ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO COMO INSUMO PARA DESARROLLAR LA REGLAMENTACIÓN POR VERTIMIENTOS DEL RECURSO HÍDRICO DEL ARROYO LEÓN Y LA IMPLEMENTACIÓN DEL DECRETO 1553 DE 2024 PARA LA LIQUIDACIÓN DE LA TASA RETRIBUTIVA EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

ANEXO 1. PERFIL DE CALIDAD DEL AGUA

ARROYO LEÓN

JUNIO DE 2026

Barranquilla, Colombia

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

Contenido|

1 Perfil de Calidad del arroyo León 1
1.1 Introducción 1
1.2 Generalidades 2
1.2.1 Contexto y justificación del estudio. 3
1.2.2 Alcance del documento de perfil de calidad. 6
1.3 Marco Normativo e Institucional 8
1.3.1 Normatividad vigente sobre calidad del agua y vertimientos 8
1.3.2 Lineamientos de la autoridad ambiental regional (CRA). 12
1.4 Red de Monitoreo Histórica 19
1.4.1 Inventario Cuantitativo y Localización Geográfica de Estaciones de Monitoreo Actuales 19
1.4.2 Análisis del Contexto Geográfico e Impacto de las Estaciones 22
1.4.3 Cuantificación y Dinámica Temporal de las Campañas de Monitoreo 23
1.5 Espectro Analítico: Clasificación Detallada de las Variables Evaluadas 25
1.5.1 Variables Fisicoquímicas, Balance de Oxígeno y Compuestos Orgánicos 26
1.5.2 Variables Microbiológicas 28
1.5.3 Metales Pesados y Elementos Traza Inorgánicos 28
1.5.4 Variables Hidrobiológicas y Bioindicadores a Largo Plazo 29
2 Análisis del Estado Actual y Evolución de la Calidad del Agua 31
2.1.1 Comportamiento histórico de parámetros fisicoquímicos (OD, DBO, DQO, SST, pH, conductividad, nutrientes). 31
2.1.2 Comportamiento de parámetros microbiológicos (Coliformes totales y fecales/E. coli). 40
2.1.3 Caracterización hidrobiológica (Bentos, perifiton, macrófitas y peces como bioindicadores). 42

2.1.4 Análisis espacial: Variación longitudinal de la calidad desde el nacimiento hasta la desembocadura (Ciénaga de Mallorquín/Mar Caribe). 42

2.1.5 Análisis temporal: Evolución multianual y estacionalidad (periodos de aguas altas vs. aguas bajas). 53

2.2 Índices de Calidad del Agua (ICA) y de Contaminación (ICO) 53

2.2.1 Metodología de cálculo (ej. ICA-IDEAM, ICOMI, ICOSUS, ICOMO). 53

2.2.2 Resultados espaciales y temporales de los índices. 56

3 RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA 62

3.1 Oxígeno disuelto (mg/L) 62

3.2 DQO (mg/L) 64

3.3 DBO5 (mg/L) 66

3.4 Biodegradabilidad (mg/L) 68

3.5 Sólidos disueltos totales – SDT (mg/L) 70

3.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L) 72

3.7 pH (mg/L) 73

3.8 CONDUCTIVIDAD (µS/cm) 75

3.9 NITRÓGENO TOTAL (mg/L) 77

3.10 FÓSFORO (mg/L) 79

3.11 Coliformes totales (UFC 100 mL) 81

3.12 Coliformes Termotolerantes(UFC 100 mL) 82

3.13 ICA 84

3.14 ICOSUS 85

3.15 ICOMO 86

3.16 ICOpH 88

3.17 ICOTRO 88

4 Bibliografía 91

Índice de Figuras

Figura 1–1. Ubicación de las estaciones de monitoreo actuales aportadas por los puntos de control de las empresas que realizan vertimientos y/o captaciones y la red de monitoreo de la CRA. Incluye puntos de monitoreo sobre el eje principal del A, León, así como tributarios como los Arroyos Malemba, Grande, Cañas y Hondo 21
Figura 2–1. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. .. 32
Figura 2–2. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO_5 (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 33
Figura 2–3. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno – DQO (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 34
Figura 2–4. Comportamiento de los Sólidos suspendidos totales - SST (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 35
Figura 2–5. Comportamiento del pH (Unidades de pH) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 36
Figura 2–6. Comportamiento de la conductividad (µS/cm) en el Arroyo León y arroyos afluentes. . 37
Figura 2–7. Comportamiento de los Nitratos (mg $N\text{-}NO_3$/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 38
Figura 2–8. Comportamiento de los Nitritos (mg NO_2/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 39
Figura 2–9. Comportamiento del Fósforo (mg P/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 40
Figura 2–10. Comportamiento de los Coliformes totales y termotolerantes (fecales/*E. coli*) (NMP/100 mL) en el Arroyo León y arroyos afluentes. 41
Figura 2–11. Variación espacial del OD en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 43
Figura 2–12. Variación espacial del DQO en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 44
Figura 2–13. Variación espacial del DBO_5 en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 45
Figura 2–14. Variación espacial del SST en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 47
Figura 2–15. Variación espacial del pH en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 48
Figura 2–16. Variación espacial del Conductividad en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 49
Figura 2–17. Variación espacial del Nitratos en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 50
Figura 2–18. Variación espacial del Nitritos en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 51
Figura 2–19. Variación espacial del Fósforo en el Arroyo León y los arroyos tributarios. 52
Figura 2–20. Comportamiento espacial de los valores del índice de calidad del agua – ICA, en la cuenca del Arroyo León. 56
Figura 2–21. Comportamiento temporal de los valores del índice de calidad – ICA, en la cuenca del Arroyo León. 57

Figura 2–22. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por sólidos suspendidos - ICOSUS, en la cuenca del Arroyo León. 58
Figura 2–23. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por sólidos suspendidos - ICOSUS, en la cuenca del Arroyo León. 58
Figura 2–24. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por por mineralización - ICOMI, en la cuenca del Arroyo León. 59
Figura 2–25. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por mineralización - ICOMI, en la cuenca del Arroyo León. 60
Figura 2–26. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por materia orgánica - ICOMO, en la cuenca del Arroyo León. 61
Figura 2–27. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por materia orgánica - ICOMO, en la cuenca del Arroyo León. 61
Figura 3–1. Valores de OD (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 63
Figura 3–2. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 65
Figura 3–3. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 67
Figura 3–4. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 70
Figura 3–5. Valores de Sólidos Disueltos (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 71
Figura 3–6. Valores de SST (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 73
Figura 3–7. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 75
Figura 3–8. Valores de Conductividad (µS/cm) en las estaciones de muestreo evaluadas. 76
Figura 3–9. Valores de nitrógeno total (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 79
Figura 3–10. Valores de Fósforo (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 80
Figura 3–11. Valores de Coliformes totales (UFC / 100 mL) en las estaciones de muestreo evaluadas. 82
Figura 3–12. Valores de Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL) en las estaciones de muestreo evaluadas. 83
Figura 3–13. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 85
Figura 3–14. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 86
Figura 3–15. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 87
Figura 3–16. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 88
Figura 3–17. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas. 89

Índice de Tablas

Tabla 1-1. Usos del recurso hídrico de los cuerpos de agua según la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA. 12
Tabla 1-2. Clases para uso del agua, según la resolución 449 del 2021 13
Tabla 1-3. Criterios de calidad para cada uno de los parámetros indicados en la Res. 449 de 2021 14
Tabla 1-4. Criterios de calidad comparativos para parámetros seleccionados (Res. 449/2021 - CRA) 16
Tabla 1-5. Inventario Consolidado de Estaciones de la Red de Monitoreo del Sistema Arroyo León. 19
Tabla 1-6. Resumen de la Cuantificación y Dinámica Temporal del Monitoreo 24
Tabla 1-7. Síntesis de las Categorías y Variables Analizadas en la Red de Monitoreo 26
Tabla 2-1. Variables y Ponderaciones W*i* 54
Tabla 2-2. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA. 54
Tabla 3-1. Resultados de los índices de Calidad del Agua – ICA, obtenidos durante la campaña de marzo. 84

1 Perfil de Calidad del arroyo León

1.1 Introducción

La gestión contemporánea de los recursos hídricos en entornos urbanos y periurbanos exige un cambio de paradigma estructural, transitando de la visión tradicional que consideraba a las corrientes superficiales como meros canales de evacuación y drenaje pluvial, hacia un enfoque ecosistémico integral que reconoce a estos cuerpos de agua como ejes estructurantes del territorio y corredores biológicos vitales. En este complejo escenario, el arroyo León emerge como el sistema lótico más importante de la vertiente occidental del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla y del municipio de Galapa, desempeñando un papel hidrogeológico, ecológico y social de incalculable valor para la región Caribe colombiana. Su relevancia trasciende su función original de drenaje, dado que constituye uno d ellos principales tributarios de agua dulce de la Ciénaga de Mallorquín, un ecosistema estuarino estratégico, sitio Ramsar y humedal urbano que recientemente ha sido objeto de ambiciosos planes de restauración y desarrollo ecoturístico por parte de las autoridades locales y nacionales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

El presente capítulo tiene como propósito fundamental establecer el perfil de calidad del agua del arroyo León, estructurando una línea base diagnóstica, técnica y normativa que permita a la autoridad ambiental competente comprender a profundidad la dinámica de los contaminantes, la capacidad de asimilación del ecosistema hídrico y los inmensos retos asociados a la presión antrópica sostenida. Este perfil de calidad se erige como el cimiento técnico y científico indispensable para la toma de decisiones informadas, orientadas a determinar los valores mínimos y máximos permisibles de las variables fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas que deberán reglamentar a los diversos usuarios de los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca.

La imperiosa necesidad de documentar exhaustivamente la calidad de estas aguas y sus sedimentos radica en la severa degradación ambiental que ha sufrido la subcuenca en las últimas décadas. La acelerada expansión demográfica, la impermeabilización masiva de los suelos urbanos, la ocupación informal de las rondas hídricas, la deforestación de las cabeceras y el desarrollo industrial no

planificado han transformado al arroyo León en un receptor crónico de descargas líquidas puntuales y difusas (Corporación Autónoma Regional del Atlántico et al., 2006). A esto se suma la disposición inadecuada de monumentales volúmenes de residuos sólidos ordinarios y escombros, los cuales son arrastrados con cada evento de precipitación hacia la desembocadura (Alcaldía de Barranquilla, 2021).

Esta carga contaminante combinada no solo altera de manera directa, severa e inmediata las condiciones hidrodinámicas y biológicas del cuerpo de agua, sino que representa una amenaza directa para la salud pública de las comunidades ribereñas y compromete la viabilidad a largo plazo de los proyectos de conservación y turismo de naturaleza ubicados aguas abajo. De no implementarse medidas correctivas basadas en un perfil de calidad riguroso, el colapso ecológico del estuario receptor será inminente.

En consecuencia, este documento provee la información técnica, jurídica y analítica recabada para la determinación del perfil de calidad del arroyo León. A lo largo de los siguientes subcapítulos se abordarán los contextos geográficos y socioambientales de la cuenca, se definirán los objetivos estratégicos y el alcance territorial y metodológico de las evaluaciones hidrosedimentológicas, y se realizará una exégesis rigurosa de la normatividad nacional vigente en materia de vertimientos y tasas retributivas. Finalmente, integrando la estructura analítica preexistente, se detallarán los lineamientos establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), proyectando las metas de calidad (Clase II) que el arroyo León deberá alcanzar ineludiblemente en el corto, mediano y largo plazo para garantizar su sostenibilidad ecosistémica y su irremplazable función como salvaguarda hidroecológica de la Ciénaga de Mallorquín.

1.2 Generalidades

A continuación, se determinará el contexto y justificación del presente estudio, sus objetivos y alcance del documento.

1.2.1 Contexto y justificación del estudio.

1.2.1.1 Contexto Geográfico e Hidrológico de la Cuenca

El sistema hídrico del arroyo León se encuentra inmerso en una extensa cuenca hidrográfica que abarca aproximadamente 299.37 kilómetros cuadrados, un territorio complejo y heterogéneo sobre el cual tienen jurisdicción política y administrativa los municipios de Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia, Tubará, Baranoa y Soledad (CRA et al., 2006). Desde una perspectiva geomorfológica, el relieve de la cuenca está definido por una transición que inicia en las estribaciones quebradas y laderas inestables de Tubará y Galapa, descendiendo suavemente hacia una gran planicie que domina el cuerpo central del territorio (abarcando cerca del 62% del área total). Esta planicie se estrecha al acercarse al litoral, conformando un valle que finalmente se abre para configurar el sistema deltaico estuarino conectado con el Mar Caribe y el Río Magdalena.

La red de drenaje de la cuenca exhibe un patrón marcadamente dendrítico (ramificado), caracterizado por el predominio de corrientes efímeras de origen estrictamente pluvial, con tributarios de corta longitud y cauces principales alargados. El eje principal de este sistema está conformado mayoritariamente por el arroyo Grande, al cual confluyen afluentes de vital importancia como el arroyo Granada (proveniente de la subcuenca San Luis) y el propio arroyo Hondo, el cual adopta la denominación de arroyo León en su tramo inferior y urbano.

Para efectos de la gestión del recurso hídrico, este intrincado sistema se divide operativamente en dos grandes componentes funcionales:

i. **El sistema de drenaje rural:** Ocupa la mayor porción territorial de la cuenca (alta y media), dominado por actividades agropecuarias, parcelaciones, minería de materiales de construcción (calizas y arenas) y remanentes de bosque seco tropical.
ii. **El sistema de drenaje urbano:** Localizado en el extremo oriental e inferior de la cuenca, este subsistema recoge las inmensas escorrentías superficiales y las descargas de aguas residuales del suroccidente y noroccidente de Barranquilla, impactando directamente sectores densamente poblados como El Pueblito, Las Malvinas, La Paz, Caribe Verde y Villa San Pablo.

A lo largo de sus aproximadamente 35 kilómetros de recorrido total (desde sus nacimientos hasta la desembocadura), el arroyo León transita de ser un cauce natural estacional a convertirse en un canal urbano perenne. Este flujo base constante, observado incluso en severas épocas de estiaje, no obedece a la recarga de acuíferos o manantiales naturales, sino al caudal aportado por los efluentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) operadas en la zona, así como a las descargas continuas de conexiones erradas y vertimientos informales (Universidad Autónoma del Caribe, 2012).

1.2.1.2 Problemática Socioambiental y Presiones Antrópicas

El estado ambiental del arroyo León representa uno de los desafíos de ingeniería urbana y saneamiento ecológico más formidables del departamento del Atlántico. La cuenca es objeto de una crisis multidimensional impulsada por presiones antrópicas sostenidas que han superado con creces la capacidad de resiliencia del ecosistema.

En primer lugar, la alteración hidromorfológica y la contaminación por residuos sólidos constituyen una emergencia permanente. La cuenca occidental de Barranquilla padece de una disposición inadecuada, incorrecta e ilegal de basuras, escombros de construcción y residuos voluminosos en los cauces de los arroyos tributarios. Durante los eventos de precipitación (aguaceros), la escorrentía superficial arrastra este material a través de los canales de la Avenida Circunvalar, Las Malvinas, Paz-Bicentenario y El Salado II, depositándolos violentamente en el cauce principal del arroyo León (Alcaldía de Barranquilla, 2021).

Para mitigar este impacto y evitar el azolvamiento irreversible de la Ciénaga de Mallorquín, la administración distrital construyó la "Trampa del arroyo León". Los registros operativos de la Agencia Distrital de Infraestructura (ADI) documentan que, tras una temporada seca de cuatro a cinco meses, pueden acumularse cerca de 160.000 metros cúbicos de basura en el sistema. Solamente en intervenciones de choque tras fuertes lluvias, se han llegado a extraer más de 1.200 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos (equivalentes a 2.400 metros cúbicos), requiriendo hasta 120 viajes de volquetas pesadas para su disposición final en rellenos sanitarios autorizados. Los altísimos costos operativos de esta recolección (estimados en $100.000 COP por metro cúbico extraído) reflejan la insostenibilidad de un modelo que carece de cultura ciudadana y control en la fuente (Alcaldía de Barranquilla, 2021).

En segundo lugar, desde la perspectiva de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, el arroyo recibe vertimientos crónicos que anulan su vocación ecológica. A lo largo de su recorrido, el cauce capta aguas residuales domésticas (ARD) sin tratar provenientes de asentamientos subnormales, aguas residuales no domésticas (ARnD) del sector industrial, comercial y de servicios de Barranquilla y Galapa, e incluso filtraciones históricas de lixiviados provenientes del antiguo y clausurado relleno sanitario El Henequén (Universidad Autónoma del Caribe, 2012).

Estudios recientes han evidenciado que estas aguas presentan una dominancia absoluta de sólidos disueltos totales (con concentraciones que superan los 2.700 mg/L), altísimos niveles de sólidos suspendidos totales (SST), y concentraciones alarmantes de nutrientes, particularmente nitrógeno

amoniacal y nitrógeno orgánico Kjeldahl, con promedios cercanos a los 20 mg/L y 23 mg/L respectivamente (Guzmán Tordecilla, Elles-Pérez, Ramos De la Hoz, & Castillo Ramírez, 2025). La presencia documentada de coliformes fecales, metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y contaminantes emergentes (CEs) clasifica a estas aguas como un vector de riesgo biológico de primer orden.

