C.R.A Corporación Autónoma Regional del Atlántico	Contrato de Consultoría No. 0326 Proyecto de Reglamentación de Vertimientos Líquidos en La Cuenca del Arroyo León: Diagnóstico, Modelación Hidro Sedimentológica y Capacidad de Carga	CONSORCIO SICC DEL CARIBE

PROYECTO DE REGLAMENTACIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS EN LA CUENCA DEL ARROYO LEÓN: DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN HIDRO SEDIMENTOLÓGICA Y CAPACIDAD DE CARGA

Noviembre de 2026

Barranquilla, Colombia

Elaborado por:	CONSORCIO SICC DEL CARIBE
Versión para revisión:	Versión 00 - 06/06/2026
Versión final:	Versión 01-30/08/2026

Contenido

1 Objetivo 3

2 Alcances 4

3 Antecedentes 6

4 Marco normativo 7

4.1 Régimen Nacional: Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 7

4.2 Ordenamiento Regional: Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Ciénaga de Mallorquín 9

4.3 Objetivos de Calidad Hídrica: Resolución 000449 de 2021 9

4.4 Indicadores de la Tasa Retributiva: Decreto 1553 de 2024 10

5 Marco conceptual 14

5.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico y Reglamentación de Vertimientos 14

5.2 Capacidad de Asimilación, Autodepuración y Cargas Contaminantes Límite 15

5.3 Indicadores de Calidad Hídrica y Dinámica Biogeoquímica en Ecosistemas Conectados . 16

5.4 Modelación Hidrodinámica, Sedimentológica y Transporte de Contaminantes 17

5.5 Revisión de usuarios generadores de descargas liquidas y verificación de cumplimiento de la norma 18

5.6 Pasos y procedimientos que establece la norma para la reglamentación de vertimientos líquidos 18

5.6.1 Publicidad del acto que ordena la reglamentación. 18

5.6.2 Visitas técnicas y estudio de reglamentación de vertimientos 19

5.6.3 Proyecto de reglamentación de vertimientos 19

5.6.4 Objeciones al proyecto de reglamentación de vertimientos. 20

5.6.5 Decisión sobre la reglamentación de los vertimientos. 20

5.6.6 Aprobación de los sistemas de tratamiento en los procesos de reglamentación de vertimientos. 20
5.6.7 Revisión de la reglamentación de vertimientos. 21
6 Metodología 21
6.1 Estudio de la calidad del agua 22
6.2 Descripción de vertedores (Usuarios) 23
6.3 Red de monitoreo 23
6.4 Perfiles de calidad 26
6.5 Metodología de modelación 26
6.5.1 Descripción General de SWMM 26
6.5.2 Modelo Conceptual de Objetos en SWMM 27
6.5.3 Modelación de cargas relacionadas con el marco de objetivos de calidad dominante y/o potencial 29
6.5.4 Procesos Fundamentales de Calidad del Agua 29
6.5.5 Aplicación Propuesta del Modelo SWMM para el Arroyo León 32
6.5.6 Modelación de la capacidad de carga. 35
7 Resultados y análisis 36
7.1 Usuarios identificados en registros históricos recientes 36
7.2 Calidad y cargas de agentes puntuales identificados (Usuarios Principales) 41
7.3 Calidad actualizada y Proyectada del Arroyo 42
7.3.1 Hidrología y caudales 42
7.3.2 Perfiles de calidad del arroyo león 1
7.3.3 Evaluación de índices de calidad ICA - del Arroyo León 5
7.3.4 Objetivos de calidad 18
7.3.5 Capacidad de carga del arroyo León 26

7.4 Reglamentación de vertimientos líquidos puntuales al arroyo León- nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES 2

8 Conclusiones 1

9 Recomendaciones 2

10 Bibliografía 3

Índice de Figuras

Figura 6–1. Ubicación de las estaciones de monitoreo del arroyo León, durante campaña de marzo de 2026. 25
Figura 7–1. Ubicación de los usuarios identificados en los registros de la C.R.A. y Barranquilla Verde. 39
Figura 7–2. Ubicación de los vertimientos de los usuarios identificados y verificados. 40
Figura 7–3. Representación de tramos y transectos para el aforo de caudales en el arroyo León y afluentes 43

Índice de Tablas

Tabla 2-1. Tramos de análisis sedimentológico 4
Tabla 4-1. Variables criticas para la clasificación de cuerpos de agua en la Clase II 9
Tabla 4-2. Clasificación de la descarga de acuerdo a la capacidad de biodegradabilidad. 13
Tabla 6-1. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA. 22
Tabla 6-2. Valores de la biodegradabilidad indicados en el Decreto 1553 23
Tabla 6-3. Estaciones de monitoreo de aguas durante campaña de marzo del 2026. 24
Tabla 6-4. Objetos compartimentados en el modelo SWMM. 28
Tabla 6-5. Cuadro Comparativo de Concentraciones Medias de Evento (EMC) Típicas para Indicadores Clave. 33
Tabla 7-1. Lista de usuarios que vierten aguas en la cuenca del arroyo León. 38
Tabla 7-2. Evaluación sistemas de tratamiento de aguas residuales para usuarios directos del arroyo León o afluentes. 41
Tabla 7-3. Resultados de aforos caudales del arroyo León por transectos 44
Tabla 7-4. Resumen de caudales de frontera 45
Tabla 7-5. Caudales comparados y utilizados en cálculos de cargas contaminantes 47
Tabla 7-6. Biodegradabilidad del cuerpo de agua en puntos estratégicos del arroyo 2
Tabla 7-7. Carga de solidos en puntos claves 3
Tabla 7-8. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA. 6
Tabla 7-9. ICA aguas arriba de la PTAR de Galapa 7
Tabla 7-10, ICA aguas abajo de la PTAR de Galapa 7
Tabla 7-11. ICA aguas abajo de las hermanas 8
Tabla 7-12. ICA aguas arriba del arroyo Granada 8
Tabla 7-13. ICA aguas abajo del arroyo Granada 9
Tabla 7-14. ICA Tramo final arroyo Grande 9
Tabla 7-15. ICA aguas arriba Zofia sobre Arroyo Cañas 10
Tabla 7-16. ICA aguas abajo de la Zofia sobre Arroyo Cañas 10
Tabla 7-17. ICA aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo 11
Tabla 7-18. ICA aguas arriba de la EDAR El Pueblo 11

Tabla 7-19. ICA aguas abajo de la EDAR El Pueblo 12
Tabla 7-20. ICA aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe verde 12
Tabla 7-21. ICA aguas abajo Alameda del rio (aguas arriba del Henequén y aguas debajo de arroyos urbanos) 12
Tabla 7-22. ICA aguas abajo del Henequén 13
Tabla 7-23. ICA aguas arriba de Arroyo grande 13
Tabla 7-24. ICA aguas abajo de Arroyo grande 14
Tabla 7-25. ICA aguas abajo brazo izquierdo 14
Tabla 7-26. ICA aguas abajo brazo derecho 15
Tabla 7-27. ICA aguas abajo Caujaral (Intersección de brazos) 15
Tabla 7-28. ICA de la desembocadura del arroyo León al Mar Caribe 16
Tabla 7-29. Resultados de los índices de Calidad del Agua – ICA, obtenidos durante la campaña de marzo 17
Tabla 7-30. Resumen del indicador de la calidad del agua (ICA - IDEAM) calculado en 20 estaciones en el arroyo León. 18
Tabla 7-31. Usos potenciales Arroyo León y afluentes 20
Tabla 7-32. Clasificación genérica de los usos del recurso. 21
Tabla 7-33. Clasificación de usos a corto plazo del arroyo León 21
Tabla 7-34. Criterios de calidad para uso principal clase V 21
Tabla 7-35. Clasificación de usos a mediano plazo del arroyo León 23
Tabla 7-36. Criterios de calidad para uso principal clase IV 23
Tabla 7-37. Clasificación de usos a largo plazo del arroyo León 24
Tabla 7-38. Criterios de calidad para uso principal clase III 25
Tabla 7-39. Resume de valores de calidad monitoreados 26
Tabla 7-40. Proyección y modelación de escenarios de cargas mejorando los ICA de Malo a regular en el arroyo León 1
Tabla 7-41. Reducción de cargas de DBO5 para pasar de ICA malo a ICA regular 1
Tabla 7-42. Nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES para agentes generadores de descargas líquidas puntuales al arroyo León. 1

Introducción

Conforme a lo establecido en el capítulo 3 sección 7, artículo 2.2.3.3.7.1 del Decreto 1076, las autoridades ambientales son las responsables de mantener y asegurar la calidad de los cuerpos de agua, en especial aquellos que son utilizados como receptores de descargas liquidas que afectan sus condiciones naturales. Para ello, se ha diseñado la herramienta de la reglamentación de vertimientos, la cual se orienta, fundamentada en los principios de rigor subsidiario, a establecer un marco de normas y limites permisibles de vertimiento más estricto que garantice las condiciones de ordenamiento del recurso y los objetivos de calidad hídrica definidos por la autoridad ambiental.

La ordenación de la calidad del recurso hídrico en Colombia se encuentra en una etapa de transición crítica, donde las herramientas tradicionales de comando y control se están integrando de manera decidida con modelos fisicomatemáticos y mecanismos económicos de segunda generación. En el departamento del Atlántico, este esfuerzo se concentra en la cuenca del arroyo León, un sistema hídrico que no solo representa el drenaje natural de un área de vertiginoso desarrollo urbano e industrial, sino que constituye el principal tributario de agua dulce y sedimentos de la ciénaga de mallorquín. Este complejo lagunar costero es objeto de un ambicioso proceso de restauración ecológica y desarrollo ecoturístico, encabezado por el proyecto del Ecoparque Mallorquín, lo que convierte la presencia de contaminación fisicoquímica, orgánica o microbiológica en su cuenca portadora en un hecho ambientalmente inaceptable y en una amenaza inminente para la salud pública de los habitantes y visitantes.

De acuerdo con las directrices institucionales de la C.R.A., plasmadas en su Plan de Acción Institucional 2024–2027 "Por un Ambiente Sin Fronteras", específicamente dentro de la Línea Estratégica 1: "Gestión para la Sostenibilidad del Recurso Hídrico", la corporación tiene la obligación perentoria de implementar la ordenación y reglamentación de las aguas superficiales para disminuir los conflictos de uso y recuperar ambientalmente los cuerpos asociados a la ciénaga de Mallorquín y su afluente principal. En este contexto, el presente documento, se erige como el soporte técnico, científico y administrativo indispensable para proyectar la futura resolución de reglamentación del arroyo León. Este proyecto no solo recopila el diagnóstico ambiental del territorio, sino que integra los resultados de la modelación numérica hidrodinámica y sedimentológica para determinar de manera precisa las cargas contaminantes límite bajo diferentes escenarios hidrológicos, garantizando así un reparto equitativo y sustentable de la capacidad de asimilación del curso de agua.

En cumplimiento de lo establecido en capítulo 3 sección 7, artículo 2.2.3.3.7.1 del Decreto 1076 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible y en la Resolución 00254 de 2026 de la C.R.A., se

estructura este, como el PROYECTO DE REGLAMENTACIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DEL ARROYO LEÓN, el cual se erige como el documento principal, en el cual se consignan los aspectos relacionados con el diagnóstico de la fuente de agua, el censo de usuarios, la calidad de las descargas liquidas puntuales, las obras de manejo y tratamiento de cada descarga, los perfiles de calidad del cuerpo de agua, la modelación de escenarios de calidad del cuerpo de agua entre otros aspectos.

Este documento se construye como parte de la información de soporte para el diseño del nuevo marco de normas y LIMITES PERMISIBLES que define la C.R.A. para la planeación, control y seguimiento, tanto del cuerpo de agua como de los usuarios generadores de descargas liquidas que afectan la calidad del arroyo León en el corto, mediano y largo plazo. Su consulta es muy importante, como mecanismo de soporte a las observaciones que deben presentar los usuarios al proceso de reglamentación que modifica el marco normativo, en especial aquel relacionado con permisos de vertimiento y planes de cumplimiento, entre otros.

1 Objetivo

El objetivo esencial de este documento es dar cumplimiento de lo establecido en capítulo 3 sección 7, artículo 2.2.3.3.7.1 del Decreto 1076 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, se estructura este, como el PROYECTO DE REGLAMENTACIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DEL ARROYO LEÓN, el cual requiere la construcción de un documento principal, en el cual se consignan los aspectos relacionados con el diagnóstico de la fuente de agua, el censo de usuarios, la calidad de las descargas liquidas puntuales, las obras de manejo y tratamiento de cada descarga, los perfiles de calidad del cuerpo de agua, la modelación de escenarios de calidad del cuerpo de agua y la justificación técnica para redefinir el nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS PUNTUALES

Este documento se construye como parte de la información de soporte para el diseño del nuevo marco de reglamentación de vertimientos que define la C.R.A. para la planeación, control y seguimiento, tanto del arroyo León como de los usuarios generadores de descargas liquidas que afectan su calidad en el corto, mediano y largo plazo. Su consulta es muy importante, como mecanismo de soporte a las observaciones que deben presentar los usuarios al proceso de reglamentación que modifica el marco normativo, en especial aquel relacionado con permisos de vertimiento y planes de cumplimiento, entre otros.

2 Alcances

El desarrollo técnico del proceso de reglamentación, ejecutado bajo el Contrato de Consultoría No. 326 de 2025 por la C.R.A., tiene un alcance integral estructurado en fases de investigación de campo, monitoreo de calidad, levantamiento topo-batimétrico, simulación computacional y estructuración de los documentos esenciales que define el marco normativo, para la reglamentación de vertimientos líquidos al arroyo León. El límite geográfico y operativo del estudio abarca la totalidad de la microcuenca del arroyo León y del arroyo Grande, la cual cubre un área de 299,37 km^2 y se subdivide en tres (3) tramos para optimizar el análisis hidro sedimentológico (C.R.A., 2025).

Tabla 2-1. Tramos de análisis sedimentológico

Tramo Operativo	Longitud	Delimitación Geográfica y Características de Flujo
Tramo 1 (Rural)	22 km	Desde la desembocadura en el Mar Caribe (incluyendo el delta costero) siguiendo el tramo rural donde confluye la derivación del arroyo Grande hasta el casco urbano de Galapa.
Tramo 2 (Urbano)	8 km	Sector urbano que recoge las aguas de la cuenca occidental de Barranquilla, desde la confluencia con el arroyo Grande hasta El Pueblito y Caribe Verde, aguas abajo de la EDAR El Pueblito.
Tramo 3 (Urbano)	5 km	Brazo del arroyo León que confluye con el arroyo Hondo, extendiéndose hasta el sector de desarrollo urbano de Villa San Pablo.

Fuente: Elaboración Propia

Para garantizar la precisión de las simulaciones numéricas de asimilación de carga y transporte de sedimentos, el alcance técnico de la consultoría contempló las siguientes actividades detalladas de campo y oficina:

- **Georreferenciación y Cartografía:** Delimitación de la red hidrográfica a escala 1:25.000 con base en cartografía oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y levantamiento de un ortomosaico digital del terreno mediante el uso de drones con tecnología de posicionamiento RTK a lo largo de los 35 km de cauce.
- **Levantamiento Topo-Batimétrico:** Levantamiento topográfico y batimétrico detallado con ecosonda monohaz en los tres tramos de estudio (35 km en total) y en un área de 550 Ha mar adentro en la desembocadura (línea de costa de 3 km y una penetración de 1,5 km mar adentro).
- **Investigación Sedimentológica:** Toma de 60 muestras de sedimento de fondo en el arroyo León, 36 muestras granulométricas en la franja intermareal y de playa, y la realización de 30 apiques en la cuenca para determinar el tipo de suelo, porcentaje de limos, arcillas, arenas, materia orgánica y permeabilidad.

- **Monitoreo Hidrometeorológico e Hidráulico:** Instalación de una estación meteorológica automática para registrar variables climáticas locales, instalación de tres sensores electrónicos de registro continuo de niveles de agua en la desembocadura y la realización de aforos líquidos sistemáticos de caudal empleando perfiladores acústicos Doppler (ADCP) desde la EDAR El Pueblito hasta el delta costero (C.R.A., 2025).
- **Modelación Matemática:**
  - ✓ *Hidrológica (lluvia-escorrentía):* Generación de hidrogramas sintéticos de caudales pico y balances hídricos mensuales para diferentes periodos de retorno utilizando plataformas de libre acceso como HEC-HMS y SWAT.
  - ✓ *Hidráulica/Hidrodinámica 1D/2D:* Estimación de perfiles de velocidad, niveles de inundación y esfuerzos cortantes bajo escenarios extremos (Niño, Niña y años medios) mediante HEC-RAS y Delft3D.
  - ✓ *Erosión Potencial y Sedimentación:* Cálculo de la pérdida de suelo anual potencial en la cuenca aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) y acoplamiento de modelos hidrosedimentológicos integrados para identificar los tramos con mayor tasa de denostación.
- **Monitoreo y Caracterización de Calidad de Aguas:** Monitoreo sistemático de al menos quince (15) descargas líquidas puntuales identificadas y de cinco (5) estaciones de calidad sobre el eje principal del arroyo León, evaluando un amplio espectro de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos: Caudal (Q), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes.

Finalmente, el alcance administrativo incluye el desarrollo de cuatro (4) talleres de socialización y consulta pública con usuarios industriales, gremios productivos, entes territoriales y comunidades ribereñas, con el fin de recopilar de manera formal las observaciones y objeciones al proyecto de reglamentación antes de la expedición del acto administrativo final.

3 Antecedentes

La ordenación del recurso hídrico en el departamento del Atlántico cuenta con un amplio andamiaje legal que parte de los artículos 79 y 80 de la Constitución Política de 1991, los cuales consagran el derecho colectivo a disfrutar de un ambiente sano y la obligación estatal de prevenir el deterioro ambiental mediante la planificación del uso sostenible de los recursos naturales. Estas disposiciones se fundamentan en los principios de utilidad pública e interés social consignados en el Decreto Ley 2811 de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables) y en las facultades de administración del medio ambiente otorgadas a las Corporaciones Autónomas Regionales por la Ley 99 de 1993.

A nivel de planificación del agua, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) expidió en el año 2010 la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), cuyo objetivo principal es la recuperación, protección y uso eficiente del agua mediante tres estrategias operativas: el Ordenamiento de los usos hídricos, la Reducción de la contaminación y el Monitoreo sistemático de la calidad. En cumplimiento de estas directrices, la C.R.A. adoptó formalmente, mediante la Resolución No. 000503 del 24 de julio de 2018, el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) de la ciénaga de Mallorquín. Este plan identificó que el arroyo León actúa como el principal tributario de este cuerpo lagunar costero, y que el alarmante deterioro de sus aguas repercute directamente en el ecosistema estuarino, limitando su potencial ecológico y recreativo. El PORH de 2018, estableció tres líneas estratégicas de intervención: el Seguimiento y control de descargas líquidas puntuales, la Estructuración de redes de monitoreo y la Implementación de planes de saneamiento básico urbano.

Posteriormente, las evaluaciones técnicas y las visitas de campo realizadas por el equipo especializado de la C.R.A. evidenciaron que, a pesar de las directrices de planificación, el arroyo León no mostraba signos de mejoría en sus indicadores de calidad ambiental. El cuerpo de agua continuaba comportándose como un canal de aguas residuales a cielo abierto, con una carga contaminante orgánica que superaba los 25 mg/L de DBO5 en más del 80% de las estaciones de muestreo, cifra que sobrepasa drásticamente las metas de calidad programadas. La mayor parte de la carga contaminante provenía de las descargas no domésticas e industriales de la zona periurbana de Galapa y de las deficiencias de remoción del alcantarillado sanitario distrital administrado por la Sociedad Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P., la cual opera la EDAR El Pueblito. Además, los análisis basados en el Decreto 1553 de 2024 demostraron que el arroyo presentaba un Coeficiente de Biodegradabilidad (C_B) de entre 4,0 y 5,5, evidenciando una escasa o nula biodegradabilidad natural del agua, lo que agrava la acumulación de compuestos tóxicos y materia orgánica persistente en el delta costero.

Ante esta crisis ambiental y con el fin de proteger la ciénaga de Mallorquín, la Dirección General de la C.R.A., expidió la Resolución No. 000254 del 18 de marzo de 2026, "Por medio de la cual se declara en reglamentación los vertimientos al arroyo León, en el departamento del Atlántico" (Corporacion autónoma regional del Atlántico - C.R.A., 2026). Este acto administrativo ordenó el inicio formal del proceso de reglamentación de vertimientos, conllevando la revisión de la totalidad de las captaciones superficiales, de los permisos de vertimiento de aguas residuales domésticas y no domésticas vigentes y archivados, y el sometimiento de todos los trámites en curso a los resultados técnicos del proyecto de modelación y asimilación de carga.

4 Marco normativo

4.1 Régimen Nacional: Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015

El soporte legal y el procedimiento administrativo para la reglamentación de los vertimientos líquidos del arroyo León se rigen rigurosamente por el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible), específicamente en lo concerniente a la Sección 7 del Capítulo 3 del Título 3 de la Parte 2 del Libro 2. De acuerdo con el Artículo 2.2.3.3.7.1., la autoridad ambiental competente está facultada para iniciar de oficio este proceso con el objetivo de controlar la calidad de las corrientes superficiales y garantizar los usos actuales y potenciales del suelo y del agua.

El decreto 1076 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) estipula las siguientes etapas administrativas y efectos legales que deben cumplirse para la adopción final de la resolución de reglamentación:

I. **Publicidad y Avisos:** En cumplimiento del Artículo 2.2.3.3.7.2., tras expedir la resolución que ordena la reglamentación (Resolución No. 000254 de 2026), la C.R.A. fijará el acto administrativo por diez (10) días hábiles en un lugar público de su sede, en su página web y en las alcaldías correspondientes, publicando adicionalmente avisos en un periódico de amplia circulación regional indicando las fechas y horas de las visitas técnicas.
II. **Efectos sobre Permisos Vigentes:** De conformidad con el Artículo 2.2.3.3.7.3., los permisos de vertimiento que se otorguen durante el transcurso del proceso de reglamentación deberán

revisarse obligatoriamente por la corporación como resultado directo de las modelaciones del proyecto.

III. **Visitas Técnicas de Caracterización:** El Artículo 2.2.3.3.7.4. ordena que los estudios técnicos de reglamentación deben comprender, como mínimo, la georreferenciación de las descargas en cartografía oficial, la caracterización fisicoquímica de los efluentes, el inventario de las obras hidráulicas existentes y el análisis de la capacidad asimilativa del tramo.

IV. **Publicación del Proyecto y Objeciones:** Una vez elaborado el Proyecto de Reglamentación, el Artículo 2.2.3.3.7.5. exige la publicación de un aviso en prensa informando su existencia y la habilitación de un periodo de veinte (20) días calendario para que los usuarios presenten sus objeciones. La C.R.A. estudiará dichas objeciones en un término no superior a sesenta (60) días hábiles (Artículo 2.2.3.3.7.6.) antes de proceder a expedir la resolución definitiva de reglamentación (Artículo 2.2.3.3.7.7.).

