ambiental}}$$

Dónde:

C_i: Límite máximo permitido para el contaminante i.

T_{LMi}: Límite máximo permitido para el contaminante i, con respecto a F_d.

F_d: Factor de dilución.

Q_{medMP}: Caudal medio vertido durante el mes de máxima producción de vertimientos líquidos.

Q_{ambiental}: Caudal ambiental definido por la autoridad ambiental.

Para la aplicación de la ecuación, se debe considerar la división que se estima por áreas de los principales puntos de monitoreo en el espejo de agua de la ciénaga, que al tomar las alturas medias medidas en éste, permiten calcular un volumen por cada área según el Punto de Monitoreo Principal Establecido (P1, P2, P3, y P4), el cual se simula para un día de descarga directa de aguas residuales, hasta un año, calculando sí los factores de dilución y los Límites Máximos Permitidos de concentraciones de DBO₅, a la Ciénaga Malambo, como se muestran en las siguientes tablas, para diferentes periodos de tiempo, acorde a la estacionalidad que se pueda presentar en el año.

Tabla 23. Estimativo de áreas y volúmenes para determinar Concentraciones Máximas Permitidas (CMP) en diferentes periodos de tiempo durante un año, para calcular las Cargas Contaminante (Cc), para DBO5 + SST.

ESTIMATIVO DE ÁREAS Y VOLÚMENES DE LAS PRICIPALES ESTACIONES DE MONITOREO EN LA CIÉNAGA MALAMBO					
ESTACIÓN DE MONITOREO	ÁREA ESTIMADA			VOLUMEN ESTIMADO	
	(ha)	(m²)	% ESTIMADO	(m³)	(L)
PUNTO 3	46,03	460.345	14,00%	174.734	174.733.964
PUNTO 4	62,48	624.754	19,00%	237.139	237.138.951
PUNTO 2	115,09	1.150.863	35,00%	436.835	436.834.910
PUNTO 1	105,22	1.052.218	32,00%	399.392	399.391.918
TOTAL	328,82	3.288.181	100%	1.248.100	1.248.099.744

COTA CURVA DE NIVEL	ALTURA POR CADA CURVA DE NIVEL	ÁREA ESTIMADA POR CADA CURVA DE NIVEL	PORCENTAJE DE ÁREA	VOLUMEN POR CADA CURVA DE NIVEL	VOLUMEN EFECTIVO ACUMULADO
(msnm)	(m)	(m²)	%	(m³)	(m³)
0,390	0,28	460.345	14,00%	151329	151.329
0,423	0,27	624.754	19,00%	237578	388.907
0,585	0,23	1.150.863	35,00%	254646	643.553
0,340	0,29	1.052.218	32,00%	604546	1.248.100
TOTAL		3.288.181	1,00	1.248.100	(m³)

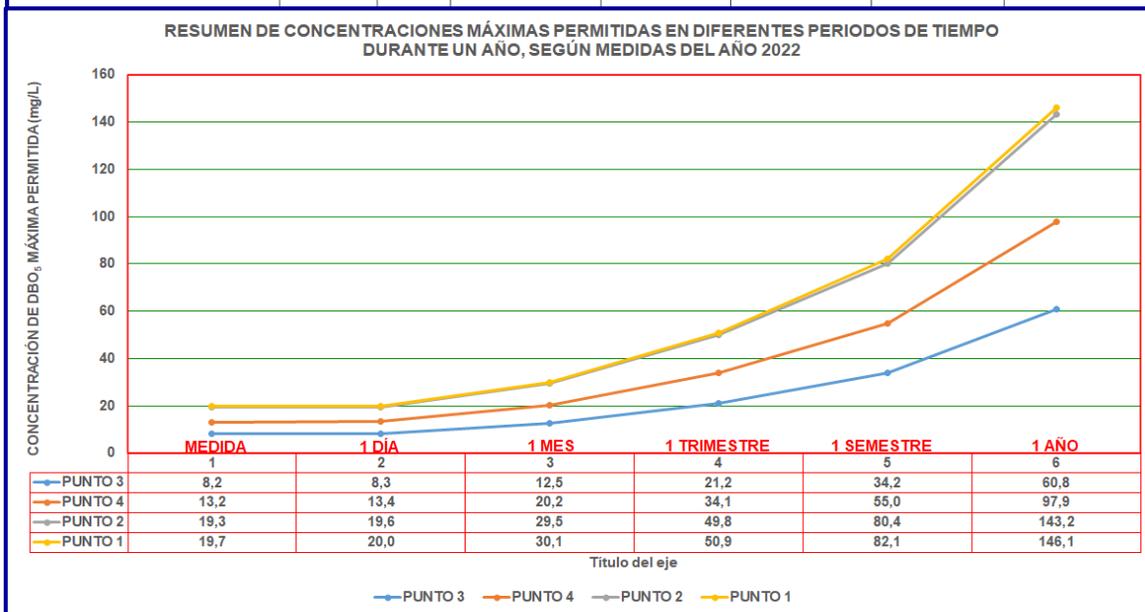
Se debe considerar que este tipo de pruebas, determina cual puede ser una Concentración Límite Permisible, de acuerdo al vertimiento en diferentes periodos de tiempo, cuando se presentan periodos continuos sin lluvias y aportes de caudales por infiltración e inundación del Río Magdalena hacia las Ciénagas, lo que incrementaría la Cc en el tiempo y de forma acumulativa, sin dilución, solo actividad fotosintética y bioquímica.

Tabla 24. Cálculo de la concentración límite máxima permitida de DBO5, para vertimientos de aguas residuales en diferentes periodos de tiempo, en los cuatro puntos principales de vertimiento en el Espejo de Agua de la ciénaga Malambo, acorde a las medidas realizadas en el año 2022.

ESTACIÓN	DBO5 - MEDIDA	VOLUMEN ESTACIÓN CIÉNAGA MALAMBO		CAUDAL MENSUAL ESTIMADO RAS (ARD+ARnD)	DÍAS ESTIMACIÓN VERTIMIENTO AR	VOLUMEN VERTIMIENTO (m3)	FACTOR DE DILUCIÓN (Fd)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE DBO5 (mg/L)
	(mg/L)	(m ³)	(%)					(L/s)
PUNTO 3	8,2	174.734	14%	254	1	3.072	0,017583	8,3
PUNTO 4	13,2	237.139	19%	254	1	4.170	0,017583	13,4
PUNTO 2	19,3	436.835	35%	254	1	7.681	0,017583	19,6
PUNTO 1	19,7	399.392	32%	254	1	7.023	0,017583	20,0
PROMEDIO	15,10	312024,94	25%	254	1	5486	0,017583	15,37
MEDIA GEOMÉTRICA	14,24	291591,06	23%	254	1	5127	0,017583	14,49
MEDIANA	16,25	318265,43	26%	254	1	5596	0,017583	16,54
TOTAL		1.248.100	100%	TOTAL	UN DÍA	21.946	0,017583	15,46
ESTACIÓN	DBO5 - MEDIDA	VOLUMEN ESTACIÓN CIÉNAGA MALAMBO		CAUDAL MENSUAL ESTIMADO RAS (ARD+ARnD)	DÍAS ESTIMACIÓN VERTIMIENTO AR	VOLUMEN VERTIMIENTO (m3)	FACTOR DE DILUCIÓN (Fd)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE DBO5 (mg/L)
	(mg/L)	(m ³)	(%)					(L/s)
PUNTO 3	8,2	174.734	14%	254	30	92.172	0,527496	12,5
PUNTO 4	13,2	237.139	19%	254	30	125.090	0,527496	20,2
PUNTO 2	19,3	436.835	35%	254	30	230.429	0,527496	29,5
PUNTO 1	19,7	399.392	32%	254	30	210.678	0,527496	30,1
PROMEDIO	15,10	312024,94	25%	254	30	164592	0,527496	23,07
MEDIA GEOMÉTRICA	14,24	291591,06	23%	254	30	153813	0,527496	21,76
MEDIANA	16,25	318265,43	26%	254	30	167884	0,527496	24,82
TOTAL		1.248.100	100%	TOTAL	UN MES	658.368	0,527496	23,21
ESTACIÓN	DBO5 - MEDIDA	VOLUMEN ESTACIÓN CIÉNAGA MALAMBO		CAUDAL MENSUAL ESTIMADO RAS (ARD+ARnD)	DÍAS ESTIMACIÓN VERTIMIENTO AR	VOLUMEN VERTIMIENTO (m3)	FACTOR DE DILUCIÓN (Fd)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE DBO5 (mg/L)
	(mg/L)	(m ³)	(%)					(L/s)
PUNTO 3	8,2	174.734	14%	254	90	276.515	1,582489	21,2
PUNTO 4	13,2	237.139	19%	254	90	375.270	1,582489	34,1
PUNTO 2	19,3	436.835	35%	254	90	691.286	1,582489	49,8
PUNTO 1	19,7	399.392	32%	254	90	632.033	1,582489	50,9
PROMEDIO	15,10	312024,94	25%	254	90	493776	1,582489	39,00
MEDIA GEOMÉTRICA	14,24	291591,06	23%	254	90	461440	1,582489	36,78
MEDIANA	16,25	318265,43	26%	254	90	503652	1,582489	41,97
TOTAL		1.248.100	100%	TOTAL	UN TRIMESTRE	1.975.104	1,582489	39,25
ESTACIÓN	DBO5 - MEDIDA	VOLUMEN ESTACIÓN CIÉNAGA MALAMBO		CAUDAL MENSUAL ESTIMADO RAS (ARD+ARnD)	DÍAS ESTIMACIÓN VERTIMIENTO AR	VOLUMEN VERTIMIENTO (m3)	FACTOR DE DILUCIÓN (Fd)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE DBO5 (mg/L)
	(mg/L)	(m ³)	(%)					(L/s)
PUNTO 3	8,2	174.734	14%	254	180	553.029	3,164978	34,2
PUNTO 4	13,2	237.139	19%	254	180	750.540	3,164978	55,0
PUNTO 2	19,3	436.835	35%	254	180	1.382.573	3,164978	80,4
PUNTO 1	19,7	399.392	32%	254	180	1.264.067	3,164978	82,1
PROMEDIO	15,10	312024,94	25%	254	180	987552	3,164978	62,89
MEDIA GEOMÉTRICA	14,24	291591,06	23%	254	180	922879	3,164978	59,32
MEDIANA	16,25	318265,43	26%	254	180	1007303	3,164978	67,68
TOTAL		1.248.100	100%	TOTAL	UN SEMESTRE	3.950.208	3,164978	63,30

Tabla 25. Cálculo de la concentración límite máxima permitida de DBO5, para vertimientos de aguas residuales en un año y grafica resumen en diferentes periodos de tiempo, para cuatro puntos principales de vertimiento en el Espejo de Agua de la ciénaga Malambo, acorde a las medidas realizadas en el año 2022.

ESTACIÓN	DBO5 - MEDIDA	VOLUMEN ESTACIÓN CIÉNAGA MALAMBO		CAUDAL MENSUAL ESTIMADO RAS (ARD+ARnD)	DÍAS ESTIMACIÓN VERTIMIENTO AR	VOLUMEN VERTIMIENTO (m ³)	FACTOR DE DILUCIÓN (Fd)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE DBO5 (mg/L)
	(mg/L)	(m ³)	(%)	(L/s)	(d)			SUPERFICIE
PUNTO 3	8,2	174.734	14%	254	365	1.121.420	6,417872	60,8
PUNTO 4	13,2	237.139	19%	254	365	1.521.927	6,417872	97,9
PUNTO 2	19,3	436.835	35%	254	365	2.803.550	6,417872	143,2
PUNTO 1	19,7	399.392	32%	254	365	2.563.246	6,417872	146,1
PROMEDIO	15,10	312024,94	25%	254	365	2002536	6,417872	112,01
MEDIA GEOMÉTRICA	14,24	291591,06	23%	254	365	1871394	6,417872	105,65
MEDIANA	16,25	318265,43	26%	254	365	2042587	6,417872	120,54
TOTAL		1.248.100	100%	TOTAL	UN AÑO	8.010.144	6,417872	112,73



5.4.2. Reacción.

Otro aspecto a considerar es la reacción, ya que la mayoría de los contaminantes experimenta una variación neta de concentraciones, no explicada por la dilución, la que se conoce como reacción, sin que necesariamente corresponda a una reacción química o biológica. Ejemplos de reacción son la degradación (oxidación) de la materia orgánica y el decaimiento bacteriano. La mayoría de las reacciones se pueden representar por una ley de primer orden.

5.4.3. Transporte.

Respecto al aspecto sobre el transporte, hay dos conceptos que representan los mecanismos básicos de transporte en el agua, que son el **flujo advectivo**, que se refiere al transporte de sustancias disueltas a partículas “con el agua”, es decir mediante el arrastre que producen los desplazamientos netos del agua, el cual se representa como la cantidad de sustancia transportada por unidad de superficie y por unidad de tiempo que se mueve

en la dirección de la velocidad, y el **flujo dispersivo** que se refiere al transporte de sustancias que ocurre independientemente de la existencia de un flujo de agua, por efecto de la superposición de la difusión a nivel molecular y la dispersión turbulenta.

5.5. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN

Por ejemplo, para realizar la modelación del estado trófico de la Ciénaga, la modelación de la calidad del agua y la modelación de la capacidad de carga contaminante, se aplicaron diferentes métodos y se consideraron diferentes aspectos técnicos como se mencionó anteriormente.

Tal como se describió anteriormente, se aplicó la ecuación para establecer una concentración límite permisible de DBO_5 con base en un factor de dilución por volumen (Calculado con el área de influencia y considerando la batimetría realizada para la Ciénaga), para lo cual se analizó la carga contaminante que se puede verter para pasar de **16.25 mg/L como la mediana de las medidas tomadas en los 4 puntos de monitoreo, a 16,50 mg/L en UN DÍA**, y luego pasar a **24.82 mg/L en UN MES**, que ya sería un **punto de inflexión para determinar estados críticos de la calidad del agua en las Ciénagas del Complejo Malambo**, lo cual se podrá corroborar con el cálculo del decaimiento del OD, en la Ciénaga Malambo, utilizando la ecuación de Streeter y Phelps.

Ya para UN TRIMESTRE, la concentración máxima permisible de DBO_5 , sería de 41,97 mg/L, en UN SEMESTRE sería de 67,68 mg/L, (Agua ya muy contaminada) y que en UN AÑO sería de 120,54 mg/L, situación de alerta máxima por altos niveles de contaminación, y teniendo en cuenta, los análisis realizados en el estudio de ASOCARS y la Universidad de Magdalena, así como otros estudios y medidas adelantadas por la CRA y usuarios del recurso hídrico.

Para la modelación del abatimiento del oxígeno disuelto (oferta) versus la degradación de la materia orgánica (demanda), se elaboró una aplicación en excel del modelo matemático de calidad de aguas desarrollado por Streeter y Phelps, para analizar el balance de oxígeno en la ciénaga, y estableciendo el abatimiento y la recuperación de ésta en el tiempo, tal como se presenta en las tablas y gráficas anexas a este informe para cada estación monitoreada, considerando las descargas teóricas asumidas proveniente de datos estimados de caudal y concentración de DBO_5 .



Figura 20. Subdivisiones asumidas en los procesos de modelación, con respecto a las estaciones de monitoreo y aporte de escorrentía por arroyos.
Subdivisión del área de simulación para los 4 puntos principales de monitoreo.

Igualmente se consideraron los Rangos de Productividad que se establecen en la bibliografía reportada, para determinar la productividad de la Ciénaga, aplicando las medidas de clorofila a, donde se estimó la productividad por cada estación, dando para la Ciénaga Malambo que ésta es Productiva, por lo tanto genera una buena fotosíntesis que eleva el oxígeno disuelto especialmente en el día, pero por condiciones de intercambio de caudales, no se garantiza el tiempo suficiente para degradar materia orgánica, quedando solamente la posibilidad de dilución.

A continuación, se realiza un análisis con base en el estado trófico que se puede alcanzar en este tipo de Ciénagas de Baja Profundidad (Someras).

Tabla 26. Producción primaria de las aguas lenticas, con base en medidas de Clorofila a, en (mg/m^3), según - Tapia 2006.

Rangos	Productividad
< 0.20 mg/m^3	Clorofila = Aguas de baja productividad
0.20 – 0.50 mg/m^3	Clorofila = Aguas ligeramente productivas
> 0.50 mg/m^3	Clorofila = Aguas productivas

Tabla 27. Estimación de la productividad en la Ciénaga de acuerdo a las medidas obtenidas en las estaciones de monitoreo según (Tapia 2006) y ecuación aplicada en el Embalse del Guájaro.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET			PRODUCTIVIDAD CON BASE EN MEDIDAS DE CLOROFILA a (Tapia - 2006)	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET (2022)		
	TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	FOSFATOS	CLOROFILA a		IE POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
	(m)	(mg/L)	(mg/m3)		SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE
PUNTO 1	0,78	0,0652	28,0	AGUAS PRODUCTIVAS	63,39	64,42	63,43
PUNTO 2	0,76	0,0652	26,0	AGUAS PRODUCTIVAS	63,83	64,42	62,71
PUNTO 3	0,65	0,0652	35,0	AGUAS PRODUCTIVAS	66,14	64,42	65,55
PUNTO 4	0,82	0,0652	24,0	AGUAS PRODUCTIVAS	62,76	64,42	61,91
PUNTO 5	0,75	0,0652	31,0	AGUAS PRODUCTIVAS	64,05	64,42	64,40
PROMEDIO	0,752	0,065	28,80	AGUAS PRODUCTIVAS	64,04	64,42	63,60
MEDIA GEOMÉTRICA	0,750	0,065	28,55	AGUAS PRODUCTIVAS	64,03	64,42	63,59
MEDIANA	0,755	0,065	26,00	AGUAS PRODUCTIVAS	63,94	64,42	62,71

NOTA: Se asumen las ecuaciones aplicadas en los cálculos del IET, para el Embalse El Guajaro que es un embalse somero de baja profundidad.
DS = 64,3811461123933*EXP(-0,0695373834806505*IET).