Esta profunda degradación ha generado conflictos socioambientales de gran magnitud. Informes de comisiones técnicas del gobierno nacional han señalado que la contaminación es tan extrema que, desde el año 2018, las propias comunidades de pescadores artesanales y habitantes ribereños han bloqueado y desviado artificialmente el ingreso natural de las aguas del arroyo León hacia la Ciénaga de Mallorquín (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2024). Esta medida desesperada busca evitar que la pluma de contaminación anaeróbica diezme la biodiversidad estuarina (peces, crustáceos y moluscos) de la cual depende su supervivencia alimentaria y económica (MADS, 2024). Sin embargo, este bloqueo interrumpe el pulso hidrológico natural del estuario, acelerando su salinización y propiciando la pérdida de su condición de laguna costera tropical.

1.2.1.3 Justificación de la Realización del Perfil de Calidad

Frente a la magnitud de la crisis descrita, la formulación de un perfil de calidad del agua sólido, estructurado y científicamente fundamentado deja de ser un mero requisito burocrático para convertirse en un mandato ineludible de la administración pública. La realización de este estudio se justifica bajo tres pilares fundamentales que exigen la intervención del Estado:

1.2.1.3.1 Consolidación de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH):

El ordenamiento del territorio demanda imperativamente equilibrar el desarrollo socioeconómico con la preservación del capital natural. Es técnica, legal y moralmente inaceptable mantener los niveles actuales de contaminación microbiológica y fisicoquímica en un cauce que desemboca en un área de importancia internacional (Sitio Ramsar) y en el Ecoparque Mallorquín, el proyecto de turismo de naturaleza más ambicioso de la región. El perfil de calidad permite a las autoridades conocer con rigor científico la dinámica de dispersión, dilución, decaimiento y asimilación de los contaminantes en la columna de agua y en los sedimentos del fondo, sirviendo como mapa de ruta para conciliar el metabolismo urbano con la vocación de conservación del ecosistema.

1.2.1.3.2 Exigibilidad del Control de Mando y Ordenación de Vertimientos:

El derecho ambiental colombiano establece que no todos los cuerpos de agua están habilitados para recibir descargas residuales de forma ilimitada. Es imprescindible que el Estado y sus instituciones delegadas (en este caso, la CRA) cuenten con un marco normativo específico orientado a asegurar que la calidad de los vertimientos de cada usuario (industria, urbanización, empresa de acueducto) esté estrictamente ajustada a unos límites de emisión que correspondan a la verdadera capacidad de carga del arroyo. El perfil de calidad proporciona la línea base para justificar la aprobación o rechazo de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), establecer regímenes de metas de reducción de carga contaminante graduales, y exigir la modernización de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) ineficientes.

1.2.1.3.3 Implementación de Nuevos Instrumentos Económicos (Decreto 1553 de 2024):

La viabilidad financiera de la gestión ambiental depende de la correcta aplicación del principio de "el que contamina paga". La reciente entrada en vigencia del Decreto 1553 de 2024 exige a las corporaciones autónomas regionales una actualización total en la metodología de liquidación de la Tasa Retributiva por vertimientos puntuales (MADS, 2024). Este nuevo marco tarifario requiere de modelaciones matemáticas complejas que incluyen Índices de Calidad del Agua (ICA) y la relación de biodegradabilidad (DBO5/DQO) del cuerpo receptor para calcular el "Factor Regional". Sin un perfil de calidad actualizado y detallado, la CRA se vería imposibilitada jurídica y técnicamente para liquidar y recaudar este tributo, perdiendo la herramienta económica más persuasiva para inducir a los usuarios a reducir sus emisiones contaminantes.

1.2.2 Alcance del documento de perfil de calidad.

El documento de perfil de calidad está concebido como una radiografía analítica integral del ecosistema. Sin embargo, para mantener su viabilidad operativa y su rigor científico, es imperativo delimitar su alcance en tres dimensiones fundamentales: espacial, temporal y metodológica. Este acotamiento asegura que los resultados sirvan eficazmente como herramienta de comando, control y planificación ambiental, sin dispersar recursos en áreas fuera de la jurisdicción directa de la intervención.

1.2.2.1 Alcance Espacial y Geográfico

El perfil abarca longitudinalmente el eje principal del arroyo León y sus zonas de influencia ribereña directa, dividiendo el ecosistema en tramos homogéneos de análisis hidromorfológico y químico para capturar la evolución de la contaminación. Específicamente, el alcance geográfico comprende:

- **Tramo 1 (Rural/Transición - Aprox. 22 km):** Inicia en las estribaciones de la cuenca alta y media, siguiendo el trazado rural donde empalma la derivación del Arroyo Grande hasta los límites urbanos del municipio de Galapa. Este sector permite establecer la calidad del agua de "fondo" (background) antes del impacto metropolitano masivo.
- **Tramo 2 (Urbano Crítico - Aprox. 8 km):** Comprende el sector urbano más densamente poblado y presionado, desde la confluencia del arroyo León-Hondo con el arroyo Grande, atravesando sectores industriales y residenciales como El Pueblito y Caribe Verde. Este tramo recoge la totalidad de las aguas de escorrentía y alcantarillado de la cuenca occidental de Barranquilla.
- **Tramo 3 (Derivaciones y Desembocadura - Aprox. 5 km):** Corresponde a los brazos del arroyo que confluyen con el arroyo Hondo hasta el sector urbano de Villa San Pablo, extendiéndose a través de la planicie inundable hasta la zona de mezcla y desembocadura en el complejo lagunar de la Ciénaga de Mallorquín.

El alcance espacial incluye obligatoriamente el mapeo de todas las infraestructuras de vertimiento (tuberías, canales, box culverts), la localización de las trampas de residuos sólidos, y la modelación de la pluma de dispersión en el litoral costero colindante.

1.2.2.2 Alcance Temporal y Climatológico

La dinámica de los contaminantes en sistemas de origen pluvial está dictaminada por la hidrología. Por tanto, el alcance temporal del perfil de calidad trasciende la toma de muestras aisladas. El documento incorpora la variabilidad estacional intrínseca a la Región Caribe colombiana, analizando el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos reconociendo el régimen pluviométrico bimodal.

Se evaluará la respuesta del cauce y las concentraciones de contaminantes durante los periodos de estiaje (sequía), época en la cual el caudal base del arroyo está dominado casi exclusivamente por las descargas de aguas residuales crudas y tratadas, lo que genera las peores condiciones de dilución y el mayor déficit de oxígeno. En contraste, se analizarán los periodos de precipitación intensa (lluvias), caracterizados por el fenómeno de lavado de superficies urbanas (escorrentía), picos de caudal extremo, re-suspensión de lodos anóxicos del fondo y el transporte masivo de residuos sólidos y sedimentos. Asimismo, el alcance proyectivo contempla la prospectiva de la calidad del agua frente a eventos cíclicos de variabilidad climática (fenómenos El Niño y La Niña).

1.3 Marco Normativo e Institucional

El ordenamiento del recurso hídrico en Colombia ha experimentado una profunda evolución legal, transitando de un modelo históricamente permisivo hacia una arquitectura jurídica de comando y control rigurosa. La gestión, saneamiento y reglamentación del arroyo León debe armonizarse milimétricamente con este marco jurídico de alcance nacional, el cual dicta las reglas ineludibles para la evaluación de los usuarios, la fijación de límites máximos permisibles, la protección de los ecosistemas receptores y la tasación económica del daño ambiental por contaminación.

1.3.1 Normatividad vigente sobre calidad del agua y vertimientos

1.3.1.1 Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015

El Decreto 1076 de 2015, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), es el pilar central del derecho ambiental en Colombia. Este instrumento compila la totalidad de la reglamentación del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, fungiendo como el estatuto matriz para la gestión integral del entorno natural (MADS, 2015). En lo que respecta al recurso hídrico (subsumiendo las disposiciones del derogado Decreto 3930 de 2010), este decreto establece la estructura legal para los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) y la reglamentación de vertimientos.

El marco normativo consagra la clasificación obligatoria de las aguas superficiales y continentales, dictaminando prohibiciones categóricas de vertimiento. Queda expresamente prohibido descargar aguas residuales en zonas de recarga de acuíferos, en las cabeceras de las fuentes de agua, en calles o redes pluviales exclusivas, o en cuerpos hídricos destinados a recreación con contacto primario si el vertimiento impide el cumplimiento de los criterios de calidad exigidos para tal uso.

Además, el Decreto 1076 obliga a las autoridades ambientales a fundamentar cualquier proceso de reglamentación de vertimientos en estudios técnicos robustos. Exige la realización de visitas técnicas, la caracterización de los efluentes, la evaluación de la incidencia del vertimiento en función de los usos actuales y potenciales del cuerpo de agua, y el cálculo matemático de la capacidad asimilativa del tramo receptor. Es precisamente bajo el amparo de la Sección 7 de este decreto que la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) se encuentra facultada para iniciar, de oficio, la reglamentación específica del arroyo León, garantizando que todos los permisos de vertimiento otorgados a industrias y municipios se revisen y se ajusten a los objetivos de calidad del cauce.

1.3.1.2 Resolución 0631 de 2015

La Resolución 0631 de 2015 representa un hito técnico ineludible en la protección hídrica colombiana. Esta norma establece los parámetros y los Valores Límites Máximos Permisibles (VLMP) en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público (MADS, 2015). A diferencia de las regulaciones de la década de 1980 (Decreto 1594 de 1984) que se basaban primordialmente en exigir porcentajes de remoción en las plantas de tratamiento (lo que permitía la dilución como falsa solución), la Resolución 0631 estandariza umbrales de concentración absolutos y estrictos, fundamentados en la caracterización específica por sector productivo y actividad económica.

Para el ecosistema del arroyo León, densamente presionado por la urbanización del Distrito de Barranquilla y el parque industrial del municipio de Galapa, esta resolución actúa como el estándar de auditoría primario. La norma segmenta los controles de la siguiente manera:

- **Aguas Residuales Domésticas (ARD):** Establece límites rigurosos para los prestadores del servicio público de alcantarillado y las soluciones individuales. Regula estrictamente el potencial de hidrógeno (pH entre 6,00 y 9,00), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y parámetros microbiológicos críticos como los coliformes termotolerantes. El grado de exigencia de estos valores define la obligatoriedad y la complejidad del sistema de tratamiento secundario o terciario requerido.
- **Aguas Residuales No Domésticas (ARnD):** Exige a las industrias (Agroindustria, Ganadería, Minería, Hidrocarburos, Manufactura y Servicios) el cumplimiento de un espectro de parámetros fisicoquímicos mucho más amplio. Incluye el control de iones (cloruros y sulfatos con límites típicos entre 250 y 500 mg/L dependiendo del sector), cianuros, sulfuros, compuestos de fósforo (ortofosfatos y fósforo total), y compuestos de nitrógeno (nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total).
- **Metales Pesados y Compuestos Tóxicos:** La resolución impone umbrales severos de toxicidad en ARnD para metales y metaloides bioacumulables. Por ejemplo, exige análisis y reportes para cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo y zinc, fijando límites de concentración extremadamente bajos (ej. 0,002 mg/L para el mercurio en algunos sectores) para prevenir el envenenamiento de la cadena trófica bentónica.

Adicionalmente, la Resolución 0631 incorpora un mandato metodológico crítico para la evaluación en el arroyo León: cuando un usuario industrial o agropecuario capta agua del cauce y vierte sus aguas residuales en el mismo cuerpo hídrico, debe realizar balances de materia o masa simultáneos. La norma estipula que el cumplimiento debe evaluarse sobre la carga *neta* aportada (restando la carga basal contaminante de la captación), obedeciendo irrestrictamente a la Ley de Conservación de la Materia (MADS, 2015). Esta contabilidad es vital para evitar sancionar injustamente a usuarios

que reciben aguas ya contaminadas aguas arriba, pero obliga a un rigor extremo en los muestreos hidrosedimentológicos.

1.3.1.3 Resolución 0883 de 2018

Dado que el sistema del arroyo León tributa directamente a la Ciénaga de Mallorquín, un complejo lagunar estuarino en constante interacción morfodinámica y salina con el litoral del Mar Caribe, resulta jurídicamente pertinente e indispensable considerar el alcance de la Resolución 0883 de 2018. Esta norma establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas (MADS, 2018).

Aunque el arroyo León en sus tramos alto y medio es un cuerpo de agua continental dulceacuícola, la afectación transfronteriza de su pluma de contaminación impacta invariablemente la cuña salina de la desembocadura y el ecosistema marino-costero. La Resolución 0883 es de vital consideración para los procesos de modelación hidrodinámica bidimensional en el delta, ya que regula parámetros sumamente restrictivos diseñados para proteger ecosistemas halofíticos (manglares) y recursos pesqueros. Establece, por ejemplo, la prohibición o límites estrictos sobre difenilos policlorados, tensoactivos (detergentes), organoclorados y metales pesados que exhiben un comportamiento químico diferente al precipitar o flocular al entrar en contacto con aguas de alta salinidad y sulfatos marinos. Cualquier reglamentación del arroyo debe garantizar que la carga final entregada al estuario no viole estos parámetros de protección marina.

1.3.1.4 Decreto 1553 de 2024 (Tasa Retributiva por Vertimientos)

En el ámbito de la economía ambiental, el ordenamiento del arroyo León estará fuertemente supeditado a la implementación del reciente Decreto 1553 del 23 de diciembre de 2024. Este decreto presidencial sustituye el Capítulo 7 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, reestructurando de manera radical la metodología, causación y cobro de la Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales (MADS, 2024).

Este instrumento económico abandona el modelo tarifario rígido del pasado y establece una ecuación que busca internalizar con mayor precisión los costos reales del daño ecosistémico. La nueva metodología de cálculo de la tarifa (Tr) obliga a las autoridades ambientales a aplicar un **Factor Regional (Fr)** dinámico que pondera tres variables críticas y determinantes:

- ✓ **Variable Ambiental (VA):** Pondera el impacto real del vertimiento sobre el cuerpo receptor utilizando coeficientes basados en el Índice de Calidad del Agua (ICA) y la relación de biodegradabilidad (DBO_5/DQO). Penaliza económicamente los vertimientos en cauces altamente degradados o aquellos que descargan materia orgánica recalcitrante y difícil de asimilar.
- ✓ **Variable Socioeconómica (VS):** Integra un enfoque de equidad y justicia ambiental, considerando la desigualdad demográfica. Utiliza el coeficiente de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y la capacidad de pago de los municipios afectados geográficamente por la cuenca para modular el peso del tributo.
- ✓ **Variable Económica (VE):** Modula la tarifa final a través de incentivos positivos y negativos dirigidos principalmente a los prestadores del servicio público de alcantarillado (como la empresa Triple A en Barranquilla). Premia con reducciones tarifarias la inversión demostrable en la construcción y optimización de infraestructura de tratamiento de aguas residuales (STAR), y penaliza severamente la inacción.

La causación de este tributo es de carácter anual (del 1° de enero al 31 de diciembre) y grava la totalidad de la carga contaminante vertida. El estudio hidrosedimentológico y el perfil de calidad del arroyo León se convierten, por tanto, en el laboratorio técnico y jurídico indispensable para el departamento del Atlántico. La cuantificación precisa de los caudales, las cargas orgánicas (kg/año) y la modelación de la asimilación son los insumos matemáticos obligatorios para que la CRA evite fallas administrativas y garantice una facturación de la Tasa Retributiva apegada al rigor científico exigido por el Decreto 1553.

1.3.1.5 Decreto 1715 de 2014 y Ley 1753 de 2015 (Contexto General y Energético)

De manera complementaria, el marco de planificación territorial debe observar lineamientos generales como los dictaminados en el Decreto 1715 de 2014 (y sus reglamentaciones en 2015) orientado a la integración de energías renovables y el aprovechamiento de recursos, así como las directrices macro de la Ley 1753 de 2015 (Plan Nacional de Desarrollo). Aunque su enfoque principal es la transición energética y la infraestructura, estas normas contienen disposiciones vinculantes respecto a la no afectación de fuentes hídricas estratégicas durante la instalación de infraestructura civil, exigiendo salvaguardas ambientales frente a la ocupación de cauces y rondas hídricas que son plenamente aplicables al desarrollo de proyectos urbanísticos y turísticos en el área de influencia del arroyo León.

1.3.2 Lineamientos de la autoridad ambiental regional (CRA).

La soberanía ambiental para la administración y gestión del territorio hídrico en la zona de estudio recae sobre la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Esta entidad es la encargada de traducir las exigencias de la normatividad nacional (límites de emisión en tubo) a las realidades hidrológicas de la llanura caribeña (objetivos de calidad de inmiscibilidad en el cauce). El pilar estructural de esta gestión, sobre el cual se edifica el perfil de calidad del arroyo León, es la Resolución 449, del 21 de septiembre de 2021 (Corporación autónoma del Atlántico - CRA, 2021).

1.3.2.1 Resolución 449 del 2021

Emitida bajo el título "Por la cual se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico a corto, mediano y largo Plazo", la Resolución 449 de 2021 ordena prospectivamente todas las fuentes hídricas del departamento. El espíritu de la norma reconoce el principio de gradualidad: ecosistemas que han sido profunda y crónicamente degradados durante décadas, como el arroyo León, no pueden ser restaurados a condiciones prístinas de forma instantánea sin colapsar el sistema de servicios públicos o el tejido industrial local.

Para lograr una recuperación efectiva y medible, la CRA estableció una hoja de ruta escalonada con horizontes temporales de cumplimiento de metas estrictamente definidos:

- ✓ **Corto Plazo:** 2 años (vencido en 2023).
- ✓ **Medio Plazo:** 5 años (con vencimiento proyectado para 2026).
- ✓ **Largo Plazo:** 10 años (meta final al 2031).