Aprobación de los Sistemas de Tratamiento: Según el Artículo 2.2.3.3.7.8., en el acto administrativo definitivo, la C.R.A. requerirá a los usuarios la presentación de las memorias de cálculo, diseños de ingeniería de detalle y eficiencias de remoción esperadas de sus plantas de tratamiento (STAR), señalando un plazo estricto para su adecuación.

Asimismo, el Artículo 2.2.3.3.4.8. consagra el principio del Rigor Subsidiario, el cual permite a la C.R.A. fijar valores límites de descarga significativamente más restrictivos que los límites nacionales generales definidos en la Resolución No. 0631 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Este rigor subsidiario se aplicará en aquellos tramos del arroyo León donde las descargas, aun cumpliendo individualmente con la norma general de vertimiento, provoquen concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los exigentes objetivos de calidad hídrica Clase I previstos para el periodo 2026–2030.

Finalmente, el marco normativo nacional incorpora las prohibiciones de vertimientos consagradas originalmente en el Decreto 3930 de 2010 (compilado en el Decreto 1076 de 2015), las cuales inhabilitan taxativamente la deposición de aguas residuales en las cabeceras de fuentes de agua, en acuíferos subterráneos, en zonas costeras de contacto primario recreativo y en calles, calzadas o sistemas de alcantarillado pluvial separado.

4.2 Ordenamiento Regional: Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Ciénaga de Mallorquín

La ciénaga de mallorquín, como cuerpo de agua receptor final del arroyo León, especialmente en época de lluvia, por desborde; cuenta con una zonificación de usos y una planificación especial definida a nivel regional por el PORH, adoptado por la C.R.A. mediante la Resolución No. 000503 de 2018. El arroyo León discurre por el municipio de Galapa y el sector occidental del Distrito de Barranquilla, aportando no solo el caudal de agua dulce necesario para regular la salinidad del manglar, sino también acumulando la escorrentía cargada de nutrientes y sólidos en suspensión. El PORH de 2018 determinó que la capacidad de autodepuración de la ciénaga se encuentra al límite debido al flujo masivo de contaminantes, por lo que resulta indispensable ligar el proceso de reglamentación de vertimientos del arroyo a este plan regional.

La articulación entre el PORH y la reglamentación estriba en que el ordenamiento define la destinación genérica del recurso y las metas globales de reducción de carga, mientras que la reglamentación individualiza estas obligaciones sobre cada uno de los usuarios que descargan en la cuenca. En esta línea, las inversiones de saneamiento planificadas por la Sociedad Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P., estimadas en aproximadamente 121.500 millones de pesos, deben ajustarse operativamente a las exigencias técnicas del proyecto de reglamentación. Dicho plan de inversiones incluye la construcción de un colector principal entre la EDAR El Pueblo y una nueva estación elevadora denominada "Arroyo León", junto con la construcción de una estación de pretratamiento avanzada, con el fin de interceptar los vertimientos directos antes de su entrada a la ciénaga de mallorquín.

4.3 Objetivos de Calidad Hídrica: Resolución 000449 de 2021

A nivel de metas de descontaminación, la C.R.A. expidió la Resolución No. 000449 del 30 de junio de 2021, mediante la cual se establecieron formalmente los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de su jurisdicción en el corto, mediano y largo plazo. Esta resolución clasifica los recursos hídricos en cinco categorías o "Clases" de usos, y definió para el arroyo León una trayectoria de descontaminación progresiva muy exigente, pasando de una clasificación Clase V (asimilación de materia orgánica y paisajismo) durante el periodo 2020–2025, a una clasificación Clase II para el periodo 2026–2030.

Esta transición significa que, a partir del año 2026, el arroyo León y sus afluentes deben cumplir con criterios de calidad que permitan su uso para el consumo humano con tratamiento convencional, la preservación de la vida acuática (flora y fauna) y la irrigación agrícola libre de restricciones patógenas.

Tabla 4-1. Variables criticas para la clasificación de cuerpos de agua en la Clase II

Parámetro Crítico (Clase I)	Unidad de Medida	Valor Límite Máximo Permitido en el Cuerpo de Agua
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	≤ 7
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	≥ 4,0
Coliformes Totales	NMP/100 mL	≤ 20000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	≤ 10
Nitratos (NO_3)	mg/L	≤ 10
Nitritos (NO_2)	mg/L	≤ 10
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades	5 – 9
Mercurio	mg/L	≤ 0,002
Cromo Hexavalente (Cr^{+6})	mg/L	≤ 0.05

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico - C.R.A., 2021)

El contraste entre el diagnóstico de calidad actual del arroyo León y el objetivo Clase I para 2026–2030 revela una brecha crítica: mientras la norma exige una DBO_5 inferior a 7 mg/L para proteger la vida acuática, los muestreos de la C.R.A. demuestran concentraciones promedio de DBO_5 que superan los 25 mg/L en el 80% de los puntos de control del arroyo. Esta situación implica que el cuerpo receptor posee una concentración de materia orgánica biodegradable 3,5 veces superior al límite máximo que permite el sostenimiento ecológico y la autodepuración natural.

La definición de escenarios futuros de calidad a través de la modelación de la capacidad de carga del proyecto resulta entonces fundamental, ya que es la única herramienta técnica capaz de calcular en cuánto deben reducirse las cargas masivas vertidas por los usuarios industriales de Galapa y los sistemas públicos de alcantarillado urbano de los municipios que usan el arroyo como receptor de descargas para cerrar esta brecha ecológicamente inviable.

4.4 Indicadores de la Tasa Retributiva: Decreto 1553 de 2024

Las autoridades ambientales cuentan con varios instrumentos de gestión y control que inciden o se orientan de manera directa o indirecta a gestionar la descontaminación, mejoramiento o sostenibilidad de los cuerpos de agua, en especial de aquellos que se utilizan como receptores de descargas liquidas puntuales. Se destacan en este aspecto instrumentos como: 1. Comando y control. Se incluyen en este ítem los permisos de vertimiento para descargas liquidas puntuales, con los cuales se controla el cumplimiento de las normas de vertimiento y el cumplimiento de los LIMIETS PERMISBLES DE LA

DESCARGA. Se incluyen los permisos de concesión de agua, con los cuales se controla la oferta hídrica en las fuentes y se administran los CAUDALES AMBIENTALES definidos en cada cuerpo de agua.

2. Los instrumentos económicos. Se destacan en este orden, instrumentos como al TASA POR USO DEL AGUA. Mediante la cual, la autoridad ambiental puede cobrar mediante tarifa, la cantidad de agua utilizada por los usuarios, independiente mente de que esta agua cuente con un permiso de concesión de agua. Se incluye en este renglón, la TASA RETRIBUTIVA POR DESCARGAS PUNTUALES -TR, mediante la cual, la entidad cobra a los usuarios la utilización de un cuerpo de agua como agente receptor de descarga liquidas puntuales. Al igual que la TUA, la autoridad ambiental cobrará este canon independientemente de que el usuario cuente o no con un permiso de vertimiento, solamente basta con que se demuestre el "hecho generador", es decir, que se use el cuerpo de agua para conectar un vertimiento de una determinada empresa, persona o entidad. La TR, actualizada mediante decreto 1553 de 2024, desvinculó el cobro de la cantidad de carga de DBO5 y SST vertida y lo vinculó directamente a las condiciones de calidad del agente vertedor, así como con las condiciones de caudales y calidad tanto del vertimiento puntual, como del cuerpo de agua afectado.

El Artículo 2.2.9.7.3.3 del citado decreto 1553 de 2024, establece el Factor Regional (Fr), como una un factor multiplicador que se aplica a la tarifa mínima de la TR y representa los costos sociales y ambientales de los efectos causados por los vertimientos puntuales directos o indirectos al recurso hídrico. Estas condiciones, se materializan en tres (3) indicadores o coeficientes esenciales, como se explica más adelante en este mismo ítem:

Cica: Coeficiente de Índice de Calidad del agua

Cr: Coeficiente de relación (relaciona caudal de la descarga con el caudal del cuerpo de agua en el tramo afectado.

Ca: Coeficiente de biodegradabilidad de la descarga, el cual mide que tan orgánico es el vertimiento

La reglamentación de vertimientos del arroyo León sirve como soporte técnico directo para la aplicación del marco tarifario ambiental del Decreto 1553 de 2024, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible - MADS, 2024). Este decreto sustituyó el Capítulo 7 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, redefiniendo el sistema, método y la fórmula de cobro de la Tasa Retributiva (TR) por la utilización directa o indirecta del agua como receptora de vertimientos puntuales.

El cobro de la tasa, que se causa anualmente entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de cada año, no implica en ninguna circunstancia la legalización del vertimiento ni exime al usuario de cumplir los estándares límites de emisión, pero actúa como un potente desincentivo financiero para los agentes contaminadores. La base gravable de la tasa se fundamenta en la Carga Contaminante (C_c) diaria vertida

de los parámetros regulados (inicialmente Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO_5 y Sólidos Suspendidos Totales, SST), la cual se calcula mediante la siguiente ecuación física:

$$C_c = Q * C * 0,0036 * t$$

Donde:

- ✓ C_c = Carga contaminante del parámetro en el vertimiento, expresada en kilogramos por día (Kg/día).
- ✓ Q = Caudal promedio de aguas residuales vertidas por el usuario, medido en litros por segundo (L/s).
- ✓ C = Concentración promedio del elemento, sustancia o compuesto contaminante en la descarga, medida en miligramos por litro (mg/L).
- ✓ 0,0036 = Factor de conversión matemática para transformar unidades de flujo y concentración de masa por segundo a kilogramos por hora (mg/s a Kg/h).
- ✓ t = Tiempo promedio diario en el que el usuario realiza de forma efectiva el vertimiento, medido en horas por día (h/día).

El monto final a pagar (*MC*) por el usuario es el resultado de liquidar la carga contaminante anual acumulada frente a la Tarifa de la Tasa Retributiva (*Ttr*), la cual se obtiene de multiplicar la tarifa mínima nacional (*Tm*) —fijada por el MADS— por el denominado Factor Regional (Fr):

$$Ttr = Tm * Fr$$

El Factor Regional (Fr) es una variable adimensional que oscila estrictamente entre un valor mínimo de 1,00 y un valor máximo de 5,50, y su fórmula de cálculo incorpora tres dimensiones clave para reflejar la sensibilidad ambiental y las realidades socioeconómicas del territorio receptor:

$$Fr = (V_A + V_S) - V_E$$

Las variables y coeficientes que componen esta ecuación se detallan a continuación:

- ➢ Variable Ambiental (V_A)

Evalúa el impacto físico y ecológico directo de la descarga en el cuerpo de agua receptor, sumando los aportes ponderados del Coeficiente del Índice de Calidad del Agua (C_{ICA}), el Coeficiente de Relación de Caudales (C_R) y el Coeficiente de Biodegradabilidad (C_B). El coeficiente C_B evalúa el grado de asimilación natural de la descarga orgánica comparando las concentraciones de DBO_5 y DQO de la caracterización del usuario.

En el caso histórico del arroyo León y sus afluentes, el Coeficiente de Biodegradabilidad (C_B) ponderado de las descargas directas e indirectas se situó en el rango de 4,0 a 5,5, lo cual es indicativo de una muy

escasa o nula biodegradabilidad natural en el cuerpo de agua receptor. Bajo el marco del Decreto 1553 de 2024, esta condición se traduce en la aplicación sistemática del valor numérico máximo del coeficiente de biodegradabilidad (C_B=5,50), lo que incrementa el Factor Regional y eleva exponencialmente las tarifas de cobro para los usuarios aportantes, actuando como un castigo financiero directo ante la baja eficiencia de sus sistemas de tratamiento.

Tabla 4-2. Clasificación de la descarga de acuerdo a la capacidad de biodegradabilidad.
***Nota:** De acuerdo con los parágrafos del artículo, si la relación es superior a 0,80, el coeficiente C_B adopta por defecto un valor de 1,00.*

Relación de Biodegradabilidad (R_B=DBO_5/DQO)	Clasificación de la Descarga	Valor del Coeficiente de Biodegradabilidad (C_B)
> 0.6-0.8	Muy Biodegradable	1,00
> 0.4-0.6	Biodegradable	2,50
> 0.2-0.4	Poco Biodegradable	4.00
0.0 – 0.2	No biodegradable	5.50

Fuente: (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible - MADS, 2024)

- Variable Socioeconómica (V_S)

Representa el 20% del peso total del cálculo del factor regional y evalúa la desigualdad territorial y la capacidad de pago del municipio donde se ubica el punto de descarga. Se calcula a partir de la suma ponderada (10% de peso para cada uno) del Coeficiente de Categorización Municipal (C_{CM}), que oscila entre un valor de 1,00 para municipios de sexta categoría hasta 5,50 para municipios de categoría especial según los criterios del decreto 2106 de 2.019; y el Coeficiente de Necesidades Básicas Insatisfechas (C_{NBI}), el cual asigna un valor numérico menor a los municipios con mayor proporción de población vulnerable bajo el postulado que, a menor pobreza estructural, mayor debe ser la capacidad de pago y la tasa a cobrar.

- Variable Económica (V_E)

Aplica de manera exclusiva a las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado sanitario (como la Sociedad Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P.) y funciona como un factor de descuento financiero directo para restar del factor regional acumulado, premiando el avance real en las inversiones de descontaminación del PSMV. La variable se desglosa en cuatro coeficientes independientes evaluados anualmente:

% de avance físico y financiero en obras del PSMV ⟹ Valor de C_{CI}, C_{EV}, C_{DS}, C_{CS}

El valor numérico de cada coeficiente se determina de la siguiente manera:

- ✓ **De 0% a 20% de avance:** El valor numérico del coeficiente es 0,00.
- ✓ **Mayor a 20% y hasta 40% de avance:** El valor numérico del coeficiente es 0,25.
- ✓ **Mayor a 40% y hasta 60% de avance:** El valor numérico del coeficiente es 0,50.
- ✓ **Mayor a 60% y hasta 80% de avance:** El valor numérico del coeficiente es 0,75.
- ✓ **Mayor a 80% y hasta 100% de avance:** El valor numérico del coeficiente es 1,00.

Estos coeficientes independientes corresponden a: el Coeficiente de Construcción de Interceptores y/o Emisarios Finales (C_{CI}), el Coeficiente de Eliminación de Puntos de Vertimiento (C_{EV}), el Coeficiente de Estudios y Diseños de Plantas de Tratamiento (C_{DS}) y el Coeficiente de Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (C_{CS}).

Esta estructura tarifaria incentiva que el Distrito de Barranquilla y la ESP Triple A, ejecuten rigurosamente los 121.500 millones de pesos proyectados en el colector de intercepción y la estación de pretratamiento del arroyo León, puesto que un retraso o incumplimiento físico en estas obras reducirá el valor del descuento de la Variable Económica (V_E), provocando un disparo inmediato en el Factor Regional y forzando a la empresa a pagar multas millonarias por concepto de tasa retributiva sobre sus descargas en El Pueblito. De esta forma, el diagnóstico de modelación del proyecto de reglamentación se entrelaza de manera indisoluble con las finanzas y la planeación de la infraestructura sanitaria de la región.

5 Marco conceptual

El proceso de reglamentación de vertimientos líquidos puntuales en la cuenca del arroyo León se fundamenta en principios científicos de la ingeniería ambiental, la hidrología cualitativa y cuantitativa, la modelación matemática de recursos hídricos y la economía ambiental. A continuación, se desarrollan las bases conceptuales que respaldan el diagnóstico, la evaluación de la capacidad de asimilación del cuerpo hídrico y la formulación del instrumento regulatorio.

5.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico y Reglamentación de Vertimientos

- ➢ **Cuenca Hidrográfica como Unidad de Gestión:** La cuenca hidrográfica es definida como el área de oferta hídrica delimitada por la divisoria topográfica de aguas, en la cual convergen las escorrentías superficiales y subterráneas hacia un flujo o cuerpo de agua común. Constituye la unidad territorial fundamental para la planificación, ordenamiento y gestión integral del recurso

hídrico (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019), (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

- **Vertimiento Puntual y No Puntual:** De acuerdo con el marco técnico-jurídico nacional, un *vertimiento puntual* corresponde a la descarga final, discreta y localizada de aguas residuales (domésticas o no domésticas) a un cuerpo de agua superficial o al suelo, mediante una estructura de conducción identificable (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Por el contrario, las *fuentes no puntuales o difusas* son aquellas descargas distribuidas espacialmente que ingresan a los cuerpos receptores a través del escurrimiento superficial, influenciadas por la precipitación y los usos del suelo (Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi, & Burton,, 2014).
- **Reglamentación de Vertimientos:** Es el instrumento normativo y administrativo mediante el cual la autoridad ambiental competente fija los límites máximos permisibles de carga contaminante que cada usuario o grupo de usuarios puede verter a un tramo o cuerpo hídrico específico. Su objetivo esencial es garantizar que la suma de todas las descargas no sobrepase la capacidad de absorción y autodepuración del medio receptor, asegurando la preservación de los objetivos de calidad hídrica de largo plazo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

5.2 Capacidad de Asimilación, Autodepuración y Cargas Contaminantes Límite

- **Capacidad de Asimilación (Capacidad Receptora):** Corresponde a la cantidad máxima de una sustancia o parámetro contaminante que un cuerpo de agua superficial puede recibir, diluir, transportar y degradar por procesos físicos, químicos y biológicos sin alterar su calidad hídrica por debajo de los estándares o límites fijados para sus usos asignados (Chapra, 2008); (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2023); (United States Environmental Protection Agency - USEPA, 1991).
- **Autodepuración Hídrica:** Es el conjunto natural de procesos físicos (dilución, sedimentación, volatilización), químicos (oxidación, precipitación, fotólisis) y biológicos (biodegradación microbiana, asimilación por vegetación acuática) mediante los cuales un ecosistema lótico o léntico recupera paulatinamente sus condiciones de calidad originales tras recibir una carga orgánica o inorgánica (Chapra, 2008); (Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi, & Burton,, 2014).
- **Carga Contaminante:** Representa la masa total de una sustancia o elemento contaminante vertido a un cuerpo hídrico en una unidad de tiempo dada (expresada habitualmente en kg/día o t/año). Se calcula mediante la relación matemática entre el caudal volumétrico del efluente (Q) y la

concentración de la sustancia (C) (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible - MADS, 2024); (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible - MADS, 2024); (United States Environmental Protection Agency - USEPA, 2001):

$$\text{Carga (kg/día)} = Q\ \text{(L/s)} \times C\ \text{(mg/L)} \times 0{,}0864$$

- **Carga Máxima Diaria Permisible (TMDL - Total Maximum Daily Load):** Es la cantidad límite de un contaminante que un cuerpo hídrico receptáculo puede incorporar diariamente sin exceder los criterios o límites máximos fijados por los objetivos de calidad ambiental (United States Environmental Protection Agency - USEPA, 2001). Su estimación requiere incorporar un margen de seguridad (MOS) para considerar la incertidumbre en la modelación y las fluctuaciones estacionales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2023); (United States Environmental Protection Agency - USEPA, 2001).
- **Caudal de Diseño Ambiental / Escenarios Críticos:** La capacidad de asimilación varía de forma inversamente proporcional al caudal del cuerpo hídrico. Para efectos regulatorios, el análisis debe proyectarse sobre *escenarios hidrológicos estiajes o críticos* (tales como el caudal $7Q10$, correspondiente al caudal promedio mínimo consecutivo de siete (7) días con un período de retorno de 10 años), así como en condiciones moduladas por eventos de variabilidad climática como el fenómeno El Niño (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019); (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2023).

5.3 Indicadores de Calidad Hídrica y Dinámica Biogeoquímica en Ecosistemas Conectados

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (**DBO_5**) y Demanda Química de Oxígeno (**DQO**):** La DBO_5 mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido por microorganismos aerobios para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua en un lapso de 5 días a 20 °C (Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi, & Burton,, 2014). La DQO cuantifica la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar químicamente tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).
- **Relación y Coeficiente de Biodegradabilidad (**DBO_5/DQO **y** C_B**):** La proporción entre la DBO_5 y la DQO determina el grado de biodegradabilidad de una descarga o cuerpo de agua. Una relación $DBO_5/DQO > 0{,}6$ denota efluentes altamente biodegradables (predominantemente domésticos o agroindustriales), mientras que valores inferiores a $0{,}2$ indican la presencia de compuestos recalcitrantes o inhibitorios no biodegradables (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible -

MADS, 2024); (Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi, & Burton,, 2014). El *Coeficiente de Biodegradabilidad* (C_B) penaliza o pondera la tasa retributiva según la naturaleza de la carga contaminante (Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi, & Burton,, 2014).

- **Sólidos Suspendidos Totales (**SST**):** Representa la fracción de materia orgánica e inorgánica retenida por un filtro de fibra de vidrio de poro estándar (1,5 μm) (Metcalf & Eddy et al., 2014). En cuencas sometidas a alta presión de escorrentía o vertimientos industriales, los SST causan atenuación de la luz disponible, colmatación del lecho y transporte asociado de metales pesados y plaguicidas adsorbidos (Chapra, 2008).
- **Balance de Oxígeno Disuelto (**OD**) y Modelo de Streeter-Phelps:** El nivel de OD es el indicador fundamental de la salud de los ecosistemas acuáticos. La reaireación atmosférica (mecanismo de ganancia de OD) y la desoxigenación por oxidación de la materia orgánica (mecanismo de pérdida de OD) generan la curva del "sag" o déficit de oxígeno disuelto a lo largo del recorrido hídrico, formulada originalmente por Streeter y Phelps y expandida en modelos numéricos modernos (Chapra, 2008).
- **Conectividad Arroyo-Laguna Costera:** La dinámica hidroquímica de corrientes continentales lóticas (como el arroyo León) impacta directamente los cuerpos lénticos o estuarinos receptores (como la ciénaga de mallorquín). El aporte continuo de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y carga orgánica desencadena procesos de eutrofización, hipoxia e hiperoxigenación estacional en los ecosistemas estuarinos sensibles (Benavides Barrios, 2019); (Corporación Autónoma Regional del Atlántico - C.R.A., 2021).