La Ciénaga se considera de aguas ligeramente productivas a productivas, ya que supera en los casos de transparencia y fosfatos los límites establecidos, lo que permite inferir que dicha Ciénaga puede considerarse como un sistema totalmente mezclado y en gran parte uniforme, respecto a la productividad.

Para la estimación del estado trófico, se aplicaron diferentes modelos basados en las ecuaciones planteadas por Carlson y Aizaki, y se estimaron las ecuaciones para calcular el Índice de Estado Trófico (IET o en inglés TSI), por la consultoría del estudio de la Ciénaga Malambo, donde se realizaron varios cálculos, a través de aplicaciones en excel, comparando los métodos de Carlson y Aizaki con las ecuaciones desarrolladas por la consultoría, obteniendo diferentes resultados que permitieron establecer por los diferentes métodos que la Ciénaga Malambo se encuentra entre un **estado Mesotrófico a Eutrófico**, con tendencia más a este último; en el anexo se encuentran todos los cálculos aplicados.

Tabla 28. Fórmulas para estimar el estado Trófico aplicando los indicadores de Eutrofia.

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki <i>et al.</i> (1981)
Claridad del agua (D_s) (m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14.41Ln(D_s)$	$TSI_{D_s} = 10 \times (2.46 + \frac{3.76 - 1.57Ln(D_s)}{Ln2.5})$
Fosforo total (P_t) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14.42Ln(P_t) + 4.15$	$TSI_{P_t} = 10 \times (2.46 + \frac{6.68 - 1.15Ln(P_t)}{Ln2.5})$
Clorofila a (Clorf a) (mg/m^3)	$TSI_{Clorf a} = 9.81Ln(Clorf a) + 30.6$	$TSI_{Clorf a} = 10 \times (2.46 + \frac{Ln(Clorf a)}{Ln2.5})$

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980) y Aizaki *et al.* (1981)

Tabla 29. Escala de valores del estado Trófico en los cuerpos de agua.

Estado de eutrofia	TSI	D_s (m)	P_t (mg/m ³)	Clorf a (mg/m ³)
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{D_s}}{2}$	$2 \times TSI_{P_t}$	$\sqrt{7.8TSI_{Clorf a}}$

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980)

Tabla 30. Escala de valores del estado Trófico en los cuerpos de agua, aplicando ecuaciones realizada en la modelación del Embalse del Guájaro.

ESCALA DE VALORES DEL ESTADO TRÓFICO EN LOS CUERPOS DE AGUA							
ESTADO DE EUTROFIA	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO	TRANSPARENCIA DISCO SECCHI DS (m)		CONCENTRACIÓN FOSFORO TOTAL Pt (mg/m3)		CLOROFILA a Clorf - a (mg/m3)	
	(IET ó TSI)	VALOR CARLSON 1977-1980	AJUSTE ECUACIÓN EMBALSE GUAJARO 2014	VALOR CARLSON 1977-1980	AJUSTE ECUACIÓN EMBALSE GUAJARO 2014	VALOR CARLSON 1977-1980	AJUSTE ECUACIÓN EMBALSE GUAJARO 2014
OLIGOTRÓFICO (IET < 30)	0	64	64	0,75	0,75	0,04	0,04
	10	32	32	1,5	1,5	0,012	0,012
	20	16	16	3	3	0,34	0,34
	30	8	8	6	6	0,94	0,94
MESOTRÓFICO (30 < IET < 60)	40	4	4	12	12	2,6	2,6
	50	2	2	24	24	6,4	6,4
	60	1	1	48	48	20	20
EUTRÓFICO (60 < IET < 90)	70	0,5	0,50	96	96	56	56
	80	0,25	0,25	192	192	154	154
	90	0,12	0,12	384	384	427	427
HIPEREUTRÓFICO (90 < IET < 100)	100	0,06	0,06	768	768	1183	1183
AJUSTE DE ECUACIONES DE IET, PARA EL ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE EL GUAJARO 2014		DS = 64,3811461123933*EXP(-0,0695373834806505*IET)		Pt = 0,75*EXP(0,0693147180559946*IET)		<small>PARA IET HASTA 60, SE CALCULA CON: Clorf a = -4,833333322638E-08*IET^5 + 0,466666651181E-06*IET^4 - 0,0040114666609947*IET^3 + 0,00811333332770*IET^2 - 0,067899999437*IET + 0,209999998110E182</small> <small>PARA IET DESDE 60, SE CALCULA CON: Clorf a = 0,00010133333326625*IET^5 - 0,0032408333311309*IET^4 + 0,418549999970368*IET^3 - 27,002916664031*IET^2 + 476,07366604281*IET - 11295,199989842</small>	

FUENTE: Artículo de la REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA N°78 - Octubre a Diciembre de 2010, UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA, IZTAPALAPA - MEXICO
Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia - Modificado de Carlson (1977; 1980) - AJUSTE DE ECUACIONES ESTUDIO DE CALIDAD DEL EMBALSE EL GUAJARO (2014).

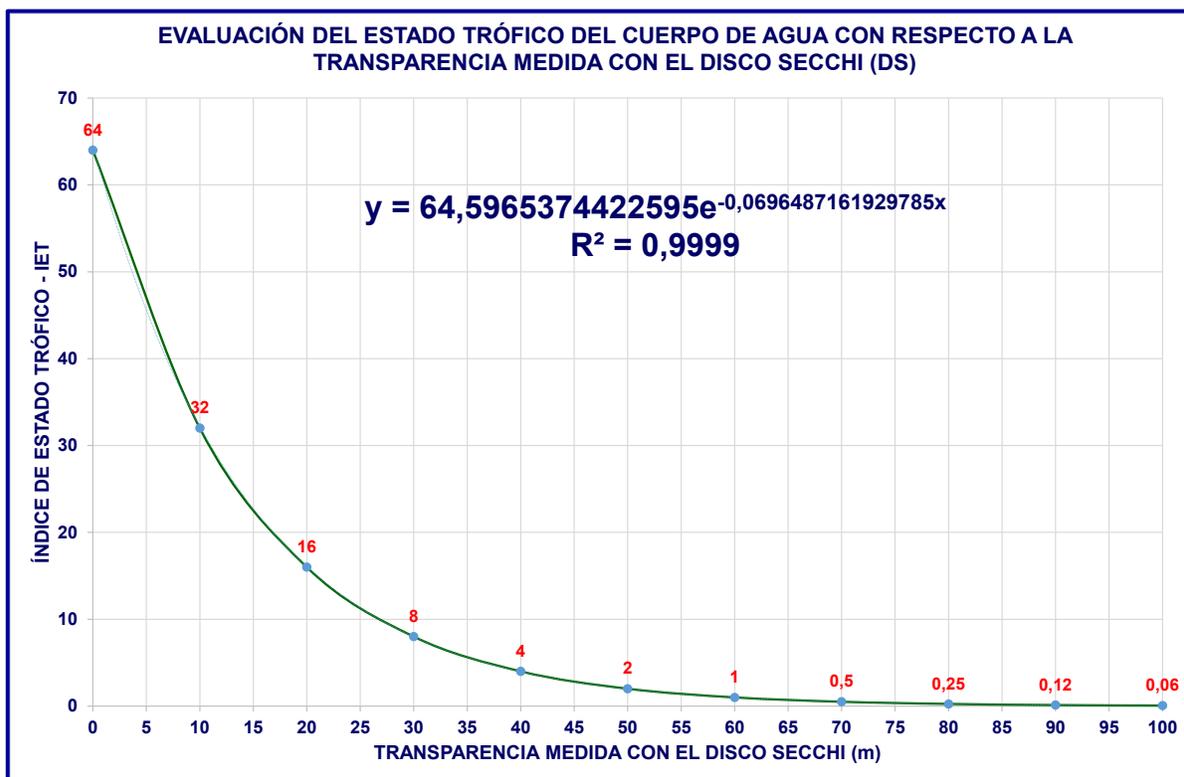


Figura 21. Ajuste de la ecuación del IET con respecto a la transparencia con el Disco Secchi, tomando datos del estudio de la Universidad del Atlántico.

Tabla 31. Cálculo del Índice de Estado Trófico con la ecuación de Carlson.

ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET CARLSON - (1977 - 1980)			ESTADO TRÓFICO - IET CARLSON - (1977 - 1980)		
IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
	SUPERFICIE	SUPERFICIE		SUPERFICIE	SUPERFICIE
63,50	64,39	63,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
63,94	64,39	62,56	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
66,26	64,39	65,48	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
62,88	64,39	61,78	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
64,16	64,39	64,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
64,15	64,39	63,48	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
64,14	64,39	63,47	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
63,94	64,39	63,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Tabla 32. Cálculo del Índice de Estado Trófico con la ecuación de Aizaki.

ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET AIZAKI et al. - (1981)			ESTADO TRÓFICO - IET AIZAKI et al. - (1981)		
IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
	SUPERFICIE	SUPERFICIE		SUPERFICIE	SUPERFICIE
69,80	45,07	60,97	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
70,32	45,07	60,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
73,08	45,07	63,40	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
69,06	45,07	59,28	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
70,59	45,07	62,08	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
70,57	45,07	61,18	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
70,56	45,07	61,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
70,45	45,07	60,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO

Delos anteriores cálculos se aprecia como el método utilizado por Aizaki, presenta una variación mayor a los estimados por la Consultoría y Carlson, para los indicadores tróficos por transparencia del Disco Secchi y por Clorofila a, pero existe una gran similitud para los datos tomados con base en la medida de fosfatos.

Lo que permite asegurar que **el estado trófico de la Ciénaga Malambo es más Eutrófica**, lo cual está muy ligado a la productividad de ésta.

Tabla 33. Medidas utilizadas para la determinación del Estado Trófico de la ciénaga Malambo.

PARÁMETRO	SITIO DE MONITOREO				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
pH (Und. de H+) (In Situ)	6,365	6,4475	6,555	6,3775	6,3825
Temperatura (°C) (In Situ)	29,775	29,95	29,7	30,275	29,925
Conductividad (uS/cm) (In Situ)	270,75	270	277	271	274,25
Oxígeno Disuelto (mg/L) (In Situ)	6,95	3,2	1,3	7,625	3,425
Clorofila A	28	26	35	24	31
Nitratos (mg NO3/L)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Nitritos (mg NO2-N/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Fosfato (mg P-PO4/L)	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652
Fósforo Total (mg P/L)	0,161	0,176	0,083	0,101	0,131
Nitrógeno Amoniacal (mg NH3-N/L)	1	0,7	0,5	0,8	0,6
Nitrógeno Total Kjendahl (NKT) (mg N/L)	1,773	1,767	1,884	1,38	1,552
DBO5 (mg O2/L)	8,2	13,2	19,3	19,7	4,8
DQO (mg O2/L)	20	23	49	43	10
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	86,5	20,1	24	67,5	24,8
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	3500	700	490	16000	2400
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	230	20	20	40	20
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	10°51'50,06"N	10°51'05,94"N	10°50'56,71"N	10°51'29,46"N	10°51'46,95"N
	74°45'43,12"O	74°45'20,32"O	74°45'02,88"O	74°45'44,37"O	74°45'21,00"O

Respecto a la demanda de oxígeno por unidad de superficie, igualmente se estimó acorde a las ecuaciones de correlación entre la Clorofila a, la concentración de Fosforo Soluble y la profundidad del Disco Secchi, la demanda de oxígeno disuelto por unidad de superficie, (AHOD en g O₂ /m²-d), en las estaciones monitoreadas.

Algunos ejemplos de estas correlaciones son los siguientes:

$$\log [Cl a] = 0.76 \log [PT] - 0.259$$

$$\log [SD] = -0.473 \log [Cl a] + 0.803$$

$$AHOD = 0.086 [PT]^{0.478}$$

donde:

[Cl a] : concentración de clorofila a (mg/m³).

[PT] : concentración de fósforo total (mg/m³).

SD : profundidad de lectura del disco de Secchi (m).

Tabla 34. Cálculo estimado de la demanda total de oxígeno por superficie en las estaciones.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	FOSFATOS (mg/L)	FOSFATOS (mg/m ³)	DEMANDA DE OXÍGENO POR UNIDAD DE SUPERFICIE	DEMANDA TOTAL DE OXÍGENO POR SUPERFICIE	
	MEDIDA	MEDIDA	AHOD (g OXÍGENO/m ² -d)	AHOD (mg OXÍGENO / d)	AHOD (mg OXÍGENO / L - d)
	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE
PUNTO 1	0,065	65	0,63	911.698.153.277	1,476
PUNTO 2	0,065	65	0,63	911.698.153.277	1,521
PUNTO 3	0,065	65	0,63	2.854.524.149.757	1,787
PUNTO 4	0,065	65	0,63	5.401.251.117.845	1,413
TOTAL	0,065	65	0,63	2.519.792.893.539	1,55
PROMEDIO Y MEDIANA	0,065	65	0,63	1883111151516,77	1,50

Igualmente se estimó la producción de Oxígeno en la Ciénaga por fotosíntesis, considerando la productividad de ésta, para lo cual se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$F_p = F_s \times \frac{2.7 \cdot 8 \times f}{K_e H} \left(e^{-\frac{I_a}{I_s} e^{-K_e H}} - e^{-\frac{I_a}{I_s}} \right)$$

$$K_e = \frac{1.7}{\text{Profundidad Secchi (m)}}$$

$$F_s = 0.25 \text{ Clor "a"}$$

$$R_s = \frac{F_s}{10}$$

Tabla 35. Ejemplo de cálculo estimado de la producción de oxígeno por fotosíntesis para el promedio de las medidas realizadas.

Fs	11	(mg OD/L-d)	Producción máxima de Oxígeno a la mayor Intensidad Solar
Clorofila A	32,4	(ug/L)	Concentración clorofila "a" Para este calculo se toma el promedio de las medidas de superficie y profundidad para la estación E1
	32,4	(mg/m3)	
X	0,325	(Adimensional)	Coficiente entre 0,25 y 0,40
H	0,95	(m)	Profundidad media
Ia	450	Cal/cm2-d	Intensidad de la Luz Promedia Incidente (Calorias por centimetro cuadrado día)
Is	500	Cal/cm2-d	Intensidad máxima de Saturación
f	50%		Porcentaje de horas de luz en el día
Psecchi	1,0	(m)	Profundidad Disco Secchi
Ke	1,8	(L/m)	Coficiente de extinción
Rs	1,1	(mg/L-d)	Respiración
Fp	29,6	(mg OD/L-d)	Valor Promedio de Concentración de Oxígeno

Fuente: Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales – CEPIS – Rodolfo Sáenz Forero – 1985.

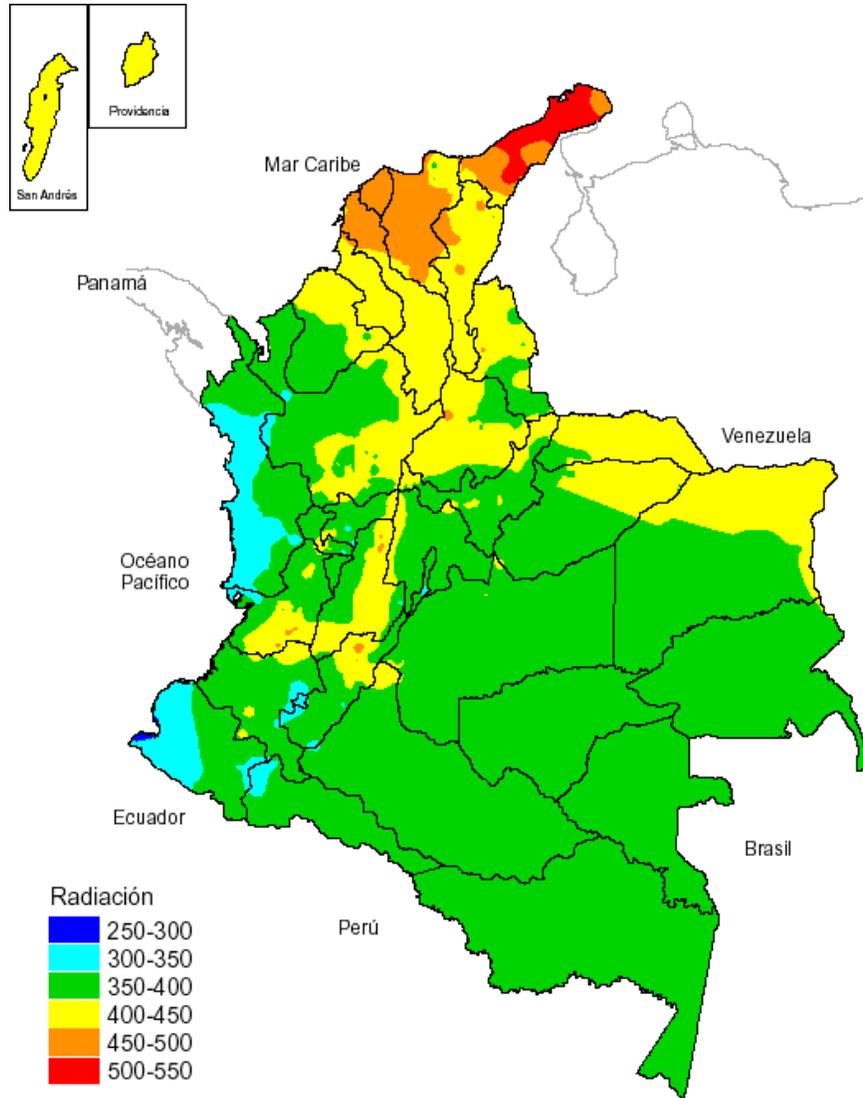


Figura 22. Datos de la radiación solar en Colombia (Fuente IDEAM).