En la Tabla 1-1 se consignan los usos establecidos en esta norma para el Arroyo león.

Tabla 1-1. Usos del recurso hídrico de los cuerpos de agua según la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.

Sistema			USOS						
#	Rio/ tramo	Tipo	Principal	Secundarios	Restringidos	Prohibidos	Corto plazo 2 años	Medio plazo 5 años	Largo plazo 10 años
1	Magdalena	Genérico – eje principal abastecedor de acueductos, un km aguas arriba de cualquier captación	Consumo humano y domestico	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca	Descargas y asimilación de aguas residuales con tratamiento	Aguas residuales sin tratamiento	I	I	I
		Eje principal rio Magdalena sin bocatomas de abastecimientos colectivos	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca, agropecuario	Consumo humano y domestico	Asimilación de aguas residuales	Aguas residuales sin tratamiento	II	II	I
		Arroyos, caños y fuentes de agua que entregan sus aguas	Uso paisajístico, industrial y agropecuario	Contacto secundario	Consumo humano y doméstico,	Aguas residuales sin tratamiento	V	V	II

Sistema					USOS				
#	Rio/ tramo	Tipo	Principal	Secundarios	Restringidos	Prohibidos	Corto plazo 2 años	Medio plazo 5 años	Largo plazo 10 años
		directamente al Rio Magdalena			Pesca de subsistencia				
		Complejo de humedales y ciénagas	Preservación de flora y fauna	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca	Consumo humano y domestico	Asimilación de aguas residuales	V	V	I
2	Canal del Dique	Genérico –eje principal abastecedor de acueductos, un km aguas arriba de la captación	Consumo humano y domestico	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca y acuicultura	Descargas y asimilación de aguas residuales con tratamiento	Aguas residuales sin tratamiento	I	I	I
		Eje principal sin bocatomas	Uso agrícola, paisajístico, industrial y agropecuario	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca.	Asimilación de aguas residuales		II	II	II
		Arroyos, caños y fuentes de agua que entregan sus aguas directamente al Canal del Dique	Uso paisajístico, industrial y agropecuario		Consumo humano y doméstico, Pesca de subsistencia		V	V	II
		Complejo de humedales y ciénagas	Preservación de flora y fauna	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca y acuicultura	Consumo humano y domestico	Asimilación de aguas residuales	V	V	I
3	Litoral Caribe	Aguas marinas en balnearios reglamentados	Contacto primario	Contacto secundario, pesca	Uso industrial	Asimilación de aguas residuales	I	I	I
		Aguas marinas no reglamentadas para balnearios	Pesca, contacto, primario, transporte		Asimilación y manejo de aguas residuales con pretratamiento	Asimilación de aguas residuales sin tratamiento	V	V	V
		Arroyos, caños y fuentes de agua que entregan sus aguas directamente al mar Caribe	**Uso paisajístico, industrial y agropecuario**		**Consumo humano y doméstico, Pesca de subsistencia**	**Aguas residuales sin tratamiento**	V	V	II
		Complejo de humedales y ciénagas	Preservación de flora y fauna	Transporte, contacto primario, contacto secundario, pesca y acuicultura	Consumo humano y domestico	Asimilación de aguas residuales	V	V	I

Fuente Modificado de la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA

La resolución estructura los cuerpos hídricos y sus tramos de control en cinco (5) clases categóricas. Cada clase define de forma cualitativa la vocación del cuerpo de agua y los usos antrópicos y ecológicos que puede soportar, lo que a su vez determina la severidad de los límites fisicoquímicos requeridos (**Tabla 1-2**).

Tabla 1-2. Clases para uso del agua, según la resolución 449 del 2021

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** de aguas ubicados dentro de la jurisdicción de la CRA 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 Modificado de la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA

A continuación, se indican los parámetros y valores normativos de la norma para cada una de las clases.

Tabla 1-3. Criterios de calidad para cada uno de los parámetros indicados en la Res. 449 de 2021

OBJETIVOS DE CALIDAD	UNIDAD	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V
Aluminio	mg/L	5,00			5,00	5,00
Amoniaco	CL 96/50	0,10	1,00	1,00		
Arsénico	CL 96/50	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10
Bario	CL 96/50	0,10	1,00	1,00		
Berilio	CL 96/50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Boro máx	mg/L	0,40			0,40	0,40
Boro min	mg/L	0,30			0,30	0,30
Cadmio	CL 96/50	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01
Cianuro libre	CL 96/50	0,05	0,20	0,20		
Cinc	CL 96/50	0,01	2,00	2,00	2,00	2,00
Cloro total residual	CL 96/50	0,10				
Clorofenoles	mg/L	0,50				
Cloruros	mg/L	250,00	250,00	250,00		
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,50	0,05
Cobre	CL 96/50	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20
Coliformes totales (CT)	NMP/100 mL	5000,00	20000,00	5000,00	20000,00	
Color	Unidades escala Platino - Cobalto		75,00	75,00		
Compuestos fenólicos	mg/L	0,00	0,002	0,002		
Cromo (Cr +6)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10
Cromo hexavalente	CL 96/50	0,01				
DBO5		7,00	7,00	20,00	50,00	70,00
Difenil	[ ] de Ag	0,0001				
Difenil policlorados	[ ] agente activo	No detectable	No detectable	No detectable		
Fenoles monohídricos	Fenoles	1,00				
Flúor	mg/L	1,00			1,00	1,00
Fósforo total (P)	mg/L			0,10		
GyA	% Sólido seco	0,01				Ausencia
Hierro	mg/L	0,10			5,00	5,00

OBJETIVOS DE CALIDAD	UNIDAD	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V
Litio	mg/L	2,50			2,50	2,50
Manganeso	mg/L	0,10			0,20	0,20
Material flotante y espumas						Ausencia
Mercurio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,010	0,01
Molibdeno	mg/L	0,01			0,01	0,01
Níquel	mg/L	0,01			0,20	0,20
Nitratos (N-NO3)	mg/L	10,00	10,00	1,00		
Nitritos (N-NO2)	mg/L	10,00	10,00	0,50	10,00	
Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	mg/L			0,30		
Olor						Ausencia
Ortofosfatos						
Oxígeno disuelto		4,00	4,00	4,00		
pH máximo	unidades	8,50	9,00	9,00	9,00	9,00
pH mínimo	unidades	6,50	5,00	5,00	4,50	4,50
Plaguicidas (Categoría toxicológica II - Organoclorados)	mg/L	0,001				
Plaguicidas organofosforados	[ ] agente activo	0,050				
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05		
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,10	0,10
Sales	mg/L	3000,00			3000,00	
Selenio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
SST		10,00	10,00	20,00	40,00	50,00
Sulfatos	mg/L	400,00	400,00	400,00		
Sulfuro de hidrógeno	mg/L	0,0002				
Tensoactivos (Detergentes)	mg/L	0,143	0,500	0,50		
Turbiedad	mg/L	20,00				
Vanadio	mg/L	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Fuente Modificado de la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA

1.3.2.1.1 Análisis de la Transición Normativa para el Arroyo León

El caso del arroyo León, en su calidad de corriente superficial que tributa hacia el sistema de humedales costeros y el litoral, es el núcleo del desafío de planificación delineado en el estudio. Como se evidencia en el análisis matricial avanzado de la resolución, durante los primeros años de vigencia de la norma, el arroyo fue categorizado de manera transitoria bajo la Clase V. Esta clasificación reconoció la cruda realidad del ecosistema: un cuerpo receptor saturado cuya principal

función *de facto* estaba siendo la "asimilación de materia orgánica" proveniente de las redes de alcantarillado e industrias. Imponer una clasificación estricta de forma inmediata habría generado un incumplimiento legal generalizado por parte de todos los actores del Distrito.

Sin embargo, el documento de perfil de calidad subraya un punto de inflexión crítico: a portas de cumplirse los primeros cinco (5) años de vigencia de la norma (2026), se evidencia que para el arroyo León entra en pleno rigor la exigencia de migrar hacia la Clase II. El vencimiento del horizonte de Medio Plazo significa que la ventana de permisividad para la asimilación orgánica masiva ha concluido. La autoridad ambiental debe ahora auditar, reglamentar los vertimientos y calcular las tasas retributivas asumiendo que el arroyo León debe cumplir con parámetros compatibles con usos agrícolas, pecuarios e, idealmente, consumo con tratamiento convencional (Clase II). Esto, a su vez, es un requisito biológico ineludible para que el cuerpo receptor final, la Ciénaga de Mallorquín, pueda alcanzar su ambiciosa meta de Largo Plazo (Clase I) orientada a la preservación absoluta de flora y fauna.

1.3.2.1.2 Criterios de Calidad Exigidos

La transición jurídica de Clase V a Clase II impone requerimientos analíticos y de calidad drásticos. La CRA, mediante la Resolución 449 de 2021, estableció valores de inmiscibilidad cuantitativos para decenas de compuestos químicos, metales y características físicas en el agua (**Tabla 1-4**). El perfil de calidad del arroyo León debe demostrar empíricamente en campo si las aguas han logrado reducir las concentraciones de contaminantes hasta alcanzar los umbrales de la Clase II, o calcular la magnitud de la desviación para formular medidas correctivas.

A continuación, se presenta un análisis avanzado de los criterios de calidad más críticos estipulados por la CRA, contrastando la laxitud de la Clase V (situación base) con el enorme rigor de la Clase II (la nueva meta normativa para el arroyo León):

Tabla 1-4. Criterios de calidad comparativos para parámetros seleccionados (Res. 449/2021 - CRA)

OBJETIVOS DE CALIDAD (Parámetro)	UNIDAD	LÍMITE CLASE V (Base transitoria)	LÍMITE CLASE II (Meta Actual Arroyo León)	Análisis del Impacto de la Transición
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades	4,50 – 9,00	5,00 – 9,00	Restricción marginal en la acidez; se requiere un buffer estable para proteger la vida acuática.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	*No restrictivo*	≥ 4,00	**Crítico:** La Clase V permitía condiciones de anoxia. La Clase II exige oxigenación constante (>

OBJETIVOS DE CALIDAD (Parámetro)	UNIDAD	LÍMITE CLASE V (Base transitoria)	LÍMITE CLASE II (Meta Actual Arroyo León)	Análisis del Impacto de la Transición
				4 mg/L) para permitir el desarrollo de macroinvertebrados y peces.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	70,00	7,00	**Extremadamente Crítico:** Exige una reducción del **90%** en la materia orgánica biodegradable admitida en el cauce. Las plantas de tratamiento (EDAR) deberán aumentar radicalmente sus remociones para no vulnerar el cauce.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	10,00	Obliga a un control estricto de la erosión en la cuenca y a la eliminación de descargas de lodos no tratados, reduciendo la turbidez en un 80% para evitar azolvar la ciénaga.
Coliformes Totales (CT)	NMP/100 mL	*No restrictivo*	20.000,00	Transición desde la permisividad microbiológica absoluta hacia un límite que exige desinfección obligatoria de todos los efluentes domésticos aportantes.
Cobre (Cu)	mg/L	0,20	0,20	Límite constante; toxina persistente que afecta al plancton.
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,002	Umbral de toxicidad se reduce cinco veces, atacando el riesgo de bioacumulación en especies de interés pesquero.
Plomo (Pb)	mg/L	0,10	0,05	Reducción a la mitad del umbral permisible; afecta directamente a los vertimientos industriales metalmecánicos de la cuenca media.
Cloruros y Sulfatos	mg/L	*No restrictivo*	Cl: 250 / SO4: 400	Se imponen topes a las sales disueltas para proteger la vocación agrícola (riego) del arroyo frente a vertimientos industriales.
Amoniaco	CL 96/50	*No restrictivo*	1,00	Exige el control de nutrientes nitrogenados provenientes de ARD para mitigar la mortandad por toxicidad aguda en peces.
Material Flotante y Espumas	Visual	Ausencia	*Ausencia absoluta implícita*	Prohíbe de manera tajante la presencia visible de aceites, basuras y detergentes que alteran el paisaje y el intercambio gaseoso.

Fuente: Elaboración propia

1.3.2.1.3 Implicaciones Estructurales de los Lineamientos para el Arroyo León

La interpretación profunda de estas métricas, establecidas por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico, revela la magnitud de la problemática operativa e institucional a la que se enfrenta Barranquilla y el departamento. La imposición innegociable de los estándares de la **Clase II** sobre el cauce del arroyo León exige que las empresas operadoras de servicios públicos de alcantarillado, el sector industrial consolidado y los proyectos habitacionales modifiquen de manera radical e inmediata las eficiencias tecnológicas de sus Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). El paradigma es claro: el arroyo ya no tiene "capacidad de dilución" para la ineficiencia. Si, tras aplicar los balances de masa estipulados en la Resolución 0631 de 2015, se comprueba que la sumatoria de las descargas puntuales supera la capacidad de asimilación del arroyo e induce a que el cuerpo de agua registre valores de DBO superiores a los estrictos 7,0 mg/L, o que sus niveles de Oxígeno Disuelto decaigan por debajo de los 4,0 mg/L (llevándolo a la hipoxia), la CRA, en ejercicio de sus funciones policivas y sancionatorias, se verá en la obligación jurídica de:

- ✓ Restringir, suspender o negar nuevos permisos de vertimiento en las zonas de expansión urbana (comprometiendo proyectos inmobiliarios de alta densidad en el occidente).
- ✓ Imponer Planes de Cumplimiento o contingencia agresivos y financieramente costosos a las empresas infractoras.
- ✓ Escalar la liquidación y el cobro de la Tasa Retributiva, activando los factores multiplicadores del Decreto 1553 de 2024 debido al impacto negativo sobre la Variable Ambiental (VA).

En síntesis, este riguroso marco normativo nacional e imperativo regional no actúa como un compendio de sugerencias ambientales, sino como un estatuto de estricto y obligatorio acatamiento. El "Perfil de Calidad del Agua del Arroyo León" constituye la pieza técnico-científica medular para que el Estado colombiano y la CRA puedan auditar empíricamente el grado de brecha o déficit existente entre el escenario real de degradación hidráulica y las exigentes metas regulatorias impuestas por la Resolución 449 de 2021. Sólo a través de esta exhaustiva caracterización será posible implementar la gobernanza hídrica necesaria para revertir el ecocidio histórico, salvaguardar el equilibrio hidro-sedimentológico del arroyo y garantizar la supervivencia biológica a perpetuidad de la Ciénaga de Mallorquín.

1.4 Red de Monitoreo Histórica

El diseño espacial y la distribución geográfica de una red de monitoreo determinan la capacidad de la autoridad ambiental para rastrear el origen, la evolución, la dilución y el destino final de las cargas contaminantes a lo largo del ecosistema. El análisis pormenorizado del inventario de información secundaria revela que la red de monitoreo del sistema hídrico del arroyo León abarca una intrincada y extensa malla de tributarios, arroyos afluentes y derivaciones que recogen el complejo metabolismo urbano, comercial e industrial de la subcuenca occidental.

Para efectos del perfil de calidad y la gestión territorial, el ecosistema se ha dividido operativamente en tres (3) grandes tramos funcionales: El Tramo 1 (Rural/Transición) de aproximadamente 22 kilómetros que establece la calidad de fondo o *background*; el Tramo 2 (Urbano Crítico) de unos ocho (8) kilómetros que atraviesa la zona de mayor densidad poblacional e industrial recolectando la totalidad del alcantarillado; y el Tramo 3 (Derivaciones y Desembocadura) de aproximadamente 5 kilómetros que abarca la planicie de inundación y la zona de mezcla estuarina. Las estaciones de monitoreo identificadas en el inventario se encuentran estratégicamente distribuidas a lo largo de esta zonificación.

1.4.1 Inventario Cuantitativo y Localización Geográfica de Estaciones de Monitoreo Actuales

A partir de los expedientes evaluados en la plataforma ORFEO y los estudios independientes, se ha logrado consolidar un inventario que identifica aproximadamente 13 puntos de monitoreo específicos (incluyendo puntos pareados de captación/vertimiento y aguas arriba/aguas abajo), operados por ocho (8) entidades corporativas distintas y la propia autoridad ambiental. La Tabla 1-5 consolida las estaciones únicas identificadas, indicando la razón social responsable, la localización georreferenciada exacta y el cuerpo de agua asociado.

Tabla 1-5. Inventario Consolidado de Estaciones de la Red de Monitoreo del Sistema Arroyo León.