5.4 Modelación Hidrodinámica, Sedimentológica y Transporte de Contaminantes

- **Modelación Hidrodinámica 1D/2D:** Es la representación mediante modelos matemático-computacionales del movimiento de los fluidos a través de las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento de Navier-Stokes (o las ecuaciones de Saint-Venant para flujos unidimensionales y bidimensionales promediados en la profundidad) (Deltares, 2022); (US Army Corps of Engineers - USACE, 2021). Permite simular los campos de velocidades, niveles de agua y caudales en distintos tramos y escenarios hidráulicos (US Army Corps of Engineers - USACE, 2021).
- **Transporte Convectivo-Dispersivo de Solutos:** Modela la evolución espacio-temporal de la concentración de un contaminante (C) a lo largo del cuerpo de agua considerando los fenómenos de *advección/convección* (transporte por la velocidad media del flujo), *dispersión hidrodinámica* (mezcla por gradientes de velocidad y turbulencia) y *cinética de reacción o decaimiento* (reacciones químicas o biológicas de primer orden):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} = D_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \pm k \cdot C$$

donde u es la velocidad del flujo, D_x es el coeficiente de dispersión longitudinal y k es la constante de decaimiento cinético (Chapra, 2008); (Deltares, 2022).

- **Modelación Hidrosedimentológica:** Simula la erosión en la cuenca (mediante expresiones como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada - RUSLE), así como el transporte de sedimentos en suspensión y de fondo, procesos de socavación y sedimentación en el cauce principal (Renard, Foster, Weesies, McCool, & Yoder, 1997); (US Army Corps of Engineers - USACE, 2021). Resulta determinante en cauces alterados antrópicamente para predecir la acumulación de lodos y el arrastre de contaminantes asociados a la fase sólida (USACE, 2021).

5.5 Revisión de usuarios generadores de descargas liquidas y verificación de cumplimiento de la norma

La reglamentación de vertimientos es una herramienta aplicable por las autoridades ambientales, con el objetivo de esta reglamentación consiste en que todos los vertimientos realizados al cuerpo de agua permitan garantizar los usos actuales y potenciales del mismo y el cumplimiento de los objetivos de calidad.

En tal sentido, el proyecto de reglamentación conlleva a una minuciosa revisión de los estados de cumplimiento de las normas actuales de vertimiento, la evaluación de la calidad del cuerpo de agua afectado y las relaciones de causalidad entre los usuarios identificados y la calidad del agua en el tramo del cuerpo de agua afectado.

5.6 Pasos y procedimientos que establece la norma para la reglamentación de vertimientos líquidos

El decreto 1076 en su capítulo 3, sección 7, establece algunos pasos y actividades técnicas y de orden legal, que deben atenderse de manera estricta en un proceso de reglamentación de vertimientos líquidos.

5.6.1 Publicidad del acto que ordena la reglamentación.

Con el fin de poner en conocimiento de los interesados la resolución mediante la cual se ordena la reglamentación de vertimientos, la autoridad ambiental competente, dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes a la publicación de la resolución, procederá a:

1. Fijar por el término de diez (10) días hábiles, en un lugar público de la sede de la autoridad ambiental competente y en su página web y en la Alcaldía o Inspección de Policía correspondiente, copia de la resolución.

2. Publicar un (1) aviso en un (1) periódico de amplia circulación en la región en el que se indique la fecha lugar y hora de las visitas técnicas. Si existen facilidades en la zona, adicionalmente se emitirá este aviso a través de la emisora radial del lugar.

5.6.2 Visitas técnicas y estudio de reglamentación de vertimientos

La visita técnica y los estudios para la reglamentación de vertimientos comprenderán por lo menos los siguientes aspectos:

1. Revisión y actualización de la información contenida en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.
2. Revisión y actualización de la georreferenciación de los vertimientos en cartografía oficial.
3. Inventario y descripción de las obras hidráulicas.
4. Caracterización de los vertimientos.
5. Incidencia de los vertimientos en la calidad del cuerpo de agua en función de los sus usos actuales y potenciales.
6. Análisis de la capacidad asimilativa del tramo o cuerpo de agua a reglamentar teniendo en consideración el Ordenamiento del Recurso Hídrico correspondiente.

5.6.3 Proyecto de reglamentación de vertimientos

La autoridad ambiental competente, elaborará el proyecto de reglamentación de vertimientos, dentro de los seis (6) meses siguientes contados a partir de la realización de las visitas técnicas y el estudio a que se refiere el artículo anterior.

Dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes a la elaboración del proyecto, la autoridad ambiental competente deberá publicar un (1) aviso en un (1) periódico de amplia circulación en la región en el que se informe sobre la existencia del proyecto de reglamentación y el lugar donde puede ser consultado. Si

existen facilidades en la zona, adicionalmente se emitirá este aviso a través de la emisora radial del lugar. Adicionalmente el proyecto de reglamentación deberá ser publicado en la página web de la autoridad ambiental competente.

Finalizado el plazo anterior, los interesados dispondrán de un plazo de veinte (20) días calendario para presentar las objeciones del proyecto

5.6.4 Objeciones al proyecto de reglamentación de vertimientos.

Una vez expirado el término de objeciones la autoridad ambiental competente, procederá a estudiarlas dentro un término no superior a sesenta (60) días hábiles, en caso de que sean conducentes ordenará las diligencias pertinentes.

5.6.5 Decisión sobre la reglamentación de los vertimientos.

Una vez practicadas estas diligencias y, si fuere el caso, reformado el proyecto de reglamentación de vertimientos, la autoridad ambiental competente, procederá a expedir la resolución de reglamentación y su publicación se realizará conforme a lo dispuesto en los artículos 70 y 71 de la Ley 99 de 1993.

La reglamentación de vertimientos afecta los permisos existentes, es de aplicación inmediata e implica el otorgamiento de permisos de vertimientos para los beneficiarios o la exigencia del plan de cumplimiento. Contra la decisión de la autoridad ambiental competente procede el recurso de reposición dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes a la notificación de la misma.

5.6.6 Aprobación de los sistemas de tratamiento en los procesos de reglamentación de vertimientos.

La autoridad ambiental competente requerirá en la resolución de reglamentación de vertimientos a los beneficiarios de la misma, la presentación de la información relacionada con la descripción de la operación del sistema, memorias técnicas y diseños de ingeniería conceptual y básica, planos de detalle del sistema de tratamiento y condiciones de eficiencia del sistema de tratamiento y señalará el plazo para su presentación.

5.6.7 Revisión de la reglamentación de vertimientos.

Cualquier reglamentación de vertimientos podrá ser revisada por la autoridad ambiental competente, a petición de parte interesada o de oficio, cuando hayan cambiado las condiciones o circunstancias que se tuvieron en cuenta para efectuarla.

Cuando quiera que la revisión de la reglamentación implique la modificación de la misma, se deberá dar aplicación al procedimiento previsto en el presente capítulo.

6 Metodología

El proceso de reglamentación se desarrolla con fundamento en lo establecido en el capítulo 3, sección 7 del decreto 1076 de 2015. En términos globales, se destacan las siguientes fases del proceso:

1. Aprestamiento: en esta fase se revisa el estado de la información requerida y los apoyos técnicos y jurídicos requeridos por la C.R.A. como responsable legal del proceso de reglamentación.
2. Convocatoria del proceso. Mediante acto administrativo se informa a los interesados del proceso y sus alcances.
3. Construcción del proyecto de reglamentación. Documento en el cual se sustenta la necesidad de la reglamentación. La norma establece que se debe desarrollar el diagnostico, los estudios de calidad, cálculos de cargas, evaluación de usuarios, modelación de capacidad de carga del arroyo, evaluación me metas y objetivos de calidad hídrica, propuesta del nuevo marco de normas de vertimiento.
4. Talleres de socialización
5. Visitas oficiales a los usuarios responsables de permisos de vertimiento
6. Publicación del proyecto de reglamentación
7. Proyección del borrador del acto administrativo de reglamentación
8. Recepción y evaluación de observaciones al proyecto de reglamentación
9. Informes técnicos de respuesta las observaciones presentadas por los interesados al proyecto de reglamentación.
10. Definición y publicación de la resolución de reglamentación

6.1 Estudio de la calidad del agua

El trabajo consistió en hacer un análisis histórico, y un análisis del estado actual. Para lo primero se contó con la base de datos de la C.R.A. y Barranquilla Verde, de las cuales se evaluaron las caracterizaciones aguas residuales entregadas por las empresas que vierten en la cuenca del arroyo León; con el fin de obtener un perfil histórico de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del mismo.

Para el análisis del estado actual, se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos en 20 estaciones, durante una campaña de monitoreo, que fue ejecutado los días 23, 24 y 25 de marzo de 2026, bajo condiciones climáticas de estiaje caracterizadas por temperaturas ambiente entre 15 y 25 °C, humedad relativa inferior al 70% y ausencia de precipitaciones significativas. El protocolo de muestreo aplicado fue el I-PMO01-27, garantizando la representatividad de las muestras puntuales en cada estación. Para asegurar la validez técnica y jurídica de este informe, todos los ensayos se realizaron bajo el aseguramiento de la calidad de la acreditación NTC-ISO/IEC 17025, observando las resoluciones del IDEAM 1537 de 2025, 0172 de 2026 y 0176 de 2026.

Se calcularon, entre otros:

- El **Índice de Calidad del Agua (ICA),** el cual utiliza subíndices de los valores de Demanda química de oxígeno – DQO , sólidos suspendidos totales - SST, Porcentaje de saturación de oxígeno (%OD), Conductividad (μS/cm), pH (unidades de pH), nitrógeno total y fósforo total, tal como lo establece la Hoja metodológica de indicadores para Operaciones Estadísticas y Ambientales (IDEAM, 2010), así como un subíndice de los Coliformes fecales o termotolerantes (UFC/100 mL), como lo indica (Benavides Barrios, 2019), en su tesis de maestría sobre el análisis de la influencia de la calidad del agua del Arroyo León en la calidad del agua de la ciénaga de Mallorquín. Este índice demuestra en un único valor, la calidad del agua, con valores que varían de 0 a 1, siendo los valores cercanos a un (1), los que representa la mejor calidad del agua, como se indica en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA.

CATEGORÍA DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL INDICADOR	CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	SEÑAL DE ALERTA
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

Fuente: (IDEAM, 2010)

- El segundo índice observado es el **Biodegradabilidad**, el cual indica el potencial de un efluente para ser tratado. Consiste en el cociente entre la DBO y la DQO. La DBO refleja la carga biodegradable que las bacterias pueden consumir y la DQO permite identificar la presencia de contaminantes no biodegradables como detergentes, disolventes o hidrocarburos. Para este índice, el Decreto 1553 de 2024 establece los siguientes rangos (Tabla 6-2):

Tabla 6-2. Valores de la biodegradabilidad indicados en el Decreto 1553

Valor de Biodegradabilidad	Clasificación
>0,6 - 0,8 <=	Muy biodegradable
> 0,4 - 0,6 <=	Biodegradable
> 0,2 - 0,4 <=	Poco Biodegradable
>= 0,0 - 0,2 <=	No Biodegradable

Fuente: Elaboración propia

Para la caracterización hidrológica de las 20 estaciones. Se determinaron los caudales y cargas aportadas (DBO_5, DQO, SST y Nutriente como el P y el N), incluyendo todos los agentes municipales e industriales interconectados. En el Anexo No 1, Perfiles de calidad de agua del arroyo León, se presentan los análisis y soportes con todo lo relacionado a la calidad del recurso

6.2 Descripción de vertedores (Usuarios)

Con la información recopilada se identificaron los usuarios que vierten al arroyo León y a sus afluentes. En cada caso se evalúan procesos productivos, tipología y calidad de aguas residuales, sistemas de manejo y tratamiento, estado de cumplimiento de las normas de vertimiento. En el Anexo No. 3, Diagnóstico y evaluación de los usuarios generadores de descargas líquidas que vierten directamente al arroyo León, se presenta de manera más de tallada el diagnóstico y evaluación de los usuarios generadores de descargas liquidas que vierten de manera directa al arroyo León.

6.3 Red de monitoreo

Se diseñó una red base de monitoreo que integró 20 estaciones de muestreo (E-1 a E-20) que abarcan espacialmente tanto el eje principal del arroyo León y principales afluentes, así como las descargas más representativas, como la EDAR El Pueblo, Lagos del Caujaral y PTAR de Galapa. En ellas se realizó la caracterización del estado actual de los parámetros fisicoquímicos (campaña realizada durante marzo del 2026), así como la medición de caudales, para realizar las modelaciones. Los nombres y ubicación de las estaciones de monitoreo se encuentran en la Tabla 6-3 y la Figura 6–1. El monitoreo del cuerpo de agua

fue ejecutado por AmSpec MCS Colombia S.A.S., laboratorio acreditado por el IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025 y bajo las siguientes condiciones:

- **Procedimiento de Muestreo:** I-PMO01-27 (Muestreo puntual).
- **Fechas de Muestreo:** 23, 24 y 25 de marzo de 2026.
- **Condiciones Ambientales:** Temperatura entre 15-25 °C; Humedad relativa < 70%.
- **Técnicas Analíticas:**
  - ✓ **DBO:** Fotometría (SM 5210 B).
  - ✓ **DQO:** Volumetría (SM 5220 C).
  - ✓ **Oxígeno Disuelto:** Fotometría - Luminiscencia (ISO 17289).
  - ✓ **Coliformes:** Sustrato enzimático multicelda (SM 9223 B / EPA 40 CFR Part 136.3).
  - ✓ **Sólidos:** Gravimetría (SM 2540 C/D)

En el cuadro y grafica a continuación, se describen las estaciones de monitoreo trabajadas en el proceso de monitoreo del arroyo León.

Tabla 6-3. Estaciones de monitoreo de aguas durante campaña de marzo del 2026.

Cuerpo de agua principal	Estación	SITIO	Y	X
Arroyo Grande	E-01	Aguas arriba PTAR Galapa	10,905050	-74,896784
	E-02	Aguas abajo PTAR Galapa	10,909063	-74,897375
	E-03	Arroyo grande aguas abajo Las Hermanas	10,926255	-74,888387
	E-04	Aguas arriba arroyo Granada	10,964225	-74,890470
	E-05	Aguas abajo arroyo Granada	10,968042	-74,888228
	E-06	Tramo final arroyo Grande	11,003410	-74,875716
Tramo final arroyo Malvinas	E-09	Aguas arriba del arroyo Cañas y Hondo	10,955361	-74,842834
Arroyo Cañas	E-07	Aguas arriba Zofia sobre arroyo Cañas	10,917729	-74,858698
Arroyo León	E-08	Aguas abajo Zofia	10,939685	-74,850752
	E-10	Aguas arriba EDAR el pueblo	10,970716	-74,844637
	E-11	Aguas abajo EDAR el pueblo	10,972382	-74,846840
	E-12	Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde	10,986844	-74,855612

Cuerpo de agua principal	Estación	SITIO	Y	X
	E-13	Aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)	10,996866	-74,856833
	E-14	Aguas abajo Henequén	10,999792	-74,863892
	E-15	Aguas arriba arroyo Grande	11,007406	-74,876114
	E-16	Aguas abajo arroyo Grande	11,007388	-74,880670
	E-17	Aguas abajo brazo izquierdo	11,025801	-74,881989
	E-18	Aguas abajo brazo derecho	11,026258	-74,880403
	E-19	Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)	11,028017	-74,881925
	E-20	Desembocadura a. León	11,042980	-74,880049

Fuente: Elaboración Propia



Figura 6–1. Ubicación de las estaciones de monitoreo del arroyo León, durante campaña de marzo de 2026.
Fuente: Elaboración Propia

6.4 Perfiles de calidad

Con base en la caracterización fisicoquímica y microbiológica, tanto histórica como actual, se realizaron unos tableros de control o *dashboard*, que permiten observar las variaciones de las variables fisicoquímicas más representativas, resaltando los valores máximos y mínimos para cada variable, así como de los índices de calidad (ICA y Biodegradabilidad) y las cargas contaminantes.

6.5 Metodología de modelación

En preparación para un análisis detallado de la calidad del agua en el arroyo León, este documento establece el marco metodológico basado en el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en el componente principal de Calidad del Agua, claro asumiendo condiciones climáticas, hidrológicas e hidráulicas, que son los otros componentes del aplicativo en mención (SWMM). El propósito de este informe es definir los procesos, parámetros y datos necesarios levantados en campo, para una modelación hidrológica, hidráulica y de calidad del agua, que permita predecir en lo posible las afectaciones a la calidad del agua en el arroyo León y sus afluentes principales. Se fundamenta estrictamente en los manuales de referencia de SWMM para delinear un enfoque conceptual que guiará la recopilación de datos de campo, la construcción del modelo y su posterior calibración; lo cual tomará mucho tiempo, considerando las condiciones anóxicas que presenta la fuente hídrica a lo largo del cauce hasta desembocar al mar actualmente y la incidencia indirecta sobre la Ciénaga Mallorquín. A continuación, se discutirá la estructura conceptual del modelo SWMM, que sirve como base para representar sistemas de drenaje complejos como el del arroyo León y sus principales afluentes, que, en las 20 estaciones levantadas, 19 presentan un Índice de Calidad del Agua (ICA) Mala.

6.5.1 Descripción General de SWMM

El Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de lluvia-escorrentía diseñado para simular eventos únicos o de largo plazo, principalmente en áreas urbanas; que para este caso se realiza en el área de drenaje del arroyo León y sus principales afluentes, a través de 20 puntos o estaciones de monitoreo. Su propósito es rastrear la cantidad y calidad del agua a medida que se mueve a través de un sistema de drenaje; aclarando que, en varios trayectos o tramos de la fuente hídrica superficial por problemas de sedimentación y/o acumulación de residuos las velocidades de flujo

tienden a cero, comportándose como un sistema lentico que por condiciones de digestión de compuestos orgánicos y reacciones con compuestos inorgánicos en zonas sedimentadas las medidas de oxígeno disuelto tienden a cero (Anoxia). El modelo consta de dos componentes principales:

1. **Componente de Escorrentía:** Opera sobre una colección de subcuencas que reciben precipitación y generan escorrentía y cargas contaminantes superficial por arrastre de compuestos orgánicos e inorgánicos en especial de sectores con usos agroindustriales, en especial cultivos extensivos e intensivos.
2. **Componente de Enrutamiento (Transporte):** El transporte de la escorrentía a través de una red de secciones hidráulicas irregulares y/o canales naturales, canales artificiales o acequias, humedales o almacenamientos naturales y/o artificiales, plantas de tratamiento, y posibles estaciones de bombeo para agua de consumo o aguas residuales.

A lo largo de un período de simulación, SWMM rastrea la cantidad y calidad de la escorrentía generada en cada subcuenca, así como el caudal, la profundidad del flujo y la calidad del agua en cada tramo de sección irregular de los canales naturales y/o artificiales del sistema total de drenaje.

6.5.2 Modelo Conceptual de Objetos en SWMM

SWMM conceptualiza un sistema de drenaje como una serie de flujos de agua y materiales entre cuatro componentes ambientales principales, los cuales interactúan para simular el ciclo hidrológico y el transporte de contaminantes.

- **Atmósfera:** Genera la precipitación y ayuda con la dispersión de contaminantes por escorrentía sobre la superficie terrestre.
- **Superficie Terrestre:** Recibe la precipitación de la atmósfera. Genera flujos de salida en forma de evaporación hacia la atmósfera, infiltración hacia el subsuelo y escorrentía superficial hacia el sistema de transporte o red de drenajes naturales y/o artificiales.
- **Subsuelo:** Recibe la infiltración desde la superficie terrestre y transfiere una porción de este flujo al sistema de transporte como flujo de agua subterránea, que para el caso del arroyo León y sus principales tributarios no se analiza en este documento.
- **Transporte (Convergentes):** Contiene la red de elementos (Red de drenaje de secciones hidráulicas irregulares, ya sean naturales y/o artificiales, tuberías, etc.) y unidades de

almacenamiento naturales y/o artificiales, que transportan el agua hacia puntos de descarga (*outfalls*) o instalaciones de tratamiento.

Para representar físicamente estos compartimentos y sus interacciones, SWMM utiliza un conjunto estándar de objetos de modelado. La Tabla 6-4 resume los objetos clave.

Tabla 6-4. Objetos compartimentados en el modelo SWMM.

OBJETO	DESCRIPCIÓN
	HIDROLOGÍA
Rain Gage (Pluviómetro)	Fuente de datos de precipitación para una o más subcuencas.
Subcatchment (Subcuenca)	Una parcela de terreno que recibe precipitación y genera escorrentía que fluye hacia un nodo del sistema de drenaje o hacia otra subcuenca.
Aquifer (Acuífero)	Un área subsuperficial que recibe infiltración de la subcuenca superior e intercambia flujo de agua subterránea con un nodo del sistema de transporte.
	HIDRÁULICA
Junction (Nodo/Unión)	Un punto en el sistema de transporte donde los conductos se conectan, con un volumen de almacenamiento insignificante (Ejemplo: pozos, uniones de tramos de canales irregulares o tuberías).
Outfall (Descarga/Salida)	Un punto final del sistema de transporte donde el agua es descargada a un receptor (Como un cuerpo de agua que en este caso es el mar y/o ciénaga, o una planta de tratamiento) con un nivel superficial o de superficie de agua conocida.
Storage Unit (Unidad de Almacenamiento)	Un estanque, tramo, lago, embalse o cámara que proporciona almacenamiento de agua.
Conduit (Conducto)	Un canal natural o tubería que transporta agua de un nodo del sistema a otro.

Fuente: Modificado de (Rossman, 2017)

Estos objetos son los bloques de construcción fundamentales que permiten al modelo simular los procesos físicos específicos que gobiernan la hidrología y la calidad del agua en una cuenca.

6.5.3 Modelación de cargas relacionadas con el marco de objetivos de calidad dominante y/o potencial

Se realizarán cálculos de cargas de DBO5 y SST en el cuerpo de agua, considerando las condiciones actuales y los objetivos de calidad reinantes y aprobados por la autoridad ambiental. Este mismo ejercicio, se realizará considerando el nuevo marco de objetivos de calidad a establecer y con ellos, las nuevas cargas de materias contaminantes como CARGA MÁXIMAS PERMISIBLES y las reducciones esperadas en el corto, mediano y largo plazo. Con estos resultados, se podrá allanar el camino para establecer un nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES de descargas individuales como soporte esencial de la reglamentación de vertimientos. Modelación de la Calidad del Agua en SWMM

6.5.4 Procesos Fundamentales de Calidad del Agua

Para el estudio del arroyo León y sus principales tributarios, es estratégicamente importante comprender los procesos de calidad del agua que SWMM puede simular; que para este caso es muy complejo, debido a las condiciones base que se presentan en el arroyo León y sus principales tributarios, como tener un oxígeno disuelto a lo largo del cauce, que prácticamente no permite establecer un tiempo de recuperación apropiado, ya que está supeditado a secciones hidráulicas colmatadas por sedimentos y residuos sólidos que no permiten el drenaje adecuado del agua en cierto periodos de tiempo. El modelo es capaz de representar la generación, transporte y transformación de una amplia gama de contaminantes definidos por el usuario. Según se detalla en el **manual de referencia de SWMM, Volumen III: Calidad del Agua y Desarrollo de Bajo Impacto** (Rossman, 2017), los procesos clave que SWMM puede modelar incluyen:

- Acumulación de contaminantes en tiempo seco (*dry-weather pollutant buildup*) sobre diferentes usos del suelo.
- Lavado de contaminantes (*pollutant washoff*) desde usos del suelo específicos durante eventos de tormenta.
- Aporte directo por deposición de la lluvia.
- Reducción de la carga de lavado mediante la implementación de Mejores Prácticas de Manejo (BMP).
- Enrutamiento (Transporte) de constituyentes de calidad del agua a través del sistema de drenaje.
- Reducción de la concentración de constituyentes mediante tratamiento en unidades de almacenamiento o por procesos naturales en canales naturales de sección irregular, canales artificiales y/o tuberías.