Para el cálculo de la intensidad de la radiación solar en la región del Departamento del Atlántico donde se encuentra la Ciénaga Malambo, se tomó el rango de 450 a 500 Calorías por centímetro cuadrado por día, lo que permite gran productividad de oxígeno por fotosíntesis, igualmente se asignó la letra "X" para el coeficiente que se utiliza para el cálculo de Fs, donde el autor describe que el valor para zonas tropicales es hasta 0,40 valor tomado por la Consultoría, ya que corresponde al valor más alto por ser una zona muy tropical, y determinar así el Fs con respecto al promedio de las lecturas de Clorofila "a". Igualmente se aprecia como el equilibrio ecológico aún permanece en la Ciénaga, ya que la oferta supera en gran proporción la demanda y por ende las condiciones son aún favorables.

Tabla 36. Cálculo estimado de la producción de oxígeno por fotosíntesis.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	PROFUNDIDAD ESTACIÓN (m)	PRODUCCIÓN DE OXÍGENO POR FOTOSÍNTESIS				DEMANDA TOTAL DE OXÍGENO
		F _s Producción máxima de OD a la mayor Intensidad Solar (mg OD/L-d)	K _e Coeficiente de extinción (L/m)	R _s Respiración (mg OD/L-d)	F _p Producción media OD (mg OD/L-d)	AHOD Demanda total OD en Superficie (mg OD/L-d)
PUNTO 1	1,12	11,200	2,168	1,120	25,758	1,476
PUNTO 2	1,09	10,400	2,235	1,040	23,918	1,521
PUNTO 3	0,93	14,000	2,625	1,400	32,198	1,787
PUNTO 4	1,17	9,600	2,076	0,960	22,078	1,413
PROMEDIO	1,08	11,30	2,28	1,13	25,99	1,55
MEDIA GEOMÉTRICA	1,07	11,19	2,27	1,12	25,72	1,54
MEDIANA	1,10	10,80	2,20	1,08	24,84	1,50

En el grafico siguiente se puede observar como la producción de oxígeno por fotosíntesis en la Ciénaga Malambo, supera la Demanda, lo que permite biodegradar Cc orgánica, por proceso de fotosíntesis, permitiendo una parte de la asimilación de dicha carga, cuando no hay dilución.

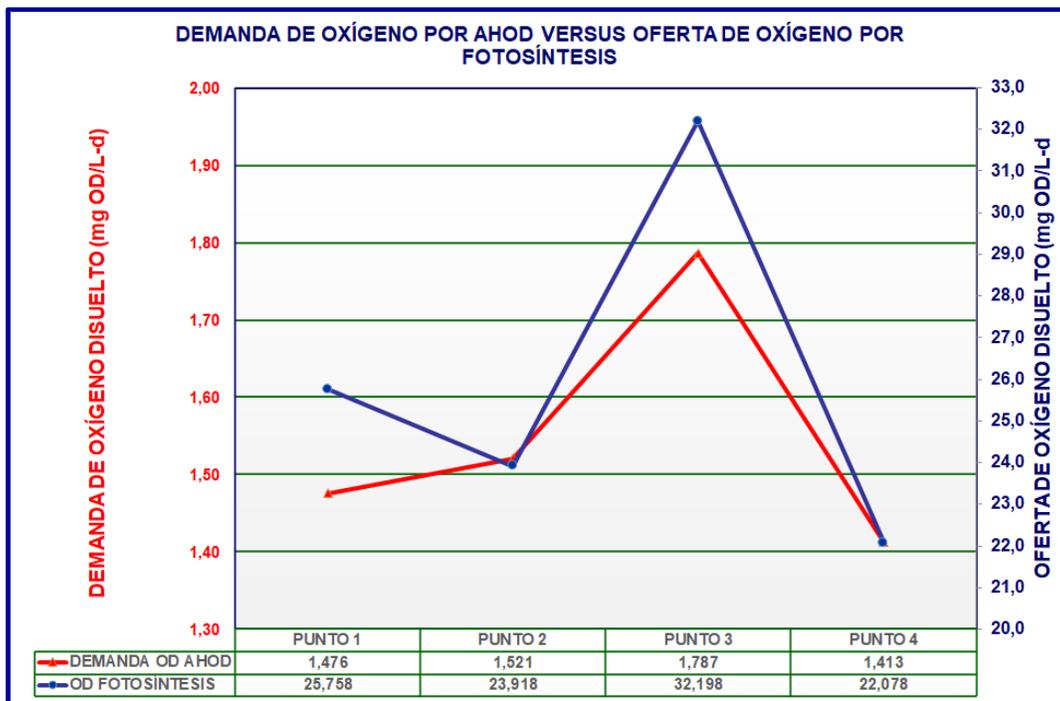


Figura 23. Demanda de OD por AHOD comparado con la Oferta de OD por Fotosíntesis.

Para el presente estudio se calcularon varios índices de calidad del agua, como el ICA o en inglés WQI, predominando una calidad media del agua en la mayor parte de la Ciénaga, la cual se indica con color amarillo; solo en una estación (P4), se tiene un reporte de calidad aceptable del agua en la Ciénaga (indicador de color verde), lo que indica una tendencia a la contaminación del agua por incidencia de ARnD, del sector industrial y comercial.

Igualmente se aplicaron otras metodologías para estimar el índice de Calidad del Agua, las cuales deben ser aplicadas de acuerdo a las condiciones y requerimientos de agua para diferentes usos.

Se anexan otras las metodologías utilizando medidas tomadas en el año 2022 y de otros estudios realizados en la Ciénaga, y se calculan los índices para nuestro país que son: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO.

Tabla 37. Cálculo de los ICA o WQI, para las diferentes estaciones.

ESTACIÓN N°	FECHA	COTA msnm	PRESIÓN ATMOSFÉRICA CORREGIDA (mm de Hg)	pH	ÍNDICE I ₁		TEMPERATURA (°C)			ÍNDICE I ₁
					pH		AGUA	DESVIACIÓN	AMBIENTE	Temperatura
					<u>12%</u>					<u>10%</u>
PUNTO 1	11 de marzo de 2022	3 msnm	760	6,36	64,54	29,78	0,100	34,8	90,2	
PUNTO 2	12 de marzo de 2022	3 msnm	760	6,45	67,18	29,95	0,100	35,0	90,2	
PUNTO 3	13 de marzo de 2022	3 msnm	760	6,54	70,23	29,70	0,100	34,7	90,2	
PUNTO 4	14 de marzo de 2022	3 msnm	760	6,37	64,87	30,28	0,100	35,3	90,2	

ESTACIÓN N°	OXÍGENO DISUELTTO				ÍNDICE I ₁
					OD
	OD INICIAL (mg/L)	FACTOR DE CORRECCIÓN	OD CORREGIDO	% Saturación	<u>17%</u>
PUNTO 1	7,0	1,000	6,947	79	84,15
PUNTO 2	3,2	1,000	3,199	36	26,37
PUNTO 3	1,3	1,000	1,299	15	8,91
PUNTO 4	7,6	1,000	7,622	87	91,39

Tabla 38. Continuación Cálculo ICA o WQI, para las diferentes estaciones.

ESTACIÓN N°	DBO	ÍNDICE I ₄	SST	ÍNDICE I ₅	FOSFATOS	ÍNDICE I ₆	TURBIEDAD	ÍNDICE I ₈
		DBO		SST		FOSFATOS		TURBIEDAD
	(mg O ₂ /L)	10%	(mg SS/L)	8%	(mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	10%	(NTU)	8%
PUNTO 1	8,20	41,309	86,5	85,1	0,065	94,35	49,0	38,59
PUNTO 2	13,20	25,266	20,1	83,2	0,065	94,35	26,0	55,20
PUNTO 3	19,30	14,097	24,0	83,8	0,065	94,35	26,0	55,20
PUNTO 4	19,70	13,595	67,5	86,0	0,065	94,35	26,0	55,20

ESTACIÓN N°	ÍNDICE I ₅	COLIFORMES FECALES	ÍNDICE I ₂	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF)	DESCRIPTOR DE LA CALIDAD DEL AGUA	OBSERVACIONES
	NITRATOS		COLIFORMES FECALES	WQI (ICA)		
	10%	(NMP/100ml)	15%	100%		
PUNTO 1	95,821	230,0	37,089	69,68	MEDIO	INCIDENCIA DEL ARnD, POR USUARIOS NO RESIDENCIALES, LO QUE BAJA LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS ÁREAS ESTABLECIDAS.
PUNTO 2	95,821	20,0	64,729	63,89	MEDIO	
PUNTO 3	95,821	20,0	64,729	60,22	MEDIO	
PUNTO 4	95,821	40,0	56,885	72,54	BUENO	EN ESTA ZONA, SE PRESENTA UNA BUENA ASIMILACIÓN Y DILUCIÓN DE LA Cc.

FUENTE: ICA NSF Y ECUACIONES ELABORADAS POR:
YENI CRISTINA VARGAS MUÑOZ - INGENIERA AMBIENTAL UNIVERSIDAD CORHUILA
REINALDO SEGURO SEGURO - INGENIERO SANITARIO UNIVERSIDAD DE ANTOQUIA

Tabla 39. Resumen del Cálculo del ICA o WQI, para las diferentes estaciones.

ESTACIÓN N°	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
% SATURACIÓN O.D.	84,2	26,4	8,9	91,4
COLIFORMES FECALES	37,1	64,7	64,7	56,9
pH	64,5	67,2	70,2	64,9
DBO5	41,3	25,3	14,1	13,6
NITRATOS	95,8	95,8	95,8	95,8
FOSFATOS	94,3	94,3	94,3	94,3
DESVIACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	90,2	90,2	90,2	90,2
TURBIEDAD	38,6	55,2	55,2	55,2
SST	85,1	83,2	83,8	86,0
ÍNDICE DE CALIDAD	69,7	63,9	60,2	72,5
DESCRIPTOR DEL ÍNDICE DE CALIDAD	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BUENO

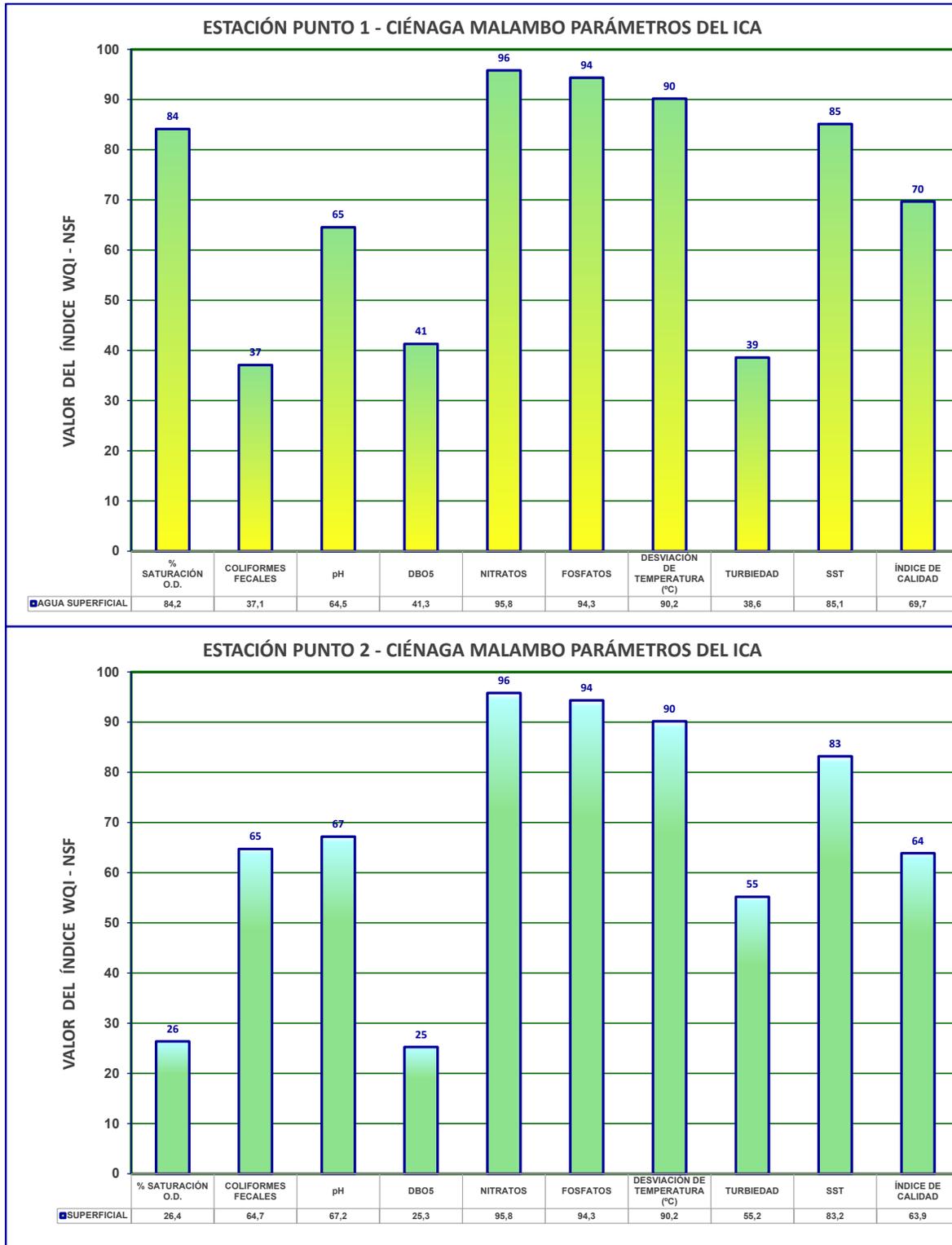


Figura 24. Resumen del cálculo de los ICA en P1 y P2 - 2022.

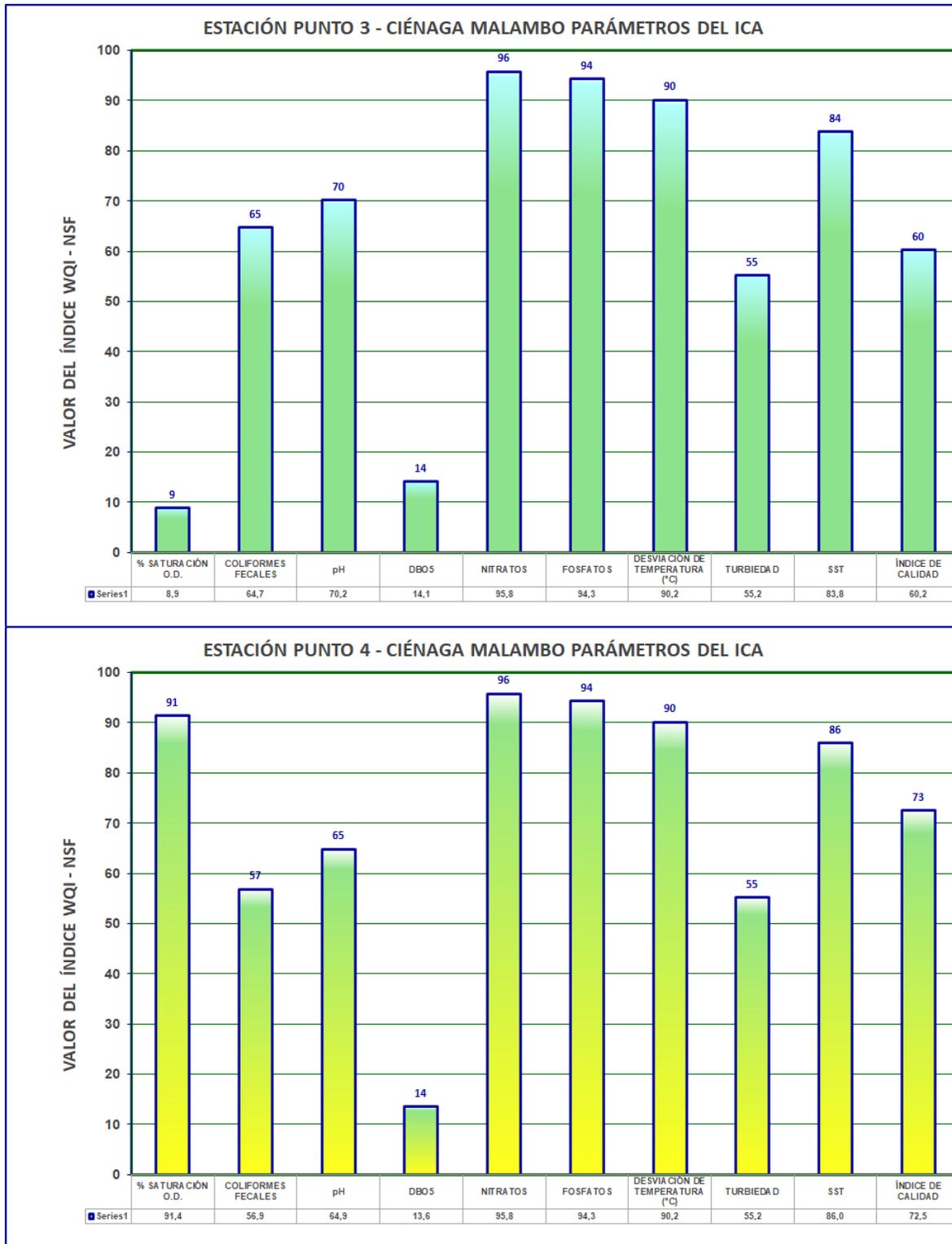


Figura 25. Resumen del cálculo de los ICA en P3 y P4 - 2022.

En la siguiente tabla se aprecian algunas metodologías empleadas para determinar la calidad del agua con base en diferentes parámetros, lo que permite reforzar el análisis realizado en el presente estudio.

Tabla 40. Metodologías aplicadas para estimar la calidad del agua en las diferentes estaciones.