Entidad Responsable (Razón Social)	Nombre del Punto / Identificador	Cuerpo de Agua	Coordenada X (Longitud)	Coordenada Y (Latitud)	Naturaleza del Registro
Camagüey S.A.	ND (No Definido)	Arroyo Grande	-74.901667	10.913861	Captación (C)
	ND (No Definido)	Arroyo Grande	-74.894991	10.902513	Vertimiento (V) - ARnD
Relleno Sanitario Los Pocitos	Arroyo Malemba Aguas Arriba	Arroyo Malemba	-74.917690	10.924170	Control de Cauce
	Arroyo Malemba Aguas Abajo 100 m	Arroyo Malemba	-74.916150	10.924980	Control de Cauce
	Arroyo Malemba Aguas Abajo 500 m	Arroyo Malemba	-74.913250	10.927080	Control de Cauce
Henequén SA ESP	Aguas arriba	Arroyo León	-74.855194	10.994500	Control de Cauce
	Aguas abajo	Arroyo León	-74.874056	11.005111	Control de Cauce

Entidad Responsable (Razón Social)	Nombre del Punto / Identificador	Cuerpo de Agua	Coordenada X (Longitud)	Coordenada Y (Latitud)	Naturaleza del Registro
EDAR EL PUEBLO (Triple A)	100 m Aguas arriba arroyo león	Arroyo León	-74.844715	10.964694	Control de Cauce
	EDAR EL PUEBLO	Arroyo León	-74.844864	10.963767	Vertimiento (V) - ARD
Ambbio Colombia SAS	Captación / Casa Bomba	Arroyo León	-74.884858	11.020411	Captación (C) / Control
Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA)	P1	Arroyo León	-74,845717	10,971203	Monitoreo Institucional
	P2	Arroyo León	-74,886519	11,020303	Monitoreo Institucional
	P3	Arroyo León	-74,877018	11,035779	Monitoreo Institucional

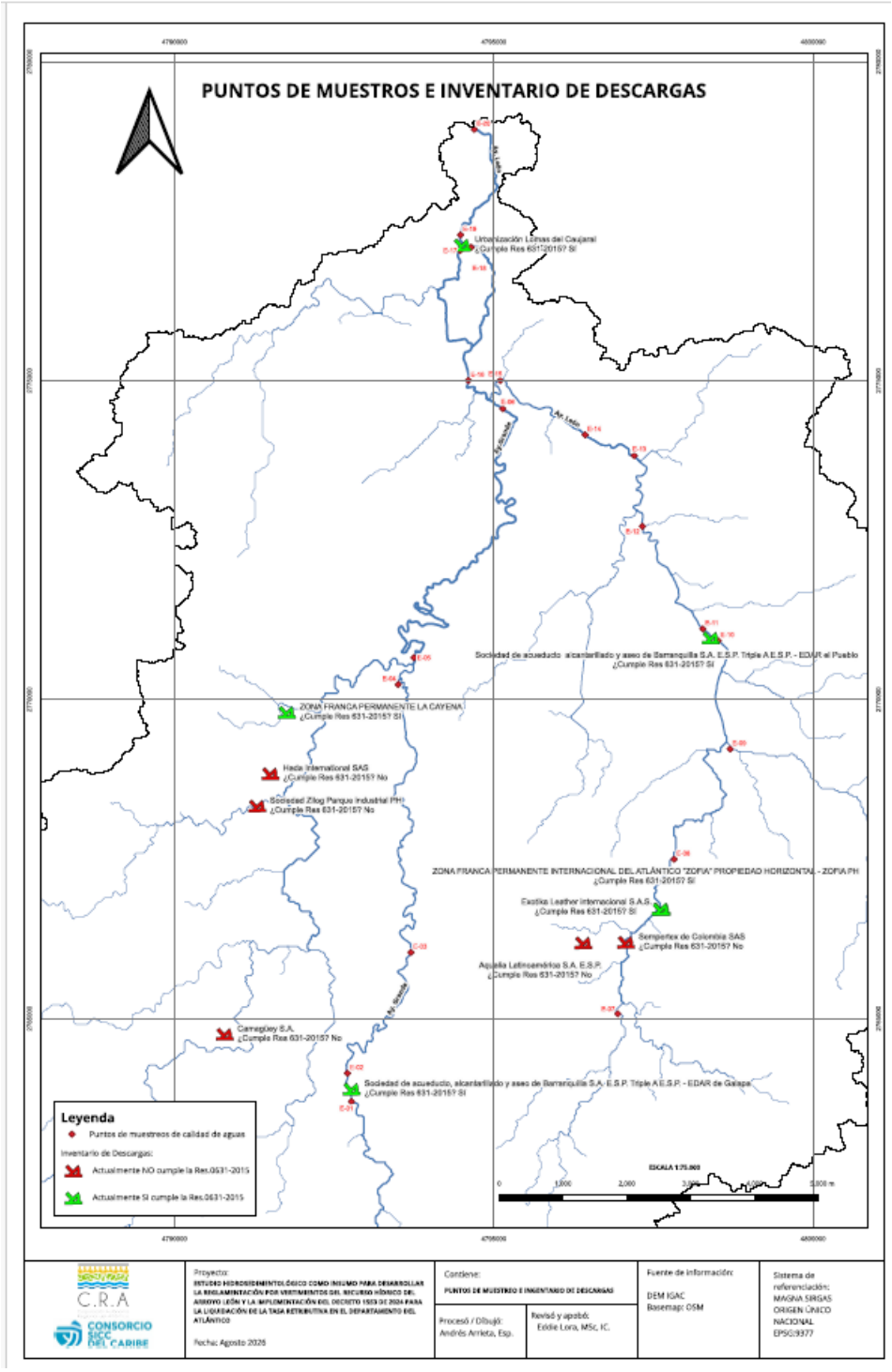

Figura 1–1. Ubicación de las estaciones de monitoreo actuales aportadas por los puntos de control de las empresas que realizan vertimientos y/o captaciones y la red de monitoreo de la CRA. Incluye puntos de

monitoreo sobre el eje principal del A, León, así como tributarios como los Arroyos Malemba, Grande, Cañas y Hondo

Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Análisis del Contexto Geográfico e Impacto de las Estaciones

La topología de las estaciones ilustra una red de monitoreo diseñada, de facto, para auditar los focos de mayor presión antrópica y alteración hidromorfológica que padece la cuenca. El ecosistema hídrico sufre una crisis multidimensional, exacerbada por la deforestación, la impermeabilización de suelos y la ocupación de rondas hídricas, factores que transforman la red de drenaje en un receptor crónico de descargas. No obstante, esta red de monitoreo está configurada en función de las necesidades de cada usuario, excepto las estaciones de caracterización de la CRA, que tienen un objetivo más amplio, que, aunque dan una idea del estado general del arroyo León y su microcuenca, no representan por si solas toda la variabilidad, por lo cual resulta importante el cumplimiento de las obligaciones de los usuarios, sobre el monitoreo de las aguas en el área de influencia de su captación o vertimiento.

Algunas de las estaciones de monitoreo se ubican en los tributarios industriales que conforman el sistema de drenaje superior. Empresas como Camagüey S.A., operan puntos de control en Aqualia. Tributarios importantes como el Arroyo Grande. Estas estaciones son sumamente críticas porque vigilan las Aguas Residuales No Domésticas (ARnD). La industria genera efluentes con perfiles químicos altamente específicos y recalcitrantes, cuya introducción al arroyo altera instantáneamente las condiciones biológicas. El monitoreo en estas ramas permite a la autoridad cuantificar la carga química antes de que esta se diluya o reaccione al confluir con el eje principal del arroyo León.

Por otra parte, la red evidencia un diseño metodológico avanzado basado en el establecimiento de puntos de monitoreo pareados o secuenciales, una exigencia normativa fundamental para la aplicación de balances de materia regidos por la Ley de Conservación de la Materia. El Relleno Sanitario Los Pocitos, operado por Triple A, vigila el Arroyo Malemba mediante un esquema de "Aguas Arriba", "Aguas Abajo 100 m" y "Aguas Abajo 500 m". De manera idéntica, la empresa Henequén SA ESP audita el cauce principal del Arroyo León con estaciones "Aguas arriba" y "Aguas abajo" ubicadas entre las latitudes 10,9945 y 11,0051. Este enfoque es indispensable para cuantificar el impacto real neto de las posibles filtraciones históricas de lixiviados de vertederos clausurados (como el antiguo botadero El Henequén). Al restar la carga basal contaminante que ya trae el cuerpo hídrico en el punto de captación o aguas arriba, la autoridad ambiental evita sancionar injustamente a usuarios por contaminación preexistente, al tiempo que aísla la pluma de contaminación específica aportada por la instalación.

Finalmente, las estaciones ubicadas en el Tramo 3 (Derivaciones y Desembocadura), tales como Casa Bomba (Ambbio Colombia SAS) y el histórico punto P1 de la CRA, representan la última línea de auditoría científica. Los datos de estas coordenadas documentan la calidad final del agua que abandona el sistema lótico y penetra en la cuña salina del litoral y la Ciénaga de Mallorquín. Es en este punto donde las concentraciones de contaminantes deben obligatoriamente cumplir con los umbrales estipulados para evitar el azolvamiento irreversible del ecosistema estuarino, el cual ya ha sufrido el bloqueo artificial de su cauce por parte de comunidades de pescadores artesanales en un intento desesperado por evitar que la contaminación anaeróbica diezme la biodiversidad marina.

1.4.3 Cuantificación y Dinámica Temporal de las Campañas de Monitoreo

La confiabilidad estadística y el rigor científico de una línea base ambiental dependen en su totalidad de la densidad, frecuencia y representatividad temporal de los datos recolectados. Una evaluación aislada no posee valor diagnóstico en un ecosistema sujeto a inmensas variaciones de caudal. El análisis del conjunto de datos extraídos revela un cuerpo de información secundario robusto, conformado por cientos de registros individuales que demuestran una alta frecuencia de escrutinio ambiental.

1.4.3.1 Número de Monitoreos Realizados y Frecuencia por Entidad

Al diseccionar la matriz de información, se contabiliza un número excepcional de campañas de monitoreo y registros alícuotas que abarcan un horizonte temporal desde el año 2017 hasta proyecciones y datos del año 2025.

- ✓ **Camagüey S.A.:** Exhibe un esquema de monitoreo de frecuencia mensual estricta para el año 2025. El inventario documenta 10 eventos de monitoreo (desde el 1 de enero hasta el 1 de octubre de 2025) reportando datos pareados de captación y vertimiento de ARnD en el Arroyo Grande. Este nivel de constancia mensual es vital para observar la evolución lenta de los parámetros a lo largo del año calendario.
- ✓ **Henequén SA ESP:** Proporciona un monitoreo de frecuencia semestral/anual, con campañas documentadas en diciembre de 2021, julio de 2022, junio y diciembre de 2023, y junio de 2024. Al tratarse de un área de influencia de lixiviados, los cambios químicos son más insidiosos y persistentes, justificando una ventana de observación más espaciada pero sistemática.
- ✓ **Ambbio Colombia SAS:** Aporta campañas de control enfocadas en la zona final del arroyo (Casa Bomba), con registros en agosto, septiembre y noviembre de 2023, y una continuidad en septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2024.
- ✓ **Triple A (EDAR El Pueblo y Los Pocitos):** Documentan monitoreos focalizados durante el segundo semestre (noviembre) de 2024, aportando los datos macro sobre la descarga directa de la planta de tratamiento principal al sistema.
- ✓ **Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA):** Actuando directamente, la autoridad ambiental aporta la línea base histórica con registros en la estación P1 para los años 2017 y

2018. De manera complementaria y reciente, la CRA ordenó un extenso estudio de caracterización ejecutado por SERAMBIENTE S.A.S. en julio y agosto de 2023 (con salidas de campo los días 24, 25, 26, 27, 28, 31 de julio y 2 de agosto) abarcando seis puntos de control de agua superficial enfocados en comunidades hidrobiológicas dentro del área de estudio de la cuenca, además de otros 53 puntos regionales.

A continuación, se presenta la Tabla 1-6 que esquematiza la información temporal y de frecuencias extraída de la información secundaria.

Tabla 1-6. Resumen de la Cuantificación y Dinámica Temporal del Monitoreo

Entidad / Razón Social	Naturaleza del Vertimiento / Control	Años de Monitoreo Registrados	Frecuencia y Metodología de Muestreo	Épocas Capturadas
Camagüey S.A.	Captación / ARnD	2025	Frecuencia mensual estricta (1 evento/mes).	Ciclo hidrológico completo
Henequén SA ESP	Control Lixiviados / Cauce	2021, 2022, 2023, 2024	Frecuencia semestral / anual.	Lluvia y Sequía
Ambbio Colombia SAS	Control Cauce (Casa Bomba)	2023, 2024	Seguimiento mensual focalizado por semestres.	Lluvia y Transición
Triple A (EDAR / Los Pocitos)	ARD / Control de Cauce	2024	Puntual / Semestral.	Lluvia
CRA (Institucional)	Línea base / Hidrobiológico	2017, 2018, 2023, 2024	Campañas históricas y estudios ecosistémicos integrales.	Ciclo completo

1.4.3.2 Análisis de las Épocas Monitoreadas y Variabilidad Climática

La dinámica de los contaminantes en sistemas fluviales de origen pluvial está dictaminada de manera absoluta por la hidrología. La Región Caribe colombiana exhibe un régimen pluviométrico bimodal fuertemente influenciado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y los macro-fenómenos climáticos de El Niño (ENSO) y La Niña. Por consiguiente, el alcance temporal del perfil de calidad debe trascender la toma de muestras aleatorias e incorporar la variabilidad estacional. El inventario consolidado logra capturar satisfactoriamente los dos escenarios climáticos críticos:

- ✓ **Periodos de Estiaje o Sequía (Diciembre - Abril):** Las campañas registradas en meses como diciembre, enero, febrero y marzo (ej. las exhaustivas campañas de Henequén en diciembre y Camagüey en los primeros meses del año) poseen valor predictivo. Durante el estiaje prolongado —que puede extenderse por cuatro a cinco meses— la escorrentía natural desaparece. El caudal base perenne del arroyo León y sus tributarios pasa a estar dominado

casi exclusivamente por las descargas continuas de los efluentes de las EDAR y los vertimientos informales industriales. Desde el punto de vista fisicoquímico, esta época representa el "peor escenario". Las tasas de dilución alcanzan su mínimo histórico, provocando una concentración letal de solutos, un déficit máximo de oxígeno disuelto en la columna de agua, y el asentamiento de lodos anóxicos en el lecho bentónico. Los datos recopilados en estas fechas son los que definen los límites críticos de inmiscibilidad para la reglamentación.

- ✓ **Periodos de Precipitación Intensa (Mayo - Noviembre):** Los monitoreos ejecutados en meses como junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre documentan la respuesta radical del cauce frente a la lluvia. Las precipitaciones generan el fenómeno del "lavado de superficies urbanas". Durante estos eventos, los canales periféricos (como la Avenida Circunvalar, Las Malvinas y La Paz-Bicentenario) arrastran torrentes de escorrentía cargados no solo de contaminantes disueltos, sino de inmensos volúmenes de residuos sólidos y escombros. Los registros operativos de la Agencia Distrital de Infraestructura (ADI) indican que tras fuertes lluvias se han extraído del sistema de trampas hasta 1.200 toneladas de residuos (equivalentes a 2.400 metros cúbicos) en intervenciones de choque. Las muestras de laboratorio en estas épocas exhiben picos extremos de Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbiedad y un aumento exponencial de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) debido a la violenta re-suspensión de los lodos anóxicos previamente asentados.

1.5 Espectro Analítico: Clasificación Detallada de las Variables Evaluadas

El volumen y la especificidad de las variables analizadas por los laboratorios acreditados (tales como Labormar, Eurofins, LIMA, SERAMBIENTE S.A.S. y los laboratorios de control interno de empresas como Triple A) demuestran el nivel de auditoría ambiental. El inventario incluye además de la demanda de oxígeno, otras variables, alineándose con los estándares toxicológicos más rigurosos estipulados en la Resolución 0631 de 2015 para efluentes continentales, y la Resolución 0883 de 2018 para vertimientos que impactan cuerpos de agua marinos o estuarinos.

La Tabla 1-7 proporciona una matriz sintética del grupo de variables evaluadas a lo largo de las distintas matrices y campañas, para su posterior desarrollo detallado.

Tabla 1-7. Síntesis de las Categorías y Variables Analizadas en la Red de Monitoreo

Macro-Categoría Analítica	Grupos de Parámetros	Variables Específicas Evaluadas
Fisicoquímicas Básicas	Condiciones de campo y propiedades organolépticas	pH, Temperatura (T), Caudal (Q), Conductividad, Turbiedad (NTU), Color (436, 525, 620 nm), Olor, Material Flotante.
Dinámica Oxígeno / Sólidos	Asimilación y sedimentos	Oxígeno Disuelto (OD, %OD), DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos (SST), Disueltos (SDT) y Sedimentables (SS).
Nutrientes e Iones	Eutrofización y salinidad	Fósforo Total, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Amoníaco (N-NH3, NH4+), N Total, Cloruros, Sulfatos, Fluoruros, Dureza, Alcalinidad.
Compuestos Orgánicos	Contaminantes tóxicos industriales	Grasas y Aceites (GyA), Fenoles, Formaldehído, SAAM, Hidrocarburos Totales (HTP), AOX, BTEX, HAPs (Naftaleno, Pireno, etc.).
Microbiológicas	Patógenos	Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes (Fecales).
Metales Pesados y Traza	Toxicidad inorgánica bioacumulable	Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Plata (Ag), Selenio (Se), Talio (Tl), entre otros.
Hidrobiológicas (CRA)	Bioindicadores de largo plazo	Fito-perifiton, Macroinvertebrados Bentónicos, Macrófitas Acuáticas, Peces (Ictiofauna).
Índices de Calidad	Cálculos estandarizados	ICA IDEAM, ICOSUS, ICOMO, ICOpH.

Fuente: Elaboración propia

Las decenas de parámetros consolidados en las matrices de datos se categorizan funcional y científicamente de la siguiente manera:

1.5.1 Variables Fisicoquímicas, Balance de Oxígeno y Compuestos Orgánicos

Esta macrocategoría representa el núcleo estructural para evaluar la degradación estética, física y química del agua, y es el insumo algorítmico primario exigido por el Decreto 1553 de 2024 para el cálculo de la Tasa Retributiva.