Las siguientes subsecciones profundizan en los mecanismos de generación de cargas contaminantes, que son el punto de partida para cualquier análisis de calidad del agua.

6.5.4.1 Análisis de Fuentes de Contaminantes

SWMM considera varias fuentes que contribuyen al deterioro de la calidad del agua en cuencas urbanas. Para un análisis completo, es necesario evaluar la relevancia de cada una de estas fuentes en el área de estudio de la microcuenca del arroyo León y sus tributarios.

- **Precipitación (Deposición Húmeda).** La composición química asociada con la precipitación, también conocida como deposición húmeda, representa una contribución directa a la calidad de la escorrentía superficial. La lluvia puede contener cantidades significativas de nitratos, nitritos y otros contaminantes, los cuales varían según la ubicación y la época del año. SWMM permite especificar una concentración constante para cada constituyente en la precipitación.

- **Escorrentía Superficial (*Buildup* y *Washoff*).** Para la mayoría de las aplicaciones de SWMM, la escorrentía superficial es el origen principal de los constituyentes de calidad del agua. El modelo conceptual asume que un suministro de contaminantes se acumula en las superficies terrestres durante el tiempo seco (un proceso llamado *buildup*). Cuando ocurre un evento de lluvia, una fracción de este material es arrastrada hacia el sistema de drenaje (un proceso llamado *washoff*). SWMM utiliza ecuaciones empíricas para modelar estos dos mecanismos.

- **Flujo en Tiempo Seco (*Dry Weather Flow*).** El flujo en tiempo seco se define como la descarga continua de aguas residuales sanitarias o industriales directamente en el sistema de transporte. Esta fuente es relevante principalmente cuando se modelan sistemas de alcantarillado sanitario o combinado. SWMM permite definir patrones de variación (diurnos, diarios, mensuales) tanto para el caudal como para las concentraciones de contaminantes de estas descargas.

- **Flujo de Agua Subterránea.** El flujo lateral de agua subterránea desde la zona saturada de una subcuenca hacia un nodo del sistema de transporte puede introducir contaminantes en la red de drenaje. El modelo permite asignar concentraciones constantes a este flujo para cada constituyente de calidad del agua que se esté modelando.

6.5.4.2 Mecanismos de Acumulación (Buildup) y Lavado (Washoff)

SWMM utiliza mecanismos empíricos para cuantificar la generación de contaminantes a partir de la escorrentía superficial, los cuales requieren calibración con datos locales para ser fiables; para este caso se deberán implementar las estaciones permanentes para poder modelar con varias medidas y no colocar un solo dato, se requieren estaciones de monitoreo permanente.

Acumulación (*Buildup*). El modelo ofrece tres funciones para simular la acumulación de contaminantes en las superficies de los usos del suelo durante el tiempo seco:

- ✓ **Función de Potencia (*Power*):** La masa acumulada aumenta como una función de potencia del número de días secos, lo que permite un crecimiento ilimitado o limitado por un máximo definido por el usuario.
- ✓ **Función Exponencial (*Exponential*):** La tasa de acumulación disminuye a medida que la masa acumulada se acerca a un valor máximo, siguiendo una curva exponencial.
- ✓ **Función de Saturación (*Saturation*):** Es similar a la función exponencial, pero utiliza una cinética de tipo Michaelis-Menten, donde la acumulación se aproxima a un máximo de forma asintótica (Secciones y tramos sedimentados).
- ✓ **Lavado (*Washoff*).** Para representar el lavado de los contaminantes acumulados, SWMM incorpora tres modelos empíricos principales:
- ✓ **Lavado Exponencial (*Exponential Washoff*):** Es el método más utilizado. La tasa de lavado es proporcional al producto de la escorrentía elevada a un exponente y la masa de contaminante que queda en la superficie. Esto produce un efecto de "primer lavado" (*first flush*), donde las concentraciones son más altas al inicio de la tormenta.
- ✓ **Curva de Gasto (*Rating Curve*):** La carga de contaminante (Masa por tiempo) es directamente proporcional a la tasa de escorrentía elevada a una potencia. A diferencia del lavado exponencial, este modelo no considera la disponibilidad limitada de contaminantes en la superficie.
- ✓ **Concentración Media del Evento (EMC):** Este es el enfoque más simple. La carga de contaminante es el producto directo de la tasa de escorrentía y una concentración constante (la EMC). Este método asume que la concentración del contaminante en la escorrentía no varía a lo largo del evento de lluvia.

La selección y parametrización de estas funciones dependen críticamente de los datos de campo. Como se advierte en los manuales de SWMM, "**De hecho, las predicciones de calidad de SWMM, son mayormente hipotéticas a menos que se disponga de datos locales de la cuenca para su calibración y validación.**" La selección de la función más apropiada (Potencia, Exponencial, etc.) y la estimación de sus coeficientes dependerán directamente de la caracterización de los usos del suelo en la cuenca del Arroyo y de los datos de diagramas de contaminantes recopilados, como se detalla en el numeral 6.5.5.2. La aplicación de estos conceptos teóricos al estudio del arroyo León y sus principales tributarios, requerirá de un programa de monitoreo robusto.

6.5.5 Aplicación Propuesta del Modelo SWMM para el Arroyo León

6.5.5.1 *Estrategia de Discretización y Representación del Sistema*

Un paso fundamental en la modelación es traducir correctamente el sistema físico del arroyo León y sus principales tributarios, con sus respectivas áreas de drenaje que aportan al modelo SWMM. Siguiendo el modelo conceptual del software, las tres áreas de tributarios y los 20 puntos de monitoreo identificados para el estudio se representarían mediante una combinación de estos objetos. Conceptualmente, las áreas de drenaje que contribuyen con escorrentía a cada punto de monitoreo se modelaron como objetos *Subcatchment*. Los cuerpos de agua abiertos o zonas de retención dentro del sistema de drenaje natural con secciones hidráulicas irregulares se representaron como tramos. Los puntos donde confluyen diferentes flujos o donde se ubican los puntos de monitoreo se representaron como Junction, y los puntos de salida finales del sistema hacia un cuerpo receptor mayor se definieron como *Outfall*. Los canales y conexiones entre estos puntos se modelaron como *Conduit*.

6.5.5.2 *Requerimientos de Datos de Campo y Parametrización del Modelo*

El éxito de la modelación del arroyo León y sus principales tributarios, depende críticamente de la calidad y cantidad de los datos de campo recopilados en los 20 puntos de monitoreo. Estos datos fueron indispensables para parametrizar y calibrar tanto el componente hidrológico como el de calidad del agua del modelo. A continuación, se detallan los tipos de datos de campo utilizados y su aplicación en SWMM:

- **Datos de Precipitación:** Se integraron series temporales de precipitación con una resolución adecuada (por ejemplo, 5, 15 o 60 minutos) asignándolo a los objetos *Rain Gage* (pluviómetros), los cuales impulsan toda la simulación hidrológica y de lavado de contaminantes.

- **Datos de Caudal y Nivel de Agua:** Las mediciones continuas de caudal y nivel de agua en los puntos de monitoreo fueron esenciales para la calibración del modelo hidráulico. Estos datos permitieron ajustar los parámetros clave como la rugosidad de Manning, en los tramos de los canales naturales de sección hidráulica irregular, para asegurar que el modelo reproduzca correctamente los hidrogramas observados.

Los datos presentados corresponden a los estudios reportados por el Consorcio SICC del Caribe que fueron revisados y compatibilizados con los expertos en modelación de cargas. Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Se ajustaron las precipitaciones a cada 10 min con una curva SCS Type II. este ajuste adaptó las precipitaciones a series de 24 horas que dan hidrogramas de respuesta más amplios, pero con caudales pico más altos que los que podían asumiendo los valores constantes en 24 horas.

- ✓ Q70 y Q50 corresponden al 50% de duración (de curva de duración) ajustada con los caudales pico de los caudales registrados en los respectivos *basins* y *reaches*.

- ✓ Para caudales asociados a periodos de retorno (Máximos) se tuvo en cuenta el ajuste a mejor distribución de probabilidad y el cálculo del valor asociado, teniendo en cuenta sólo los valores máximos anuales (para garantizar la independencia de los eventos de precipitación).
- ✓ Los arroyos urbanos se distribuyen según el porcentaje de área de la SUB28.

- ➢ **Concentraciones de Contaminantes:** Las mediciones de concentraciones de contaminantes clave (Por ejemplo, Sólidos Suspendidos Totales - SST, Fósforo Total - TP, Nitrógeno Total Kjeldahl - TKN, metales pesados) en los puntos de monitoreo durante eventos de lluvia son cruciales. Estos datos, conocidos como polutogramas, se utilizaron para calibrar los parámetros de acumulación (*Buildup*) y lavado (*Washoff*) asociados a los diferentes usos del suelo identificados en la cuenca del arroyo León y sus principales tributarios.

- ➢ **Características del Suelo:** Para parametrizar adecuadamente los modelos de infiltración (Como Horton o Green-Ampt) en las áreas permeables, se necesitaron datos sobre el tipo de suelo, su conductividad hidráulica, contenido de humedad inicial y otras propiedades geotécnicas.

6.5.5.3 *Cuadro Comparativo de Indicadores de Calidad del Agua*

Para contextualizar los datos que se obtuvieron en el arroyo León, se compararon con valores de referencia. La siguiente tabla presenta concentraciones medias de evento (EMC) típicas para usos de suelo urbanos, extraídas del Programa Nacional de Escorrentía Urbana de la EPA de EE. UU (U.S. Environmental Protection Agency., 1983).

Tabla 6-5. Cuadro Comparativo de Concentraciones Medias de Evento (EMC) Típicas para Indicadores Clave.

INDICADOR DE CALIDAD DEL AGUA	USO RESIDENCIAL (mg/L)	USO COMERCIAL (mg/L)	ARROYO LEÓN
DBO (BOD)	10	9.3	*Datos a obtener en los 20 puntos de monitoreo*

INDICADOR DE CALIDAD DEL AGUA	USO RESIDENCIAL (mg/L)	USO COMERCIAL (mg/L)	ARROYO LEÓN
DQO (COD)	73	57	*Datos a obtener en los 20 puntos de monitoreo*
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	101	69	*Datos a obtener en los 20 puntos de monitoreo*
Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN)	1,9	11,79	*Datos a obtener en los 20 puntos de monitoreo*
Fósforo Total (TP)	0.383	0.201	*Datos a obtener en los 20 puntos de monitoreo*

Fuente: Valores típicos del Nationwide Urban Runoff Program (U.S. Environmental Protection Agency., 1983), citados en el manual de referencia de SWMM.

Esta tabla sirvió como un punto de referencia inicial para evaluar la magnitud de las concentraciones que se medirán en el arroyo León y sus principales tributarios, lo que a su vez guía el proceso de simulación y ajuste del modelo en el tiempo.

6.5.5.4 *Proceso de Simulación y Calibración*

Un proceso de simulación y calibración riguroso es de importancia estratégica para asegurar que el modelo represente de manera fiable las condiciones hidrológicas e hidráulicas del arroyo León. SWMM es un modelo de simulación discreta en el tiempo, lo que significa que calcula nuevos valores de sus variables de estado (Como caudal, profundidad del agua y concentración de contaminantes) en una secuencia de pasos de tiempo. En cada paso, el sistema responde a un nuevo conjunto de entradas externas, como la precipitación.

La calibración del modelo es un paso ineludible. Consiste en un proceso iterativo de ajuste de los parámetros del modelo para que los resultados de la simulación coincidan con los datos medidos en los seis puntos de monitoreo. Este proceso es especialmente crítico para los parámetros de calidad del agua (Por ejemplo, coeficientes de acumulación y lavado), ya que estos no pueden determinarse con precisión a partir de la literatura. Tal como lo afirma el manual de SWMM, "no hay sustituto para los datos locales (Lluvia, flujo y mediciones de concentración) con los que calibrar y verificar las predicciones de calidad" por tanto predecir condiciones con valores puntuales en las 20 estaciones con condiciones de calidad MALA, con casi anoxia total y secciones sedimentadas y colmatadas por residuos sólidos, el modelo arrojó muchas inconsistencias para tratar establecer un comportamiento ideal en el tiempo, al comparar dichos resultados con los datos futuros podrían estar alejados de la realidad; por eso es indispensable seguir realizando nuevas modelaciones a medida que vayan mejorando, en el tiempo, las condiciones base adecuadas para modelar en lo posible más ajustado a las condiciones reales y no teóricas, máxime cuando se trata de reglamentar los vertimientos de aguas residuales, ya que gran parte la problemática, además

de la disposición inadecuada de vertimientos, se agrava con la utilización de la fuente de agua como receptor y agente de arrastre de residuos sólidos.

6.5.5.5 *Pautas para la Revisión y Corrección del Modelo*

Dado que no se dispone de un archivo de modelo preexistente para el arroyo León y sus principales tributarios, a continuación, se describe un procedimiento general para la depuración y corrección de un modelo SWMM construido.

- **Verificación de Unidades:** El primer paso fue verificar que todas las unidades de los parámetros de entrada (Por ejemplo, área en hectáreas, caudal en m³/s o L/s, precipitación en mm/h) coincidan con el sistema de unidades seleccionado para el proyecto (SI Métrico o USCS).
- **Validación de la Conectividad de la Red:** Se aseguró que la red de nodos (*Junctions*, *Outfalls*, *Storage Units*) y enlaces (*Conduits*) estuviera correctamente conectada, sin elementos huérfanos o errores topológicos que impidieran el flujo del agua a través del sistema. Errores en la conectividad son una fuente común de fallos en la simulación.
- **Análisis de Continuidad de Flujo:** Al finalizar una simulación, el informe de estado de SWMM proporciona un error de continuidad de flujo, que cuantifica la diferencia entre las entradas y salidas totales del sistema. Errores superiores al 5-10% pueden sugerir inestabilidad numérica o problemas en la configuración del modelo que deben ser investigados y corregidos, como un paso de tiempo inadecuado o parámetros hidráulicos poco realistas.
- **Ajuste de Parámetros por Comparación:** Este es el núcleo del proceso de calibración. Consiste en comparar los hidrogramas (Gráficos de caudal vs. tiempo) y polutogramas (Gráficos de concentración vs. tiempo) generados por el modelo con los datos medidos en los puntos de monitoreo. Se ajustaron iterativamente los parámetros clave (Por ejemplo, coeficientes de Washoff, rugosidad de Manning, parámetros de infiltración) para minimizar las diferencias entre los resultados simulados y los observados.

6.5.6 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 el arroyo León, se realizó la modelación aplicando una herramienta desarrollada en Excel, en la cual se muestra cual sería el escenario optimo 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 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.

7 Resultados y análisis

Se presentan aquí los análisis y resultados como parte del procesamiento y evaluación de la información, tanto secundaria, como aquella levantada en campo durante la fase inicial del proyecto. En este acápite se presentan los aspectos claves que requiere y establece la legislación en el Capítulo 3, sección 7 del decreto 1076 de 2015 relacionados con la reglamentación de vertimientos líquidos. Se trabajan aquí los asuntos relacionados con: la revisión de los usuarios generadores de descargas liquidas con sus procesos, la tipificación de sus descargas y la descripción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en cada caso particular.

Al final de este capítulo y como resultado más importante, se presentan tanto los nuevos objetivos de calidad hídrica, como los LIMITES PERMISIBLES de descargas liquidas puntuales, requeridos para ajustarse a los mínimos posibles de CAPACIDAD DE CARGA del arroyo León para el corto, mediano y largo plazo.

7.1 Usuarios identificados en registros históricos recientes

De acuerdo con lo que define el decreto 1076 de 2015 en su capítulo 3, existen dos tipos de usuarios del recurso hídrico, en lo que respecta a su relación con el cuerpo de agua como receptor de descargas liquidas puntuales. En primer lugar, están aquellos que usan la fuente hídrica de manera directa para disponer sus aguas residuales, independientemente de su tipología. En segundo lugar, esta los usuarios

indirectos, es decir, aquellos que vierten sus aguas residuales a los sistemas públicos de alcantarillado, siendo la Empresa de Servicios Públicos - ESP, la responsable de su administración, control y seguimiento y muy particularmente, la responsable de otorgar el permiso de vertimiento y de realizar el cobro de los cargos por contaminación y trasladar esos recaudos a la Corporación competente. En ambos casos, la ESP, debe informar a la autoridad Ambiental y mantener un sistema de control y monitoreo permanente de esos afiliados, de tal forma que ayuden a la Autoridad, con el cumplimiento de las normas ambientales, en especial con los Objetivos de calidad hídrica del cuerpo receptor de sus descargas líquidas.

La reglamentación de vertimientos líquidos, se concentra de manera estratégica en aquellos usuarios identificados como vertedores directos al arroyo león, por cuanto, son ellos quienes se entienden de manera directa con la Autoridad ambiental para responder por las normas nacionales, regionales y locales de vertimientos líquidos. Desde la perspectiva de las normas ambientales, esta clase de usuarios quedan ligados a compromisos especiales como:

- Tramite de permisos de vertimientos líquidos puntuales
- Presentación periódica, de acuerdo a lo que defina la autoridad ambiental, de estudios de caracterización de descargas liquidas puntuales.
- Cumplimiento de requisitos relacionados con LIMITES PERMISIBLES
- Cumplimiento con los objetivos de calidad hídrica para el cuerpo receptor en la zona o tramo del cuerpo de agua donde se genera la descarga liquida.
- Liquidación y pago de la tasa retributiva de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1553 de 2024.
- Condiciones establecidas en procesos de reglamentación de vertimientos líquidos, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 1076 de 2015.

El análisis de la información adelantado dentro del estudio de reglamentación, permitió identificar 16 usuarios que vierten de manera directa sus aguas en los cuerpos de agua que llegan al arroyo León, mientras que tres (3) usuarios cuentan con permiso de captación de las aguas de la cuenca. En la Tabla 7-1 se encuentra la lista de 14 usuarios, de los cuales en el Anexo 2, se presentan las fichas de cada una de las empresas, donde se incluyen los datos de la empresa, localización, características del vertimiento, caudal vertido y descripción de las obras hidráulicas; dichos datos fueron confirmados en las visitas técnicas realizadas, durante las cuales, no se recibieron observaciones ni recomendaciones en relación al presente Proyecto, tal como lo solicita el artículo 2.2.3.3.7.4. del Decreto 1076 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015); En las visitas técnicas asociadas a este proyecto de reglamentación se corroboró la información disponible en las fichas de empresas (Anexo 2). Se constata

que el arroyo León no es sujeto de PORH dado que no está priorizado según los criterios y lineamientos dispuestos en la resolución 0000145 de 2021 expedida por la Corporación.

Tabla 7-1. Lista de usuarios que vierten aguas en la cuenca del arroyo León.

Razón social	No. DOC.	DIRECCIÓN DE CORRESPONDENCIA
Aqualia Latinoamérica S.A. E.S.P.	901362452-7	Calle 10 # 59-120, Lc.3C, Parque Industrial Los Volcanes, Galapa
Camagüey S.A.	890.100.026-1	Calle 15 Con carrera 19 Esquina (Galapa, Atlántico)
Exotika Leather internacional S.A.S.	900846662-1	KM 114 Av. La Cordialidad MZ 17 LT 185 Z
Hada International SAS	900.388.839-2	Zona Franca La Cayena Manzana B Lote 6, 7 y 8, Km 8 Vía Barranquilla - Tubará
ZILOG Parque Industrial PH	901.042.470-7	Calle 110 Av. Circunvalar No 6-361 Local 5
Sempertex ZF	901.546.984-4	Zona Franca Internacional Zofia Lote 311 al 316 Galapa
Sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Triple A E.S.P. - EDAR el Pueblo	800.135.913-1	Calle 63B Carrera 36 esquina, Barranquilla
Sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Triple A E.S.P. - EDAR el Galapa	800.135.913-1	Calle 63B Carrera 36 esquina, Barranquilla
Urbanización lomas del Caujaral	900.054.824-9	Km 9 Vía Puerto Colombia, Club Lagos del Caujaral
Zona franca la Cayena	900.294.810-5	Km 8 vía a Tubará
Zofia Propiedad Horizontal – Zofia PH	900757848-2	km 114 vía la cordialidad

Fuente: Elaboración Propia

La ubicación de los usuarios identificados se observa en la Figura 7–1.

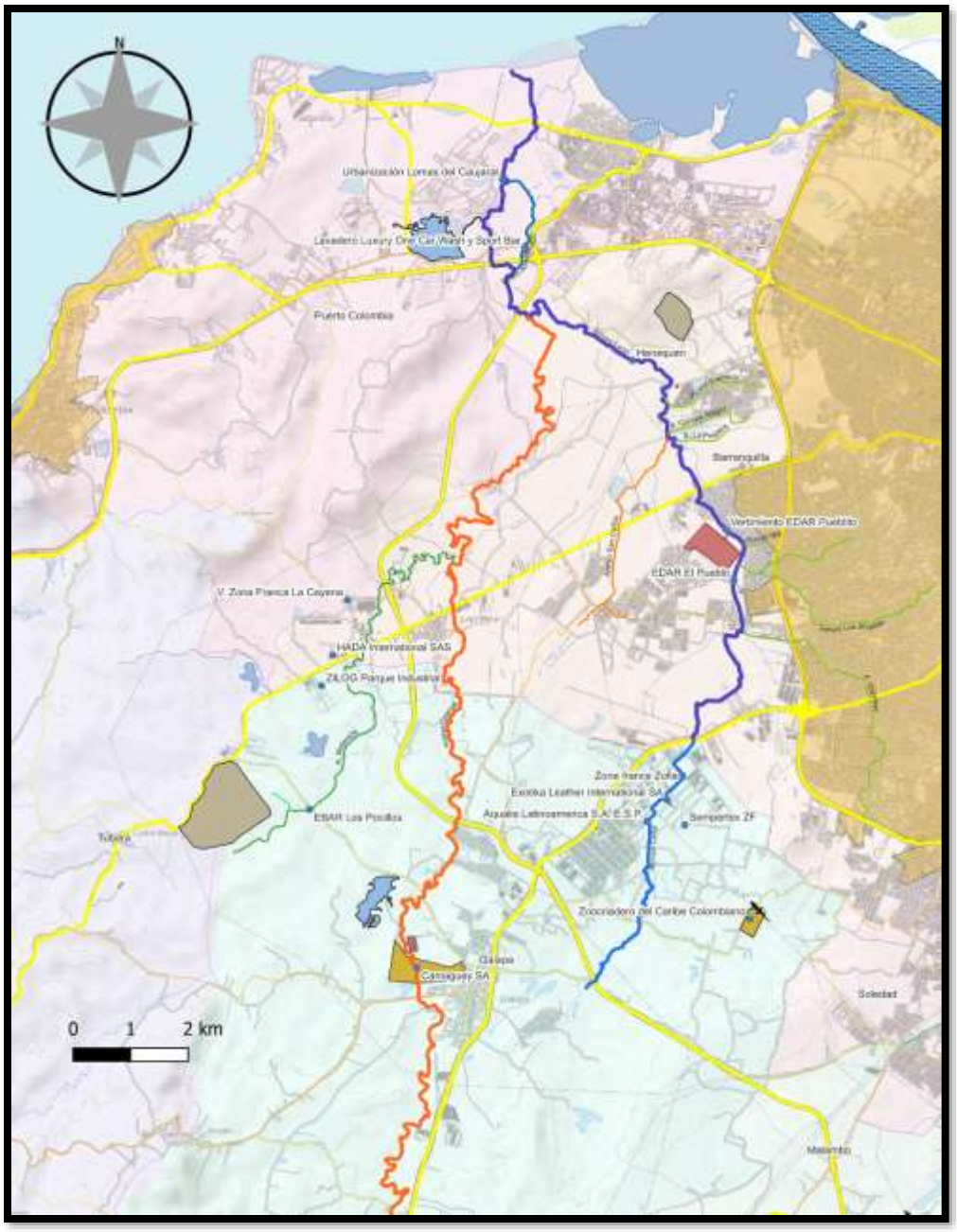

Figura 7–1. Ubicación de los usuarios identificados en los registros de la C.R.A. y Barranquilla Verde.
Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo No 2, Fichas de las empresas, se presenta el compendio de fichas individuales de evaluación de cada uno de los usuarios identificados como agentes vertedores de descargas liquidas puntuales al arroyo León o a sus tributarios; mientras que, en la Figura 7–2, se observan la cartografía de los vertimientos identificados.