INDICE	PARAMETROS	FORMULA DE AGREGACION
CCME Water Quality Index (CCMEWQI)	Se basa en el logro de objetivos que son los límites seguros provistos por la legislación.	$WQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}$ <p>Donde: F1, F2, F3 son los factores alcance, frecuencia, y cantidad de veces por la cual los objetivos no se alcanzaron</p>
Índice NSF	Temperatura, pH, OD, DBO ₅ , SDT, Turbiedad, Coliformes fecales, fósforo total, nitrato.	$WQI = \sum_{i=1}^n S_i W_i$ <p>Donde: WQI=Índice de Calidad del Agua S_i=Subíndice del parámetro i W_i=Factor de ponderación para el subíndice i</p>
Índice de León, México	OD, DBO, DQO, pH, SST, Coliformes Totales, Coliformes fecales, Nitratos, Amonio, Fosfatos, Fenoles, Temperatura, Acidez/Alcalinidad como CaCO ₃ , Cloruros	$ISQA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{w_i}]$ <p>Donde: w_i=Pesos de cada parámetro Q_i=Calidad del parámetro i</p>
Índice de Contaminación ICO, Colombia	Conductividad, Dureza, Alcalinidad, DBO, Coliformes Totales, Oxígeno %, SS, Fósforo Total, Temperatura, pH	$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$ $ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes}} + I_{\text{Oxígeno\%}})$ $ICOSUS = -0,02 + 0,0003SS$ $ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1 + e^{-31,08+3,45pH}}$

Fuente: Fernández y Solano (2005) y CCME WQI (2006).

Tabla 41. Datos tomados para estimar por diferentes metodologías la calidad del agua en la Ciénaga Malambo en las diferentes estaciones.

DATOS DE MEDIDAS TOMADAS EN 2022 DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DE LA CIÉNAGA MALAMBO																		
ESTACIÓN MONITOREO	DBO5	DQO	SST	OD	Conductividad	pH	Sólidos Sedimentables	Nitratos	Sulfatos	Fosfatos	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Temperatura	Alcalinidad	Dureza	Amonio	Turbidez	Clorofila "a"
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µS)		(ml/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100 mL)	(NMP/100 mL)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NTU	(mg/m ³)
PUNTO 1	8,20	20	86,50	7,0	270,75	6,38	0,1	0,300	97,3	0,065	3500	230	29,78	70,00	192,1	1	49,0	35,0
PUNTO 2	13,20	23	20,10	3,2	270,00	6,45	0,1	0,300	100,2	0,065	700	20	29,95	68,00	188,7	0,7	26,0	26,4
PUNTO 3	19,30	49	24,00	1,3	277,00	6,54	0,1	0,300	104,7	0,065	490	20	29,70	71,00	192,3	0,5	26,0	36,2
PUNTO 4	19,70	43	67,50	7,6	271,00	6,37	0,1	0,300	97,2	0,065	16000	40	30,28	72,00	197,0	0,8	26,0	23,9
PUNTO 5	4,80	10	24,80	3,4	274,25	6,38	0,1	0,300	105,0	0,065	2400	20	29,93	72,00	196,9	0,6	49,0	30,5
PROMEDIO	13,0	29,0	44,6	4,5	272,60	6,4	0,1	0,300	100,88	0,065	4618	66	29,93	70,60	193,40	0,720	35,20	30,40
MEDIA GEOMÉTRICA	11,5	25,0	37,1	3,8	272,59	6,4	0,1	0,300	100,82	0,065	2151	37	29,92	70,58	193,37	0,700	33,50	30,02
MEDIANA	13,2	23,0	24,8	3,4	271,00	6,4	0,1	0,3	100,2	0,1	2400,0	20,0	29,9	71,0	192,3	0,7	26,0	30,5

NOTA: Los valores subrayados son asumidos del "ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LURUACO, ATLÁNTICO"

Tabla 42. Índice de calidad por mineralización - ICOMI.

ESTACIÓN MONITOREO	LOG 10 lconductividad	lconductividad	LOG 10 lDureza	IDureza	lAlcalinidad	ICOMI	INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA POR MINERALIZACIÓN
PUNTO 1	0,00	1,00	0,96	1,00	0,10	0,70	Alta contaminación por mineralización
PUNTO 2	0,00	1,00	0,92	1,00	0,09	0,70	Alta contaminación por mineralización
PUNTO 3	0,01	1,00	0,96	1,00	0,11	0,70	Alta contaminación por mineralización
PUNTO 4	0,00	1,00	1,01	1,00	0,11	0,70	Alta contaminación por mineralización
PUNTO 5	0,01	1,00	1,00	1,00	0,11	0,70	Alta contaminación por mineralización
PROMEDIO						0,701	Alta contaminación por mineralización
MEDIA GEOMÉTRICA						0,701	Alta contaminación por mineralización
MEDIANA						0,702	Alta contaminación por mineralización

Tabla 43. Índice de calidad por materia orgánica - ICOMO.

ESTACION MONITOREO	Altitud	Factor de corrección OD	Oxígeno Disuelto		Porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto	IOxígeno %	IDBO	IColiformes Totales	ICOMO	INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA POR MATERIA ORGÁNICA
	3 m.s.n.m		Medido	Corregido						
	Presión Atmosférica (mm de Hg)		(mg/L)	(mg/L)						
PUNTO 1	759,73	0,99965	6,95	6,95	79,13	0,21	0,59	0,54	0,45	Media cotaminación por materia orgánica
PUNTO 2	759,73	0,99965	3,20	3,20	36,45	0,64	0,73	0,15	0,51	Media cotaminación por materia orgánica
PUNTO 3	759,73	0,99965	1,30	1,30	14,80	0,85	0,85	0,07	0,59	Media cotaminación por materia orgánica
PUNTO 4	759,73	0,99965	7,63	7,62	86,95	0,13	0,86	0,91	0,63	Alta cotaminación por materia orgánica
PUNTO 5	759,73	0,99965	3,43	3,42	39,01	0,61	0,43	0,45	0,50	Media cotaminación por materia orgánica
PROMEDIO									0,535	Media cotaminación por materia orgánica
MEDIA GEOMÉTRICA									0,531	Media cotaminación por materia orgánica
MEDIANA									0,508	Media cotaminación por materia orgánica

Tabla 44. Índice de calidad por SST - ICOSUS.

ESTACIÓN MONITOREO	Sólidos Suspendedos Totales	ICOSUS	INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS
	(mg/L) o (g/m ³)		
PUNTO 1	86,50	0,24	Baja Contaminación por SST
PUNTO 2	20,10	0,04	Baja Contaminación por SST
PUNTO 3	24,00	0,05	Baja Contaminación por SST
PUNTO 4	67,50	0,18	Baja Contaminación por SST
PUNTO 5	24,80	0,05	Baja Contaminación por SST
PROMEDIO	44,580	0,114	Baja Contaminación por SST
MEDIA GEOMÉTRICA	37,054	0,087	Baja Contaminación por SST
MEDIANA	24,800	0,054	Baja Contaminación por SST

Tabla 45. Índice de calidad por contaminación trófica - ICOTRO.

ESTACIÓN MONITOREO	Fosfatos	ICOTRO	INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE POR CONTAMINACIÓN TRÓFICA
	(mg/L) o (g/m ³)		
PUNTO 1	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
PUNTO 2	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
PUNTO 3	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
PUNTO 4	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
PUNTO 5	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
PROMEDIO	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
MEDIA GEOMÉTRICA	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta
MEDIANA	0,065	Eutrófico	Eutrófico - Contaminación Media a Alta

5.6. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CONSIDERACIONES PRINCIPALES EMPLEADAS PARA LA APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN

Para la modelación, es imprescindible establecer el volumen aproximado en cada área de incidencia, teniendo en cuenta las medidas estimadas de la batimetría realizada en el estudio donde las profundidades varían de 0,5 en épocas de estiaje, hasta 2,2 m en épocas húmedas y/o crecientes del Río Magdalena y los arroyos tributarios a los complejos cenagosos, con base en la ubicación de cada estación de monitoreo establecida, para lo cual se estimaron las siguientes áreas y volúmenes en cuatro estaciones principales: (P1, P2, P3 Y P4).

Se demarcan el área de drenaje del Arroyo San Blas y Caño el Sapo (55,2 km² de área tributaria – Caudal Medio de 828 L/s), el Área Urbana, tributaria al sistema de alcantarillado urbano del Municipio de Malambo, el área del Centro Poblado Caracolí, que tributa al Arroyo Caracolí y llega directamente a la Ciénaga Mesolandia.

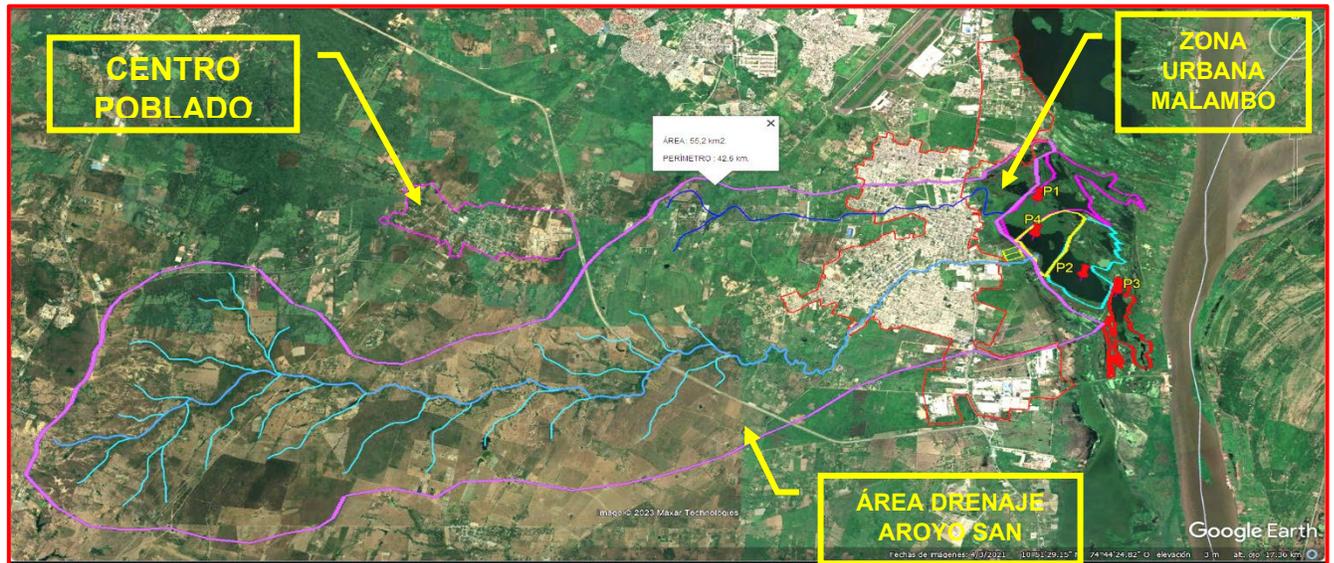


Figura 26. Zonificación propuesta para las herramientas de modelación.

Se definieron cuatro áreas principales en las cuales se dividió el área aproximada del espejo de agua de la Ciénaga Malambo y se estimaron los volúmenes correspondientes a cada área, las cuales se esquematizaron en archivos kmz para visualizar en Google Earth, y poder estimar la calidad del agua en cada estación y realizar la respectiva modelación, considerando las diferentes medidas que se han realizado en la ciénaga.

Esta división se propone considerando que ya se han establecido los cuatro Puntos de Monitoreo y que hacen parte de la propuesta de continuar con esta red de monitoreo en las próximas medidas que se realicen. Igualmente se tuvo en cuenta la zonificación que ya se había manejado anteriormente, la cual dividía toda el área de la Ciénaga Malambo en cuatro zonas, que para el caso de la división aplicada por la consultoría quedaría así:

Tabla 46. Batimetría estimada para las herramientas de modelación.

COTA CURVA DE NIVEL	ALTURA POR CADA CURVA DE NIVEL	ÁREA ESTIMADA POR CADA CURVA DE NIVEL	PORCENTAJE DE ÁREA	VOLUMEN POR CADA CURVA DE NIVEL	VOLUMEN EFECTIVO ACUMULADO
(msnm)	(m)	(m ²)	%	(m ³)	(m ³)
0,390	0,28	460.345	14,00%	151329	151.329
0,423	0,27	624.754	19,00%	237578	388.907
0,585	0,23	1.150.863	35,00%	254646	643.553
0,340	0,29	1.052.218	32,00%	604546	1.248.100
TOTAL		3.288.181	1,00	1.248.100	(m³)

Tabla 47. Áreas y volúmenes estimados para las herramientas de modelación.

ESTIMATIVO DE ÁREAS Y VOLÚMENES DE LAS PRICIPALES ESTACIONES DE MONITOREO EN LA CIÉNAGA MALAMBO					
ESTACIÓN DE MONITOREO	ÁREA ESTIMADA			VOLUMEN ESTIMADO	
	(ha)	(m ²)	% ESTIMADO	(m ³)	(L)
PUNTO 3	46,03	460.345	14,00%	174.734	174.733.964
PUNTO 4	62,48	624.754	19,00%	237.139	237.138.951
PUNTO 2	115,09	1.150.863	35,00%	436.835	436.834.910
PUNTO 1	105,22	1.052.218	32,00%	399.392	399.391.918
TOTAL	328,82	3.288.181	100%	1.248.100	1.248.099.744

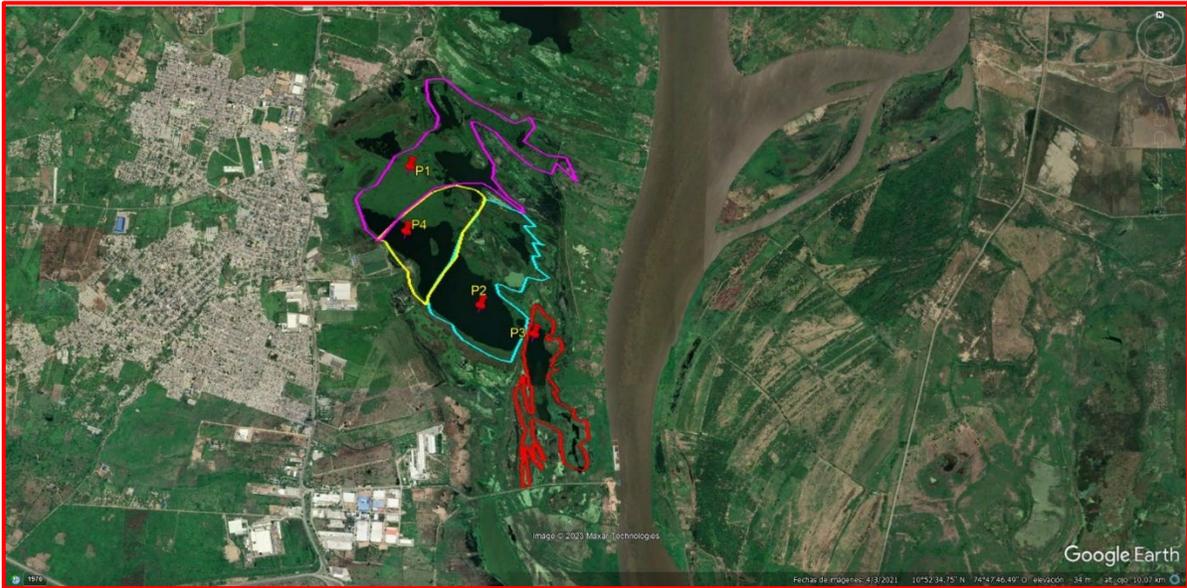


Figura 27. Áreas demarcadas aproximadamente en los P1, P2, P3 y P4.



Figura 28. Área estimada para la estación Punto 1.

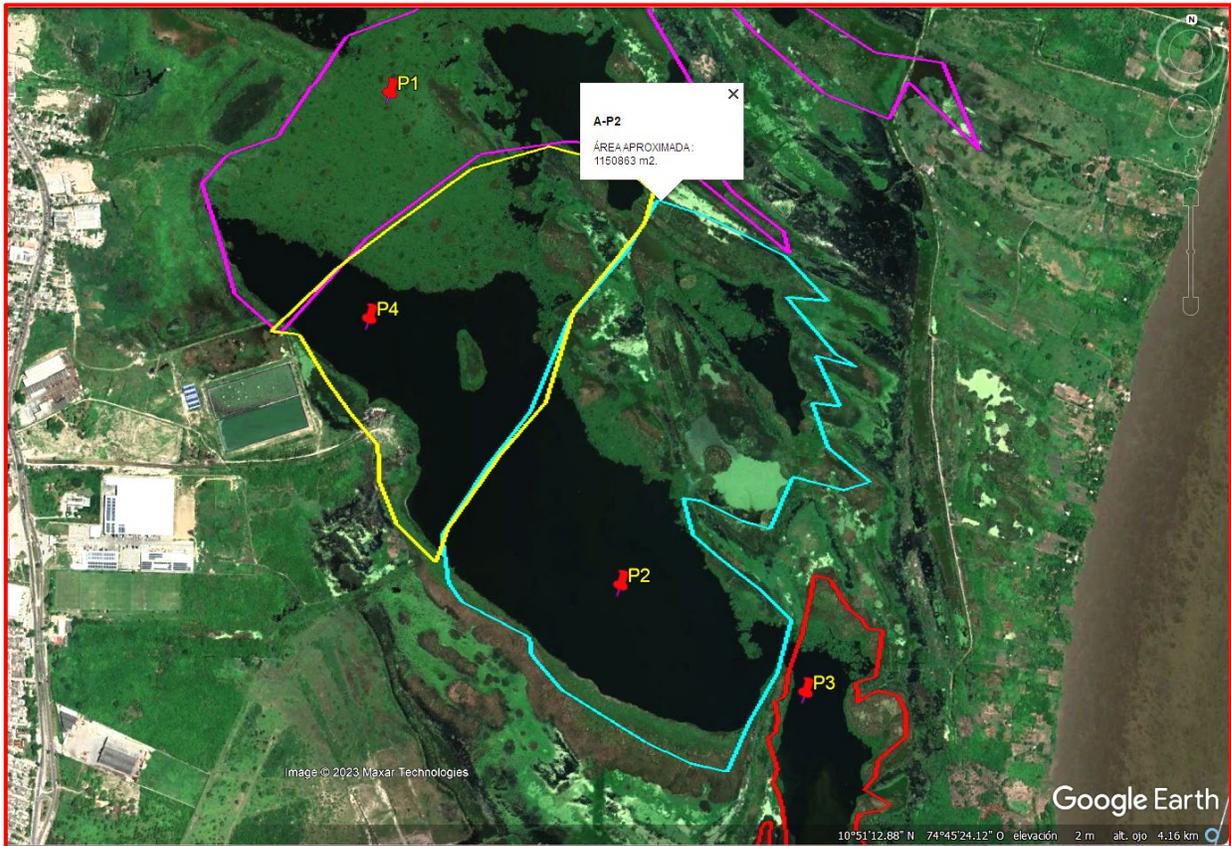


Figura 29. Área estimada para la estación Punto 2.