- ✓ Condiciones Físicas y de Campo: Las mediciones in situ incluyen la Temperatura (T), el Caudal (Q) y el Potencial de Hidrógeno (pH). El inventario registra el pH con alta granularidad (promedio, mínimo y máximo diario), lo cual es vital para detectar choques ácidos o básicos súbitos provenientes de descargas industriales que escapan a los promedios simples. La temperatura, registrada frecuentemente en rangos que superan los 30°C, es un factor limitante que reduce drásticamente la capacidad del agua para retener oxígeno disuelto. Las condiciones estéticas se cuantifican mediante la Turbiedad (NTU), la Conductividad eléctrica (indicador directo de salinidad y carga iónica), y mediciones de Color (escala real, 436 nm, 525 nm, 620 nm), Olor, MatFloEs (Material Flotante Extraño) y PeliGyA (Película de Grasas y Aceites).
- ✓ Balance de Oxígeno: El seguimiento exhaustivo del Oxígeno Disuelto (OD) y su porcentaje de saturación (%OD) documenta la asfixia del ecosistema. Esto se cruza analíticamente con la

Demanda Química de Oxígeno (DQO / DQO_5) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 / DBO_{53}). El inventario evidencia cargas alarmantes, reportándose en algunos puntos (ej. vertimientos no domésticos de Camagüey) niveles de DBO_{53} de 252,2 mg/L y DQO de 635,4 mg/L. La relación entre ambas demandas (DBO_5/DQO) determina el índice de biodegradabilidad, un multiplicador directo que penaliza económicamente a los usuarios que vierten materia orgánica recalcitrante, tal como lo exige el Factor Regional de la Tasa Retributiva.

- ✓ Dinámica de Sólidos: La principal amenaza física para la colmatación de la Ciénaga de Mallorquín se audita mediante los Sólidos Sedimentables (SS), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Sólidos Totales (ST). Como indican estudios recientes referenciados en el marco general, los SDT han llegado a superar niveles dominantes de 2.700 mg/L.
- ✓ Nutrientes y Ciclo de Eutrofización: El aporte masivo de nutrientes, que acelera la salinización y el crecimiento explosivo de algas, se mide mediante concentraciones de nitrógeno y fósforo. Incluye: Fósforo Total (P Total), Fosfatos $(PO_4)3-$, Nitratos ($N-NO_3$), Nitritos (NO_2), Amoníaco en sus diversas formas iónicas ($N-NH_3$, NH4+, NH3+, Amoniaco2), Nitrógeno Orgánico Kjeldahl y Nitrógeno Total. Concentraciones históricas promedio reportadas en el orden de 20 mg/L para nitrógeno amoniacal ilustran la saturación del cuerpo receptor.
- ✓ Iones y Propiedades Buffer: Se registran cationes y aniones fundamentales como Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fluoruros (F-, F), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO_4) y Sulfuros (S2). Para medir la resistencia del agua a cambios químicos bruscos se evalúan la Acidez, Alcalinidad total y Dureza (Cálcica y Total).
- ✓ Contaminantes Orgánicos Específicos y Tóxicos: La base de datos es excepcionalmente rica en trazadores de contaminación industrial. Incluye Grasas y Aceites (GyA), Fenoles y Fenoles Semivolátiles (SemiVolFelno), Formaldehído, Cianuros (Cn-), SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno, indicadoras de detergentes y tensoactivos cuya presencia está severamente restringida en entornos marinos), y AOX (Halógenos Orgánicos Adsorbibles).
- ✓ Hidrocarburos y Petroquímicos: Para el control del sector manufacturero y de hidrocarburos, el inventario exige la medición de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP). Adicionalmente, desglosa la toxicidad volátil y policíclica mediante el monitoreo completo de la familia BTEX (Benceno, Etilbenceno, Tolueno, o-xileno y m+p-xileno) y una lista exhaustiva de dieciséis (16) congéneres de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP y HAP T) altamente mutagénicos y carcinogénicos, tales como el Benzo(a)pireno, Naftaleno, Antraceno, Criseno, Fenantreno y Fluoranteno.

Adicionalmente, los laboratorios incorporan el cálculo de Índices de Calidad del Agua estandarizados a nivel nacional, tales como el ICA IDEAM, ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos), ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica) e ICOpH.

1.5.2 Variables Microbiológicas

El arroyo León atraviesa asentamientos poblacionales densos y subnormales antes de desembocar en áreas de pesca de subsistencia, convirtiéndose en un vector primario de riesgo epidemiológico e hídrico. El inventario monitorea rigurosamente dos indicadores de contaminación fecal y patógena:

- ✓ Coliformes Totales: Evaluados mediante el Número Más Probable (NMP/100 mL), fungen como indicador general de la carga bacteriana ambiental, reflejando el aporte total de material orgánico en descomposición y escorrentía superficial de suelos.
- ✓ Coliformes Termotolerantes (Coli TT / Fecales): Este indicador es la prueba concluyente e inequívoca de la contaminación biológica reciente por heces humanas y de animales homeotermos. Su presencia crónica y en altos niveles es el resultado directo de descargas de aguas residuales domésticas (ARD) crudas, el colapso o ineficiencia de infraestructuras sanitarias (EDAR) y las conexiones erradas del alcantarillado pluvial.

1.5.3 Metales Pesados y Elementos Traza Inorgánicos

El perfil toxicológico inorgánico del arroyo es auditado mediante un panel elemental masivo. El control estricto sobre estos elementos es vital porque los metales pesados no se biodegradan; por el contrario, precipitan, se asimilan en los sedimentos del fondo y sufren procesos de bioacumulación y biomagnificación a medida que ascienden por la cadena trófica estuarina (afectando crustáceos, bivalvos y la ictiofauna local). Además, su comportamiento químico es altamente impredecible al entrar en contacto con la cuña salina y los sulfatos marinos de la desembocadura, exigiendo el cumplimiento concurrente de la Resolución 0883 de 2018.

El inventario de información secundaria detalla el monitoreo de los siguientes metales pesados y elementos traza:

- ✓ **Metales de Alta Toxicidad y Bioacumulación**: Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y el metaloide Arsénico (As). La Resolución 0631 impone umbrales de detección extremadamente bajos para estos elementos (ej. 0,002 mg/L para el mercurio en ciertos sectores) debido a su impacto neurotóxico.
- ✓ **Metales de Origen In**dustrial (Galvánica, Curtiembres, Manufactura): Cromo (Cr) (frecuente en

su estado hexavalente), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plata (Ag) y Antimonio (Sb).

- ✓ **Elementos Litogénicos y Traza**: Aluminio (Al), Bario (Ba), Berilio (Be), Boro (Bo), Hierro (Fe), Cobalto (Co), Estaño (Sn), Titanio (Ti), Selenio (Se), Vanadio (v), Litio (Li), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo) y el altamente tóxico Talio (Tl).

1.5.4 Variables Hidrobiológicas y Bioindicadores a Largo Plazo

El monitoreo fisicoquímico tradicional provee una "fotografía" analítica del agua en el instante exacto en que se toma la alícuota. Sin embargo, para obtener una visión más dinámica que evidencie la memoria ecológica del impacto acumulado, el inventario de la CRA integra el monitoreo de comunidades hidrobiológicas.

De acuerdo con los informes técnicos ejecutados bajo las directrices de la CRA por laboratorios acreditados ante el IDEAM (como SERAMBIENTE S.A.S. en julio y agosto de 2023, y estudios de 2024 realizados por EUROFINS), se caracterizó la diversidad biológica en el área de estudio abarcando seis (6) puntos lóticos y superficiales específicos, dentro de un espectro mayor de 53 puntos regionales de humedales. Las variables hidrobiológicas evaluadas incluyen:

- ✓ **Fito y Zooplancton (Fito-Perifiton):** Como productores y consumidores primarios suspendidos o adheridos (perifiton), estas comunidades microscópicas exhiben ciclos de vida cortos y tasas de reproducción vertiginosas. Su caracterización taxonómica permite detectar respuestas ecológicas inmediatas frente a picos de contaminación por nutrientes (nitrógeno/fósforo), evidenciando fenómenos de eutrofización incipiente o floraciones algales nocivas (*blooms*).
- ✓ **Macroinvertebrados Bentónicos:** Se consolidan como el bioindicador a largo plazo por excelencia en la hidrobiología fluvial. Estos organismos (insectos acuáticos, anélidos, crustáceos) habitan en estrecho contacto con los sedimentos del fondo (bentos) y poseen escasa movilidad. Su presencia, riqueza taxonómica o su sustitución paulatina por especies altamente tolerantes a la anoxia y a la toxicidad por metales pesados, refleja el verdadero grado de perturbación crónica del ecosistema, revelando los impactos que las muestras de agua esporádicas pueden omitir.
- ✓ **Macrófitas Acuáticas**: El censo de la flora acuática superficial y enraizada documenta la alteración hidromorfológica del cauce. Su proliferación desmedida, impulsada por las gigantescas cargas orgánicas de las ARD, puede generar estrangulamientos del flujo

superficial y agravar el déficit de oxígeno disuelto durante los ciclos nocturnos de respiración y descomposición.

- ✓ **Peces (Ictiofauna):** Posicionados en el nivel superior de la red trófica acuática, la evaluación de las comunidades de peces aporta datos incontrovertibles sobre la calidad integral del hábitat. Los índices de diversidad, equidad y riqueza íctica determinan si el cauce del arroyo León aún mantiene las condiciones mínimas para funcionar como un corredor biológico efectivo que conecte los nacimientos dulceacuícolas con el estuario de cría y alevinaje en la Ciénaga de Mallorquín.

El cruce de la densidad y diversidad de estas cuatro comunidades biológicas con los índices de contaminación fisicoquímica permite a la corporación emitir dictámenes ambientales fundamentados en la respuesta ecosistémica real y no meramente en concentraciones teóricas en laboratorio.

2 Análisis del Estado Actual y Evolución de la Calidad del Agua

2.1.1 Comportamiento histórico de parámetros fisicoquímicos (OD, DBO, DQO, SST, pH, conductividad, nutrientes).

Se han consultado y tabulado los resultados de las caracterizaciones de calidad de agua realizadas a las aguas del Arroyo León y los arroyos que desembocan en él. Para los valores obtenidos de las caracterizaciones se han observado los valores de oxígeno disuelto, DBO_5, DQO, Sólidos sedimentables totales, pH, conductividad y nutrientes, los cuales se analizan a continuación. Adicionalmente, estos valores se comparan contra la Res. 449, **Clase V**, correspondiente a valores de los usos para **asimilación de materia orgánica, uso Industrial restringido y recuperación para paisajismo**, el cual se encuentra en vigencia actualmente, sin embargo, en aquellos que la Clase no indica un valor, se compararon contra la **Clase II**, que corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario, el cual es el objetivo a largo plazo.

2.1.1.1 Oxígeno disuelto (mg/L)

De este parámetro se obtuvieron 58 valores, los cuales fluctuaron entre 0,02 y 15 mg/L, evidenciándose que en las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y septiembre del 2021, este parámetro no presenta un objetivo de calidad; una vez expedida la Res. 449, entró en vigencia los valores de referencia para la Clase V a corto plazo, para el cual tampoco existía objetivo de calidad; sin embargo, desde septiembre del 2023, estos valores se configuraron como en la misma clase, al mediano plazo, sin sufrir modificación. Vale la aclaración de que, para septiembre del 2031, estos se regirán por los valores el objetivo de calidad a largo plazo, Clase II, pasando a un máximo de 4,0 mg/L (identificado en la gráfica), valor que coincide con el valor que es considerado como límite biológico para la preservación de la fauna acuática, especialmente peces.

De esta manera, se evidencia que el sitio de mayor concentración de oxígeno disuelto en agua (15 mg/L) correspondió a la caracterización de la captación de agua del Arroyo León realizada en el

punto denominado casa bomba, realizada por Ambbio Colombia SAS (2024-10-28); lo que permite inferir que este valor se debe al proceso de mezcla y oxigenación que realiza la motobomba. Seguida por los valores de oxígeno (8,01, 7,91 y 7,97 mg/L) reportados en el Arrollo Malemba, por Relleno Sanitario Los Pocitos (2024-11-01) y por los valores reportados por la CRA (7,34 mg/L), en Caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica, realizada en noviembre 18 de 2024. Adicionalmente vale la pena mencionar que solo tres (3) valores más, son los que sobrepasan el límite mínimo de calidad objetivo, de los cuales dos (2) pertenecen al P6, sobre el Arroyo León, obtenidos por la CRA, durante caracterizaciones del 2020 y el 2023 y el último obtenido por Ambbio Colombia SAS (casa bomba), durante septiembre del 2024.

Así las cosas, se evidencia que, en el Arroyo León y sus efluentes, solo se obtienen siete (7) registros de OD que permiten la conservación de la fauna acuática.

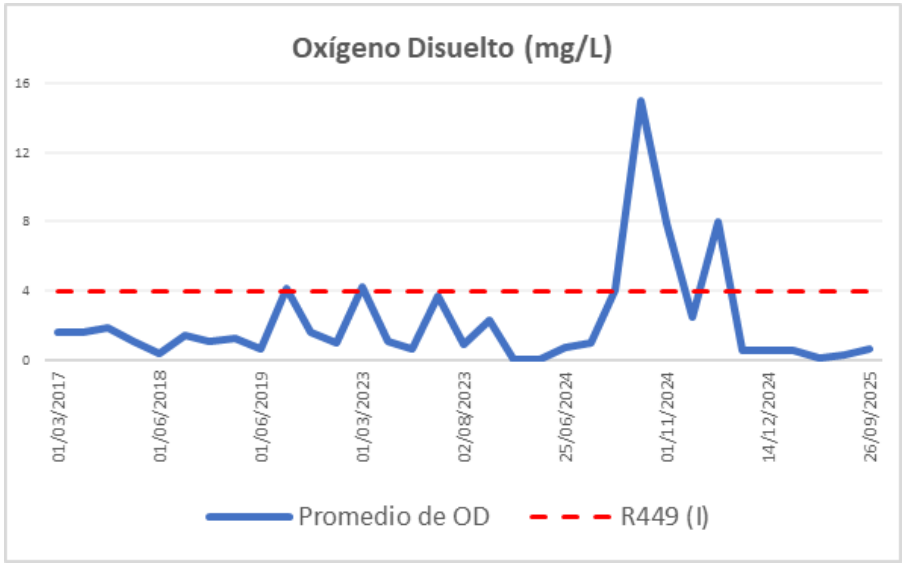

Figura 2–1. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO_5 (mg/L)

Por su parte de este parámetro se obtuvieron 68 registros, los cuales fluctuaron entre 0,02 y 152,0 mg de O_2/L. En las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y el primer trimestre de 2026. Una vez expedida la Res. 449 del 2021, entró en vigencia el valor de referencia para la Clase V, 70 mg de O_2/L, como objetivo de calidad de corto plazo. Desde septiembre del 2023,

el objetivo de calidad de mediano plazo para este parámetro no sufrió modificación de valor. Más para septiembre del 2031, se espera que estos valores pasen a la Clase II, pasando a un máximo de siete (7) mg de O_2/L, como objetivo de calidad a largo plazo.

De esta manera se puede evidenciar que en la actualidad 13 registros sobrepasan el límite máximo indicado por la Res. 449 (70 mg/L), dos sobre el P1 del Arroyo León, evaluado por la CRA durante 2018-12-01 y 2019-03-01 (87,6 y 152,0 mg de O_2/L); otro en el punto Aguas Arriba, reportado por Henequén SA ESP, predio el Genovés, durante 2023-06-14 y 10 más reportados por Triple A S.A. E.S.P. (Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P.) – EDAR Galapa, entre 2025-06-15 y 2026-05-15 (valores entre 74 y 104 mg/L de O_2). Sin embargo, revisar los resultados con el objetivo de calidad a largo plazo (7 mg/L), el comportamiento de la DBO_5 evidencia que solo 10 registros cumplen este criterio, es decir, 58 registros sobrepasan este límite.

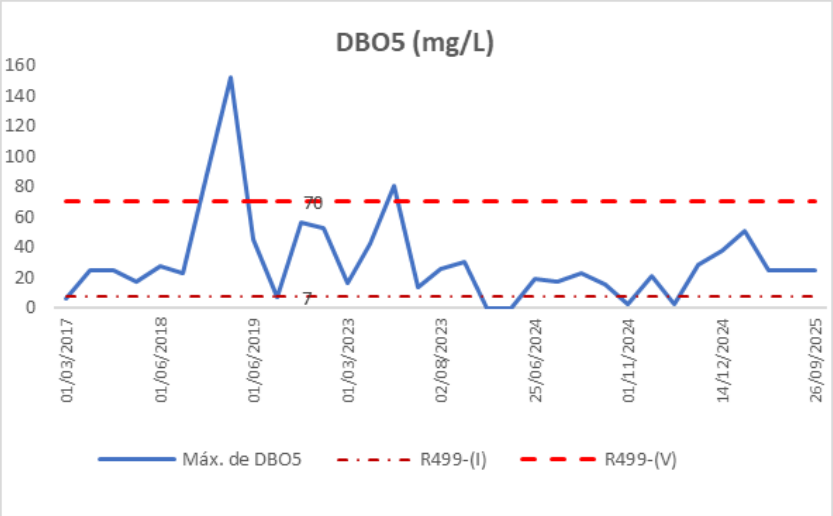

Figura 2–2. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO_5 (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.3 Demanda Química de Oxígeno – DQO (mg/L)

De este parámetro se obtuvieron 45 valores, los cuales fluctuaron entre 0,002 y 411,3 mg/L, evidenciándose que, en las caracterizaciones realizadas, no existe valor de referencia en la Res. 449 ni a corto, medio, ni largo plazo.