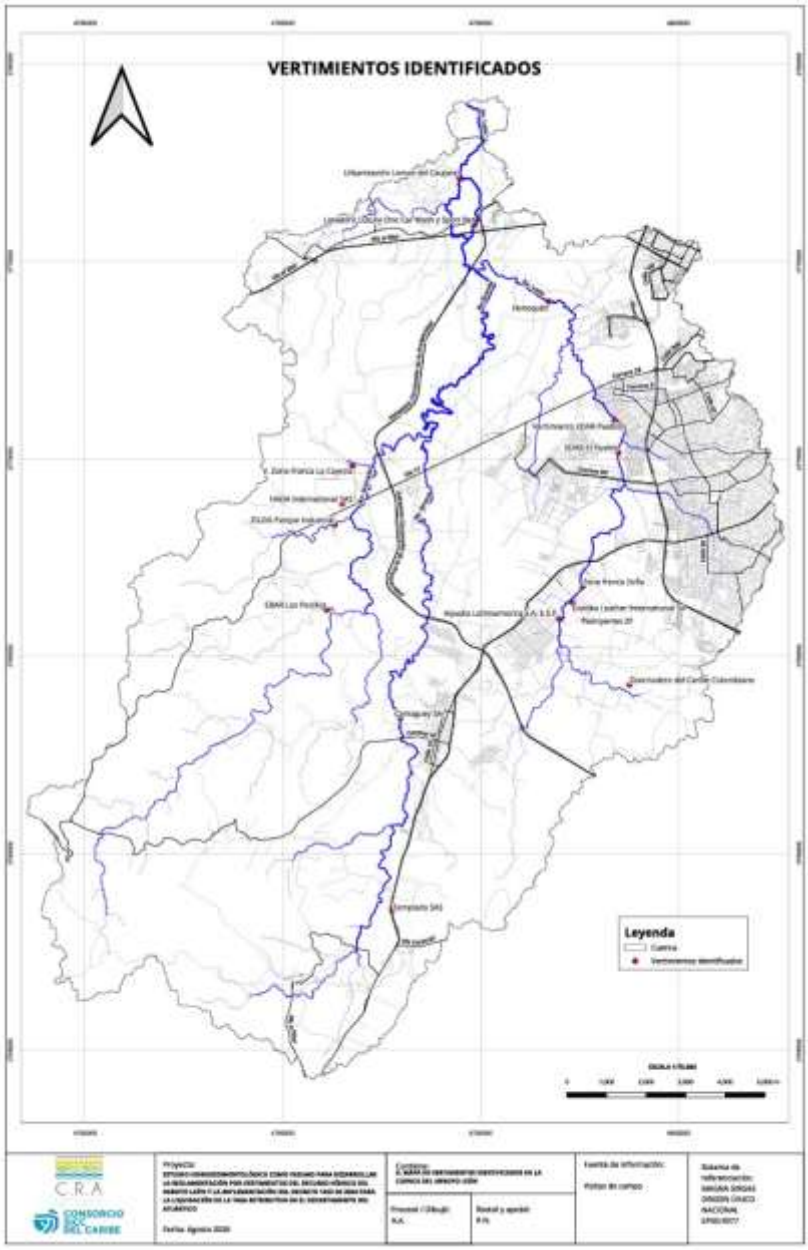

Figura 7–2. Ubicación de los vertimientos de los usuarios identificados y verificados.
Fuente: Elaboración Propia

7.2 Calidad y cargas de agentes puntuales identificados (Usuarios Principales)

Para la determinación de la calidad del agua se observaron los registros históricos de las empresas que caracterizan vertimientos, las cuales se listan en la Tabla 7-2. Información detallada de los vertimientos está disponible en el Anexo No. 3, Diagnóstico y evaluación de los usuarios generadores de descargas líquidas que vierten directamente al arroyo León. Esta información se usó para evaluar la incidencia de los vertimientos en la calidad del agua del arroyo en función de los usos actuales y potenciales.

En la Tabla 7-2, se presenta el resumen de la revisión de los expedientes y el estado del manejo de descargas con sus sistemas de tratamiento de aguas residuales y la coordenada del punto de vertimiento:

Tabla 7-2. Evaluación sistemas de tratamiento de aguas residuales para usuarios directos del arroyo León o afluentes.

Usuario generador de descargas liquidas puntuales	Expediente (No)	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IDENTIFICADOS USUARIOS DEL ARROYO LEÓN Y AFLUENTES												
		Tipo de tratamiento			Configuración de la línea de tratamiento de aguas residuales					Coordenadas de la descarga		Fuente receptora	Evaluación (Res 0631/ 2015)	
		Aerobio	Anaerobio	Mixto	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Estructura de descarga	NORTE	OESTE		Cumple	No cumple
Aqualia Latinoamérica S.A. E.S.P.	0502-266	X			X	X	X		Emisario	10°55'40,374"	-74°51'49,278"	A. Caña		X
Camagüey S.A.				X	X		X		Emisario	10°54'52,6"	-74°54'54,02"	A. Grande		X
Exotika Leather internacional S.A.S.	0710-864			X			X		Emisario	10°55'57,77"	-74°51'8,96"	A. Caña	X	
Hada International SAS	0202-337	SI	SI	SI	X	X			Emisario	10°57'5,76"	-74°54'31,29"	A. Granada		X
Sempertex ZF	SI			X	X	X	X	X	Emisario	10°55'40,8"	-74°51'27,3"	A. Caña		X
Sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Triple A E.S.P. - EDAR el Pueblo	SI			X	X	X	X		Emisario	10°58'16.41"	74°50'44.54"	A. León	X	
ZILOG Parque industrial PH	0502-314	X		X	X		X	X	Emisario	10°56'49,16"	-74°54'37,99"	A. Malemba	SI	SI
Urbanización Lomas del Caujaral	1409-122	X			X		X		Emisario	11°1'36,1916"	-74°52'54,14"	A. León	X	
ZOFIA propiedad horizontal - ZOFIA PH	0007371-2023	X			X		X		Emisario	10°55'57,89"	-74°51'9,52"	A. Caña	X	

Usuario generador de descargas liquidas puntuales	Expediente (No)	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IDENTIFICADOS USUARIOS DEL ARROYO LEÓN Y AFLUENTES												
		Tipo de tratamiento			Configuración de la línea de tratamiento de aguas residuales					Coordenadas de la descarga		Fuente receptora	Evaluación (Res 0631/ 2015)	
		Aerobio	Anaerobio	Mixto	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Estructura de descarga	NORTE	OESTE		Cumple	No cumple
Zona Franca Permanente la Cayena	0202-483	X					X		Emisario	10°57'37.05"	74°54'22.99"	A. Malemba	X	
Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P Triple A S.A. E.S.P. – EDAR Galapa	0527-298	X		X	X	X	X	X	Emisario	10°54'26,92"	74°53'53,83"	A. Grande		X
NOTAS	SI: SIN INFORMACIÓN													

Fuente: Elaboración Propia

La revisión permite establecer que, de los 11 usuario identificados como vertedores directos, cinco (5) de ellos no cumplen con la resolución 0631 de 2015 de Limites permisibles. De uno de ellos no se tiene información actualizada y los cinco (5) restantes, cumplen con la normatividad de vertimientos. La información descriptiva a detalle de estos usuarios se muestra en el Anexo No 2, Fichas de las empresas.

7.3 Calidad actualizada y Proyectada del Arroyo

La calidad del arroyo León se ha reconstruido a partir de dos análisis especiales: en primer lugar, a partir de los análisis de información documental (expedientes oficiales, estudios oficiales, caracterizaciones oficiales recibidas de los usuarios identificados con vertimientos, etc.) levantada por la C.R.A. y, en segundo lugar, la actualización de los perfiles a partir de las campañas de monitoreo adelantadas en la primera parte de este estudio, la cual se complementó con minuciosos estudios y aforos de caudales y análisis hidrológicos de la cuenca y se corroboró con las visitas técnicas realizadas en el marco de este Proyecto.

7.3.1 Hidrología y caudales

El estudio se apuntaló en dos análisis estratégicos de caudales conducentes. En primer lugar, se realizaron aforos del arroyo en un total de 27 tramos. Complementariamente, se trabajó con la hidrología de la cuenca

como alternativa para decidir de acuerdo a las circunstancias, que valores trabajar, en especial para los análisis de modelación de cargas.

7.3.1.1 *Aforos de caudales y resultados*

La figura a continuación, muestra los tramos definidos y sobre los cuales se ha diseñado y ejecutado las campañas de muestreo y aforo de caudales. La tabla a continuación, indica los caudales obtenidos por aforo para cada transecto

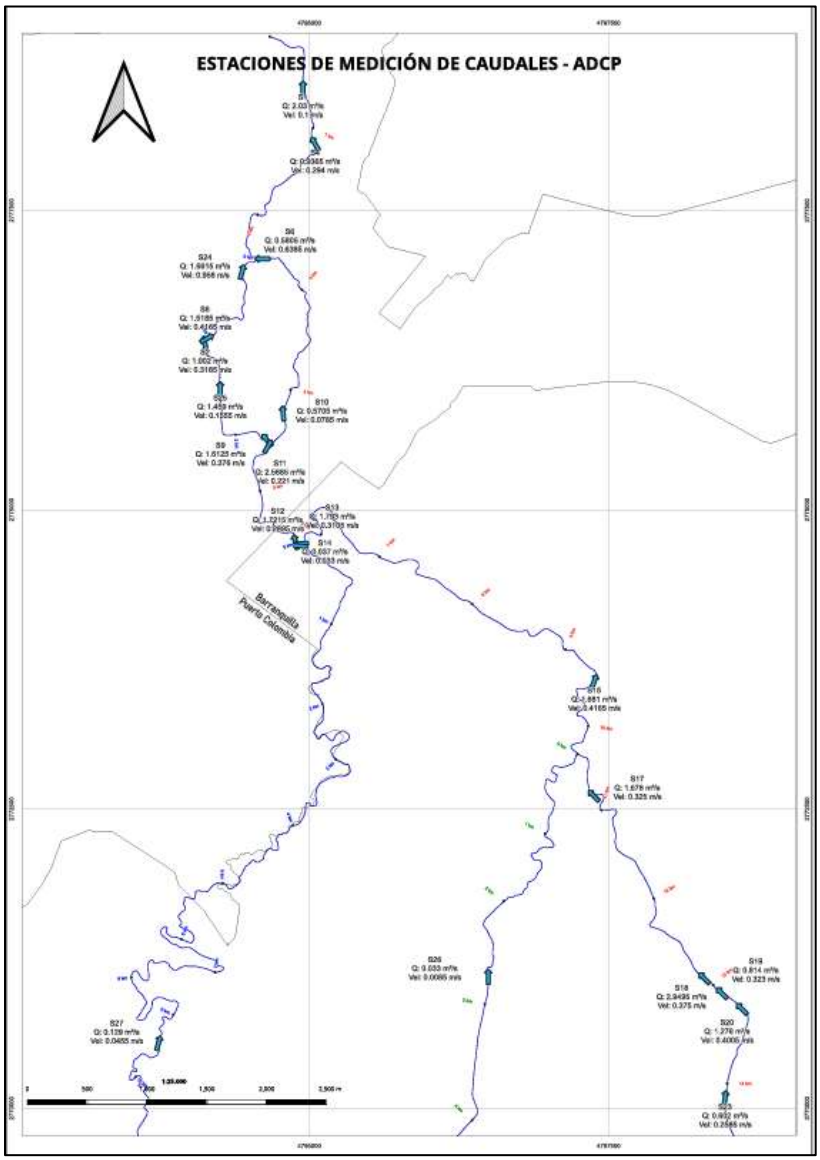

Figura 7–3. Representación de tramos y transectos para el aforo de caudales en el arroyo León y afluentes
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de los aforos de caudales en el arroyo León se presentan en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3. Resultados de aforos caudales del arroyo León por transectos

RESUMEN DE TRANSECTOS						
DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN		prom (m/s)	Q (m3/s)	FECHA
		NORTE	ESTE			
S1	I-D	2778519,45	4794946,18	0,102	1,955	13/04/2026
	D-I			0,098	2,105	
S2	D-I	2776389,95	4794126,98	0,332	1,013	4/07/2026
	I-D			0,301	0,991	
S4	D-I	2778056,01	4795047,61	0,155	1,161	4/07/2026
	I-D			0,433	0,712	
S6	I-D	2777095,46	4794607,1	0,624	0,533	4/06/2026
	D-I			0,653	0,628	
S8	D-I	2776429,21	4794144,17	0,368	1,553	4/06/2026
	I-D			0,465	1,484	
S9	I-D	2775579,74	4794646,53	0,372	1,616	4/06/2026
	D-I			0,38	1,609	
S10	I-D	2775804,27	4794780,9	0,082	0,204	4/06/2026
	D-I			0,075	0,937	
S11	D-I	2775528,49	4794654,08	0,22	2,907	4/06/2026
	I-D			0,222	2,23	
S12	I-D	2774729,17	4794884,3	0,271	1,681	4/08/2026
	D-I			0,308	1,762	
S13	I-D	2774715,4	4794928,68	0,307	1,624	4/08/2026
	D-I			0,314	1,962	
S14	I-D	2774696,86	4794921,57	0,036	0,029	4/08/2026
	D-I			0,03	0,045	
S15	I-D	2773563,46	4797379,29	0,424	1,934	4/09/2026
	D-I			0,409	1,428	
S17	I-D	2772608,14	4797375,57	0,297	1,64	4/09/2026
	D-I			0,353	1,716	
S18	D-I	2771084,13	4798299,1	0,384	3,028	4/07/2026
	I-D			0,366	2,871	
S19	D-I	2770960,04	4798446,51	0,327	0,845	4/07/2026
	I-D			0,319	0,783	
S20	D-I	2770827,97	4798614,08	0,403	1,215	4/07/2026
	I-D			0,398	1,337	
S23	D-I	2770083,95	4798472,61	0,242	0,333	4/08/2026
	I-D			0,275	0,871	
S24	D-I	2776986,05	4794436,96	0,972	1,851	4/06/2026
	I-D			0,944	1,472	
S25	I-D	2776007,4	4794254,7	0,157	1,421	4/07/2026
	D-I			0,154	1,497	
S26	D-I	2771097,91	4796495,06	0,006	0,019	4/07/2026
	I-D			0,011	0,047	
S27	D-I	2770542,91	4793738,87	0,033	0,158	4/07/2026
	I-D			0,058	0,1	

Fuente: Elaboración Propia

Los perfiles de calidad fueron determinados integrando los datos de los aforos realizados con estudios hidrológicos (caudales de frontera) como base para estimar las cargas en los tiempos de estiaje, tiempos medios y crecientes.

7.3.1.2 *Hidrología: caudales de frontera*

Los caudales de la tabla corresponden a niveles de excedencia de los caudales pico encontrados para los hidrogramas de respuesta a precipitaciones en el periodo modelado del 01/01/1993 hasta el 01/09/2019.

Tabla 7-4. Resumen de caudales de frontera

Resumen Condiciones de frontera	Ecológico*	Medio*	Máximos					
	Q70_Exc70_cms	Q50_Exc50_cms	TR_2_33_cms	TR_5_cms	TR_10_cms	TR_25_cms	TR_50_cms	TR_100_cms
Afluente Alameda	2,35475	5,5295	36,26	45,34	52,13	60,04	65,55	70,76
Afluente_A._Granada	6,8725	22,125	315,05	368,91	402,79	437,3	458,73	477,46
Afluente_A. Grande	5,27	12,055	81,26	101,6	116,79	134,51	146,83	158,49
Afluente_Las_Nubes	3,209	8,007	54,38	68	78,16	90,02	98,26	106,07
Afluente_Sub_15	5,162	11,4159	74,87	93,59	107,54	123,83	135,15	145,88
Ag_Arr_A._Grande	10,42	26,76	252,34	302,3	338,86	380,98	409,93	437,16
A.León aguas arriba	8,91	24,37	246,66	292,65	327,81	369,96	400,03	429,16
Ag_Arr_Ay_Villa_San_Pablo	5,847	13,319	55,13	68,91	79,19	91,19	99,52	107,42
Ay_Urb_1	0,271	0,902	12,489	14,822	16,606	18,744	20,271	21,750
Ay_Urb_2	0,447	1,490	20,625	24,477	27,424	30,955	33,475	35,918
Ay_Urb_3	0,056	0,185	2,563	3,042	3,408	3,847	4,160	4,464
Ay_Urb_4	1,126	3,753	51,954	61,660	69,082	77,976	84,325	90,479
EDAR_EL_PUEBLO	1	1	1	1	1	1	1	1
EDAR_GALAPA	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089

Fuente: Elaboración Propia

7.3.1.3 *Caudales comparados*

El manejo de la hidrología y los caudales del arroyo como resultado sustancial, representa un factor muy importante en los análisis, especialmente en los cálculos de cargas contaminantes actuales y proyectadas.

El arroyo León por sus condiciones hidráulicas y la geomorfología de la cuenca, es un cuerpo de agua complejo a la hora de determinar los flujos como variable de cálculo de cargas. Complementariamente, como se muestra en la tabla a continuación, se revisaron reportes históricos de entidades especializadas como el IDEAM. Los cálculos de cargas contaminantes y la proyección de cargas futuras se hicieron utilizando caudales calculados desde los análisis hidrológicos para cada estación.

Tabla 7-5. Caudales comparados y utilizados en cálculos de cargas contaminantes

ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO	ÁREA DE INFLUENCIA ESTIMADA EN CADA ESTACIÓN DE MONITOREO	RENDIMIENTO HÍDRICO - IDEAM TIEMPO SECO (ENA-2010-2014)		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	RENDIMIENTO HÍDRICO ESTIMADO SEGÚN MODELO HIDROLÓGICO V2		CAUDAL IDEAM ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO		CAUDAL MEDIDO POR ESTACIÓN DE MONITOREO	CAUDAL ESTIMADO SEGÚN MODELO HIDROLÓGICO V2		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	CAUDAL ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO, CON BASE EN MODELO HIDROLÓGICO V2
					SEGÚN AFORO CONSULTORÍA	RENDIMIENTO HÍDRICO ECOLÓGICO*	RENDIMIENTO HÍDRICO MEDIO*	R.H. IDEAM 3 (L/s-km²)	R.H. IDEAM 6 (L/s-km²)		CAUDAL ECOLÓGICO* (L/s)	CAUDAL MEDIO* (L/s)	MEDIA GEOMÉTRICA	
		(km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s)	(L/s)	(L/s)			(L/s-km²)	(L/s)
E-1	AGUAS ARRIBA PTAR GALAPA	38	3	6	1,02			114	228	39			58,0	2.203,6
E-2	AGUAS ABAJO PTAR GALAPA	39	3	6	1,02			117	234	40			58,0	2.261,6
E-3	ARROYO GRANDE AGUAS ABAJO LAS HERMANAS	44	3	6	1,02			132	264	45			58,0	2.551,5
E-4	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANADA	51	3	6	1,02			153	306	52			58,0	2.957,5
E-5	AGUAS ABAJO ARROYO GRANADA	127	3	6	1,02			381	762	129			58,0	7.364,7
E-6	TRAMO FINAL ARROYO GRANDE	142	3	6	13,38	73,38	188,45	426	852	1.900	10.420	26.760	58,0	8.234,5
E-7	AGUAS ARRIBA ZOFIA SOBRE ARROYO CAÑAS	19	3	6	13,38			57	114	254			58,0	1.101,8
E-8	AGUAS ABAJO ZOFIA	35	3	6	13,38			105	210	468			58,0	2.029,6
E-9	AGUAS ARRIBA DEL ARROYO CAÑAS Y HONDO	45	3	6	13,38			135	270	602			58,0	2.609,5
E-10	AGUAS ARRIBA EDAR EL PUEBLO	58	3	6	14,03			174	348	814			58,0	3.363,4
E-11	AGUAS ABAJO EDAR EL PUEBLO	62	3	6	47,56			186	372	2.949			58,0	3.595,4
E-12	AGUAS ABAJO ARROYOS URBANOS Y BRAZO CARIBE VERDE	84	3	6	19,98			252	504	1.678			58,0	4.871,1
E-13	AGUAS ABAJO ALAMEDA DEL RIO (AGUAS ARRIBA HENEQUÉN Y AGUAS ABAJO ARROYOS URBANOS)	89	3	6	21,69	21,35	71,12	267	534	1.930	1.900	6.330	58,0	5.161,1
E-14	AGUAS ABAJO HENEQUÉN	95	3	6	17,46			285	570	1.659			58,0	5.509,0
E-15	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANDE	99	3	6	17,46	90,00	246,16	297	594	1.729	8.910	24.370	58,0	5.741,0
E-16	AGUAS ABAJO ARROYO GRANDE	241	3	6	7,44	80,21	212,16	723	1446	1.793	19.330	51.130	58,0	13.975,5
E-17	AGUAS ABAJO BRAZO IZQUIERDO	249	3	6	7,43			747	1494	1.850			58,0	14.439,4
E-18	AGUAS ABAJO BRAZO DERECHO	250	3	6	4,60			750	1500	1.151			58,0	14.497,4
E-19	AGUAS ABAJO CAUJARAL (INTERSECCIÓN BRAZOS)	252	3	6	4,60			756	1512	1.160			58,0	14.613,4
E-20	DESEMBOCADURA ARROYO LEÓN	255	3	6	7,96			765	1530	2.030			58,0	14.787,3
PROMEDIO		114	3	6	11,4	66,2	179,5	341	682	1.114	10.140	27.148	58,0	6.593,4
MEDIANA		87	3	6	10,7	76,8	200,3	260	519	1.155	9.665	25.565	58,0	5.016,1
MEDIA GEOMÉTRICA		86	3	6	6,6	58,0	162,7	257	513	569	7.642	21.434	58,0	4.959,0

Fuente: Elaboración Propia

7.3.2 Perfiles de calidad del arroyo león

7.3.2.1 *Diagnóstico Ambiental: Evaluación de Carga Contaminante en las Cuencas del Arroyo León y Arroyo Grande*

El presente diagnóstico ambiental constituye un instrumento técnico fundamental para la gestión hídrica integral del Atlántico. La evaluación de los vertimientos urbanos en las cuencas del arroyo León y arroyo Grande no solo ofrece una instantánea de la calidad fisicoquímica, sino que determina la resiliencia del ecosistema acuático frente a presiones antrópicas sostenidas. En un escenario de crisis climática y expansión urbana, la capacidad de autodepuración de estos cuerpos hídricos se encuentra comprometida, lo que exige un análisis riguroso de las cargas contaminantes para orientar las inversiones en infraestructura de saneamiento y la toma de decisiones estratégicas.