Figura 30. Área estimada para la estación Punto 3.

Se aprecia en la fotografía aérea la llegada de vía directa y Puerto sobre la margen izquierda del Río Magdalena, donde debería llegar la tubería de descarga del alcantarillado de la parte sur del área urbana de Malambo.

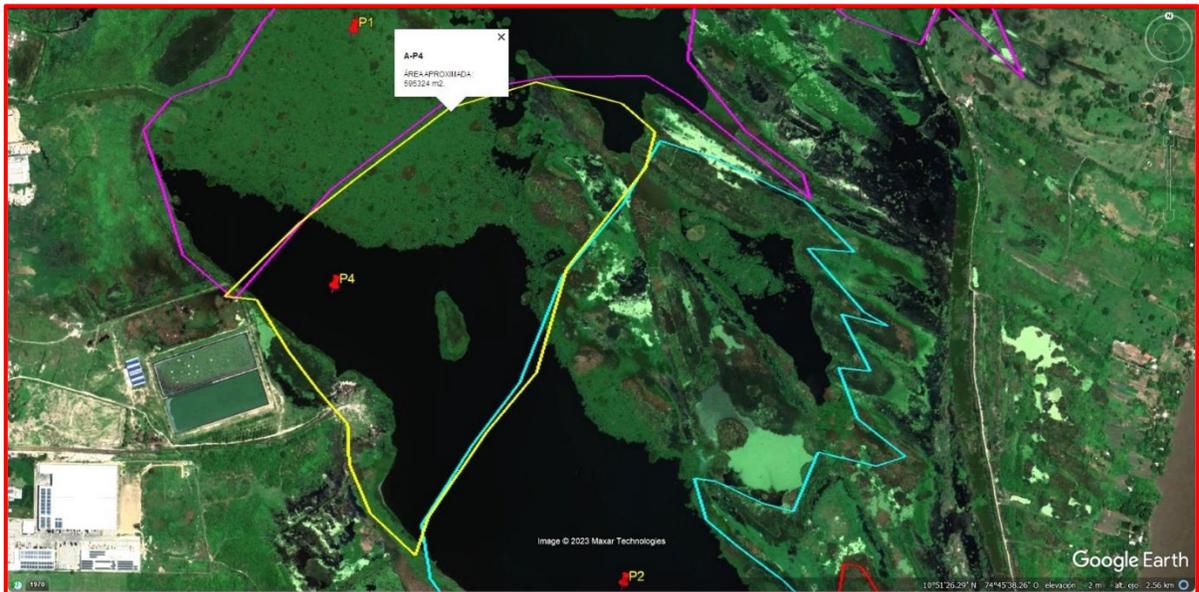


Figura 31. Área estimada para la estación Punto 4.

Con las medidas tomadas en cada estación, se definieron áreas de influencia y se midieron por cada estación en Google Earth, se estimó una profundidad promedio para todas las estaciones es de 1,10 m (Mediana de alturas de batimetría de estaciones – ver tabla 32), para finalmente calcular el volumen estimado por las 4 estación de 1.248.100 m³, (1,2481 millones de metros cúbicos) aproximadamente y en condiciones normales.

Es de aclarar que al igual que en las tablas y graficas anteriores, solo se describen algunos de los cálculos realizados y considerados en las diferentes modelaciones, ya que la información complementaria a éstos, se adjuntará en varios archivos soporte y una presentación explicando el desarrollo del proyecto y del documento que integra toda la información, para facilitar el entendimiento y desarrollo. Dichos archivos anexos serán un documento en pdf, archivos de imágenes en jpg, archivos de Google Earth con extensión kmz y las aplicaciones en Excel, que conforman los soportes de los cálculos y utilización de las diferentes ecuaciones reportadas. Por lo anterior, en los siguientes apartes solo se enunciarán dos ejemplos de cómo se realizaron las medidas de áreas y los cálculos complementarios a estas, ya que las demás medidas se podrán consultar en los archivos anexos y la presentación.

5.7. MODELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Una vez evaluados y analizados los resultados de las medidas del monitoreo, de las modelaciones para determinar el índice de estado trófico y el índice de la calidad del agua en la ciénaga, se realizó la modelación aplicando una herramienta desarrollada en Excel, en la cual se muestra cual sería el escenario óptimo o más apropiado, para estimar el abatimiento del oxígeno disuelto con respecto a la degradación de la materia orgánica y la recuperación de éste en el tiempo, tomando el modelo matemático de calidad de aguas desarrollado por Streeter y Phelps, analizando el balance de oxígeno en la ciénaga, y estableciendo el abatimiento y la recuperación de éste en el tiempo, tal como se presenta en las 4 estaciones calculadas en las siguientes tablas y gráficas, considerando las descargas teóricas asumidas por estación tanto en caudal como en concentración de DBO_5 .

Luego de haber comprobado la productividad, la dilución tan alta que presenta la ciénaga, el oxígeno que se produce y demanda por unidad de área y el estado trófico de ésta, se realizaron varios escenarios de análisis del comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto y la degradación de la materia orgánica como demanda bioquímica de oxígeno para establecer medidas y requerimientos, que puedan ser acogidos en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), que implemente o se esté implementando en la Corporación, en pro de reglamentar adecuadamente el área de la ciénaga por zonas y/o sectores productivos; así como emprender las actividades y acciones necesarias para establecer una red de monitoreo permanente, y en lo posible obtener medidas mensuales, que permitan calibrar los diferentes modelos acá planteados y/o implementar nuevos modelos con mucho más desarrollo tecnológico, inclusive para diferentes épocas climáticas y profundidades.

Inicialmente se plantean dos análisis, en los cuales se considerarán descargas de aguas residuales con concentraciones de DBO_5 fijas y variables, al igual que caudales variables, para sostener en la Ciénaga concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 4 mg/L, tal como aparece en las siguientes tablas. Es de aclarar que solo se describen en el presente documento los valores resumen de las modelaciones ya en el documento anexo se muestran todas las tablas y graficas de abatimiento del oxígeno versus las concentraciones máximas y mínimas de DBO_5 , y el aplicativo en Excel con predicciones para diferentes escenarios de vertimientos.

Tabla 48. Análisis de la modelación, de Streeter and Phelps, estimando los tiempos de recuperación del OD (Periodo de 6 a 10 días), en las zonas de descargas de aguas residuales a la Ciénaga Malambo.

ESTACIÓN	TEMPERATURA	DBO ₅ (mg/L)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	OXIGENO DISUELTO REQUERIDO (mg/L)	TIEMPO DE RECUPERACIÓN (d)	RANGO PARA DEFINIR OBJETIVOS DE CALIDAD			
						CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBOu (mg/L)		CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO ₅ (mg/L)	
						MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
P1	29,8	8,2	7,0	1,92	6	13,98	3,60	11,4	2,9
P2	30,0	13,2	3,2	-2,31	8	22,97	6,07	18,4	4,9
P3	29,7	19,3	1,3	-10,35	9	37,11	8,82	31,7	7,5
P4	30,3	19,7	7,6	-5,06	10	32,75	10,35	22,6	7,1

Si bien a la Ciénaga pueden llegar o tributar grandes caudales de aguas residuales y/o de escorrentía y/o por el aporte de ríos, quebradas, caños y/o canales, es necesario asumir caudales apropiados para realizar el análisis y la modelación, por lo tanto se asumen caudales de acuerdo a las descargas de los Arroyos San Blas y caño El Sapo, que en estimativos de rendimientos de 15 L/s-km², (Ver estudio ASOCARS y Universidad de Magdalena, así como rendimientos hídricos del ENA 2010, 2014 y 2018 del IDEAM), que para el área total de 55,2 km², se tendría un caudal total de 823 L/s (Caudal que supera el estimado para consumo humano en el municipio), para un periodo de tiempo que va desde 6 días hasta los 10 días que en promedio supera el tiempo que sería necesario en la recuperación de los niveles de OD, máxime cuando se asume una concentración promedio de 275,53 mg/L de DBO₅. que es el valor medido en el año 2022 como promedio que se proyecta las medidas realizadas.

Es de aclarar que lo más importante es llegar a estimar la Carga Máxima y la Carga Sugerida de 350 kg/d, para vertimientos de DBO₅ en el año 2048 (Periodo de 25 años de acuerdo al RAS), así como una carga contaminante por SST de 400 kg/d, en el año 2048, que se debe permitir, considerando que el potencial de la ciénaga podría ser para consumo humano y aprovechamiento turístico de ésta. Respecto a los valores calculados se podrán obtener asumiendo diferentes escenarios de vertimientos y/o concentraciones, que pueden ser analizados a través del comando “buscar objetivo”, en la aplicación del modelo realizado en Excel.

Tabla 49. Análisis con medidas de Temperatura, DBO5 y OD, en la Ciénaga Malambo y los valores asumidos de la constante K1.

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA POR PUNTO ESTABLECIDO ESTIMADA EN LA CIÉNAGA	PROFUNDIDAD MEDIA DEL ÁREA DE INFLUENCIA	VOLUMEN ESTIMADO POR ÁREA POR PUNTO DE LA CIÉNAGA
	(m ²)	(m)	(m ³)
P1	1.052.218	1,12	1.178.484
P2	1.150.863	1,09	1.250.605
P3	460.345	0,93	425.819
P4	624.754	1,17	730.963
PROMEDIO	822.045	1,08	896.468
TOTAL	3.288.181		3.585.871
DECARGA DE AGUAS RESIDUALES Y ESCORRENTÍA			
TEMPERATURA	DBO ₅	OXÍGENO DISUELTO	CAUDAL VERTIDO
°C	(mg/L)	(mg/L)	(L/s)
29,8	275,53	0,00	157
30,0	275,53	0,00	132
29,7	275,53	0,00	168
30,3	275,53	0,00	235
30	275,53	0,00	173
TOTAL			692

Para la aplicación del algoritmo generado en Excel, se procede a introducir los datos obtenidos del monitoreo del año 2022, que para este caso se tomaron los valores correspondientes a las medidas en los cinco puntos de la ciénaga, lo que puede generar cinco escenarios de comparación para determinar cuál es el más apropiado, acorde a los resultados que se obtengan con la aplicación en Excel.

Tabla 50. Resultados de la modelación después de los vertimientos de aguas residuales, generando los valores de Temperatura, DBO5 y OD, con concentraciones inferiores a 5 mg DBO5/L y superiores a 4 mg OD /L.

ESTACIÓN	TEMPERATURA	DBO ₅ (mg/L)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	OXIGENO DISUELTO REQUERIDO (mg/L)	TIEMPO DE RECUPERACIÓN (d)	RANGO PARA DEFINIR OBJETIVOS DE CALIDAD			
						CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBOu (mg/L)		CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO ₅ (mg/L)	
						MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
P1	29,8	8,2	7,0	1,92	6	13,98	3,60	11,4	2,9
P2	30,0	13,2	3,2	-2,31	8	22,97	6,07	18,4	4,9
P3	29,7	19,3	1,3	-10,35	9	37,11	8,82	31,7	7,5
P4	30,3	19,7	7,6	-5,06	10	32,75	10,35	22,6	7,1

Acorde a la modelación realizada con la ecuación de Streeter y Phelps en cada estación, la carga orgánica contaminante que fue asumida para ciertos valores de caudal y concentración de DBO₅ 173 L/s de ARD en promedio, con una concentración de 275,53 mg DBO₅/L, que puede incrementar el valor de la DBO₅ en el tiempo, que en algunas estaciones alcanzar a abatir por debajo de 4 mg/L el OD, el cual se demora como mínimo para recuperarse es de 6 día a 10 días, lo que en el año 2048, solo se permita verter 350 kg/d, de DBO5 y de 400 kg/d de SST, que son equivalentes a 127,75 Ton/año, de DBO5 y 146 Ton/año, de SST, lo que permite recuperar el potencial durante los próximos 25 años para agua potable, intercambio íctico y paisajismo.

Por lo anterior es de considerar que la PTAR construida y que de acuerdo a los reportes del PSMV presentado por Aguas de Malambo, entraría en funcionamiento en el año 2023, se recomienda adelantar las obras que recojan y transporten las ARD + ARnD, que aún no se han recolectado y transportado a la PTAR, incrementando la cobertura del servicio que actualmente está por debajo del 80% y que debe incrementarse en los próximos 5 años en por lo menos un 85% de cobertura, donde la descarga de aguas residuales tratadas debe conducirse hasta el Río Magdalena, lo que permitirá una mayor Capacidad de Carga Contaminante (Cc), de acuerdo a la dinámica del Río Magdalena.

Tabla 51. Resultados de la modelación después de los vertimientos de aguas residuales, generando los valores de las cargas orgánicas máximas y permitidas como Kg por día de DBO5.

ESTACIÓN	MEDIDAS PROMEDIAS DE AGUAS EN LA CIÉNAGA				ZONA DE MEZCLA		
	TEMPERATURA	DBO ₅	CONSTANTE K1	OXÍGENO DISUELTO	RANGOS PARA DEFINIR OBJETIVOS DE CALIDAD EN LA CIENAGA POR PUNTO DE MONITOREO		
	°C	(mg/L)	d ⁻¹	(mg/L)	TEMPERATURA	DBO ₅	OXÍGENO DISUELTO
	°C	(mg/L)	d ⁻¹	(mg/L)	°C	(mg/L)	(mg/L)
P1	29,8	8,2	0,3388	7,0	29,8	11,2	6,87
P2	30,0	13,2	0,3235	3,2	30,0	15,6	3,17
P3	29,7	19,3	0,3868	1,3	29,7	27,8	1,26
P4	30,3	19,7	0,2341	7,6	30,3	26,6	7,42
PROMEDIO	29,9	15,1	0,3208	4,77	29,9	20,3	4,68
ESTACIÓN	CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO _u (mg/L)		CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO ₅ (mg/L)		CARGA DBO5 GENERADA POR EL VERTIMIENTO	CARGA MÁXIMA PERMITIDA DE DBO5	CARGA SUGERIDA PARA VERTER DE DBO5
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA	(Kg/d)	(Kg/d)	(Kg/d)
P1	13,984	3,6	11,4	2,9	3.733	155	40
P2	22,973	6,1	18,4	4,9	3.138	210	55
P3	37,113	8,8	31,7	7,5	4.006	462	110
P4	32,747	10,4	22,6	7,1	5.594	459	145
PROMEDIO	26,7	7,2	21,0	5,6	4.118	321	87
TOTAL					16.471	1.284	350

Considerando que las cargas generadas por los vertimientos de aguas residuales asumidas, son bajas, es procedente evaluar la pertinencia de permitir niveles de carga contaminante máximos, ya que no existe la certidumbre necesaria para adoptar valores altos, por lo tanto la Consultoría estima apropiado sugerir a la Autoridad Ambiental, cargas permisibles de acuerdo al límite inferior que muestra la modelación y que permitan asegurar un equilibrio ecológico de la ciénaga, ya que el estado trófico y la productividad de este permiten una buena producción de OD por fotosíntesis y una baja demanda para la degradación de la materia orgánica, por lo que se debe primero afianzar la red de monitoreo continuo y la calibración de las aplicaciones con base en mediadas periódicas, en espacios de tiempo cortos, y para diferentes estados del clima.

Tabla 52. Análisis 1, Recuperación del OD en la estación Punto 1.