Los mayores valores del DQO (411,3 mg/L) fueron reportados por la CRA, en Caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica, realizada el 2019-03-01; seguido del reportado por Henequén SA ESP, predio el Genovés (203 mg/L) en Aguas arriba del Arroyo León, durante 2023-06-14; así como el reportado por la CRA, en 2017-12-01 con 182,87 mg/L). Los valores restantes fueron inferiores a 176 mg/L.

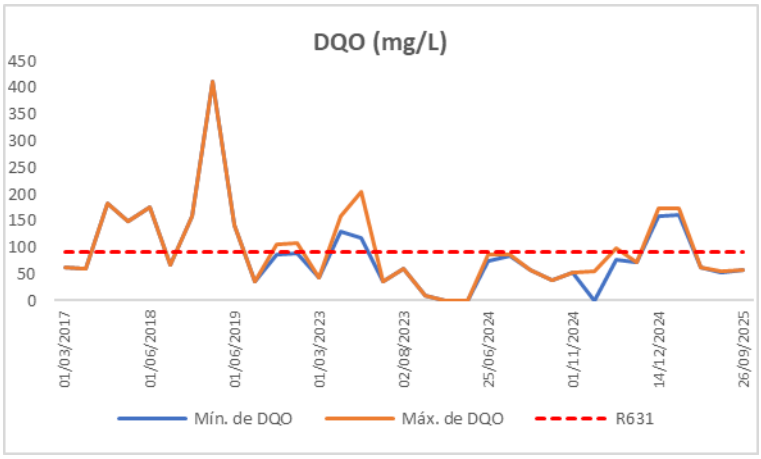

Figura 2–3. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno – DQO (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.4 Sólidos suspendidos totales - SST (mg/L)

De este parámetro se obtuvieron 41 registros, los cuales fluctuaron entre 0,02 y 930 mg/L. En las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y tercer trimestre del 2025. Una vez expedida la Res. 449 de 2021, entró en vigencia los valores de referencia para la Clase V a corto plazo, cuyo el objetivo de calidad se determinó en un máximo de 50 mg/L; sin embargo, desde septiembre del 2023, estos valores se configuraron al mediano plazo, sin sufrir modificación de su valor. Se tiene en cuenta que, para septiembre del 2031, se los objetivos de calidad pasarán a los valores de la Clase II, con a un máximo de 10 mg/L.

De esta manera, se evidencia que el sitio de mayor concentración de SST (930 mg/L) correspondió al reportado el 2024-06-25, en aguas arriba del Arroyo León, por Henequén SA ESP, predio el Genovés; seguido por el reportado por el reportado por la CRA durante 2018-06-01, en el punto P1 del Arroyo León, con 680 mg/L. Así mismo le sigue el valore reportado por el Relleno Sanitario Los Pocitos, en el punto Arroyo Malemba Aguas arriba, durante el 2024-11-22, con 474 mg/L y además

el reportado por la CRA, en el P6 del Arroyo León, durante 2020-03-01, con 680 mg/L. De igual manera un total de 19 registros sobrepasaron el valor de referencia vigente (50 mg/L).

Además, al observar que, para las aguas del arroyo, se cuenta con un objetivo de calidad a largo plazo de 10 mg/L, se evidenció que 36 registros sobrepasan dicho límite.

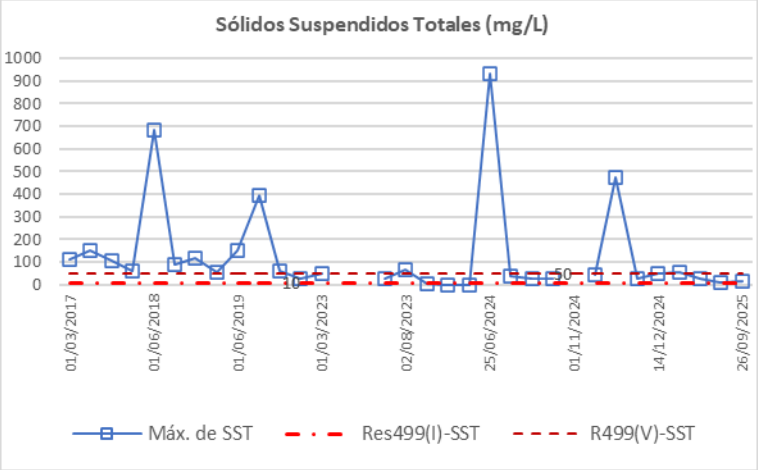

Figura 2–4. Comportamiento de los Sólidos suspendidos totales - SST (mg/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.5 pH (Unidades de pH)

De este parámetro se obtuvieron 68 registros, los cuales fluctuaron entre 6,55 y 8,91 Unidades. Se evidencia que, en las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y primer trimestres del 2026. Una vez expedida la Res. 449, entró en vigencia los valores de referencia para la Clase V, con un mínimo de 4,5 unidades y un máximo de 9,0 unidades; así mismo desde septiembre del 2023, estos valores se configuraron como en la misma al mediano plazo. Más, sin embargo, para septiembre del 2031, se espera que estos valores pasen a la Clase II, pasando a un pH mínimo de 5,0 unidades y máximo de 9,0 unidades.

De esta manera, se evidencia que las aguas naturales del Arroyo León y los arroyos que desembocan en él, presentan condiciones de pH, que cumplirán con los objetivos de calidad programados para el 2031, por la Res. 499.

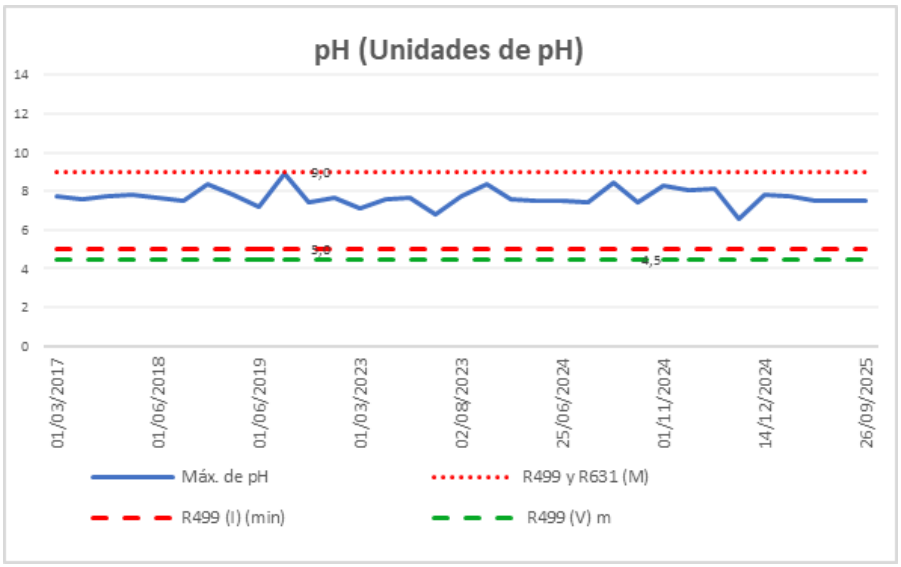

Figura 2–5. Comportamiento del pH (Unidades de pH) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.6 Conductividad (µS/cm)

De este parámetro se obtuvieron 38 registros, los cuales fluctuaron entre 0,053 y 4.450 µS/cm. Vale la pena indicar que este parámetro no presenta un objetivo de calidad dentro la Res. 449 del 2021. Se resalta que solo cuatro (4) de ellos presentaron valores inferiores a 2,84 µS/cm, teorizando que estos corresponden, muy posiblemente, a errores de medición, ya que solo las aguas no ionizadas, como el agua destilada, sustentan valores de conductividad inferiores a 1 µS/cm.
Así las cosas, se evidencia que el valor mínimo registrado corresponde a 214,3 µS/cm, registrado por la CRA en el P6 del Arroyo León.

Se observa que son 28 de los registros superiores a 1.000 µS/cm, de los cuales 13 corresponden a aguas del Arroyo León, tres (3) a aguas del arroyo Malemba y 10 a Aguas del arroyo Grande.



Figura 2–6. Comportamiento de la conductividad (µS/cm) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que las aguas naturales del Arroyo León y los arroyos que desembocan en él, presentan condiciones de conductividad, que aunque pueden considerarse normales para aguas naturales, proporcionando información sobre la productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica, por lo tanto, de aumento moderado de este parámetro en poco tiempo contribuye a la detección de posibles fuentes de contaminación por sales comunes o posibles ARD, mientras que aumentos drástico de este parámetro puede ser indicador de presencia de sales industriales o metales pesados, tales como los que se pueden encontrar en las ARnD; además los valores muy elevados pueden ser indicadores de contaminación por lixiviados.

2.1.1.7 Nitratos (mg N-NO_3/L)

De este parámetro se obtuvieron 47 registros, los cuales fluctuaron entre 0,02 y 9,91 mg/L, evidenciándose que, en las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y el primer trimestre del 2026. Una vez expedida la Res. 449, los valores de referencia para la Clase V, a corto plazo, para esta variable no fueron considerados objetivo de calidad; desde septiembre del 2023, cuando estos valores se configuraron en el término de mediano plazo, no sufrieron modificación. Sin embargo, para septiembre del 2031, se espera que estos valores pasen a la Clase II, pasando a un máximo de 10 mg/L.

Evaluando todos los registros obtenidos, se evidencia que la cantidad de nitratos reportada en cada uno de ellos cumplirá con los objetivos de calidad programados para el 2031, por la Res. 499.

Los valores más altos de nitrato (9,91 y 9,86 mg/L) fueron reportados por Henequén SA ESP, predio el Genovés en el punto Aguas abajo del Arroyo León, durante 2022-07-13 y 2022-07-12; seguidos por los valores reportados por la misma empresa, en el punto en Aguas arriba del Arroyo León, durante 2022-07-12 y 2022-07-13 con 1,89 y 1,9 mg/L, respectivamente. Los 43 valores restantes fueron inferiores a 1,8 mg/L, tal como ocurrió con el punto Aguas arriba del Arroyo León, reportada por la misma empresa, durante 2022-07-12, con un valor de 1,89 mg/L.

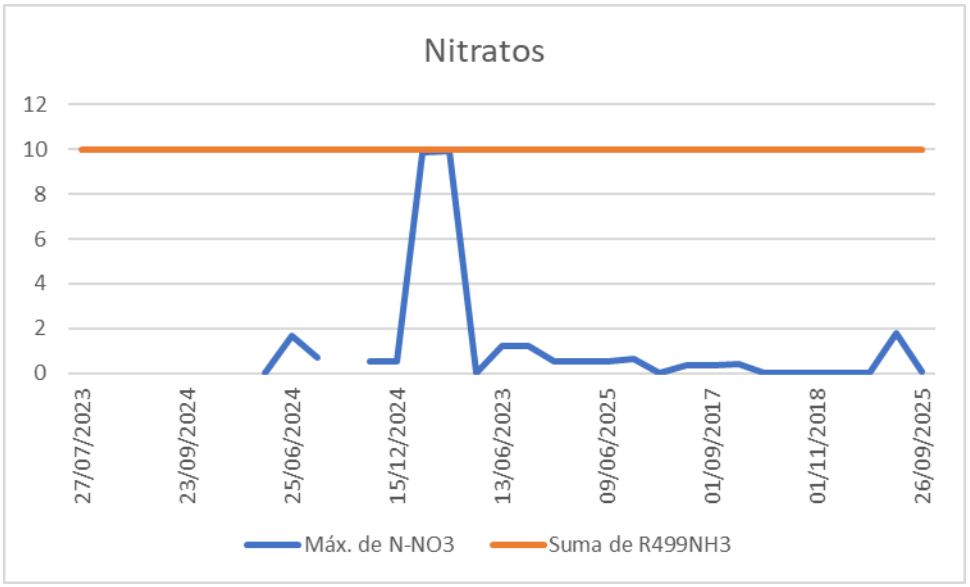

Figura 2–7. Comportamiento de los Nitratos (mg N-NO_3/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.8 Nitritos (mg N-NO2/L)

De este parámetro se obtuvieron 46 valores, los cuales fluctuaron entre 0,00 y 0,284 mg/L, evidenciándose que, en las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y el primer trimestre del 2026. Este parámetro no presenta un objetivo de calidad; una vez expedida la Res. 449, la cual entró en vigencia los con la Clase V a corto plazo; desde septiembre del 2023, estos valores se configuraron como en la misma clase, al mediano plazo, sin sufrir modificación. Vale la aclaración

de que, para septiembre del 2031, se espera que estos valores pasen a la Clase II, pasando a un máximo de 10 mg/L.

Evaluando todos los registros obtenidos, se evidencia que el la cantidad de nitratos reportada en cada uno de ellos cumplirá con los objetivos de calidad programados para el 2031, por la Res. 499.

Los tres (3) valores más altos de nitrito (0,2, 0,183 y 0,099 mg/L) fueron reportados por Henequén SA ESP, predio el Genovés en el punto Aguas abajo del Arroyo León, durante 2024-12-15; punto Aguas Arriba del Arroyo León, durante 2024-06-25 y punto Aguas abajo del Arroyo León, durante 2024-06-25, respectivamente. Los 24 valores restantes fueron inferiores a 0,055 mg/L, reportado en el punto Aguas abajo del Arroyo León, reportada por la misma empresa, durante 2022-07-13.

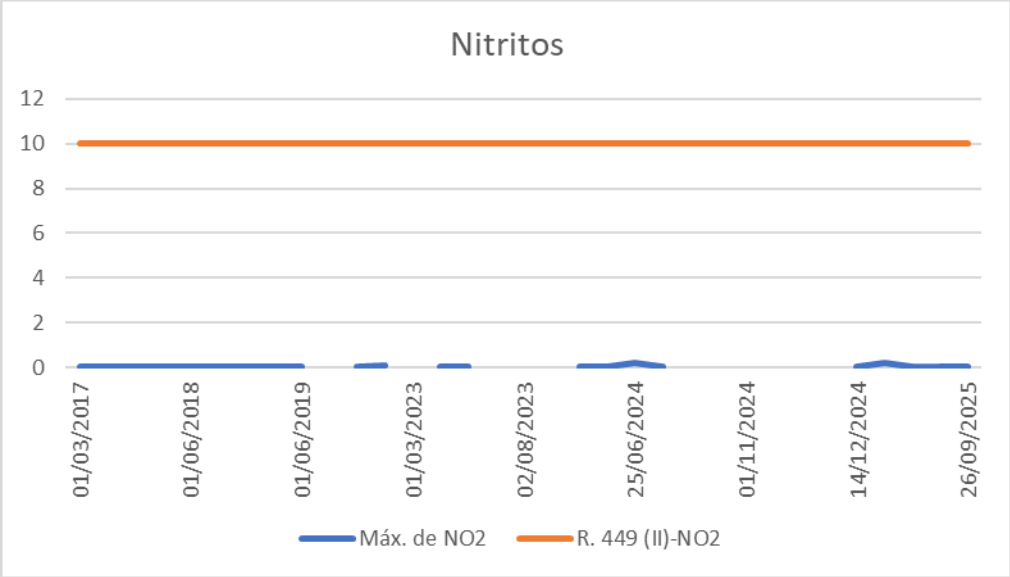

Figura 2–8. Comportamiento de los Nitritos (mg NO_2/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1.9 Fósforo total (mg P/L)

De este parámetro se obtuvieron 29 registros, los cuales fluctuaron entre 0,500 y 11,7 mg/L. Se evidenció que este parámetro no presenta un objetivo de calidad definido en la Res. 449 del 2021, para las clases que corresponde a los Arroyos, caños y fuentes de agua que entregan sus aguas directamente al mar Caribe, en ninguno de los tiempos indicados.

Los cuatro (4) valores más altos de fósforo (entre 3,68 y 11,70 mg/L) fueron reportados por Triple A S.A. E.S.P. (Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P.) – EDAR Galapa, durante mayo del 2026, en el punto 100 m aguas arriba Efluente N° SUI 956; seguidos por los reportados por Henequén SA ESP, predio el Genovés en los punto Aguas arriba del Arroyo León, durante junio de 2023, con valores entre 0,883 y 1,93 mg/L y en el punto Agua abajo, con valores entre 0,5 y 1,90 mg/L. Los valores restantes fueron inferiores o iguales a 0,5 mg/L.

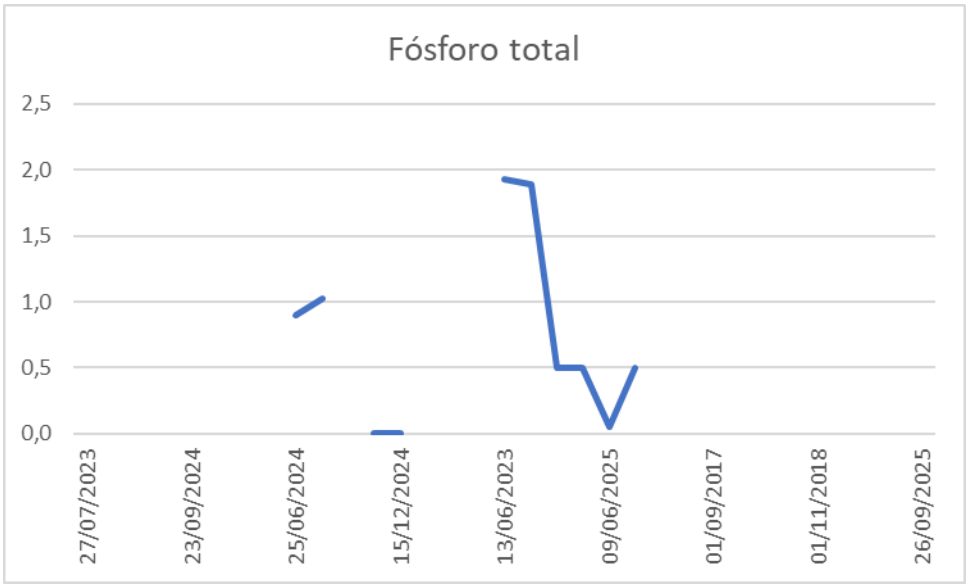

Figura 2–9. Comportamiento del Fósforo (mg P/L) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Comportamiento de parámetros microbiológicos (Coliformes totales y fecales/E. coli).