7.3.2.1.1 Análisis del Perfil de Oxigenación y Dinámica de Hipoxia

El Oxígeno Disuelto (OD) es el indicador maestro de la integridad ecológica de un cuerpo de agua. Su concentración refleja la respuesta metabólica del sistema ante la inyección de cargas orgánicas externas. En la cuenca del arroyo León, los resultados evidencian una asfixia biológica severa en los puntos receptores de vertimientos.

Se ha identificado un colapso crítico del OD en estaciones estratégicas:

- Aguas abajo PTAR Galapa: 0,17 mg/L.
- Aguas abajo EDAR El Pueblo: 0,17 mg/L.
- Aguas abajo Henequén: 0,12 mg/L.

Desde una perspectiva normativa y técnica, un valor de 0,17 mg/L representa una violación total de los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna acuática en Colombia (Decreto 703 de 2018). Este escenario de anoxia e hipoxia extrema contrasta drásticamente con el nivel de 3,04 mg/L registrado en Aguas arriba del arroyo Cañas y Hondo que, aun siendo bajo, es el máximo del sistema. La relación causa-efecto es directa: la carga orgánica vertida consume la totalidad del oxígeno disponible, provocando un estado de "muerte biológica" técnica en estos tramos, lo que condiciona la altísima demanda de degradación de materia orgánica analizada a continuación.

7.3.2.1.2 Caracterización de la Carga Orgánica y Biodegradabilidad (DBO/DQO)

La diferenciación entre la materia orgánica biodegradable y la química total es estratégica para entender la persistencia de los contaminantes y la posibilidad de mejoría de los sistemas de tratamiento actuales (Tabla 7-6).

Tabla 7-6. Biodegradabilidad del cuerpo de agua en puntos estratégicos del arroyo

PUNTO DE MONITOREO	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	RELACIÓN DBO/DQO
Aguas abajo PTAR Galapa	393	875	0,45
Aguas arriba EDAR El Pueblo	23	68	0,34
Aguas arriba Zofia	23	52	0,44

Fuente: Elaboración Propia

El pico máximo de contaminación orgánica se localiza aguas abajo de la PTAR Galapa. El incremento de la DBO de 106 mg/L (aguas arriba) a 393 mg/L (aguas abajo) —un aumento de casi cuatro veces— indica un fallo sistémico en el proceso de tratamiento. La magnitud de estos valores sugiere que la planta podría estar operando por encima de su capacidad de diseño o realizando *bypasses* de aguas crudas directamente al cauce. La relación DBO/DQO de 0,45 confirma una biodegradabilidad moderada-alta, lo que paradójicamente agrava la desoxigenación del arroyo debido a la rápida acción microbiana sobre este vertimiento masivo.

7.3.2.1.3 Dinámica de Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y Eutrofización

El monitoreo de nutrientes es vital para diagnosticar el potencial de eutrofización y desequilibrio biológico. Se ha detectado una anomalía química crítica en el sector de Galapa que requiere atención inmediata.

En Aguas arriba PTAR Galapa, el Nitrógeno Total alcanza niveles altos de 115 mg/L y el Fósforo Total 5,44 mg/L. Aguas abajo, estos niveles se reducen a 80,0 mg/L y 3,30 mg/L, respectivamente. Este fenómeno de reducción, lejos de ser positivo, debe analizarse junto con la Conductividad, que cae de 2.620 µS/cm a 1.400 µS/cm. Esta correlación sugiere que el punto previo a la planta ya posee una carga química/industrial de alta toxicidad, la cual es "diluida" por el vertimiento orgánico de la PTAR. Al comparar con el arroyo Cañas y Hondo (3,00 mg/L P), se hace evidente que el sistema está operando bajo un estrés químico extremo en este punto.

7.3.2.1.4 Análisis de Sólidos y Efectos de la Sedimentación en el Cauce

La carga de sólidos afecta la capacidad hidráulica y sirve como vector de transporte para contaminantes persistentes (Tabla 7-7).

Tabla 7-7. Carga de solidos en puntos claves

ESTACIÓN DE MONITOREO	SST (mg/L)	SDT (mg/L)
Aguas arriba PTAR Galapa	115	1.490
Aguas abajo PTAR Galapa	520	798
Aguas arriba EDAR El Pueblo	<10	839
Aguas abajo EDAR El Pueblo	29	627
Desembocadura arroyo León	27	672

Fuente: Elaboración Propia

El incremento de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en la PTAR Galapa es masivo, pasando de 115 a 520 mg/L post–vertimiento. Este aporte físico de sedimentos y lodos no solo altera la morfología del cauce y acelera la colmatación, sino que coincide con la caída de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) de 1.490 a 798 mg/L. Este descenso de SDT refuerza la hipótesis de que el vertimiento de la planta actúa como un agente diluyente de una carga química preexistente aguas arriba, mientras inyecta una carga física y orgánica negativamente impactante para un cuerpo hídrico superficial.

7.3.2.1.5 Evaluación Microbiológica y Riesgos de Salud Pública

La estabilidad de la contaminación bacteriana a lo largo de toda la cuenca es alarmante. A diferencia de los parámetros químicos que muestran gradientes, la carga microbiológica se mantiene en niveles de riesgo sanitario constante.

Análisis de Coliformes:

- Coliformes Totales: Máximo absoluto de 5.500 NMP/100mL en PTAR Galapa.
- Coliformes Termotolerantes: Picos de 535 NMP/100mL detectados en EDAR El Pueblo y Arroyo Granada.

Jerarquización de Estaciones Críticas (Carga Bacteriana):

- Aguas abajo PTAR Galapa: 5.500 NMP/100mL.
- Aguas abajo Arroyo Granada / Aguas abajo Zofia: 5.480 NMP/100mL.
- Aguas abajo EDAR El Pueblo: 5.440 NMP/100mL.

- Aguas abajo Brazo Izquierdo: 5.330 NMP/100mL.
- Aguas abajo Caujaral (Intersección): 5.190 NMP/100mL.

Incluso en los puntos con menor carga, como aguas arriba Arroyo Grande (4.480 NMP/100mL) y Alameda del Río (433 NMP/100mL fecales), los niveles exceden los límites deseables, confirmando que el arroyo León funciona como un canal de transporte de patógenos que compromete la salud pública de las comunidades ribereñas.

En el Anexo No 4 se presentan las tablas de análisis y resultados de la Modelación SWWT.

7.3.2.1.6 Comparativa Integrada: Estaciones Críticas y Cumplimiento Normativo

El diagnóstico integrado revela tres focos de deterioro que configuran un pasivo ambiental crítico para la región:

- PTAR Galapa: El impacto más severo del sistema. La inyección de materia orgánica y sólidos provoca el colapso del oxígeno de 1,91 a 0,17 mg/L, un incumplimiento normativo flagrante de los estándares de protección de vida acuática.
- EDAR El Pueblo: Se observa una triplicación de la carga orgánica aguas abajo (de 23 a 67 mg/L DBO).
- Estaciones Zofia: Evidencian un ascenso orgánico preocupante de 23 a 43 mg/L DBO.

La asfixia del ecosistema es generalizada. La mayoría de los puntos aguas abajo operan en condiciones de anoxia y toxicidad química, operando fuera de los marcos legales establecidos para la preservación del recurso hídrico, en especial, la preservación de la flora y fauna, 4,0 mg/L (Decreto 703 del 2018).

7.3.2.1.7 Resumen Ejecutivo y Recomendaciones de Gestión

El estado de las cuencas del arroyo León y arroyo Grande es de emergencia ambiental. Los vertimientos de la PTAR Galapa se identifican como la fuente principal de degradación orgánica y física, mientras que los niveles anómalos previos a la planta sugieren descargas industriales no controladas.

- **Recomendaciones de Mitigación Técnica:**

- Auditoría Operativa de la PTAR Galapa: Realizar una revisión técnica exhaustiva de la eficiencia de remoción de la planta. El incremento de 4x en DBO y sólidos postratamiento sugiere fallas estructurales o *bypasses* que constituyen un incumplimiento normativo severo.
- Investigación de Cargas *Upstream*: Es imperativo rastrear el origen de la conductividad (2.620 µS/cm) y el Nitrógeno (115 mg/L) detectadas aguas arriba de Galapa. Estos valores indican una fuente de contaminación química o industrial previa a la planta.
- Recuperación Hídrica: Implementar programas de oxigenación forzada y remediación biológica en zonas de hipoxia crítica (< 0,2 mg/L OD) para mitigar la formación de gases sulfhídricos y recuperar la biodiversidad mínima.
- Reglamentación de vertimientos: El estado de deterioro de la fuente, indica que no obstante el cumplimiento de las normas de vertimientos reportado por los principales agentes generadores de carga, como las empresas de servicios públicos, significa que los límites legales definidos para la descarga, deben ser modificados a partir de una nueva reglamentación de descargas liquidas.
- La recuperación de esta vertiente hídrica requiere de una intervención integral con una fuerte participación estatal e institucional, en especial, con el aporte y la participación de la Empresa de Servicios Públicos, considerando de manera urgente la implementación de soluciones técnicas integrales que mejoren o reduzcan drásticamente las cargas de DBO5, SST, SDT y COLIFORMES (Totales y fecales) aportadas en los vertimientos de aguas identificados.

En el Anexo No 1, se presentan los Perfiles de calidad del agua del arroyo León y sus afluentes actualizados, incluyendo los resultados de los análisis de laboratorio como resultado de las campañas de caracterización de aguas y aforo de caudales.

7.3.3 Evaluación de índices de calidad ICA - del Arroyo León

A partir de los resultados de las campañas de monitoreo al cuerpo de agua en los diferentes puntos y tramos ya indicados, se procedió a calcular el Índice de Calidad del Agua - ICA, utilizando la metrología del IDEAM (IDEAM, 2010).

Aunque el ICA se puede calcular a partir de cinco parámetros básicos, en este caso la autoridad ambiental ha querido ser mucho más precisa, ampliando el espectro de evaluación a once (11) parámetros, como se describió en el Anexo No 1, Perfiles de calidad de agua del arroyo León. Vale recordar, como se muestra en la Tabla 7-8, el código de colores, con el cual la metodología del IDEAM, califica cada indicador:

Tabla 7-8. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA.

CATEGORÍA DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL INDICADOR	CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	SEÑAL DE ALERTA
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

Fuente: (IDEAM, 2010)

Para el cálculo del ICA, en cada tramo o sector, monitoreados en el cuerpo de agua para los 20 tramos analizados del arroyo León y afluentes, la metodología que se desarrolló conjugó once (11) parámetros; como se observa en las siguientes tablas, de la Tabla 7-9, a la Tabla 7-28.

Tabla 7-9. ICA aguas arriba de la PTAR de Galapa

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ARRIBA PTAR GALAPA		
		E-1	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10981		
HORA	hora	9:50 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	60 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	754,47		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	0,99		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	1,90		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	29,25		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	20,99	0,21	0,031
pH	Unidades de pH	7,90	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	2620	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	1,91		
FOSFORO TOTAL	mg/L	5,44		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg/L	115,00		
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	115,00	0,68	0,095
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	1490,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	106,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	237,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4600,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	490,00	0,63	0,095
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,399	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-10, ICA aguas abajo de la PTAR de Galapa

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ABAJO PTAR GALAPA		
		E-2	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10980		
HORA	hora	9:20 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	58 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	754,66		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	0,99		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	0,17		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	29,37		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	1,87	0,02	0,003
pH	Unidades de pH	7,50	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1400	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	0,17		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	3,30		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	80,00	0,15	0,021
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	520,00	0,00	0,000
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	798,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	393,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	875,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	5500,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	526,00	0,61	0,092
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,273	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-11. ICA aguas abajo de las hermanas

PARÁMETRO	UNIDADES	ARROYO GRANDE AGUAS ABAJO LAS HERMANAS		
		E-3	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10982		
HORA	hora	10:40 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	47 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	755,66		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	0,99		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	0,89		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,00		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	9,93	0,10	0,015
pH	Unidades de pH	7,60	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1340	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	0,90		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	2,95		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	62,30	0,15	0,021
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	148,00	0,58	0,081
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	760,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	81,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	181,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4750,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	468,00	0,65	0,097
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,371	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-12. ICA aguas arriba del arroyo Granada

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANADA		
		E-4	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10983		
HORA	hora	11:20 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	30 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	757,21		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	2,41		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,72		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	26,82	0,27	0,040
pH	Unidades de pH	7,40	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1540	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	2,42		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	4,12		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	53,00	0,49	0,069
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	38,00	0,91	0,127
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	870,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	36,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	81,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4620,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	491,00	0,63	0,095
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,489	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-13. ICA aguas abajo del arroyo Granada

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ABAJO ARROYO GRANADA		
		E-5	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10984		
HORA	hora	11:41 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	28 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	757,39		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	1,24		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,79		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	13,75	0,14	0,021
pH	Unidades de pH	7,90	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1940	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	1,24		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	3,58		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	44,80	0,48	0,067
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	33,00	0,92	0,129
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	1100,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	38,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	81,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	5480,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	535,00	0,61	0,091
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,465	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-14. ICA Tramo final arroyo Grande

PARÁMETRO	UNIDADES	TRAMO FINAL ARROYO GRANDE		
		E-6	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10972		
HORA	hora	1:40 p. m.		
ALTITUD	(msnm)	13 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	758,77		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	2,33		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	31,15		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	25,91	0,26	0,039
pH	Unidades de pH	7,80	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1780	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	2,33		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	4,48		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	39,30	0,29	0,041
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	24,00	0,95	0,133
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	996,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	48,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	105,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4520,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	473,00	0,64	0,097
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,467	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-15. ICA aguas arriba Zofia sobre Arroyo Cañas

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ARRIBA ZOFIA SOBRE ARROYO CAÑAS		
		E-7	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10970		
HORA	hora	11:20 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	45 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	755,84		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	0,99		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	1,06		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,10		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	11,81	0,12	0,018
pH	Unidades de pH	7,30	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1590	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	1,07		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	3,41		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	38,10	0,41	0,057
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	11,00	0,99	0,138
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	898,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	23,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	52,00	0,57	0,080
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4650,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	495,00	0,63	0,095
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Regular	0,528	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-16. ICA aguas abajo de la Zofia sobre Arroyo Cañas

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ABAJO ZOFIA		
		E-8	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10969		
HORA	hora	10:50 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	35 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	756,75		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	1,54		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,54		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	17,16	0,17	0,026
pH	Unidades de pH	7,40	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1360	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	1,55		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	4,05		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	36,50	0,30	0,042
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	10,00	0,99	0,139
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	775,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	43,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	97,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	5480,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	520,00	0,61	0,092
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,457	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-17. ICA aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS ARRIBA DEL ARROYO CAÑAS Y HONDO		
		E-9	ÍNDICE	VALOR
		CÓDIGO 10968		
HORA	hora	10:30 a. m.		
ALTITUD	(msnm)	25 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	(mm de Hg)	757,67		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	(adm)	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	(mg/L)	3,03		
TEMPERATURA DEL AGUA	(ºC)	30,88		
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	33,72	0,34	0,051
pH	Unidades de pH	7,50	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	1150	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	mg O_2/L	3,04		
FOSFORO TOTAL	mg P/L	3,00		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	mg N/L	31,30	0,37	0,052
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	50,00	0,87	0,122
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	661,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	mg/L	64,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	143,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	4710,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	NMP/100mL	441,00	0,66	0,100
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA		Calidad Mala	0,482	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-18. ICA aguas arriba de la EDAR El Pueblo

PARÁMETRO	AGUAS ARRIBA EDAR EL PUEBLO		
	E-10	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10966		
HORA	8:40 a. m.		
ALTITUD	23 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	757,85		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,14		
TEMPERATURA DEL AGUA	30,93		
Oxígeno disuelto, OD	1,55	0,02	0,002
pH	7,10	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1480	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,14		
FOSFORO TOTAL	3,86		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	27,80	0,23	0,032
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10,00	0,99	0,139
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	839,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	23,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	68,00	0,58	0,081
COLIFORMES TOTALES	4500,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	480,00	0,64	0,096
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,490	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-19. ICA aguas abajo de la EDAR El Pueblo

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO EDAR EL PUEBLO		
	E-11	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10967		
HORA	9:20 a. m.		
ALTITUD	22 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	757,94		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,17		
TEMPERATURA DEL AGUA	30,96		
Oxígeno disuelto, OD	1,89	0,02	0,003
pH	7,20	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1100	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,17		
FOSFORO TOTAL	4,03		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	41,80	0,37	0,052
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	29,00	0,93	0,131
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	627,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	67,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	151,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	5440,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	535,00	0,61	0,091
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,433	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-20. ICA aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe verde

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO ARROYOS URBANOS Y BRAZO CARIBE VERDE		
	E-12	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10975		
HORA	10:10 a. m.		
ALTITUD	15 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	758,58		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,17		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,11		
Oxígeno disuelto, OD	1,89	0,02	0,003
pH	7,40	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1180	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,17		
FOSFORO TOTAL	4,53		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	40,20	0,30	0,042
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	61,00	0,84	0,117
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	669,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	60,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	135,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	4840,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	451,00	0,66	0,099
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,418	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-21. ICA aguas abajo Alameda del rio (aguas arriba del Henequén y aguas debajo de arroyos urbanos)

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO ALAMEDA DEL RIO (AGUAS ARRIBA HENEQUÉN Y AGUAS ABAJO ARROYOS URBANOS)		
	E-13	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10974		
HORA	9:40 a. m.		
ALTITUD	14 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	758,67		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,17		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,13		
Oxígeno disuelto, OD	1,89	0,02	0,003
pH	7,40	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1120	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,17		
FOSFORO TOTAL	4,03		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	39,70	0,34	0,048
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	37,00	0,91	0,127
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	639,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	66,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	148,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	4770,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	433,00	0,67	0,101
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,436	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-22. ICA aguas abajo del Henequén

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO HENEQUÉN		
	E-14	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10976		
HORA	11:22 a. m.		
ALTITUD	13 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	758,77		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,12		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,15		
Oxígeno disuelto, OD	1,33	0,01	0,002
pH	7,10	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1090	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,12		
FOSFORO TOTAL	4,16		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	42,30	0,36	0,050
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	24,00	0,95	0,133
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	622,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	57,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	134,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	4980,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	459,00	0,65	0,098
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,440	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-23. ICA aguas arriba de Arroyo grande

PARÁMETRO	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANDE		
	E-15	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10971		
HORA	1:06 p. m.		
ALTITUD	14 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	758,67		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,16		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,13		
Oxígeno disuelto, OD	1,78	0,02	0,003
pH	7,30	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1140	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,16		
FOSFORO TOTAL	4,49		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	40,20	0,30	0,042
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	39,00	0,90	0,126
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	645,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	60,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	135,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	4480,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	464,00	0,65	0,097
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,426	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-24. ICA aguas abajo de Arroyo grande

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO ARROYO GRANDE		
	E-16	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10973		
HORA	2:20 p. m.		
ALTITUD	11 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	758,95		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,16		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,18		
Oxígeno disuelto, OD	1,78	0,02	0,003
pH	7,60	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1180	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,16		
FOSFORO TOTAL	4,42		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	40,10	0,31	0,043
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	41,00	0,90	0,126
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	677,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	54,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	122,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	5040,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	505,00	0,62	0,094
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,422	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-25. ICA aguas abajo brazo izquierdo

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO BRAZO IZQUIERDO		
	E-17	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10979		
HORA	1:53 p. m.		
ALTITUD	7 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759,32		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,15		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,23		
Oxígeno disuelto, OD	1,67	0,02	0,003
pH	7,80	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1260	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,15		
FOSFORO TOTAL	4,34		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	37,30	0,28	0,040
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35,00	0,92	0,128
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	705,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	75,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	168,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	5330,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	483,00	0,64	0,096
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,424	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-26. ICA aguas abajo brazo derecho

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO BRAZO DERECHO		
	E-18	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10977		
HORA	1:43 p. m.		
ALTITUD	9 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759,13		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,55		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,21		
Oxígeno disuelto, OD	6,12	0,06	0,009
pH	7,70	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1190	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,55		
FOSFORO TOTAL	4,11		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	38,40	0,32	0,045
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	98,00	0,73	0,102
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	673,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	47,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	105,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	5050,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	463,00	0,65	0,098
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,411	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-27. ICA aguas abajo Caujaral (Intersección de brazos)

PARÁMETRO	AGUAS ABAJO CAUJARAL (INTERSECCIÓN BRAZOS)		
	E-19	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10978		
HORA	3:02 p. m.		
ALTITUD	6 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759,41		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	0,14		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,24		
Oxígeno disuelto, OD	1,56	0,02	0,002
pH	7,80	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1220	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	0,14		
FOSFORO TOTAL	4,30		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	37,80	0,29	0,041
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	38,00	0,91	0,127
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	687,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	54,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	120,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	5190,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	472,00	0,64	0,097
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,424	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-28. ICA de la desembocadura del arroyo León al Mar Caribe

PARÁMETRO	DESEMBOCADURA ARROYO LEÓN		
	E-20	ÍNDICE	VALOR
	CÓDIGO 10985		
HORA	1:35 p. m.		
ALTITUD	0 msnm		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	759,96		
FACTOR DE CORRECCIÓN OD	1,00		
OXÍGENO DISUELTO CORREGIDO	1,79		
TEMPERATURA DEL AGUA	31,27		
Oxígeno disuelto, OD	19,94	0,20	0,030
pH	7,70	1,00	0,140
CONDUCTIVIDAD	1180	0	0,000
OXIGENO DISUELTO	1,79		
FOSFORO TOTAL	4,01		
NITRÓGENO TOTAL (NTK + N-NO2 + N-NO3)	39,00	0,34	0,047
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	27,00	0,94	0,131
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	672,00		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	46,00		
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	104,00	0,13	0,018
COLIFORMES TOTALES	4840,00		
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	455,00	0,66	0,098
CALIDAD DEL AGUA EN LA ESTACIÓN MONITOREADA	Calidad Mala	0,464	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla a continuación (Tabla 7-29) se presenta el resumen de los resultados de los tramos a los cuales se les calculó el ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA-ICA.