PARÁMETRO	CIÉNAGA	DESCARGA	MEZCLA	UNIDADES	TIEMPO t (d)	D(t)	C	DBO _u DE LA CARGA PERMITIDA (L _a)		DÉFICIT DE O.D.	
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DESOXIGENACIÓN PARA t EN DÍAS (K _d)					t _c	(mg/L)	(mg/L)	LIMITE SUPERIOR (L _a ⁺)	LIMITE INFERIOR (L _a ⁻)	LIMITE SUPERIOR (D ⁺)	LIMITE INFERIOR (D ⁻)
K _d (APC)	0,3388	0,3388	0,339	d ⁻¹	0	1,91	6,87	3,89	1,00	1,43	1,43
K _d (FPC)	0,531	0,531	0,531	d ⁻¹	1	5,73	3,05	11,69	3,01	4,29	4,29
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE OXIGENACIÓN O AERACIÓN PARA t EN DÍAS (K _a)					2	6,86	1,92	13,98	3,60	5,13	5,13
K _a (APC)	0,240	0,230	0,240	d ⁻¹	3	6,67	2,11	13,60	3,50	4,99	4,99
K _a (FPC)	0,280	0,268	0,280	d ⁻¹	4	5,91	2,87	12,06	3,11	4,42	4,42
CONSTANTE DE AUTOPURIFICACIÓN f PARA AGUAS RECEPTORAS A 20°C (f=K _d /K _a)					5	4,98	3,80	10,16	2,62	3,73	3,73
f (APC)	0,708	0,679	0,708	d ⁻¹	6	4,07	4,71	8,30	2,14	3,04	3,04
f (FPC)	0,526	0,504	0,526	d ⁻¹	7	3,25	5,53	6,63	1,71	2,43	2,43
TEMPERATURA DEL AGUA	29,8	29,8	29,8	°C	8	2,56	6,22	5,23	1,35	1,92	1,92
VOLUMEN DE AGUA	1.178.484	13.549	1.192.033	m ³	9	2,00	6,78	4,08	1,05	1,49	1,49
DBO ₅	8,200	275,530	11,238	mg/L	10	1,65	7,23	3,15	0,81	1,16	1,16
L _a (DBO _u)	8,821	296,386	12,089	mg/L	11	1,19	7,59	2,43	0,63	0,89	0,89
OXÍGENO DISUELT	6,9500	0,0000	6,8710	mg/L	12	0,91	7,87	1,86	0,48	0,68	0,68
ALTITUD	3	3	3	msnm	13	0,70	8,08	1,42	0,37	0,52	0,52
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	760	760	760	mmHg	14	0,53	8,25	1,08	0,28	0,40	0,40
FACTOR DE CORRECCIÓN O.D.	1,000	1,000	1,000		15	0,40	8,38	0,82	0,21	0,30	0,30
OXÍGENO DISUELT CORREGIDO	6,947	0,000	6,868	mg/L	16	0,31	8,47	0,63	0,16	0,23	0,23
% DE SATURACIÓN OXÍGENO DISUELT	79,12%	0,00%	78,22%		17	0,23	8,55	0,47	0,12	0,17	0,17
CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE O.D. (C _s)	8,780	8,780	8,780	mg/L	18	0,18	8,60	0,36	0,09	0,13	0,13
DEFICIT O.D. (D _o)	1,830	8,780	1,909	mg/L	19	0,13	8,65	0,27	0,07	0,10	0,10
					20	0,10	8,68	0,21	0,05	0,08	0,08

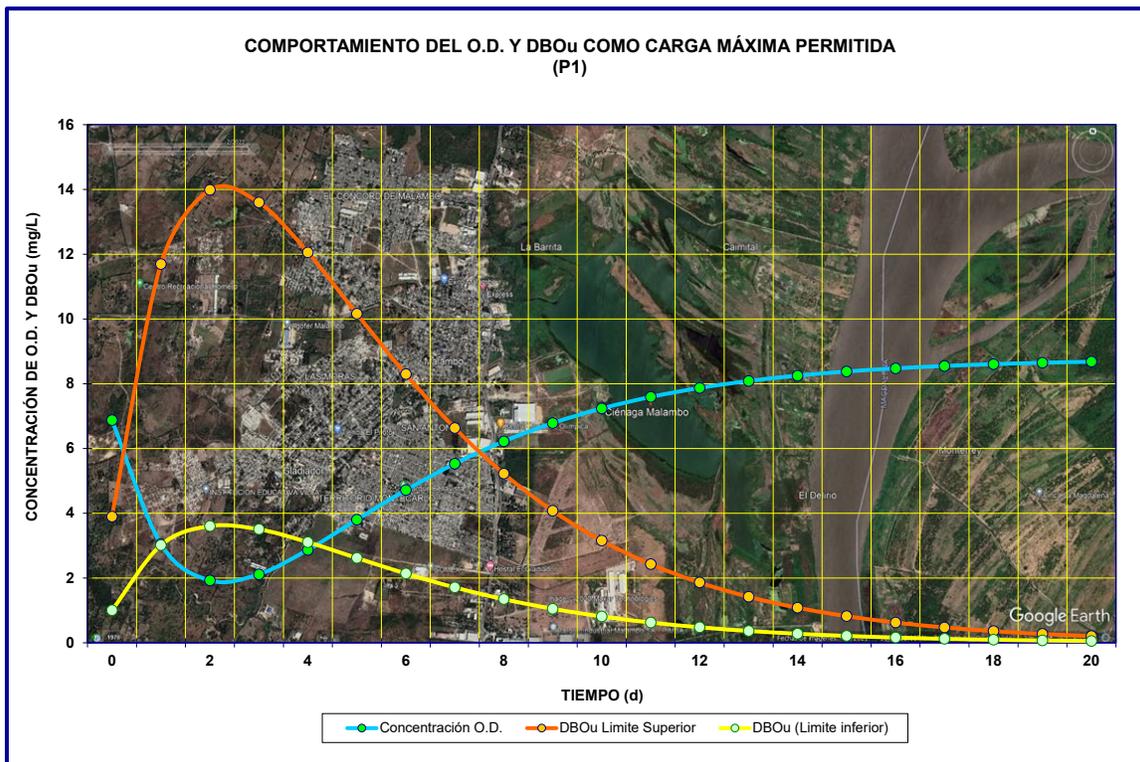


Figura 32. Análisis 1. Recuperación del OD a los 6 días, estación Punto 1.

Tabla 53. Análisis 2, Recuperación del OD en la estación Punto 2.

PARÁMETRO	CIÉNAGA	DESCARGA	MEZCLA	UNIDADES	TIEMPO t (d)	D(t)	C	DBO _u DE LA CARGA PERMITIDA (L _a)		DÉFICIT DE O.D.	
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DESOXIGENACIÓN PARA t EN DÍAS (K _d)					t ^c	(mg/L)	(mg/L)	LÍMITE SUPERIOR (L _a ⁺)	LÍMITE INFERIOR (L _a ⁻)	LÍMITE SUPERIOR (D ⁺)	LÍMITE INFERIOR (D ⁻)
K _d (DFC)	0,3236	0,3235	0,323	d ⁻¹	0	5,60	3,17	11,62	3,07	4,18	4,18
K _d (FPC)	0,511	0,511	0,511	d ⁻¹	1	10,05	-1,27	20,84	5,51	7,50	7,50
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE OXIGENACIÓN O AERACIÓN PARA t EN DÍAS (K ₁)					2	11,08	-2,31	22,97	6,07	8,27	8,27
K ₁ (DFC)	0,240	0,230	0,240	d ⁻¹	3	10,46	-1,69	21,69	5,73	7,81	7,81
K ₁ (FPC)	0,281	0,269	0,281	d ⁻¹	4	9,16	-0,38	18,99	5,02	6,84	6,84
CONSTANTE DE AUTOPURIFICACIÓN t PARA AGUAS RECEPTORAS A 20°C (t=K ₁ /K _d)					5	7,67	1,10	15,90	4,20	5,73	5,73
f ₁ (DFC)	0,742	0,711	0,742	d ⁻¹	6	6,25	2,53	12,95	3,42	4,66	4,66
f ₁ (FPC)	0,548	0,525	0,548	d ⁻¹	7	4,99	3,79	10,34	2,73	3,72	3,72
TEMPERATURA DEL AGUA	30,0	30,0	30,0	°C	8	3,93	4,84	8,15	2,15	2,93	2,93
VOLUMEN DE AGUA	1.250.605	11.389	1.261.994	m ³	9	3,07	5,71	6,36	1,68	2,29	2,29
DBO ₅	13,2	275,5	15,6	mg/L	10	2,37	6,40	4,92	1,30	1,77	1,77
L ₀ (DBO _u)	14,2	299,8	16,9	mg/L	11	1,83	6,95	3,79	1,00	1,37	1,37
OXÍGENO DISUELTO	3,2	0,00	3,2	mg/L	12	1,40	7,37	2,91	0,77	1,05	1,05
ALTITUD	3	3	3	msnm	13	1,07	7,70	2,22	0,59	0,80	0,80
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	760	760	760	mmHg	14	0,82	7,94	1,69	0,45	0,61	0,61
FACTOR DE CORRECCIÓN O.D.	1,000	1,000	1,000		15	0,62	8,15	1,29	0,34	0,46	0,46
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	3,199	0,000	3,170	mg/L	16	0,47	8,30	0,98	0,26	0,35	0,35
% DE SATURACIÓN OXIGENO DISUELTO	36,45%	0,00%	36,12%		17	0,36	8,42	0,74	0,20	0,27	0,27
CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE O.D. (C _s)	8,775	8,775	8,775	mg/L	18	0,27	8,50	0,56	0,15	0,20	0,20
DÉFICIT O.D. (D _e)	5,575	8,775	5,604	mg/L	19	0,21	8,57	0,43	0,11	0,15	0,15
					20	0,16	8,62	0,32	0,09	0,12	0,12

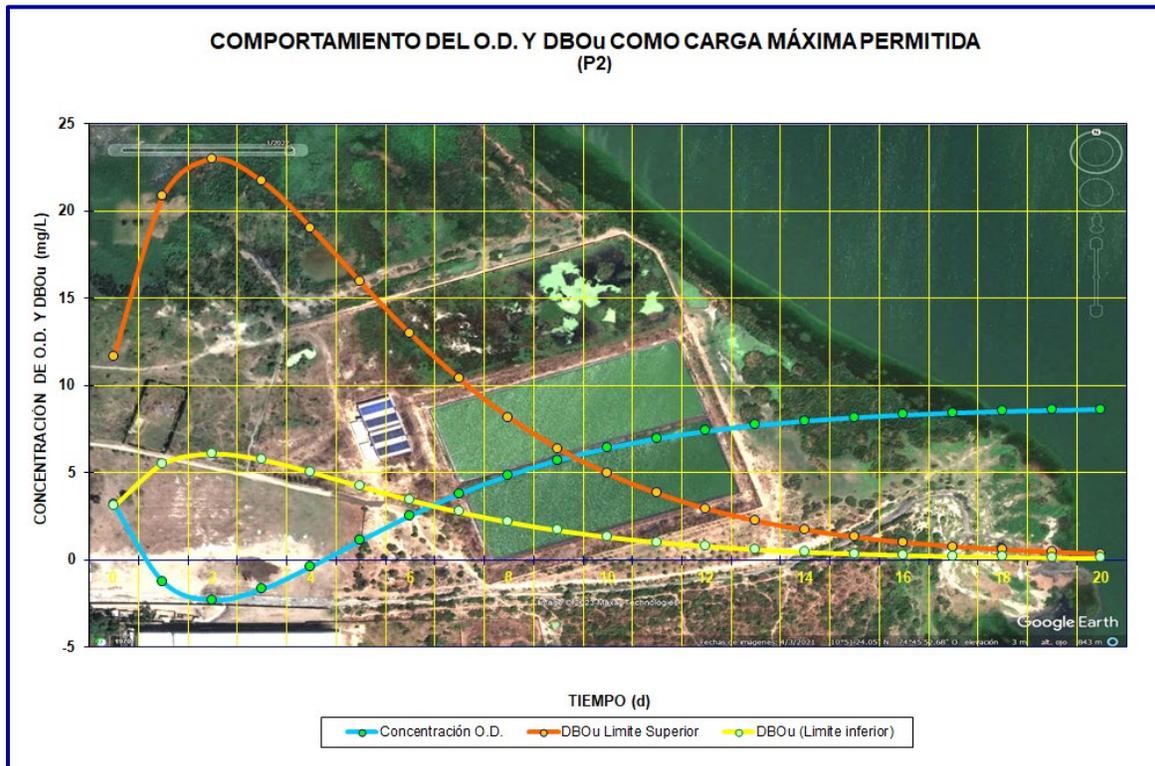


Figura 33. Análisis 2. Recuperación del OD a los 8 días, estación Punto 2.

Tabla 54. Análisis 3, Recuperación del OD en la estación Punto 3.

PARÁMETRO	CIÉNAGA	DESCARGA	MEZCLA	UNIDADES	TIEMPO t (d)	D(t)	C	DBO _u DE LA CARGA PERMITIDA (L ^a)		DÉFICIT DE O.D.	
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DESOXIGENACIÓN PARA t EN DÍAS (K _d)					t _c	(mg/L)	(mg/L)	LIMITE SUPERIOR (L ^a)	LIMITE INFERIOR (L ^a)	LIMITE SUPERIOR (D ^o)	LIMITE INFERIOR (D ^o)
K _d (OPC)	0,3868	0,3868	0,387	d ⁻¹	0	7,53	1,26	14,59	3,47	5,67	5,67
K _d (FIC)	0,604	0,604	0,604	d ⁻¹	1	17,07	-8,29	33,11	7,87	12,86	12,86
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE OXIGENACIÓN O AERACIÓN PARA t EN DÍAS (K _a)					2	19,14	-10,35	37,11	8,82	14,42	14,42
K _a (OPC)	0,240	0,230	0,240	d ⁻¹	3	17,87	-9,09	34,67	8,24	13,47	13,47
K _a (FIC)	0,280	0,268	0,279	d ⁻¹	4	15,38	-6,80	29,83	7,09	11,59	11,59
CONSTANTE DE AUTOPURIFICACIÓN f PARA AGUAS RECEPTORAS A 20°C (f=K _a /K _d)					5	12,65	-3,87	24,53	5,83	9,53	9,53
f (OPC)	0,620	0,595	0,620	d ⁻¹	6	10,12	-1,34	19,63	4,67	7,63	7,63
f (FIC)	0,462	0,442	0,461	d ⁻¹	7	7,96	0,82	15,44	3,67	6,00	6,00
TEMPERATURA DEL AGUA					8	6,19	2,60	12,00	2,85	4,66	4,66
TEMPERATURA DEL AGUA	29,7	29,7	29,7	°C	9	4,77	4,01	9,25	2,20	3,59	3,59
VOLUMEN DE AGUA					10	3,66	5,13	7,09	1,89	2,75	2,75
VOLUMEN DE AGUA	425.819	14.540	440.359	m ³	11	2,79	5,99	5,42	1,29	2,10	2,10
DBO ₅					12	2,13	6,66	4,12	0,98	1,60	1,60
DBO ₅	19,3	275,5	27,8	mg/L	13	1,62	7,17	3,14	0,75	1,22	1,22
L ₀ (DBO _u)					14	1,23	7,56	2,38	0,57	0,92	0,92
L ₀ (DBO _u)	29,3	289,7	29,2	mg/L	15	0,93	7,85	1,80	0,43	0,70	0,70
OXÍGENO DISUELTO					16	0,71	8,08	1,37	0,33	0,53	0,53
OXÍGENO DISUELTO	1,3	0,00	1,3	mg/L	17	0,53	8,25	1,04	0,25	0,40	0,40
ALTITUD					18	0,40	8,38	0,78	0,19	0,30	0,30
ALTITUD	10	10	10	msnm	19	0,31	8,48	0,59	0,14	0,23	0,23
PRESIÓN ATMOSFÉRICA					20	0,23	8,55	0,45	0,11	0,17	0,17
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759	759	759	mmHg							
FACTOR DE CORRECCIÓN O.D.											
FACTOR DE CORRECCIÓN O.D.	0,999	0,999	0,999								
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO											
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	1,298	0,000	1,256	mg/L							
% DE SATURACIÓN OXÍGENO DISUELTO											
% DE SATURACIÓN OXÍGENO DISUELTO	14,78%	0,00%	14,30%								
CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE O.D. (C _s)											
CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE O.D. (C _s)	8,782	8,782	8,782	mg/L							
DEFICIT O.D. (D ₀)											
DEFICIT O.D. (D ₀)	7,482	8,782	7,525	mg/L							

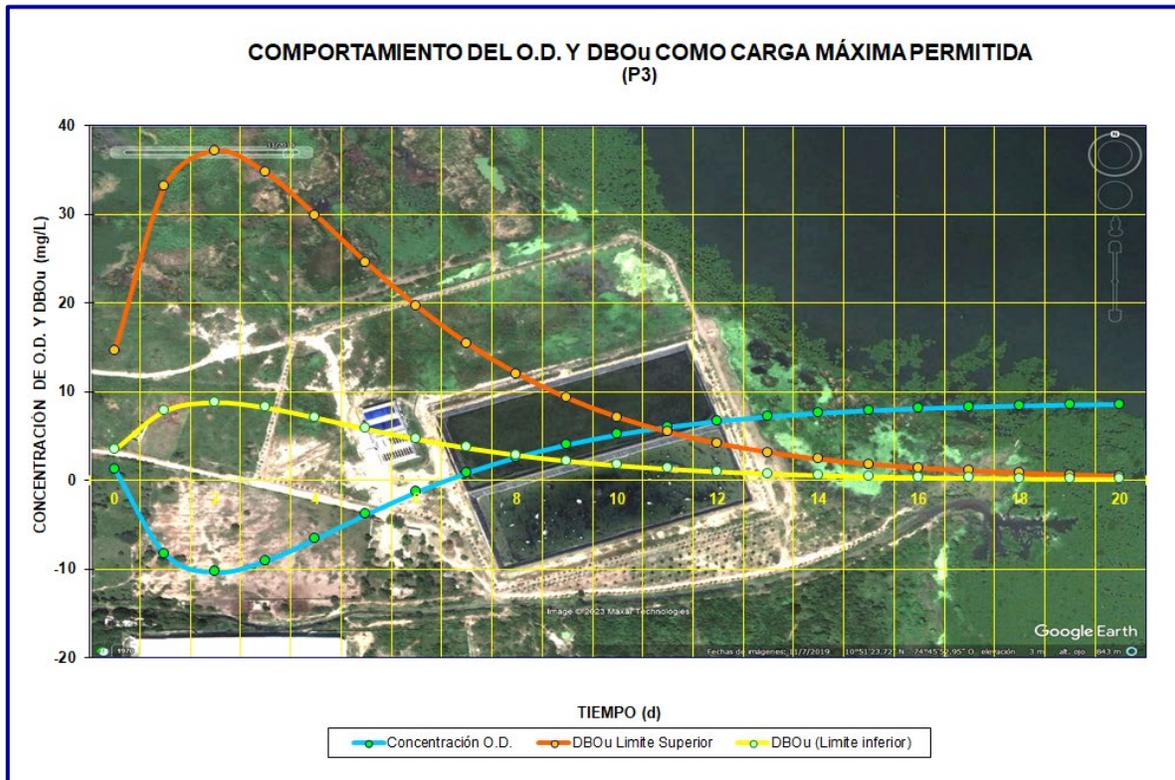


Figura 34. Análisis 3. Recuperación del OD a los 9 días, estación Punto 3.

Tabla 55. Análisis 4, Recuperación del OD en la estación Punto 4.