Para los parámetros microbiológicos se recuperaron 58 registros, los cuales fluctuaron entre 2 y 54’000.000 NMP/100 mL. En las caracterizaciones realizadas entre el primer trimestre del 2017 y el primer trimestre del 2026. este parámetro, una vez expedida la Res. 449, la cual entró en vigencia con los valores de referencia para la Clase V a corto plazo, no determinaron objetivo de calidad. Desde septiembre del 2023, estos valores se configuraron como en la misma clase, al mediano plazo, sin sufrir modificación. Más para septiembre del 2031, se espera que los valores de Coliformes

totales pasen a la Clase II, con un máximo de 20.000,0 NMP/100 mL, como objetivo de calidad a largo plazo.

El registro más elevado de Coliformes totales (54’000.000 NMP/100 mL) fue reportado por Henequén SA ESP, predio el Genovés, en el punto Aguas arriba del Arroyo León durante 2023-06-14; CRA, en el P1 del Arroyo León, durante 2017-08-01; Henequén SA ESP, predio el Genovés, seguida por el punto Aguas abajo del Arroyo León durante 2023-06-14; Henequén SA ESP, predio el Genovés, con 14’000.000 NMP/100 mL y el punto Aguas arriba de la misma empresa durante 2024-06-25, con 9’200.000 NMP/100 mL.

De esta manera se puede evidenciar que, al comparar los registros observados para Coliformes totales, con el objetivo de calidad a largo plazo, indicado por la Res. 449 (20.000,0 NMP/100 mL), 19 registros cumplen con el criterio de calidad. Entre ellos se resaltan los puntos P1, P6, Casa bomba y captación, sobre el Arroyo León, reportados por CRA, Henequén SA ESP, predio el Genovés y Ambbio Colombia SAS; así como puntos del Arroyo Malemba, reportados por el Relleno Sanitario Los Pocitos.

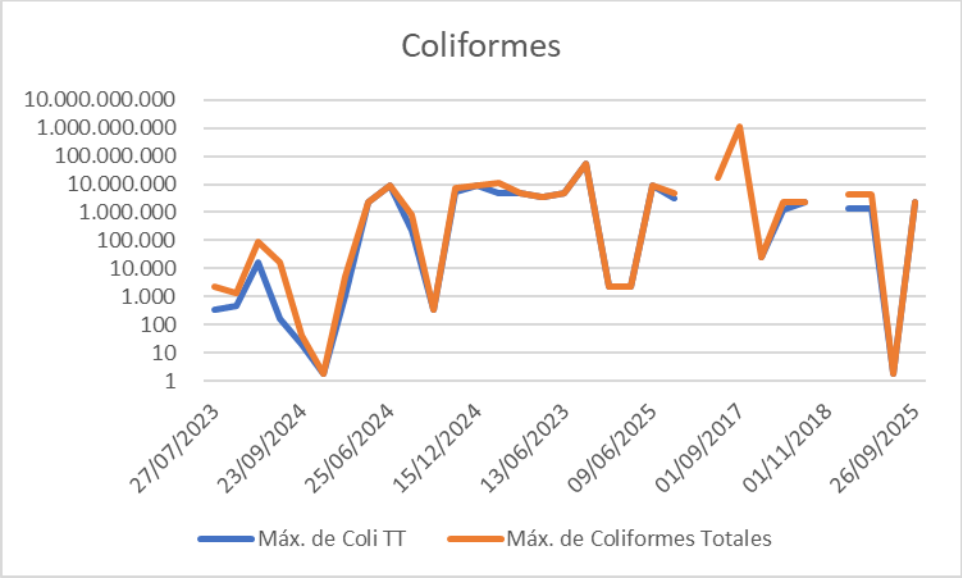

Figura 2–10. Comportamiento de los Coliformes totales y termotolerantes (fecales/*E. coli*) (NMP/100 mL) en el Arroyo León y arroyos afluentes.
Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Caracterización hidrobiológica (Bentos, perifiton, macrófitas y peces como bioindicadores).

Hasta la fecha, no se ha encontrado evidencia de caracterizaciones hidrobiológicas realizadas

2.1.4 Análisis espacial: Variación longitudinal de la calidad desde el nacimiento hasta la desembocadura (Ciénaga de Mallorquín/Mar Caribe).

Basados en la red de estaciones de monitoreo del sistema del Arroyo León, se realizó un primer acercamiento a la caracterización espacial de la calidad del agua. Esta caracterización espacial se realizó para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos indicados anteriormente, observando no solo su ubicación espacial, sino también su cumplimiento o no de los objetivos de calidad vigentes, según la Resolución 449.

2.1.4.1 Oxígeno disuelto

La caracterización del oxígeno disuelto permitió evidenciar que si bien, los valores del oxígeno disuelto son altos en de aguas arriba del Arroyo León, como en la estación de monitoreo E11, con 7,34 mg/L; ocurre un descenso drástico hacia la estación E6 (con valores entre 0,72 y 1,85 mg/L). Aunque tenderíamos a pensar que debido a que esta es una variable que puede fluctuar naturalmente por características físicas del cauce, como presencia de puentes, pequeñas caídas o la presencia de rocas y palos, que generan turbulencia y re-aieración, al aumentar el contacto del agua con el aire; ya que estas estructuras provocan dispersión del agua, incrementando la saturación de OD hasta niveles de entre 7 y 15 mg/L (Endémico, 2020), como lo que se observa en la caracterización del agua de captación (casa bomba), con valores de 15 mg/L; pero en realidad, la tendencia general es inversa, observándose valores inferiores a 4 mg/L, desde la estación de monitorio E6, correspondiente al punto aguas arriba monitoreado por Henequén SA EPS (ubicado frente a la EBAR Alameda del Río) hasta la E13 (un poco más de un kilómetro antes de la desembocadura actual al mar).

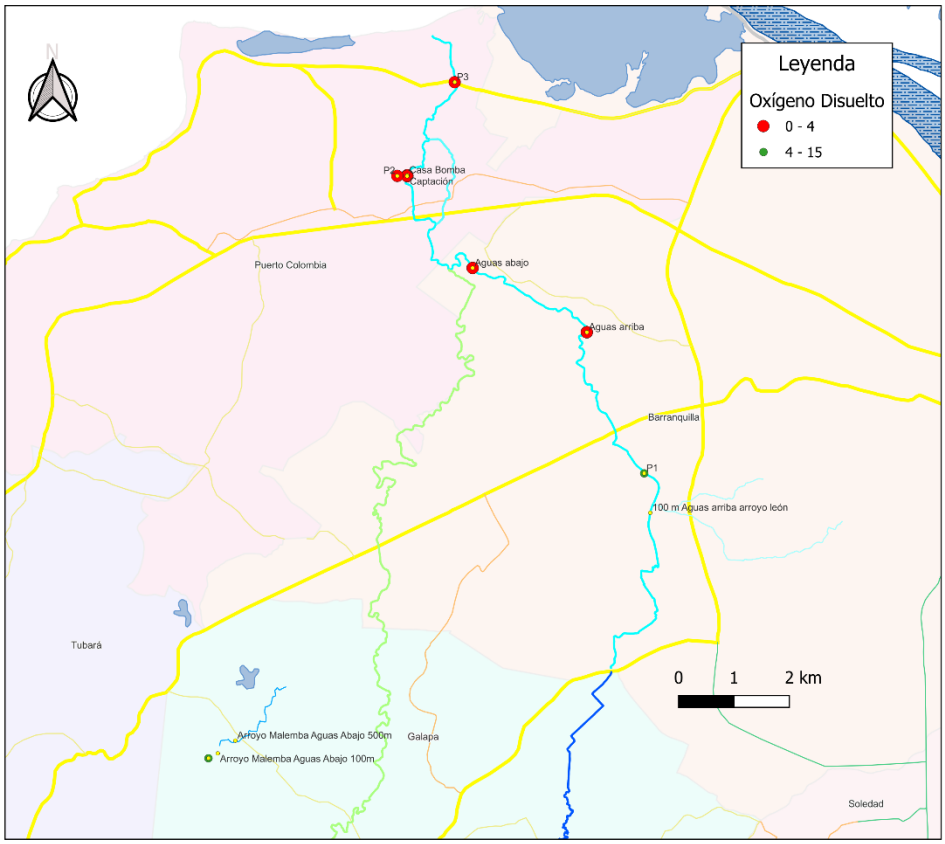

Figura 2–11. Variación espacial del OD en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Lo anterior permite inferir que dentro de las posibles causas que provocan un del déficit progresivo del oxígeno hacia aguas abajo, son la degradación bacteriana de la materia orgánica procedente muy probablemente de vertimientos de ARD, incrementando así la demanda de oxígeno.

Así mismo, las estaciones de monitoreo indican que, el tramo superior del arroyo Malemba, presenta una concentración de oxígeno disuelto de 7,91 mg/L, este indicador refleja una buena calidad de agua y su idoneidad para el desarrollo de la vida silvestre.

2.1.4.2 Demanda química de oxígeno

Igualmente, el comportamiento del **DQO**, refleja la tendencia marcada hasta el momento, a lo largo del Arroyo León se observan valores de DQO muy bajos (entre 0 y 50 mg/L), sin embargo, se evidencian los mayores valores de este parámetro en la estación CRA P1 Arroyo León (frente a la

E10) (411,3 mg/L), en el Punto aguas arriba de Henequén SA EPS (203,0 mg/L) (E6) y Punto aguas abajo de Henequén SA EPS (162,0 mg/L) (E7) .

Lo anterior ratifica que el déficit progresivo de oxígeno y el incremento de la DQO hacia la estación aguas arriba de Henequén S.A. EPS se deben, probablemente, a vertimientos de aguas residuales domésticas (ARD). Al analizar las fuentes potenciales, se identifica a la EBAR Alameda del Río como origen probable, descartando a la EDAR El Pueblo y las EBAR La Pradera, Los Ángeles y El Pueblo, dado que se localizan aguas arriba de la zona de mayor perturbación fisicoquímica.

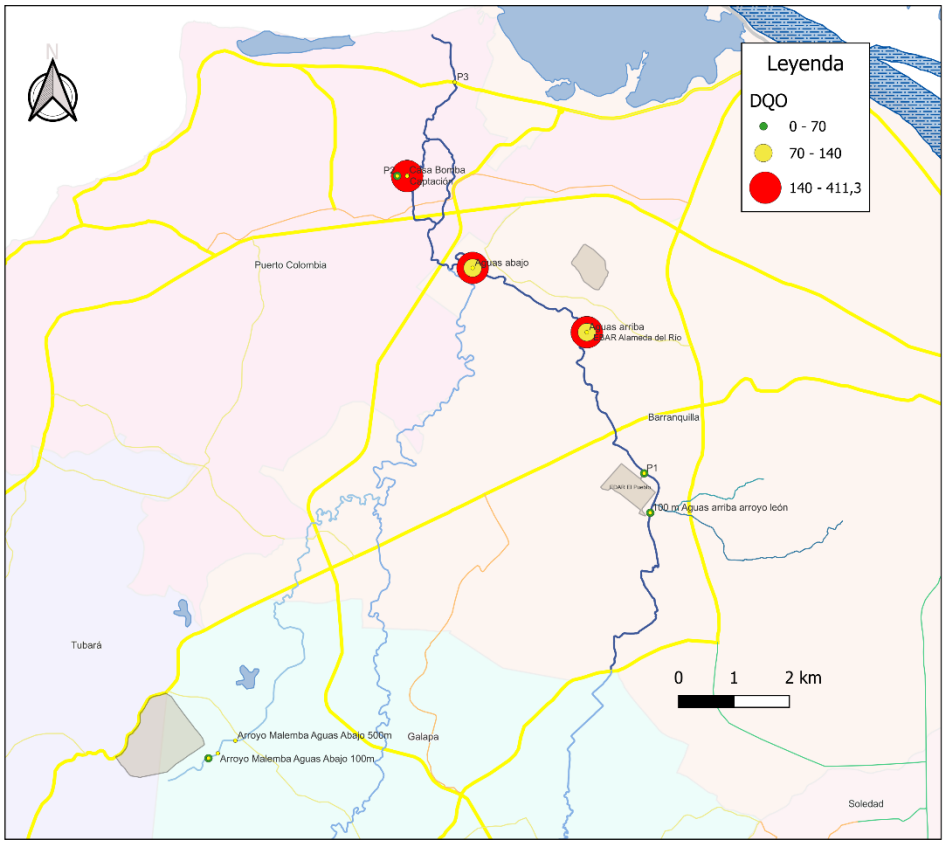

Figura 2–12. Variación espacial del DQO en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, para las estaciones de monitoreo que se ubican en el tramo superior del arroyo Malemba, el punto Arroyo Malemba aguas arriba (E3), Arroyo Malemba aguas abajo 100 y 500 m, presentan una concentración de DQO baja, entre 2,33 y 77,5 mg/L.

2.1.4.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Al observar el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno disuelto, se evidencia correlación con el comportamiento descrito anteriormente, aguas con poca carga hacia las cabeceras evaluadas y fuertes incrementos aguas abajo. Al observa el cauce del Arroyo León, se evidencia que es posible encontrar valores bajos (entre 0 y 50 mg/L) en la mayoría la estación de monitoreo ubicadas entre la E11 (P1 evaluado por la CRA) y frente a la E10 (CRA P1 Arroyo León); sin embargo, se evidencia un incremento sustancial en las estaciones identificadas como CRA P1 (frente a la E10), Punto aguas arriba de Henequén SA EPS y Punto aguas abajo de Henequén SA EPS; siendo las dos primeras las de mayor valor para esta variable, 152 y 80 mg/L, respectivamente. Mientras que el punto aguas abajo, de Henequén SA EPS, presentó valores máximos de 52,8 mg/L.

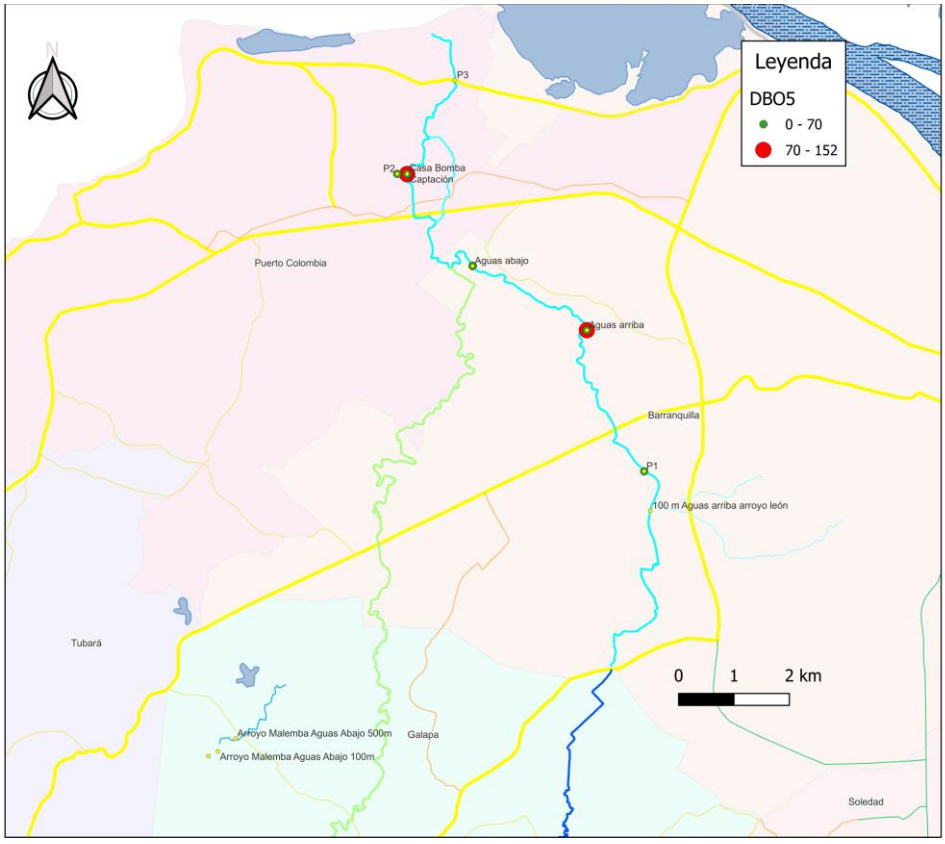

Figura 2–13. Variación espacial del DBO_5 en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Es probable que estos incrementos se deban a vertimientos de aguas residuales domésticas (ARD), los cuales elevan la DBO_5, al introducir nutrientes y desechos fecales que estimulan la actividad

bacteriana y el consecuente consumo de oxígeno. Otra fuente potencial son las aguas residuales no domésticas, que aportan cargas orgánicas complejas. No obstante, el factor con mayor incidencia en el aumento de la DBO_5, es la infiltración de lixiviados de vertederos; estos aportan compuestos orgánicos persistentes que mantienen niveles críticos aguas abajo, superando la capacidad de dilución natural del cuerpo de agua, la cual solo alcanza a degradar hasta un 80 % de la carga en tramos cortos (Cáceres, Arrieta Ruiz, & Salazar Barrios, 2018).