De acuerdo con los análisis y resultados del estado de la calidad del arroyo y sus afluentes, se puede concluir que con excepción del tramo E7 localizado aguas arriba de la zona franca Zofia, en la cual la evaluación reporta un ICA regular. La totalidad de los tramos restantes evaluados, es decir, los diecinueve (19) tramos restantes, presentan un resultado de ICA de mala calidad.

Tabla 7-29. Resultados de los índices de Calidad del Agua – ICA, obtenidos durante la campaña de marzo.

Cuerpo de agua principal	Estación	SITIO	ICA
Arroyo Grande	E-01	Aguas arriba PTAR Galapa	0,399
	E-02	Aguas abajo PTAR Galapa	0,273
	E-03	Arroyo grande aguas abajo Las Hermanas	0,371
	E-04	Aguas arriba arroyo Granada	0,489
	E-05	Aguas abajo arroyo Granada	0,465
	E-06	Tramo final arroyo Grande	0,467
Tramo final arroyo Malvinas	E-09	Aguas arriba del arroyo Cañas y Hondo	0,482
Arroyo Cañas	E-07	Aguas arriba Zofia sobre arroyo Cañas	0,528
Arroyo León	E-08	Aguas abajo Zofia	0,457
	E-10	Aguas arriba EDAR el pueblo	0,490
	E-11	Aguas abajo EDAR el pueblo	0,433
	E-12	Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde	0,418
	E-13	Aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)	0,436
	E-14	Aguas abajo Henequén	0,440
	E-15	Aguas arriba arroyo Grande	0,426
	E-16	Aguas abajo arroyo Grande	0,422
	E-17	Aguas abajo brazo izquierdo	0,424
	E-18	Aguas abajo brazo derecho	0,411
	E-19	Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)	0,424
	E-20	Desembocadura a. León	0,464

Fuente. Elaboración Propia

Para el ICA, se pudo evidenciar la prevalencia de aguas de calidad Mala en toda la cuenca, con excepción de la cabecera del Arroyo Cañas, más exactamente en la E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas), donde se obtuvo una calidad del agua de muy mala.

7.3.3.1 Conclusión: Índices de Calidad del Agua

En la tabla a continuación (Tabla 7-30) se presenta el resumen de los resultados de los análisis y cálculos realizados en los tramos a los cuales se les calculó el ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA-ICA.

Tabla 7-30. Resumen del indicador de la calidad del agua (ICA - IDEAM) calculado en 20 estaciones en el arroyo León.

ESTACIÓN NÚMERO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO	INDICADOR DE CALIDAD DEL AGUA - IDEAM	
E-1	Aguas arriba PTAR Galapa	0,510	Calidad Regular
E-2	Aguas abajo PTAR Galapa	0,501	Calidad Regular
E-3	Arroyo grande aguas abajo las Hermanas	0,505	Calidad Regular
E-4	Aguas arriba arroyo Granada	0,507	Calidad Regular
E-5	Aguas abajo arroyo Granada	0,502	Calidad Regular
E-6	Tramo final arroyo Grande	0,503	Calidad Regular
E-7	Aguas arriba ZOFIA sobre arroyo Cañas	0,528	Calidad Regular
E-8	Aguas abajo ZOFIA	0,506	Calidad Regular
E-9	Aguas arriba del arroyo Cañas y Hondo	0,506	Calidad Regular
E-10	Aguas arriba EDAR el Pueblo	0,504	Calidad Regular
E-11	Aguas abajo EDAR el Pueblo	0,505	Calidad Regular
E-12	Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde	0,507	Calidad Regular
E-13	Aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)	0,508	Calidad Regular
E-14	Aguas abajo Henequén	0,505	Calidad Regular
E-15	Aguas arriba arroyo Grande	0,507	Calidad Regular
E-16	Aguas abajo arroyo Grande	0,503	Calidad Regular
E-17	Aguas abajo brazo izquierdo	0,505	Calidad Regular
E-18	Aguas abajo brazo derecho	0,501	Calidad Regular
E-19	Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)	0,506	Calidad Regular
E-20	Desembocadura arroyo León	0,501	Calidad Regular
E-PROM	Promedio	0,506	Calidad Regular
E-MED	Mediana	0,505	Calidad Regular
E-MOD	Moda	0,506	Calidad Regular

Fuente: Elaboración Propia

7.3.3.2 Índice de biodegradabilidad

Por su parte el índice de Biodegradabilidad evidenció que toda la cuenca presenta aguas con materia orgánica biodegradable, con excepción de la E10, donde se registró un valor de 0,338, indicando aguas poco biodegradables.

7.3.4 Objetivos de calidad

Los resultados previos indican que, si aun la mayoría de los usuarios reportan estar cumpliendo las normas de vertimientos, significa que los estándares de LIMITES PERMISIBLES de control establecidos por la norma nacional, no están contribuyendo siquiera a garantizar un ICA regular en el 95 % de los tramos del arroyo, afectados por descargas liquidas puntuales. Este resultado, marca un horizonte especial para aplicar la metodología de modelación de cargas futuras ya que muestra que se debe modelar la carga esperada para unos LIMITES PERMISIBLES que conduzcan a subir los ICA, a la opción positiva más cercana, es decir, pasar de un ICA malo un ICA regular o bueno en todos los tramos.

Para la C.R.A., como autoridad ambiental competente en este caso, está claramente establecido, que el cuerpo de agua debe recuperarse y, por tanto, los objetivos de calidad deberán revisarse y ajustarse en el tiempo a un mejoramiento continuo de su calidad.

7.3.4.1 Usos actuales del recurso

El arroyo León se usa actualmente de manera principal como agente receptor de descargas liquidas puntuales y difusas, las cuales han vencido desde hace tiempo su verdadera capacidad de asimilación. Otro uso identificado, tiene que ver con derivaciones temporales para riego de pastos y como fuente de aporte de nutrientes eventuales para las ciénagas del Cisne y Mallorquín, en particular por desborde durante las épocas de lluvia.

Con respecto al uso como aportante de nutrientes a las ciénagas de Mallorquín y del Cisne, se recomienda revisar condiciones de calidad de manera permanente, dado que los últimos muestreos realizados en este estudio, indica una elevada y peligrosa contaminación química y microbiológica del arroyo León.

Con la reglamentación de vertimientos que se propone, sumado a otros instrumentos como la tasa retributiva, se debe marcar un horizonte técnico orientado a mejorar la relación de biodegradabilidad del cuerpo de agua, es decir a mantener una relación DBO5/DQO superior al 70%, es decir, convertir el cuerpo de agua a una condición donde predomine la materia orgánica y se minimice la carga y la contaminación química.

7.3.4.2 Usos proyectados del recurso

El arroyo león y sus afluentes han pasado en los últimos años de ser un cuerpo de agua de la ruralidad a convertirse en cuerpo de articulado al desarrollo urbano del área metropolitana de Barranquilla con lo cual, dada la gran concentración de población fija y flotante en el área, se erige como una fuente de alto valor

por sus riesgos en la afectación del ambiente y de la salud pública. En este sentido, la reglamentación de usos del arroyo, debe enmarcarse a unos objetivos estratégicos de prevención de la salud pública en primer lugar, minimización de riesgos tóxicos en segundo lugar y, en tercer lugar, para el mejoramiento de sus condiciones que lo habiliten para otros usos especiales como: paisajismo, uso agrícola controlado, conservación de flora y fauna.

En este panorama, solo queda dar un compás de espera de dos años mientras los usuarios se adaptan a nuevas condiciones y establecer plazos de medio (5 años) y largo (10 años) plazo para presionar por unas condiciones y usos más exigentes. En este sentido, el abanico de usos potenciales deberá enmarcarse en las siguientes condiciones (Tabla 7-31):

Tabla 7-31. Usos potenciales Arroyo León y afluentes

Uso potencial (decreto 1076 de 2015- capitulo 3)	**Plazos**		
	Corto (2 años)	**Medio (5 años)**	**Largo (10 años)**
1. Consumo humano y domestico	Prohibido	Prohibido	Prohibido
2. Preservación de flora y fauna.	Restringido	Restringido	Restringido
3. Agrícola.	Restringido	Restringido	Restringido
4. Pecuario	Prohibido	Prohibido	Prohibido
.5. Recreativo	Prohibido	Prohibido	Prohibido
6. Industrial	Restringido	Restringido	Restringido
7. Estético	Restringido	Restringido	Restringido
8. Pesca, Maricultura y Acuicultura	Prohibido	Prohibido	Prohibido
9. Navegación y Transporte Acuático	Restringido	Restringido	Restringido
10. Asimilación de descargas liquidas orgánicas tratadas	Permitido	Restringido a nueva reglamentación de vertimientos	Restringido a nueva reglamentación de vertimientos

Fuente: Elaboración Propia

7.3.4.3 *Usos proyectados del recurso, clasificación y criterios de calidad*

En la Tabla 7-32, se presenta la clasificación genérica de los usos del recurso y sobre la cual, se definirán los criterios de calidad para el corto, mediano y largo plazo.

Tabla 7-32. Clasificación genérica de los usos del recurso.

CLASE	DESCRIPCIÓN DE USOS POSIBLES PARA EL CUERPO DE AGUA
I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.
II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.
III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de las ciénagas, Lagunas, humedales y demás cuerpos lenticos y lóticos de aguas ubicados dentro de la jurisdicción de LA C.R.A. destinados a protección de flora y fauna y pesca restringida y monitoreada.
IV	Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.
V	Corresponde a valores de los usos para asimilación de materia orgánica, uso Industrial restringido y recuperación para paisajismo.

Fuente: Elaboración propia

7.3.4.3.1 Usos proyectados del recurso y criterios de calidad a dos (2) años

Es necesario establecer el corto plazo de dos (2) años como un tiempo prudente para que los usuarios generadores se adapten a las nuevas reglas que produzca la nueva reglamentación de vertimientos para el arroyo León. En este caso, se ratifica el establecimiento de usos anterior, orientado el cuerpo de agua a su función de receptor de aguas residuales tratadas y sujetas al marco de LIMITES PERMISIBLES DOMINANTE (Tabla 7-33).

Tabla 7-33. Clasificación de usos a corto plazo del arroyo León

V	Corresponde a valores de los usos para asimilación de materia orgánica, uso Industrial restringido y recuperación para paisajismo.

Los criterios de calidad para esta clasificación tipo V, es como se muestra en la Tabla 7-34:

Tabla 7-34. Criterios de calidad para uso principal clase V

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER
PARÁMETROS ORGÁNICOS		
DQO		70,00

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER
SÓLIDOS		
Sólidos suspendidos		50,00
PARÁMETROS DE INTERÉS SANITARIO		
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico	CL 96/50	0,10
Berilio	CL 96/50	0,10
Boro máx	mg/L	0,40
Boro min	mg/L	0,30
Cadmio (Cd)	CL 96/50	0,01
Cinc (Zn)	CL 96/50	2,00
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	CL 96/50	0,20
Flúor	mg/L	1,00
Grasas y Aceites	% Sólido seco	Ausencia
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio	mg/L	2,50
Manganeso	mg/L	0,20
Material flotante y espumas		Ausencia
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Molibdeno	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,20
Olor		Ausencia
ph mínimo	unidades	4,50
pH máximo	unidades	9,00
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
Selenio	mg/L	0,02
Vanadio	mg/L	0,10
DBO5		70,00
Cromo (Cr +6)	mg/L	0,10

7.3.4.3.2 Usos proyectados del recurso y criterios de calidad a cinco (5) años

Para el horizonte del medio plazo, es decir de cinco (5) años, se proyecta poder usar el agua de manera especial en los campos agrícolas y pecuario, como usos principales.

La utilización del cuerpo de agua como receptor de descargas liquidas quedará restringido al cumplimiento del nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES establecidos en esta reglamentación para descargas liquidas puntuales.

Tabla 7-35. Clasificación de usos a mediano plazo del arroyo León

IV	Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.

Fuente: Elaboración propia

Los criterios de calidad para esta clasificación tipo IV, es como se muestra en la Tabla 7-36:

Tabla 7-36. Criterios de calidad para uso principal clase IV

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER
PARÁMETROS ORGÁNICOS		
DBO	mg/L	50,00
Coliformes totales (CT)	NMP/100 mL	20000,00
PARÁMETROS NUTRIENTES		
Nitritos (N-NO2)	mg/L	10,00
SÓLIDOS	mg/L	0,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	40,00
PARÁMETROS DE INTERÉS SANITARIO		
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico	CL 96/50	0,10
Berilio	CL 96/50	0,10
Boro máx	mg/L	0,40
Boro min	mg/L	0,30
Cadmio (Cd)	CL 96/50	0,10
Cinc (Zn)	CL 96/50	2,00
Cobalto	mg/L	0,50
Cobre (Cu)	CL 96/50	0,20
Cromo (Cr +6)	mg/L	0,10
Flúor	mg/L	1,00
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio	mg/L	2,50
Manganeso	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,010
Molibdeno	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,20
ph mínimo	**unidades**	4,50
pH máximo	**unidades**	9,00
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
Sales	mg/L	3000,00
Selenio	mg/L	0,02
Vanadio	mg/L	0,10

7.3.4.3.3 Usos proyectados del recurso y criterios de calidad a diez (10) años

Para cuando ya se entre en tiempos de largo plazo, se espera que el arroyo León ya esté mostrando mejores niveles de calidad y pueda ser armonizado con usos de paisajismo, preservación de flora y fauna, así como de pesca restringida en algunos de los tramos (Tabla 7-37).

Tabla 7-37. Clasificación de usos a largo plazo del arroyo León

III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de las ciénagas, Lagunas, humedales y demás cuerpos lenticos y lóticos de aguas ubicados dentro de la jurisdicción de LA C.R.A. destinados a protección de flora y fauna y pesca restringida y monitoreada.

Fuente: Elaboración propia

Los criterios de calidad para esta clasificación tipo III, es como se muestra en la siguiente tabla:

Si las condiciones se cumplen, se espera que el arroyo León, llegue a reportar valores de DBO5 y SST por debajo de los 20 mg/L; el Oxígeno disuelto se estabilice cerca de los 4,0 mg/L Y los Coliformes fecales estén por debajo de los 5.000 NMP

Tabla 7-38. Criterios de calidad para uso principal clase III

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER
PARÁMETROS ORGÁNICOS		
DBO5	mg/L	20,00
Oxígeno disuelto	mg/L	>4
Coliformes totales (CT)	NMP/100 mL	5000,00
PARÁMETROS NUTRIENTES		
Nitrógeno amonical (N-NH3)	mg/L	0,30
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,00
Nitritos (N-NO2)	mg/L	0,50
Fósforo total (P)	mg/L	0,10
SÓLIDOS		
Sólidos Suspendidos	mg/L	20,00
PARÁMETROS DE INTERÉS SANITARIO		
Amoniaco	CL 96/50	1,00
Arsénico	CL 96/50	0,05
Bario	CL 96/50	1,00
Berilio	CL 96/50	0,10
Cadmio (Cd)	CL 96/50	0,01
Cianuro libre	CL 96/50	0,20
Cinc (Zn)	CL 96/50	2,00
Cloruros	mg/L	250,00
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	CL 96/50	0,20
Color	Unidades escala Platino - Cobalto	75,00
Compuestos fenólicos	mg/L	0,002
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Cromo (Cr +6)	mg/L	0,05
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
pH mínimo	unidades	5,00
pH máximo	unidades	9,00
Plata (Ag)	mg/L	0,05
Plomo (Pb)	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,01
Sulfatos (SO42-)	mg/L	400,00
Tensoactivos (Detergentes)	mg/L	0,50
Vanadio	mg/L	0,10

7.3.5 Capacidad de carga del arroyo León

La comparación de caudales del arroyo León y las cargas puntuales aportadas de materia orgánica en periodos de estiaje y periodos de aguas medias, indica que el cuerpo de agua se comporta como una alcantarilla saturada de aguas residuales.

Los resultados del monitore indican que, en 14 de los 20 tramos aforados y caracterizados, el oxígeno disuelto estaba por debajo de 1,0 mg/L. La DBO_5 del arroyo llegó a reportar hasta 393 mg/L aguas abajo de la descarga de la PTAR de Galapa.

Los bajos caudales encontrados para épocas secas, comparados con los aportes de aguas residuales de los agentes que usan el cuerpo de agua como receptor de descargas, indican que, en estas épocas, más del 90% del agua que arrastra el Arroyo está constituida por aguas residual en más del 50% de los tramos evaluados.

Para garantizar condiciones mínimas de capacidad de asimilación de materia orgánica, se requiere eliminar más del 95 % de la carga contamínate puntual identificada. No obstante, como se indica en el marco metodológico, se hizo la aplicación y corrida del modelo SWWIT con el ánimo de establecer la capacidad de carga, pero como se indica en el Anexo 4, el cuerpo de agua en ninguno de sus tramos reaccionó al modelo, dados los bajos caudales, las altas cargas de DBO5 y los escasos de oferta de oxígeno disuelto en el agua. La tabla a continuación muestra los valores de DBO5, SST, DQO y OD, levantados en las campañas de monitoreo y adoptados como base para los cálculos, modelación y proyecciones de cargas.

Tabla 7-39. Resume de valores de calidad monitoreados

PUNTO DE MONITOREO FUENTE HÍDRICA SUPERFICIAL	FECHA MUESTREO	HORA	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD (DBO/DQO)	SST (mg/L)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	VALORACIÓN IMPACTO DE LA SEDIMENTACIÓN
Aguas abajo PTAR Galapa	2026-03-25	09:20	393	875	0,45	520	0,17	Crítico
Aguas arriba PTAR Galapa	2026-03-25	09:50	106	237	0,45	115	1,91	Muy Alto
Arroyo Grande aguas abajo Las Hermanas	2026-03-25	10:40	81	181	0,45	148	0,9	Muy Alto
Aguas abajo Brazo Derecho	2026-03-24	13:43	47	105	0,45	98	0,55	Alto
Aguas abajo Arroyos Urbanos y Brazo Caribe Verde	2026-03-24	10:10	60	135	0,44	61	0,17	Significativo

PUNTO DE MONITOREO FUENTE HÍDRICA SUPERFICIAL	FECHA MUESTREO	HORA	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD (DBO/DQO)	SST (mg/L)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	VALORACIÓN IMPACTO DE LA SEDIMENTACIÓN
Aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo	2026-03-23	10:30	64	143	0,45	50	3,04	Moderado
Aguas abajo Brazo Izquierdo	2026-03-24	13:53	75	168	0,45	35	0,15	Moderado
Aguas abajo Alameda del Río (Aguas arriba Henequén)	2026-03-24	09:40	66	148	0,45	37	0,17	Moderado
Aguas abajo Caujaral (Intersección Brazos)	2026-03-24	15:02	54	120	0,45	38	0,14	Moderado
Aguas arriba Arroyo Granada	2026-03-25	11:20	36	81	0,44	38	2,42	Moderado
Aguas abajo Arroyo Granada	2026-03-25	11:41	38	81	0,47	33	1,24	Moderado
Aguas abajo EDAR El Pueblo	2026-03-23	09:20	67	151	0,44	29	0,17	Bajo
Tramo Final Arroyo Grande	2026-03-23	13:40	48	105	0,46	24	2,33	Bajo
Desembocadura A. León	2026-03-25	13:35	46	104	0,44	27	1,79	Bajo
Aguas abajo Henequén	2026-03-24	11:22	57	134	0,43	24	0,12	Bajo
Aguas arriba Zofia sobre Arroyo Cañas	2026-03-23	11:20	23	52	0,44	11	1,07	Muy Bajo
Aguas arriba EDAR El Pueblo	2026-03-23	08:40	23	68	0,34	9,9	0,14	Mínimo
Aguas abajo Zofia	2026-03-23	10:50	43	98	0,44	9,8	1,55	Mínimo
PROMEDIO			74	166	0,44	73	1,00	MODERADO
MEDIANA			56	127	0,45	36	0,73	MODERADO
MEDIA GEOMÉTRICA			57	130	0,44	40	0,54	MODERADO
MODA			23	105	0,45	38	0,17	MODERADO

Fuente: Elaboración propia

El Arroyo Leon y sus principales tributarios, como se ha demostrado en los acápites anteriores, es un cuerpo de agua seriamente afectado por descargas liquidas de orden puntual. Los solos resultados de monitoreo muestran parámetros como el OD, la DBO5, la DQO y los COLIFORMES (TOTALES Y FECALES) muy por encima de los mínimos establecidos para aguas con alguna posibilidad de recuperación autónoma, denominada CAPACIDAD DE ASIMILACION. El OD, EN MAS DEL 80% DE LOS TRAMOS Y MEDICIONES, se encontró cercano a 1,0 mg/l o por debajo. La DBO5, mostro resultados superiores a los 300 mg/L en algunos casos, en especial aguas debajo de las descargas de los sistemas públicos de alcantarillado.

No obstante, las deplorables condiciones de calidad identificadas por los monitoreos desarrollados en este estudio, la reglamentación requiere aplicar métodos y procedimientos orientados a establecer no solo la capacidad de asimilación del cuerpo de agua sino, los escenarios de cargas contaminantes a los cuales debe ajustarse la CRA, para definir el nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES DE CARGAS

CONTAMINATES, en especial para parámetros como la DBO5. Los sondeos inciles de modelacion con Streeter and Phelps, MOSTRAROS DE ENTARDA, es decir con datos de caudal, OD y DBO5 que ningún tramo tiene algún asomo de CAPACIDAD DE ASIMILACION DE CARGAS, Ssi las cosas, ha sido encesarios pasar a decidir otros escenarios, los cuales ya no se fundamentan en modelacion de capacidad de carga sino, en el escalameinto de escenariso, pasando de la condicon actual, a una condición futura deseada. En tal sentido, se trabajó en dos posibilidades especificas, como als ques e indican a continuación y de ellas, se selecciona la mas expedita, viable y monitoreable:

:

1. Proyectar cargas de DBOO5 PROBABLES definiendo el escenario de mejorar los INDICADORES DE CALIDAD HÍDRICA de cada tramo, para pasar de CALIDAD MALA a la condición inicial de CALIDAD REGULAR. En este caso, se trabaja con el ICA de once (11) parámetros como referente de evaluación de condiciones actuales y deseadas. Las respuestas que se buscarían, se refieren a determinar cuáles son los parámetros que definen el ICA, pasando de un estado de MALA CALIDAD (monitoreado a 2026) a un ICA DE REGUALAR CALIDAD (a monitorear en 2036), es decir, suponiendo que se avanza tan solo un escala en los próximos 10 años.