PARÁMETRO	CIÉNAGA	DESCARGA	MEZCLA	UNIDADES	TIEMPO t (d)	D(t)	C	DBO _u DE LA CARGA PERMITIDA (La)		DÉFICIT DE O.D.	
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DESOXIGENACIÓN PARA 1 EN DÍAS (K _d)					t ^c	(mg/L)	(mg/L)	LIMITE SUPERIOR (La ⁺)	LIMITE INFERIOR (La ⁻)	LIMITE SUPERIOR (D ⁺)	LIMITE INFERIOR (D ⁻)
K _d (gpc)	0,2341	0,2341	0,234	d ⁻¹	0	1,35	7,42	3,19	1,01	0,99	0,99
K _d (fpc)	0,375	0,375	0,375	d ⁻¹	1	9,51	-0,74	22,53	7,12	7,02	7,02
CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN DE OXIGENACIÓN O AERACIÓN PARA 1 EN DÍAS (K _a)					2	13,01	-4,24	30,82	9,74	9,60	9,60
K _a (gpc)	0,240	0,230	0,240	d ⁻¹	3	13,82	-5,06	32,75	10,35	10,21	10,21
K _a (fpc)	0,282	0,270	0,282	d ⁻¹	4	13,18	-4,42	31,23	9,87	9,73	9,73
CONSTANTE DE AUTOPURIFICACIÓN f PARA AGUAS RECEPTORAS A 20°C (f=K _d /K _a)					5	11,84	-3,07	28,04	8,87	8,74	8,74
f (gpc)	1,025	0,983	1,024	d ⁻¹	6	10,23	-1,46	24,24	7,66	7,55	7,55
f (fpc)	0,750	0,719	0,749	d ⁻¹	7	8,61	0,15	20,40	6,45	6,36	6,36
TEMPERATURA DEL AGUA	30,3	30,3	30,3	°C	8	7,11	1,68	16,84	5,33	5,25	5,25
VOLUMEN DE AGUA	730.963	20.301	751.264	m ³	9	5,79	2,98	13,71	4,33	4,27	4,27
DBO ₅	19,7	275,5	26,6	mg/L	10	4,65	4,11	11,03	3,49	3,44	3,44
L ₀ (DBO _u)	23,3	325,4	31,4	mg/L	11	3,71	5,06	8,79	2,78	2,74	2,74
OXÍGENO DISUELTO	7,6	0,0	7,4	mg/L	12	2,94	6,83	6,96	2,20	2,17	2,17
ALTITUD	10	10	10	msnm	13	2,31	6,46	5,47	1,73	1,70	1,70
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759	759	759	mmHg	14	1,81	6,96	4,28	1,35	1,33	1,33
FACTOR DE CORRECCIÓN O.D.	0,999	0,999	0,999		15	1,41	7,36	3,33	1,05	1,04	1,04
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	7,615	0,000	7,410	mg/L	16	1,09	7,67	2,59	0,82	0,81	0,81
% DE SATURACIÓN OXÍGENO DISUELTO	86,87%	0,00%	84,52%		17	0,84	7,92	2,00	0,63	0,62	0,62
CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE O.D. (C _s)	8,766	8,766	8,766	mg/L	18	0,65	8,11	1,54	0,49	0,48	0,48
DÉFICIT O.D. (D ₀)	1,141	8,766	1,347	mg/L	19	0,50	8,26	1,19	0,38	0,37	0,37
					20	0,39	8,38	0,91	0,29	0,28	0,28

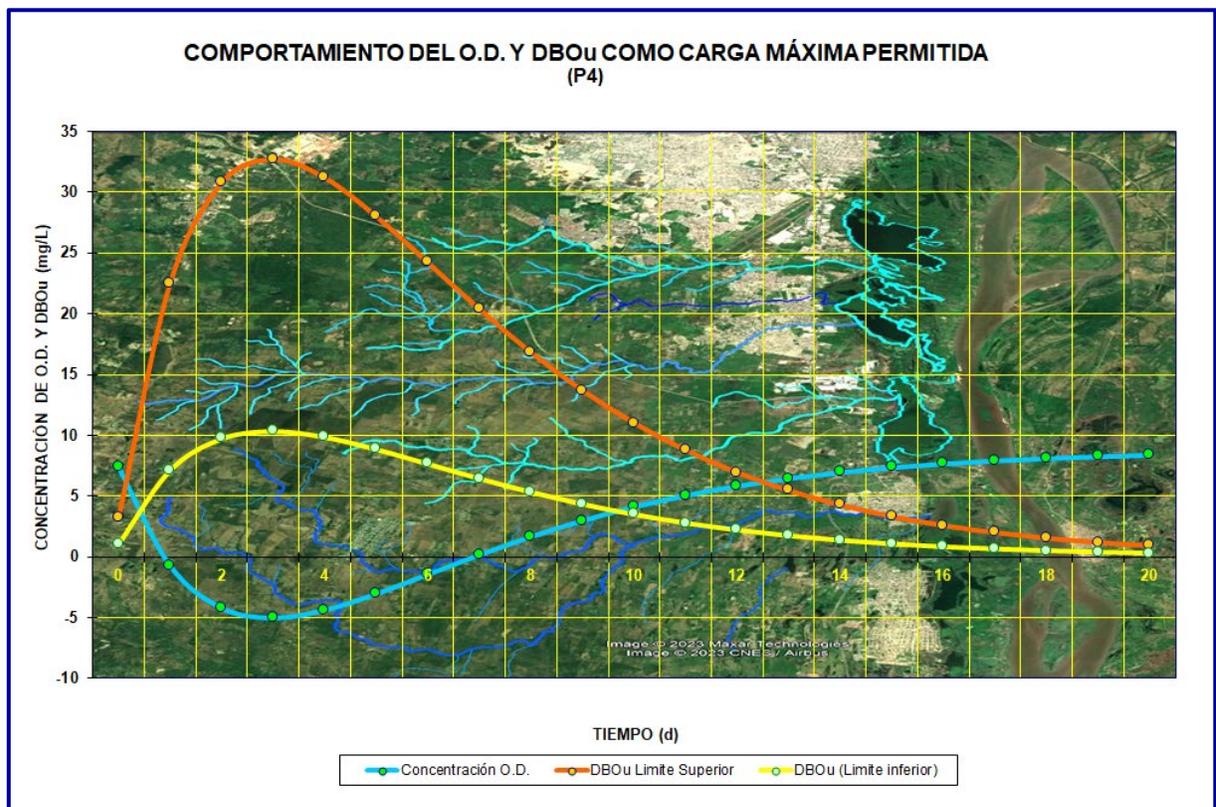


Figura 35. Análisis 4. Recuperación del OD a los 10 días, estación Punto 4.

Tabla 56. Resumen de cargas permitidas de DBO5, por estación.

ESTACIÓN	TEMPERATURA	DBO ₅ (mg/L)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	OXIGENO DISUELTO REQUERIDO (mg/L)	TIEMPO DE RECUPERACIÓN (d)	RANGO PARA DEFINIR OBJETIVOS DE CALIDAD			
						CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO _u (mg/L)		CARGA MÁXIMA PERMITIDA COMO DBO ₅ (mg/L)	
						MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
P1	29,8	8,2	7,0	1,92	6	13,98	3,60	11,4	2,9
P2	30,0	13,2	3,2	-2,31	8	22,97	6,07	18,4	4,9
P3	29,7	19,3	1,3	-10,35	9	37,11	8,82	31,7	7,5
P4	30,3	19,7	7,6	-5,06	10	32,75	10,35	22,6	7,1

Es de aclarar que de acuerdo a los resultados y teniendo en cuenta la recuperación del oxígeno disuelto en la ciénaga, y acorde a las cargas máximas y permitidas que se pueden verter en condiciones normales en la ciénaga, es necesario plantear y analizar diferentes escenarios para determinar la pertinencia de ajustar, corregir y/o complementar los datos bajo los cuales se asumieron la línea base para las cargas vertidas o a verter, las metas de reducción individual, grupal y las metas de reducción globales, así como los objetivos de calidad con base en valores ajustados a las condiciones de calidad del agua y a los usos de ésta en las diferentes zonas planteadas por la Consultoría.

Se pretende entonces con este análisis realizar un chequeo con un balance de masa o de cargas, el cual se modela con una aplicación en Excel, que bajo varios escenarios de medidas de la(s) fuente(s) hídrica(s), y de medidas de las principales descargas de aguas residuales, y de los volúmenes estimados, se analiza la conveniencia de verter ciertas cantidades de carga contaminante, que permitan ajustar los objetivos de calidad a las condiciones reales y medidas en diferentes periodos en la ciénaga, lo cual se podrá calibrar apropiadamente una vez se cuente con la red de monitoreo permanente que se implemente en ésta.

La gran solución a toda la problemática de contaminación de la Ciénaga Malambo, es realizar los vertimientos de aguas residuales urbanas (ARD + ARnD), tratadas o no, al sistema de alcantarillado que recoja, conduzca y dirija al Río Magdalena, los vertimientos de Carga Contaminante, lo que aislaría los vertimientos de Cc a la Ciénaga, permitiendo su recuperación en poco tiempo, es decir en menos de 25 años (Periodo de diseño de la PTAR).

Es de aclarar que en los documentos anexos se describen los demás cálculos realizados en la modelación del abatimiento de oxígeno disuelto, con las respectivas gráficas, pero también se anexa el archivo en Excel para que la entidad realice las simulaciones necesarias de acuerdo a diferentes escenarios que determine planificar, ya que en este informe solo se deja un escenario planteado y que la Consultoría sugiere aplicar, acorde a las mediciones realizadas.

Tabla 57. Resumen de los principales parámetros utilizados en la modelación.

PARÁMETRO	SITIO DE MONITOREO				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
pH (Und. de H+) (In Situ)	6,365	6,4475	6,555	6,3775	6,3825
Temperatura (°C) (In Situ)	29,775	29,95	29,7	30,275	29,925
Conductividad (uS/cm) (In Situ)	270,75	270	277	271	274,25
Oxígeno Disuelto (mg/L) (In Situ)	6,95	3,2	1,3	7,625	3,425
Clorofila A	28	26	35	24	31
Nitratos (mg NO3/L)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Nitritos (mg NO2-N/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Fosfato (mg P-PO4/L)	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652
Fósforo Total (mg P/L)	0,161	0,176	0,083	0,101	0,131
Nitrógeno Amoniacal (mg NH3-N/L)	1	0,7	0,5	0,8	0,6
Nitrógeno Total Kjendahl (NKT) (mg N/L)	1,773	1,767	1,884	1,38	1,552
DBO5 (mg O2/L)	8,2	13,2	19,3	19,7	4,8
DQO (mg O2/L)	20	23	49	43	10
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	86,5	20,1	24	67,5	24,8
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	3500	700	490	16000	2400
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	230	20	20	40	20
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	10°51'50,06"N	10°51'05,94"N	10°50'56,71"N	10°51'29,46"N	10°51'46,95"N
	74°45'43,12"O	74°45'20,32"O	74°45'02,88"O	74°45'44,37"O	74°45'21,00"O

Con los datos anteriores se procedió a evaluar el escenario más apropiado para determinar la capacidad de carga orgánica que puede asimilar la Ciénaga Malambo, considerando los diferentes aspectos evaluados anteriormente, previendo los valores máximos y los valores de carga orgánica que se puede verter a éste, sugiriendo a la Autoridad Ambiental Competente (AAC), los valores de las cargas que se pueden adoptar, con el fin de sostener el equilibrio ecológico y garantizar que la demanda de oxígeno no supere la oferta existente. Por tal motivo, en las siguientes tablas se presentan los resúmenes de los valores sugeridos de cargas que se deben considerar por estación, sección y zona de la Ciénaga.

Tabla 58. Datos y resultados en la estimación del estado trófico en las estaciones de monitoreo principales de la ciénaga Malambo.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET			PRODUCTIVIDAD CON BASE EN MEDIDAS DE CLOROFILA a (Tapia - 2006)	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET (2022)		
	TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	FOSFATOS	CLOROFILA a		IE POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
	(m)	(mg/L)	(mg/m3)		SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE
PUNTO 1	0.78	0,0652	28,0	AGUAS PRODUCTIVAS	63,39	64,42	63,43
PUNTO 2	0.76	0,0652	26,0	AGUAS PRODUCTIVAS	63,83	64,42	62,71
PUNTO 3	0.65	0,0652	35,0	AGUAS PRODUCTIVAS	66,14	64,42	65,55
PUNTO 4	0.82	0,0652	24,0	AGUAS PRODUCTIVAS	62,76	64,42	61,91
PUNTO 5	0.75	0,0652	31,0	AGUAS PRODUCTIVAS	64,05	64,42	64,40
PROMEDIO	0,752	0,065	28,80	AGUAS PRODUCTIVAS	64,04	64,42	63,60
MEDIA GEOMÉTRICA	0,750	0,065	28,55	AGUAS PRODUCTIVAS	64,03	64,42	63,59
MEDIANA	0,755	0,065	26,00	AGUAS PRODUCTIVAS	63,94	64,42	62,71

NOTA: Se asumen las ecuaciones aplicadas en los cálculos del IET, para el Embalse El Guajaro que es un embalse somero de baja profundidad.
DS = 64,3811461123933*EXP(-0,0695373834806505*IET).

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	ESTADO TRÓFICO - IET (2022)			ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET CARLSON - (1977 - 1980)			ESTADO TRÓFICO - IET CARLSON - (1977 - 1980)		
	IE POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE
PUNTO 1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	63,50	64,39	63,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	63,94	64,39	62,56	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	66,26	64,39	65,48	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 4	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	62,88	64,39	61,78	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 5	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	64,16	64,39	64,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
PROMEDIO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	64,15	64,39	63,48	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
MEDIA GEOMÉTRICA	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	64,14	64,39	63,47	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
MEDIANA	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	63,94	64,39	63,29	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Tabla 59. Datos y resultados en la estimación del estado trófico en las estaciones de monitoreo principales de la Ciénaga Malambo.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET AIZAKI et al. - (1981)			ESTADO TRÓFICO - IET AIZAKI et al. - (1981)		
	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a	IET POR TRANSPARENCIA DISCO SECCHI	IET POR FOSFATOS	IET POR CLOROFILA a
		SUPERFICIE	SUPERFICIE		SUPERFICIE	SUPERFICIE
PUNTO 1	69,80	45,07	60,97	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 2	70,32	45,07	60,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 3	73,08	45,07	63,40	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
PUNTO 4	69,06	45,07	59,28	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
PUNTO 5	70,59	45,07	62,08	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
PROMEDIO	70,57	45,07	61,18	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
MEDIA GEOMÉTRICA	70,56	45,07	61,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
MEDIANA	70,45	45,07	60,16	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO

5.8. CHEQUEO Y REVISIÓN DE LA SIMULACIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR LA CARGA PERMISIBLE EN LA CIÉNAGA MALAMBO Y LA PROPUESTA PARA COMPLEMENTAR Y/O AJUSTAR LA LÍNEA BASE, LOS OBJETIVOS DE CALIDAD Y ESTABLECER LAS METAS DE REDUCCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE DE ACUERDO A LA MODELACIÓN DE STREETER Y PHELPS

de la anterior modelación de la capacidad de carga, y de acuerdo a lo dispuesto en el Decreto 1076 de 2015, Decreto 050 de 2018, Decreto 703 de 2018, Resolución 0631 de 2015, se plantea con base en ejercicios de balance de cargas contaminantes para cada estación monitoreada en la ciénaga en el año 2022, acorde a las condiciones iniciales y futuras que deben cumplir los usuarios que hacen vertimientos a la Ciénaga Malambo, con el fin de ajustar adecuadamente las metas de reducción de carga contaminante tanto global, como individualmente o grupal y por estación. Consecuente a lo descrito anteriormente, y teniendo en cuenta que ya se ha realizado un análisis detallado del estado de la calidad del agua en la Ciénaga Malambo, es necesario tomar aproximadamente los datos de cargas que se podrían verter a ésta, en las diferentes áreas planteadas por la Consultoría y referenciadas en los 4 puntos de muestreo.

Considerando además las concentraciones de DBO5 y SST adoptadas, ya que son los parámetros sujetos del cobro de tasa retributiva (Decreto 1076 de 2015 y los modificatorios), y analizar cuál sería el escenario más desfavorable que se tendría en cada sección de la ciénaga, pero que permita cumplir con unos objetivos de calidad apropiados de acuerdo a las medidas obtenidas en los diferentes monitoreos y a los usos que actualmente se le dan a las aguas de la Ciénaga Malambo, así como ajustar y/o complementar la línea base adoptada por la Corporación, para determinar finalmente las metas de reducción de carga contaminante, que se deberían aplicar, previendo los usos actuales y potenciales del recurso hídrico, en cada área propuesta.

Tabla 60. Proyección Caudales de AR y Concentración media de DBO5 y SST.

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN PROYECTADA (habitantes) (hab)	COBERTURA SISTEMA ACUEDUCTO	COBERTURA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES (L/s)					CONCENTRACIÓN MEDIDA VERTIMIENTO ARD	
				GENERADO	RECOLECTADO	TRANSPORTADO	TRATADO	VERTIDO	[DBO5]	[SST]
									(mg/L)	(mg/L)
2023	171.217	95%	85,5%	224	192	192	192	224	275,53	469,67
2024	173.108	95%	85,5%	227	194	194	194	227	275,53	469,67
2025	175.019	95%	85,5%	229	196	196	196	229	275,53	469,67
2026	176.951	95%	85,5%	232	198	198	198	232	275,53	469,67
2027	178.902	95%	85,5%	234	200	200	200	234	275,53	469,67
2028	180.875	95%	85,5%	237	202	202	202	237	275,53	469,67
2029	182.868	95%	85,5%	239	205	205	205	239	275,53	469,67
2030	184.881	95%	85,5%	242	207	207	207	242	275,53	469,67
2031	186.917	95%	85,5%	245	209	209	209	245	275,53	469,67
2032	188.973	95%	85,5%	247	211	211	211	247	275,53	469,67
2033	191.051	98%	93,1%	258	240	240	240	258	282,97	450,00
2034	193.151	98%	93,1%	261	243	243	243	261	282,97	450,00
2035	195.273	98%	93,1%	264	245	245	245	264	282,97	450,00
2036	197.417	98%	93,1%	266	248	248	248	266	282,97	450,00
2037	199.584	98%	93,1%	269	251	251	251	269	282,97	450,00
2038	201.773	98%	93,1%	272	254	254	254	272	282,97	450,00
2039	203.985	98%	93,1%	275	256	256	256	275	282,97	450,00
2040	206.221	98%	93,1%	278	259	259	259	278	282,97	450,00
2041	208.479	98%	93,1%	281	262	262	262	281	282,97	450,00
2042	210.762	98%	93,1%	284	265	265	265	284	282,97	450,00
2043	213.068	100%	100,0%	293	293	293	293	293	294,12	450,00
2044	215.398	100%	100,0%	297	297	297	297	297	294,12	470,00
2045	217.753	100%	100,0%	300	300	300	300	300	294,12	470,00
2046	220.132	100%	100,0%	303	303	303	303	303	294,12	470,00
2047	222.536	100%	100,0%	307	307	307	307	307	294,12	470,00
2048	224.965	100%	100,0%	310	310	310	310	310	294,12	470,00

Tabla 61. Proyección Cargas Contaminantes de AR, para DBO5 y SST.

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN PROYECTADA (habitantes) (hab)	REMOCIÓN DE CARGA EN LA PTAR		APOORTE PERCAPITA DE CARGA (g/hab-d)		PROYECCIÓN DE CARGA (Kg/d)			PROYECCIÓN DE CARGA (Kg/d)		
		(DBO5)	(SST)	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	CARGA DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)			CARGA DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)		
						GENERADA	TRATADA	VERTIDA	GENERADA	TRATADA	VERTIDA
2023	171.217	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5333	4357	237	9091	7526	289
2024	173.108	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5392	4405	240	9191	7609	292
2025	175.019	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5452	4454	242	9293	7693	296
2026	176.951	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5512	4503	245	9395	7778	299
2027	178.902	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5573	4553	248	9499	7863	302
2028	180.875	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5634	4603	250	9604	7950	306
2029	182.868	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5696	4654	253	9710	8038	309
2030	184.881	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5759	4705	256	9817	8126	312
2031	186.917	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5822	4757	259	9925	8216	316
2032	188.973	95,6%	96,8%	31,15	53,10	5886	4809	262	10034	8306	319
2033	191.051	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6305	5609	280	10026	9037	319
2034	193.151	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6374	5670	283	10136	9137	322
2035	195.273	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6444	5733	286	10248	9237	326
2036	197.417	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6515	5796	290	10360	9339	330
2037	199.584	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6586	5859	293	10474	9441	333
2038	201.773	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6659	5924	296	10589	9545	337
2039	203.985	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6732	5988	299	10705	9649	341
2040	206.221	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6805	6054	303	10822	9755	344
2041	208.479	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6880	6120	306	10941	9862	348
2042	210.762	95,6%	96,8%	33,00	52,48	6955	6187	309	11061	9970	352
2043	213.068	95,6%	96,8%	35,00	53,55	7457	7126	331	11410	11047	363
2044	215.398	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7539	7204	335	12047	11664	383
2045	217.753	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7621	7283	339	12179	11791	387
2046	220.132	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7705	7362	342	12312	11920	392
2047	222.536	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7789	7443	346	12446	12050	396
2048	224.965	95,6%	96,8%	35,00	55,93	7874	7524	350	12582	12182	400

Para dicho análisis se tomaron las cuatro zonas o estaciones monitoreadas, y se realizó un balance de cargas con respecto a los volúmenes estimados en cada estación, partiendo de una línea base supuesta pero coherente con los valores promedios obtenidos en las medidas realizadas en cada punto, y para los parámetros de DBO₅ y de SST que son objeto del cobro de la Tasa Retributiva, y que deben estar articulados a los objetivos de calidad del agua establecidos por la Corporación, los cuales pueden ser ajustados y/o complementados una vez se definan los límites permisibles para realizar el vertimiento de aguas residuales a la ciénaga y ajustarlos además acorde a las mediciones realizadas y a los diferentes escenarios que se pueden modelar.

Como propuesta se sugiere muy respetuosamente continuar con los Objetivos de Calidad establecidos de 5 mg/L para DBO_5 y de los 15 mg/L para SST, valores que pueden ser objeto de ajuste en épocas de invierno o periodos húmedos cuando se incrementa el aporte de contaminantes por la escorrentía, lo cual puede ser corroborado con un monitoreo en periodo de lluvias o época invernal, por la Autoridad Ambiental y previendo los usos actuales y potenciales del recurso hídrico de la Ciénaga Malambo, que sería la potenciación de agua para consumo humano, intercambio íctico, microbiológico y paisajístico.

Es de gran importancia resaltar que la solución más apropiada es que se debe trasladar las descargas directas e indirectas del sistema público de alcantarillado del área urbana de Malambo a la Ciénaga, hacia descargas directamente al Río Magdalena, lo que permitiría una recuperación inmediata y adecuada de la Ciénaga Malambo; ya que se trasladaría la Cc de las ARD + ARnD, vertidas a las ciénagas, cambiando las condiciones de calidad del agua.

Para la mayoría de las estaciones, se cumple los Objetivos de Calidad, para un vertimiento promedio estimado de ARD de 254 L/s, en periodos que pueden estar entre 1 día hasta un año (365 días), donde solo admitiría vertimientos máximos de 24,82 mg/L (Hasta un mes de vertimiento aproximadamente), **lo que exige el tratamiento de ARD + ARnD, lo antes posible (2023), acorde a la propuesta del PSMV.**

Con base en las concentraciones asumidas de vertimientos por estación, así como caudales vertidos durante un periodo de tiempo (días), que permite calcular el volumen anual vertido, se plantean las siguientes tablas, donde se aprecia como sería el comportamiento de estos vertimientos por estación, cumpliendo los Objetivos de Calidad establecidos por la CRA y que pueden ser objeto de evaluación y ajuste por la misma Autoridad Ambiental.

5.8.1. Interpretación de Resultados.

Al sumar dichas cargas de DBO_5 (Punto 1 al Punto 4), se sumaría una **Línea Base de 1.576.800 Kg/año de DBO_5** , equivalente al 100% de carga en DBO_5 , pero si se suman los caudales de ARD de los 5 puntos (250 L/s) durante 3 días (64.800.000 L), con las mismas concentraciones la **Línea Base sería 1.310.347 Kg/año de DBO_5** , tal como se puede apreciar en la Tabla 37, en la primera columna como carga orgánica generada.

Respecto a la carga orgánica vertida, se aprecia que al comparar ésta con la carga orgánica generada, se obtiene el porcentaje de remoción de carga orgánica, que en promedio es de 11%, lo cual se puede lograr implementando pretratamientos y/o tratamientos primarios con desinfección y descargar a través de emisarios subfluviales a la ciénaga, y en lo posible en las zonas con buena corriente o movimiento de la masa de agua. Y respecto a los SST, es fundamental realizar una remoción de por lo menos el 45% de sólidos en suspensión, en cualquier esquema de tratamiento que se plantee implementar antes de realizar vertimientos directos a la ciénaga.

El anterior análisis se realiza teniendo en cuenta que lo más recomendable es definir el uso del agua de la Ciénaga Malambo, para consumo humano, y actividades relacionadas con el turismo y la recreación, previendo así la conservación de éste en el tiempo y fortalecer las medidas respecto a los usos del suelo alrededor de la ciénaga, para evitar el aporte de carga contaminante por escorrentía en periodos húmedos, lo cual puede afectar la capacidad de asimilación y recuperación que actualmente tiene el cuerpo de agua respecto a los vertimientos de aguas residuales.

El anterior análisis realizado para la DBO5 y para los SST, en cada una de las estaciones, es con el fin de que la Autoridad Ambiental, compare y evalúe, los resultados acá planteados en la modelación, para que tome la determinación de acoger los valores sugeridos, o simplemente realizar otras simulaciones para diferentes escenarios, utilizando la aplicación en Excel que se anexa a este documento, para complementar y/o ajustar y/o cambiar las cargas base, con que se esta implementando el cobro de la Tasa Retributiva. En resumen, la Autoridad Ambiental podrá ajustar los Objetivos de Calidad para las diferentes estaciones o zonas, acorde a la asimilación de la carga orgánica vertida a la Ciénaga Malambo, previendo las diferentes medidas que se han implementado históricamente.

5.8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye inicialmente la problemática social que existe en las zonas del Complejo Cenagosos de Malambo (Ciénaga El Convento, Ciénaga Malambo y Ciénaga Mesolandia o la Bahía), por la intervención antrópica y posesión de la tierra; así como la destinación económica asociada a ésta, y permitida por el estado a través de una subdivisión inapropiada de la tierra y la gran cantidad de predios catastrales otorgados a personas naturales y/o jurídicas, entre las que se encuentran hasta los espejos de agua de las ciénagas descritas anteriormente, y afectadas con uso agropecuario; lo que puede interpretarse como un permiso para realizar llenos inapropiados y/o no permitidos; lo que da pie a la competencia por el suelo entre el hombre y la corriente del Río Magdalena; ya que éstas pueden ser llenadas con escombros y/o materiales provenientes de vías y otro tipo de construcciones (Ver ejemplo de por lo menos 3 ciénagas del área urbana del Municipio de Caucasia que fueron llenadas con tierra para construir sobre estas, afectando el balance hídrico que tienen las ciénagas sobre el control de la inundación, el almacenamiento y regulación de caudales, además del intercambio de flora y fauna con los ríos y fuentes hídricas adyacentes).

Se concluye además que La Ciénaga Malambo, localizada en el Departamento del Atlántico, permite obtener una buena calidad del agua en épocas de transición entre verano e invierno, al igual que en periodos húmedos de precipitaciones medias en el año, pero que decae ostensiblemente en estiaje o épocas muy secas y de periodos largos, que es donde se recomienda realizar una reglamentación, acorde al clima predominante, cuando hay buena calidad del agua, y buena productividad de OD por su intercambio de caudales y actividad fotosintética, que aunado a que presenta profundidades bajas, permite la entrada

de los rayos del sol hasta el fondo de la ciénaga, produciendo mayor cantidad de OD, para la asimilación y dilución de carga contaminante. No se recomienda la explotación intensiva de piscicultura y/o actividades similares; solo intercambio íctico y pesca recreativa y/o de sustento familiar.

De acuerdo a los análisis realizados respecto a los Índices de Estado Trófico, la Ciénaga Malambo tiende a ser Eutrófica, lo que debe establecerse como una alerta amarilla en cuanto a la calidad del agua, y a la capacidad de carga, para lo cual se deben controlar los vertimientos en las áreas de influencia de las estaciones Punto 1 a Punto 4 de la Ciénaga, la cual presenta aportes de sólidos en suspensión, y por ende presenta más indicios de contaminación, la cual debe ser objeto de monitoreo constante.

Se concluye que en promedio la mayor carga permitida verter debe estar del orden de 350 kg/d y de recolectar las descargas de aguas residuales hacia la PTAR construida, y realizar el vertimiento de aguas tratadas a través de emisarios subfluviales en zonas con buena corriente y o movimiento.

Que de acuerdo a los resultados del monitoreo realizado en las 4 estaciones principales, el Índice de Calidad del Agua NSF es de Calidad Aceptable (Color verde) para la mayor parte de la Ciénaga, cumpliendo además todos los parámetros de la Resolución de Objetivos de Calidad de la CRA. Lo que permite sugerir que dicho cuerpo de agua sea conservado con este tipo de calidad, con usos del agua para consumo humano, recreativo, paisajístico y relacionadas con el turismo.

Igualmente se concluye que la Ciénaga presenta en algunas zonas en los cuatro puntos principales de monitoreo, capacidades de carga diferentes, acorde a la modelación realizada con la ecuación de decaimiento del oxígeno disuelto propuesta por Streeter y Phelps, que muestra periodos de recuperación entre los 6 y 10 días, ya que por no ser una ciénaga uniforme, presenta las variaciones referenciadas, lo que permite inferir que la Ciénaga Malambo es poco homogénea y presenta zonas de baja productividad por líneas de flujo diferentes en el espejo de agua generando zonas con poca mezcla.

Por último, se concluye que de acuerdo al análisis realizado y ajustando la línea base y los objetivos de calidad; con pretratamientos que remuevan entre 95% a 98% de carga orgánica (DBO5) contaminante, se puede cumplir con las metas globales y los objetivos de calidad ajustados a las medidas realizadas, garantizando un equilibrio entre el estado trófico de la Ciénaga y la carga contaminante que se puede verter a ésta. Y que, para prevenir sedimentación y pérdida de capacidad, es necesario remover sólidos en suspensión, como mínimo un 95% e intervenir las zonas que tributan gran cantidad de sedimentos por escorrentía.

También es necesario considerar que por ser zonas someras (Baja profundidad), y que realizan un intercambio de caudales (Por infiltración, escorrentía y crecientes de inundación), entre El Río Magdalena y los Arroyos Tributarios a el Complejo Cenagosos, se

concluye que son cuerpos de agua muy fluctuantes, que dependen de las condiciones climática e hidrológicas de las zonas aledañas, lo cual no permite una simulación estable y confiable de las características físico químicas del agua de las ciénagas, lo que no permite predecir por periodos largos la calidad del recurso hídrico superficial y la capacidad de asimilación y autodepuración de las cargas contaminantes asociadas a la dinámica de recepción de vertimientos que se presentan en la zona.

Además que existe una gran cantidad de Industrias, y usuarios No Residenciales, lo que genera un incremento de la carga orgánica e inorgánica que llega a las fuentes hídricas y de estas a las ciénagas sin tratamiento, lo que conlleva a una cantidad entre más de 5000 kg por día (5 Ton/d), de Cc por vertimiento de aguas residuales, cuando no deberían llegar más de 50 kg/d a las ciénagas; sin contabilizar la gran cantidad de residuos sólidos que tributan a los arroyos y a las ciénagas cuando se presentan altas precipitaciones, que conllevan a las crecientes en los arroyos, siendo utilizados para el transporte gran cantidad residuos sólidos “Basura”, para el común de la ciudadanía.

Por último, se concluye que evidentemente, el vertimiento actual de ARD + ARnD, con o sin tratamiento, a la Ciénaga de Malambo, es la mayor afectación a la calidad del agua de la Ciénaga, por tanto si se trasladan las descargas del sistema de alcantarillado al Río Magdalena, se ocasionarían menores afectaciones y se recuperaría en poco tiempo la calidad del agua de la Ciénaga. La mejor Opción Técnica, Económica, Administrativa y estable en el tiempo, es NO realizar vertimientos directos e indirectos del sistema de alcantarillado público a la Ciénaga, y trasladarlos a la margen izquierda del Río Magdalena, colocando las Válvulas y/o “Compuertas Chapaleta o Pico de Pato”, para controlar la inundación en épocas de crecientes del Río.

En resumen, se concluye que actualmente se vierten por descargas de ARD y ARnD, aproximadamente 6300 kg/d, de Cc en promedio; y que de acuerdo al cálculo de asimilación de las ciénagas, no se debería sobrepasar el 5,6% de la carga es decir 350 kg/d en promedio, para épocas de verano y/o transición.

Se recomienda entonces, emprender las acciones administrativas y jurídicas, para determinar el cumplimiento de la normativa vigente sobre las acciones de los usuarios que actualmente figuran con matrículas catastrales de estas zonas que componen el complejo cenagoso de Malambo.

Se recomienda que la AAC (CRA), sea en el futuro cercano “GESTOR CATASTRAL”, lo que permitirá a la entidad realizar las acciones necesarias para la delimitación futura de los predios que se deben declarar como suelo de protección ambiental y protección de humedales, acorde a las metodologías recomendadas por el SNR y el IGAC, lo que permitiría avanzar en las titulaciones adecuadas de la tierra adyacente a las ciénagas. Se recomienda que la AAC (CRA), emprenda las pesquisas necesarias para proceder con la implementación de los estudios de planificación de los complejos cenagosos de la

jurisdicción de La Corporación, tomando experiencias como las realizadas por CORANTIOQUIA y CORMAGDALENA, en la zona del Magdalena Medio.

Se sugiere realizar un análisis de los objetivos de calidad y límites permisibles establecidos para el área de la ciénaga, con respecto a las diferentes simulaciones que se han realizado en este ejercicio de modelación, chequeando los aportes de carga contaminante por sector productivo y por condiciones naturales (Escorrentía), así como por aporte de contaminación indirecta que se da por sectores productivos que se encuentran en las cuencas hidrográficas aportantes a la Ciénaga Malambo.

Realizar un análisis con base en el Decreto 1076 de 2015, sobre tasa retributiva, los estudios ambientales de vertimientos que se han presentado, los estudios de gestión del riesgo por vertimientos, los programas de uso eficiente y ahorro del agua, así como los PGIRS, en especial los botaderos a cielo abierto, que están en el área directa de la ciénaga y que afectan la calidad y capacidad de carga de ésta.

Se recomienda implementar una nueva red de monitoreo para medición de parámetros y caudales en la ciénaga y arroyos afluentes a las zonas hidrográficas analizadas, para obtener registros en diferentes épocas del año

Igualmente tratar de montar una red climática con estaciones de bajo costo, pero con mediciones de humedad, precipitación, radiación, dirección y velocidad del viento, así como temperatura, en cada una de las áreas de influencia establecidas. Dichas estaciones se pueden adquirir a costos promedios entre 200 y 400 dólares americanos, lo que podría hacer parte de una red climática que permitiría obtener 5 puntos de monitoreo en tiempo real, a un costo de inversión de 4 estaciones por debajo de los 10 millones de pesos. (Ver presentación o documento anexo en pdf).

Y por último y más importante es realizar los estudios y diseños de recolección de ARD + ARnD al sistema público de alcantarillado, como complemento de Plan Maestro de Alcantarillado y PSMV, para trasladar mediante conductos cerrados y o abiertos las descargas de Aguas Residuales Tratadas o NO Tratadas, a la margen izquierda del Río Magdalena, mediante los diseños de dispositivos de antirretorno de flujos a la red de alcantarillado en épocas de crecientes del río, para evitar la inundación de la red de drenaje.

EQUIPOS RECOMENDADOS PARA EL MONITOREO IN SITU.