2. Proyectar cargas orgánicas y de SST modelando para las condiciones y criterios de calidad requeridos para el Objetivo de Calidad a definirse dentro de la reglamentación de vertimientos.

El segundo escenario de modelación presenta un inconveniente muy grande, por cuanto supone la comparación entre múltiples parámetros (más de once (11)) para cada tramo, lo cual hace económicamente inviable su seguimiento, dados los levados costos de monitoreo.

En este sentido, de los dos escenarios de proyección, se idéntica el primero como el más conveniente, dado que la metodología de proyección sobre la base de variación de los Índices de Calidad del Agua - ICA, conjuga once (11) indicadores o valores integrados, mientras que los objetivos de calidad se establecen de manera particular para cada parámetro y, por tanto, podría asegurarse que el segundo escenario queda plenamente considerado si se trabaja con la primera opción.
La base de proyección para el escenario seleccionado se fundamenta en darle respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la reducción de carga de DBO_5 necesaria para pasar de un ICA de MALA CALIDAD a un ICA de CALIDAD REGULAR?

Tanto los cálculos como resultados de las proyecciones de cargas se adjuntan en el Anexo 4, análisis y resultados de la Modelación SWWT.

En la tabla a continuación se presenta el resultado de las proyecciones, indicando de manera especial los valores de cargas para la condición actual (ICA para condición MALA), las cargas para la condición deseada (ICA PASANDO A REGULAR). Como se observa en la última columna de la tabla, para mejorar un escalón del ICA, se requiere remover más del 80% de la carga total en el 100% de los tramos del Arroyo evaluados.

Tabla 7-40. Proyección y modelación de escenarios de cargas mejorando los ICA de Malo a regular en el arroyo León

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA ESTIMADA EN CADA ESTACIÓN DE MONITOREO	RENDIMIENTO HÍDRICO - IDEAM TIEMPO SECO (ENA-2010-2014)		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	RENDIMIENTO HÍDRICO ESTIMADO SEGÚN MODELO HIDROLÓGICO V2		CAUDAL IDEAM ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO		CAUDAL MEDIDO POR ESTACIÓN DE MONITOREO	CAUDAL ESTIMADO SEGÚN MODELO HIDROLÓGICO V2		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	CAUDAL ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO, CON BASE EN MODELO HIDROLÓGICO V2	DBO_5 MEDIDA PARA ICA MALO	CARGA MEDIDA PARA ICA MALO BASE DE PARTIDA	DBO_5 ESTIMADA PARA ICA REGULAR	CARGA A REGLAMENTAR POR ESTACIÓN PARA ICA REGULAR	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CARGA POR ESTACIÓN
	SEGÚN AFORO CONSULTORÍA			RENDIMIENTO HÍDRICO ECOLÓGICO*	RENDIMIENTO HÍDRICO MEDIO*		R.H. IDEAM 3 (L/s-km²)	R.H. IDEAM 6 (L/s-km²)		CAUDAL ECOLÓGICO* (L/s)	CAUDAL MEDIO* (L/s)	MEDIA GEOMÉTRICA						
	(km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s)	(L/s)	(L/s)			(L/s-km²)	(L/s)	(mg/L)	(kg DBO_5/d)	(mg/L)	(kg DBO_5/d)	(%)
E-1	38	3	6	1,02			114	228	39			58,0	2.203,6	106,0	20.181	23,0	4.373	78,33%
E-2	39	3	6	1,02			117	234	40			58,0	2.261,6	393,0	76.793	136,5	26.666	65,28%
E-3	44	3	6	1,02			132	264	45			58,0	2.551,5	81,0	17.857	21,5	4.738	73,47%
E-4	51	3	6	1,02			153	306	52			58,0	2.957,5	36,0	9.199	1,3	326	96,46%
E-5	127	3	6	1,02			381	762	129			58,0	7.364,7	38,0	24.180	2,8	1.810	92,52%
E-6	142	3	6	13,38	73,38	188,45	426	852	1.900	10.420	26.760	58,0	8.234,5	48,0	34.150	3,5	2.458	92,80%
E-7	19	3	6	13,38			57	114	254			58,0	1.101,8	23,0	2.190			
E-8	35	3	6	13,38			105	210	468			58,0	2.029,6	43,0	7.541	4,2	731	90,31%
E-9	45	3	6	13,38			135	270	602			58,0	2.609,5	64,0	14.430	3,1	693	95,20%
E-10	58	3	6	14,03			174	348	814			58,0	3.363,4	23,0	6.684	0,7	190	97,16%
E-11	62	3	6	47,56			186	372	2.949			58,0	3.595,4	67,0	20.813	9,6	2.969	85,74%
E-12	84	3	6	19,98			252	504	1.678			58,0	4.871,1	60,0	25.252	10,5	4.428	82,46%
E-13	89	3	6	21,69	21,35	71,12	267	534	1.930	1.900	6.330	58,0	5.161,1	66,0	29.431	9,4	4.180	85,80%
E-14	95	3	6	17,46			285	570	1.659			58,0	5.509,0	57,0	27.131	7,3	3.476	87,19%
E-15	99	3	6	17,46	90,00	246,16	297	594	1.729	8.910	24.370	58,0	5.741,0	60,0	29.761	9,6	4.738	84,08%
E-16	241	3	6	7,44	80,21	212,16	723	1446	1.793	19.330	51.130	58,0	13.975,5	54,0	65.204	9	10.468	83,95%
E-17	249	3	6	7,43			747	1494	1.850			58,0	14.439,4	75,0	93.567	12,0	15.014	83,95%
E-18	250	3	6	4,60			750	1500	1.151			58,0	14.497,4	47,0	58.871	8,5	10.677	81,86%

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA ESTIMADA EN CADA ESTACIÓN DE MONITOREO	RENDIMIENTO HÍDRICO - IDEAM (ENA-2010-2014)		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	RENDIMIENTO HÍDRICO ESTIMADO SEGÚN MODELO HIDROLÓGICO V2		CAUDAL IDEAM ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO		CAUDAL MEDIDO POR ESTACIÓN DE MONITOREO	CAUDAL ESTIMADO SEGUN MODELO HIDROLÓGICO V2		RENDIMIENTO HÍDRICO - MEDIDO	CAUDAL ESTIMADO POR ESTACIÓN DE MONITOREO, CON BASE EN MODELO HIDROLÓGICO V2	DBO_5 MEDIDA PARA ICA MALO	CARGA MEDIDA PARA ICA MALO BASE DE PARTIDA	DBO_5 ESTIMADA PARA ICA REGULAR	CARGA A REGLAMENTAR POR ESTACIÓN PARA ICA REGULAR	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CARGA POR ESTACIÓN
				SEGÚN AFORO CONSULTORÍA	RENDIMIENTO HÍDRICO ECOLÓGICO*	RENDIMIENTO HÍDRICO MEDIO*	R.H. IDEAM 3 (L/s-km²)	R.H. IDEAM 6 (L/s-km²)		CAUDAL ECOLÓGICO* (L/s)	CAUDAL MEDIO* (L/s)	MEDIA GEOMÉTRICA						
	(km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s-km²)	(L/s)	(L/s)	(L/s)			(L/s-km²)	(L/s)	(mg/L)	(kg DBO_5/d)	(mg/L)	(kg DBO_5/d)	(%)
E-19	252	3	6	4,60			756	1512	1.160			58,0	14.613,4	54,0	68.180	8,7	10.942	83,95%
E-20	255	3	6	7,96			765	1530	2.030			58,0	14.787,3	46,0	58.771	3,4	4.329	92,63%
PROMEDIO	**114**	**3**	**6**	**11,4**	**66,2**	**179,5**	**341**	**682**	**1.114**	**10.140**	**27.148**	**58,0**	**6.593,4**	**72,1**	**34.509**	**14,9**	**5.958**	**86%**
MEDIANA	**87**	**3**	**6**	**10,7**	**76,8**	**200,3**	**260**	**519**	**1.155**	**9.665**	**25.565**	**58,0**	**5.016,1**	**55,5**	**26.191**	**8,7**	**4.329**	**86%**
MEDIA GEOMÉTRICA	**86**	**3**	**6**	**6,6**	**58,0**	**162,7**	**257**	**513**	**569**	**7.642**	**21.434**	**58,0**	**4.959,0**	**57,2**	**24.489**	**7,0**	**3.257**	**86%**

Fuente: Elaboración Propia

7.3.5.1 Cargas DE DBO5 como objetivos para mejorar el ICA pasando de MALO a regular

Tabla 7-41. Reducción de cargas de DBO5 para pasar de ICA malo a ICA regular

Estación	Nombre de la Estación	Caudal Vertido (L/s)	Carga Actual DBO5 (kg/d)	Carga Objetivo DBO5 (kg/d)	Reducción (%)
E-1	AGUAS ARRIBA PTAR GALAPA	38.6	353.5	52.5	85%
E-2	AGUAS ABAJO PTAR GALAPA	39.6	1345.1	59.4	96%
E-3	ARROYO GRANDE AGUAS ABAJO LAS HERMANAS	44.7	312.8	27.1	91%
E-4	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANADA	51.8	161.1	24.8	85%
E-5	AGUAS ABAJO ARROYO GRANADA	129.0	423.5	62.4	85%
E-6	TRAMO FINAL ARROYO GRANDE	1899.6	7549.9	1533.3	80%
E-7	AGUAS ARRIBA ZOFIA SOBRE ARROYO CAÑAS	254.2	1449.4	278.5	81%
E-8	AGUAS ABAJO ZOFIA	468.2	2427.3	472.5	81%
E-9	AGUAS ARRIBA DEL ARROYO CAÑAS Y HONDO	602.0	2964.7	581.5	80%
E-10	AGUAS ARRIBA EDAR EL PUEBLO	814.0	3305.5	673.8	80%
E-11	AGUAS ABAJO EDAR EL PUEBLO	2949.0	13758.9	3174.1	77%
E-12	AGUAS ABAJO ARROYOS URBANOS Y BRAZO CARIBE VERDE	1678.0	10873.4	2220.6	80%
E-13	AGUAS ABAJO ALAMEDA DEL RIO	1930.0	3835.3	929.5	76%
E-14	AGUAS ABAJO HENEQUÉN	1659.1	9604.4	1936.7	80%
E-15	AGUAS ARRIBA ARROYO GRANDE	1729.0	9560.7	1937.1	80%
E-16	AGUAS ABAJO ARROYO GRANDE	1793.0	6661.4	1245.0	81%
E-17	AGUAS ABAJO BRAZO IZQUIERDO	1850.0	3676.3	862.5	77%
E-18	AGUAS ABAJO BRAZO DERECHO	1150.8	4772.6	781.9	84%
E-19	AGUAS ABAJO CAUJARAL (INTERSECCIÓN BRAZOS)	1160.0	6013.4	911.1	85%
E-20	DESEMBOCADURA ARROYO LEÓN	2030.0	9471.2	1689.3	82%

Fuente: Elaboración Propia

En periodo seco más del 80% del caudal del arroyo León corresponde a aportes puntuales de descargas liquidas, esta proporción se mantiene para las cargas de sustancias contaminantes aportadas por agentes puntuales, proporción con la cual se establecieron los LIMITES PERMISIBLES.

7.4 Reglamentación de vertimientos líquidos puntuales al arroyo León- nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES

Los estudios y análisis sustentados en los acápites precedentes, llevan a una conclusión contundente en torno a la calidad del cuerpo de agua y sus posibilidades de recuperación. El arroyo León está absolutamente vencido en su capacidad de asimilación de cargas y, por tanto, los resultados sugieren que deberán en la práctica, SER DECLARADO como un cuerpo de agua AGOTADO EN SU CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN.

No obstante, y en aras a la gradualidad existe una opción de ir ajustando el marco de LIMITES PERMISIBLES DE VERTIMIENTO para usuarios puntuales, lo cual no conviene ser aplicado en la misma proporcionalidad en que la modelación de carga indica, por cuanto, obligaría a todos los usuarios a mejorar en casi un 100% los niveles de carga aportadas actualmente. Esto significaría, permitir descargas puntuales, pero con efluentes de cero cargas. Lo que se propone entonces es fijar un primer escenario de 10 años, con una mejoría que esté al menos entre un 20 y un 30% en los LIMITES PERMISIBLES, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7-42. Nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES para agentes generadores de descargas líquidas puntuales al arroyo León.

***Nota**: Todo usuario, empresa o generador de vertimientos que no se encuentre previamente identificado en el inventario de usuarios y que, en consecuencia, no esté relacionado de manera específica en la presente tabla, estará en la obligación legal de acogerse y dar estricto cumplimiento a los límites máximos permisibles de carácter general establecidos en la presente reglamentación.*

Usuario	Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad para el cumplimiento de los objetivos de calidad del arroyo León en Jurisdicción de la C.R.A.															
	pH	Temp-eratura	Demanda Química de Oxígeno (DQO *)	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO *)	Sólidos Suspen-didos Totales (SST)	Sólidos Sedimentables (SSED)-	Grasas y Aceites	Sustancias Activas al Azul de Metilo	Hidrocarburos totales (HTP)	Ortofosfatos (P-PO4)	Fosforo total (P)	Nitratos (N-NO3)-	Nitritos (N-NO2)-	Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	Nitrógeno total (N)-	Coliformes *fecales
	(U de pH)	°C	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(SAAM)-(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100 ml)
Aqualia Latinoamérica S.A. E.S.P.	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20	Medir y reportar al menos una vez al año mientras la C.R.A. no decida más muestras y frecuencias								1000
Camagüey S.A.	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Exotika Leather internacional S.A.S.	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Hada International SAS	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Henequén SA ESP, predio el Genovés	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
ZILOG Parque industrial PH	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Sempertex ZF	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Triple A	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000

Usuario	Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad para el cumplimiento de los objetivos de calidad del arroyo León en Jurisdicción de la C.R.A.															
	pH	Temp-eratura	Demanda Química de Oxígeno (DQO *)	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO *)	Sólidos Suspen-didos Totales (SST)	Sólidos Sedimentables (SSED)-	Grasas y Aceites	Sustancias Activas al Azul de Metilo	Hidrocarburos totales (HTP)	Ortofosfatos (P-PO4)	Fosforo total (P)	Nitratos (N-NO3)-	Nitritos (N-NO2)-	Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	Nitrógeno total (N)-	Coliformes *fecales
	(U de pH)	°C	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(SAAM)-(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100 ml)
E.S.P. - EDAR el Pueblo																
Sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Triple A E.S.P. - EDAR Galapa	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Urbanización lomas del Caujaral	6,0-9,0	<40	120	60	90	5,0	20									1000
Zona franca la Cayena	6,0-9,1	<41	120	60	90	5,0	20									1000
Zofia propiedad horizontal – ZOFIA PH	6,0-9,2	<42	120	60	90	5,0	20									1000

Fuente: Elaboración Propia

8 Conclusiones

1. El establecimiento de un nuevo marco de Cargas Máximas Permisibles (CMP), como parte de un proceso de reglamentación de vertimientos a lo largo de las 20 estaciones definidas y estudiadas en el arroyo León y sus afluentes, es la opción técnica y jurídica más oportuna para lograr que el arroyo León mejores su estado actual y pueda pasar de Calidad Mala a Calidad Regular, es decir con ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA - ICA, mayor a 0.51.

2. Los requerimientos de reducción orgánica son sumamente rigurosos, exigiendo remociones que oscilan entre el 76% (Alameda del Río) y el 96% (PTAR Galapa), lo cual impone un reto de reingeniería a los operadores.

3. Aun incumpliendo el marco de LIMITES PERMISIBLES a establecer, los usuarios que vierten descarga líquidas al arroyo león o sus afluentes deben saber y reconocer que en el marco de instrumentos económicos vigente, los obligará a mejorar indefectiblemente la calidad de sus descarga por cuando, los índices que definen la Tarifa de la tasa retributiva por descargas puntuales, estarán en sus topes más altos, en especial los coeficientes de relación de caudales, los de biodegradabilidad y el coeficiente de calidad del agua-ICA.

4. El arroyo León y sus afluentes han adquirido un protagonismo mucha más relevante ahora que se ha integrado al paisaje urbano y a una relación más directa con un volumen de población fija y flotante más cuantioso. La afectación de su calidad, ya no es solamente un tema ambiental sino, un asunto prioritario de salud pública y una fuente de riesgos para la población. La solución ya no queda en manos de la iniciativa de cada usuario generador de descargas sino, que debe ser incluido como un tema clave en el POT de la capital del Atlántico, por cuanto si o si, compromete decisiones relacionadas con inversiones públicas.

   El decreto 1076, sección 7 del capítulo 3, es contundente y establece que cuando la aplicación de los diferentes instrumentos para el control de la contaminación de un cuerpo de agua se miden y se identifican como inefectivos para lograr la calidad definida en los objetivos de Calidad hídrica , la autoridad ambiental podrá proceder de oficio o apetición de partes, por la implementación de un proceso de reglamentación de vertimientos líquidos, lo cual queda plenamente sustentado en este estudio y por tanto la C.R.A., deberá proceder de De acuerdo con los datos, análisis y resultados de este estudio, tienen como conclusión principal, que la CRA de modificar el marco de LIMITES PERMISIBLES y definir un escenario donde todos los usuarios de acuerdo a sus responsabilidades como agentes puntuales generadores de descargas liquidas, garanticen límites de descarga orientados a reducir por encima del 85% de las cargas contaminantes identificadas a 2026.

9 Recomendaciones

1. De acuerdo con los análisis y conclusiones de este estudio, LA C.R.A. debe proceder con urgencia al establecimiento de un nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES de vertimiento como medida de choque para motivar a los usuarios del arroyo León, para mejorar la calidad de sus descargas liquidas puntuales vertidas al cuerpo de agua o a sus tributarios. La reglamentación de vertimientos, de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 3, sección 7 del decreto 1076 de 2015, ES LA OPCIÓN MAS PERTINENTE y a la mano para incidir en la modificación en la calidad de las descargas liquidas puntuales identificadas en la cuenca del arroyo León.

En este sentido, se recomienda como el escenario técnico y socioeconómicamente más viable, el MARCO DE LIMITES PERMISIBLE indicados en la tabla 7-42 DE este informe

2. Priorizar e incentivar normativamente los sistemas de recirculación de efluentes, especialmente para el sector industrial, para disminuir la presión volumétrica neta sobre las estaciones de monitoreo.

3. Se deben requerir a todos los usuarios generadores de descargas liquidas, para que actualicen sus SISTEMAS DE MANEJO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ajustándolo a al nuevo marco de limites permisibles de vertimiento establecidos en la Resolución que acoge este estudio.

4. Una vez aprobado mediante acto administrativo el nuevo marco de LIMITES PERMISIBLES, la CRA DEBE REQUERIR A LA TOTALIDAD DE USUARIOS con PERMISO DE VERTIMIENTO, para que ajusten sus PERMISOS DE VERTIMIENTO al nuevo marcode LIMITES PERMISIBLES adoptado.

5. Se debe requerir a todas las empresas de servicios públicos conectadas al arroyo o sus tributarios para que actualicen y ajusten sus PLANES DE CUMPLIMIENTO - PSMV al marco de LIMITES PERMISIBLES que se acogen sustentados en este estudio.

6. La Corporación dispuso en la resolución 0000145 de 2021 “POR MEDIO DE LA CUAL SE PRIORIZAN UNOS CUERPOS DE AGUA PARA EL ACOTAMIENTO DE SU RONDA HIDRICA, EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO” los cuerpos de agua priorizados, entre

los cuales, no se encuentra identificado el arroyo León, razón por la cual, de conformidad con lo establecido en el numeral 1 del artículo 2.2.3.3.7.4. del Decreto 1076 de 2015, este cuerpo de agua no requiere la actualización Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico u otro instrumento que haga sus veces.

10 Bibliografía

Benavides Barrios, L. J. (2019). *Análisis de la influencia de la calidad del agua del arroyo León en la calidad del agua de la ciénaga de Mallorquín.* Barranquilla, Colombia: Universidad el Norte, Departamento de ingeniería civil y ambiental, Maestría en ingeniería ambiental.

Chapra, S. C. (2008). *Surface water-quality modeling. Waveland Press.*

Corporación Autónoma Regional del Atlántico - C.R.A. (21 de Septiembre de 2021). Por la cual se establecen los obejtivos de calidad para los cuerpos de agua de la jurisdicción de la corporación atuónoma reginal del Atlántico a corto, mediano y largo plazo. *Resolución 499 de 2021*.

Corporacion autónoma regional del Atlántico - C.R.A. (18 de Marzo de 2026). Resolución 254 de 2026. *Por medio de la cual se declara en reglamentación los vertimientos al arroyo León, en el departamento del Atlántico*.

Deltares. (2022). *Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport processes, including simulation of sediment (User Manual Version 3.15). Deltares.*

IDEAM. (2010). *Formato común hoja metodológica. Indice de caliada del agua en corrientes superficiales (ICA).*

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018.*

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2023). *Guía técnica para la evaluación de la capacidad de asimilación de cargas contaminantes en cuerpos de agua superficiales continentales.*

Metcalf & Eddy, I., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & B. F. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5° ed. ed.). McGraw-Hill Education.

Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible - MADS. (23 de 12 de 2024). Decreto 1553. *Por el cual se sustituye el Capítulo 7 del 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 retributiva por la utilización directa e* . indirecta del agua como receptorde los vertimientos puntuales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de mayo de 2015). Decreto 1076. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631. *Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Agriculture Handbook No. 703). United States Department of Agriculture.*

Rossman, L. A. (2017). *Storm Water Management Model. Reference Manual* (Vols. Volume II – Hydraulics). Cincinnati, OH: National Risk Management Laboratory. Office of Research and Development.

U.S. Environmental Protection Agency. (1983). *Results of the Nationwide Urban Runoff Program: Volume I - Final Report (Water Planning Division; PB84-185552).* National Technical Information Service. https://nepis.epa.gov/. Obtenido de https://www.casqa.org/wp-content/uploads/2023/03/epa_1983_nationwideurbanrunoffprogramreport.pdf

United States Environmental Protection Agency - USEPA. (1991). *Technical support document for water quality-based toxics control (EPA/505/2-90-001). Office of Water.*

United States Environmental Protection Agency - USEPA. (2001). *Protocol for developing pathogen TMDLs (EPA/841/R-00/002). Office of Water.*

US Army Corps of Engineers - USACE. (2021). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic reference manual (Version 6.0). Hydrologic Engineering Center.*