Las estaciones de monitoreo ubicadas sobre el arroyo Malemba, no reportaron valores para este parámetro.

2.1.4.4 Sólidos suspendidos totales

Por su parte, el análisis espacial de los sólidos suspendidos totales, que miden todas las partículas finas que no se disuelven en el agua, se relaciona indirectamente con el OD y la DBO, ya que a menor transparencia (penetración de la luz), menor fotosíntesis. Los valores de SST obtenidos en el Arroyo León son muy variados de STT, entre 0,021 y 930, mg/L; siendo cuatro (4) los puntos que se destacan por su elevada concentración; el primero, el Punto aguas arriba de Henequén SA EPS (E6) (930 mg/L), que fue el más alto; seguido por la estación CRA P1 (frente a la E10) (680 mg/L); por la estación 100 m aguas arriba del Arroyo León, reportado por la EDAR El Pueblo (E8) (246,7 mg/L) y por último el Punto aguas abajo de Henequén SA EPS (133,3 mg/L).

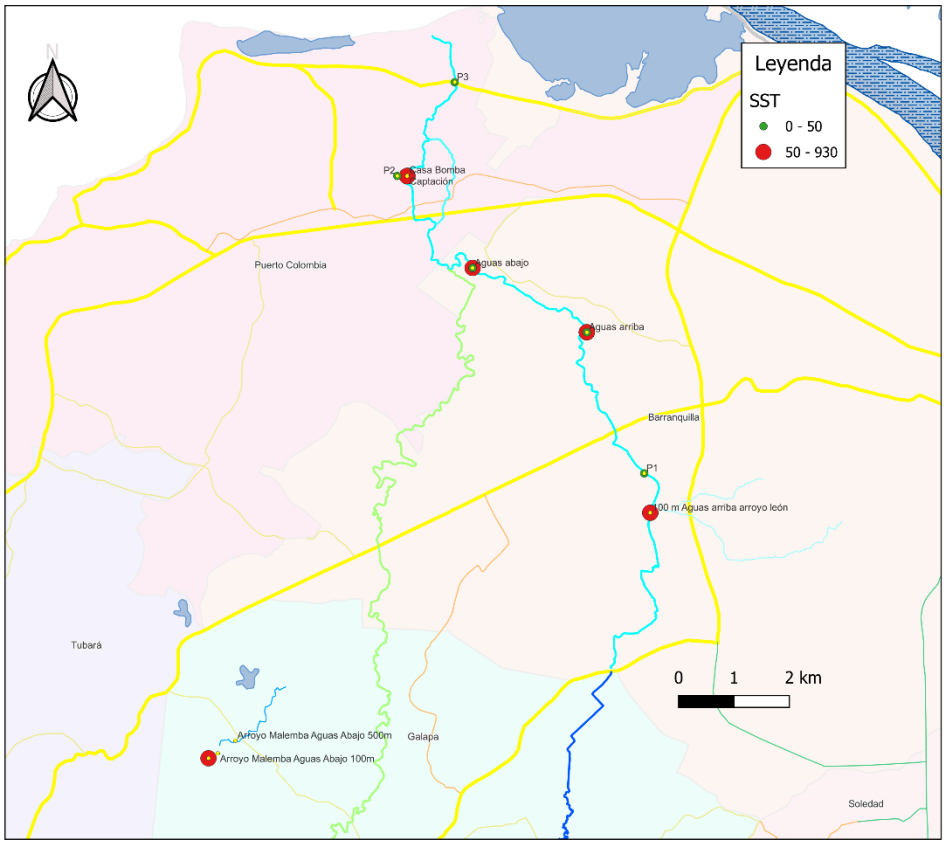

Figura 2–14. Variación espacial del SST en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la estación de monitoreo ubicada sobre el Arroyo Malemba, también es registró un valor elevado, 704,0 mg/L.

2.1.4.5 pH

Los valores obtenidos para el pH, en el cauce del Arroyo León no indican un comportamiento predominante. Es por ello que se observan valores bajos y altos, tanto en los tramos de aguas arriba como en los de aguas abajo, fluctuando entre 6,5 unidades, reportado en el punto Casa bomba, por Ambbio Colombia SAS y 8,9 unidades, registrado en el punto 100 m Aguas arriba arroyo León, por la EDAR El Pueblo.

De igual manera, valores de pH obtenidos en el punto del Arroyo Malemba, fueron de 8,30 unidades.

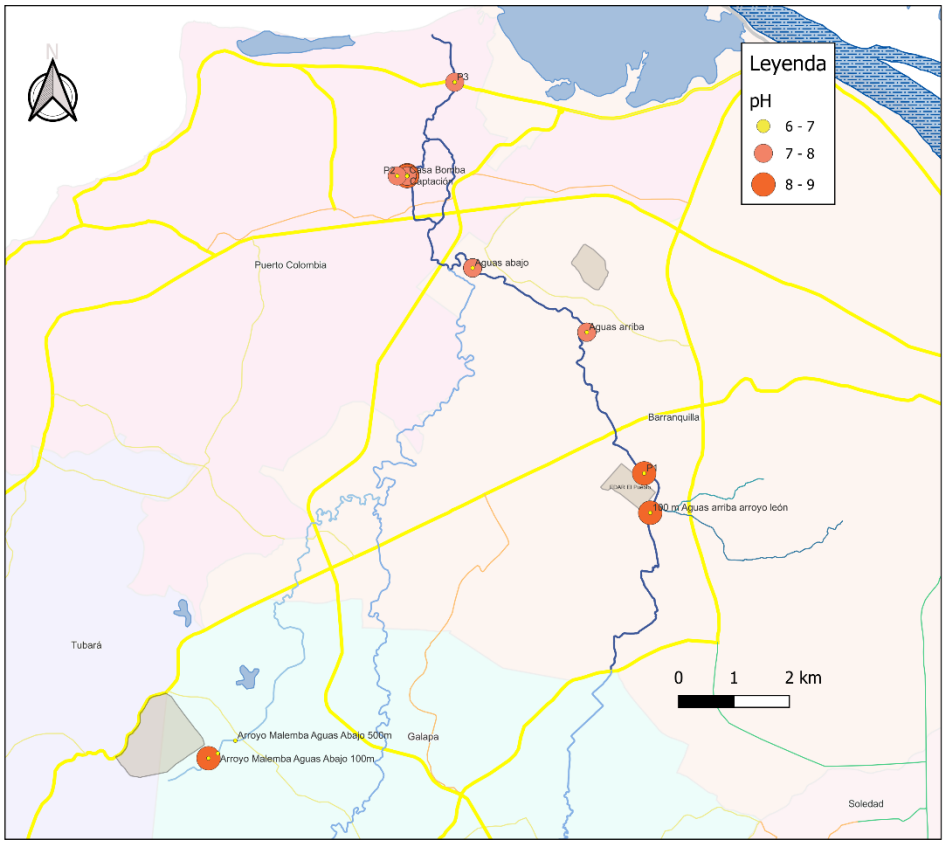

Figura 2–15. Variación espacial del pH en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

2.1.4.6 Conductividad

De los valores obtenidos de conductividad, en el cauce del Arroyo León, se evidencia que en la mayoría de las estaciones evaluadas (desde el E11, hasta el E13) se registraron valores altos (>1.000 μS/cm) para esta variable; sin embargo, de los registros obtenidos, se evidencia un tamo donde suelen registrarse valores inferiores a 500 μS/cm, comprendido entre el punto aguas arriba de Henequén SA ESP (E6) y el punto aguas abajo de Henequén SA ESP (E7).

De esta manera se pueden teorizar sobre posibles causas de ocurrencia de estos valores bajos, entre ellas, aportes de escorrentía pluvial (agua lluvia), afloramientos de aguas subterráneas o vertimientos de aguas de procesos industriales.

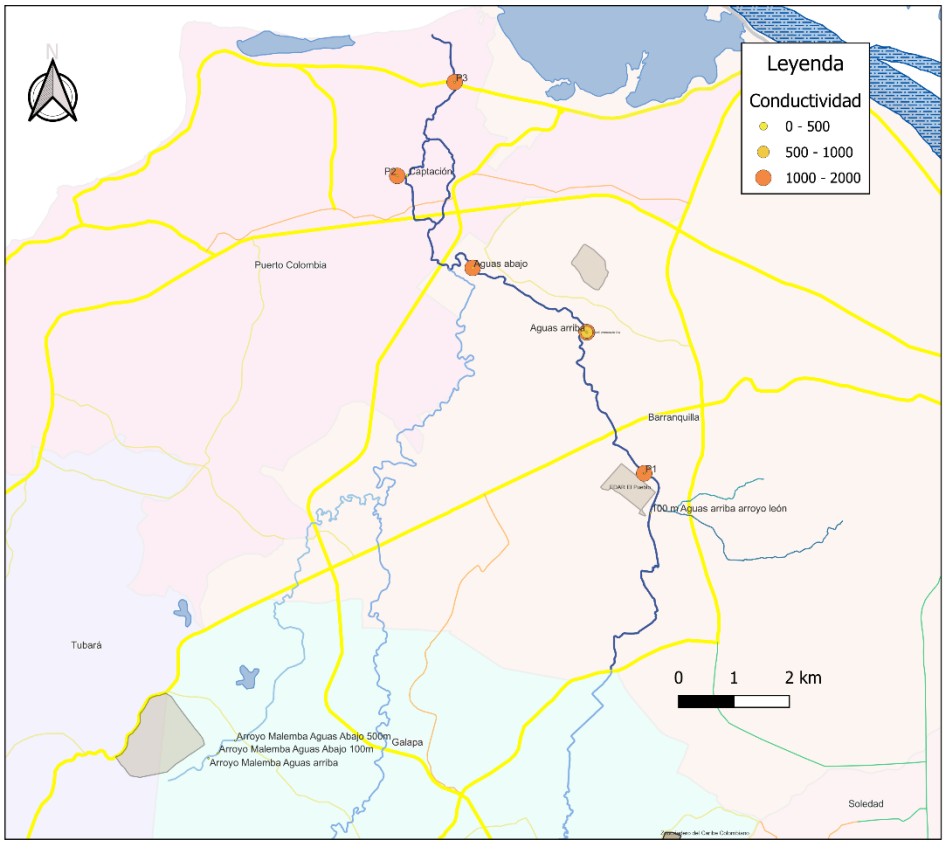

Figura 2–16. Variación espacial del Conductividad en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

2.1.4.7 Nitratos

Al observar los nitratos, se evidenció que muy pocas estaciones de monitoreo presentan resultados para esta variable, por lo que solo pudo ser evaluada entre los puntos aguas arriba del Arroyo León, caracterizada por Henequen SA ESP (E6) y el punto P1 de la CRA (frente a E10). Para los cuales los tres puntos que comprenden el tramo, presentan valores bajos (<2 mg/L), mientras que valores más altos se ubicaron en el punto aguas abajo del Arroyo León, caracterizada por Henequen SA ESP (E7), con un máximo de 9,91 mg/L.

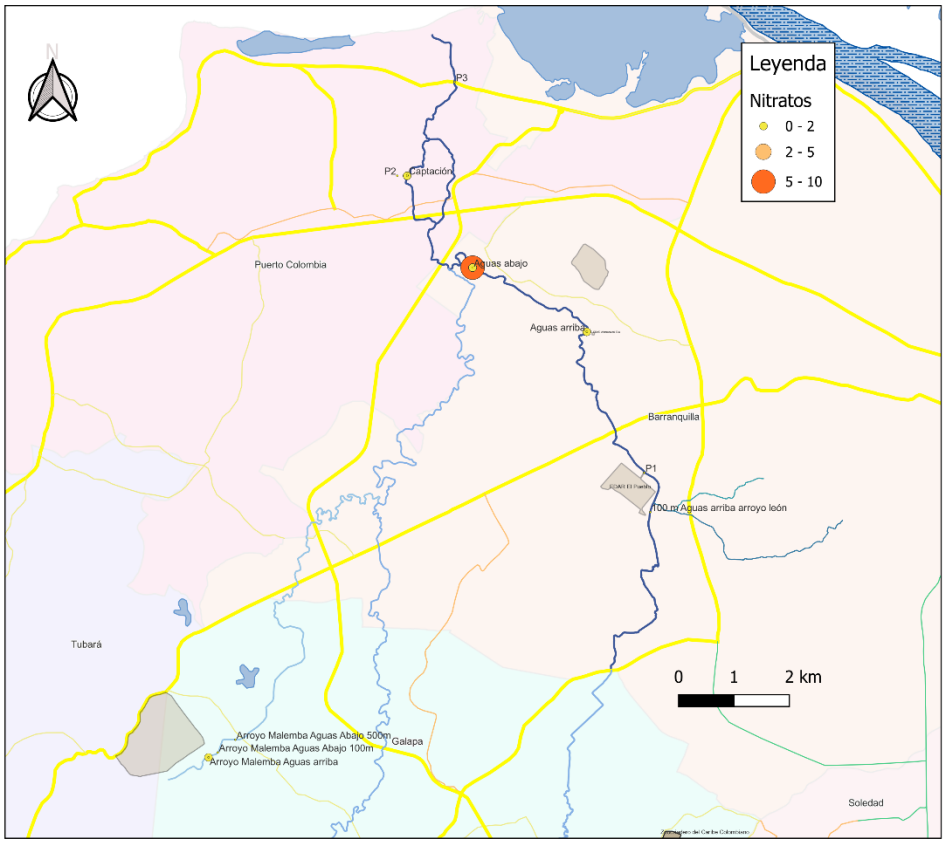

Figura 2–17. Variación espacial del Nitratos en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la estación de monitoreo ubicada sobre el Arroyo Malemba, se registró un valor bajo, 0,5 mg/L.

2.1.4.8 Nitritos

Al igual que los nitratos, los nitritos fueron evaluados entre los puntos aguas arriba del Arroyo León, caracterizada por Henequén SA ESP (E6) y el punto P1 de la CRA (frente a E10). Para los tres (3) puntos del tramo se reportaron valores inferiores a 0,1 mg/L, mientras que los valores más altos se ubicaron en el punto aguas arriba (0,18 mg/L) y aguas abajo del Arroyo León (0,2 mg/L), caracterizada por Henequén SA ESP (E6 y E7, respectivamente).

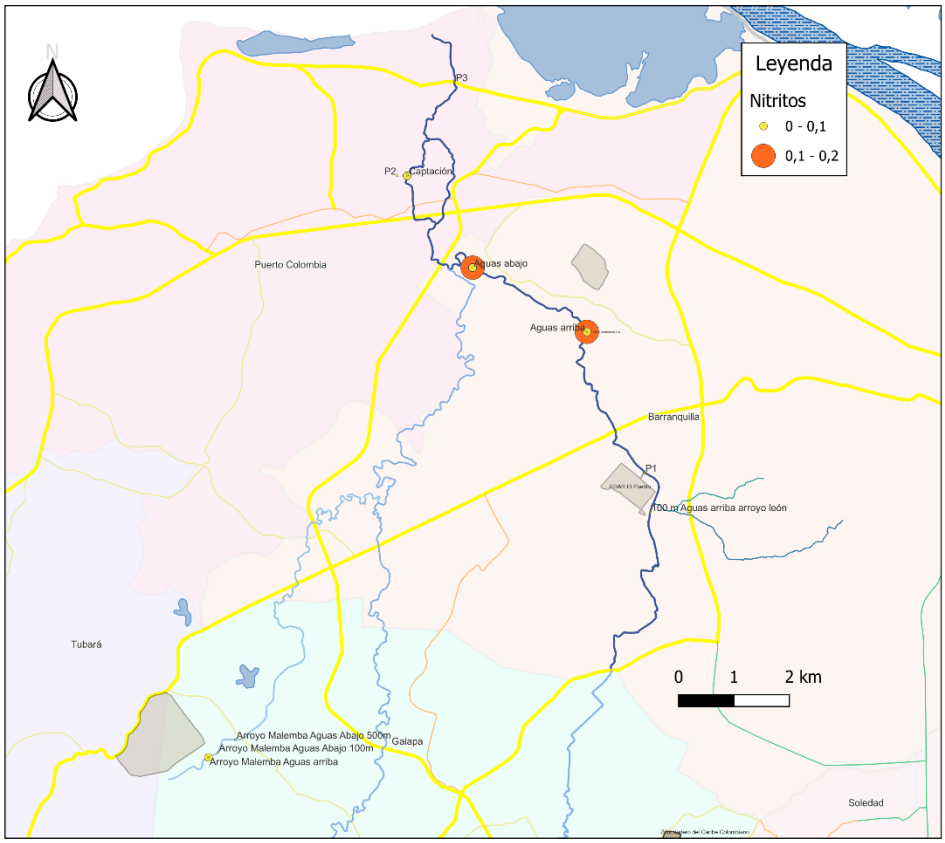

Figura 2–18. Variación espacial del Nitritos en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Para la estación de monitoreo ubicada sobre el Arroyo Malemba, se registró un valor bajo, 0,01 mg/L.

2.1.4.9 Fósforo

Evaluando las concentraciones de fósforo en el Arroyo León, se evidenció que solo fueron caracterizadas por Henequén SA ESP, en los puntos aguas arriba (E6) y aguas abajo (E7). En los cuales se evidenciaron fluctuaciones de esta variable, entre 0,883 y 1,93 mg/L, sin observarse variaciones en el comportamiento de la variable, en los puntos evaluados. Según el comportamiento de esta variable es posible indicar que, en este trayecto del Arroyo León, se evidencia tendencia a la homogeneidad espacial.

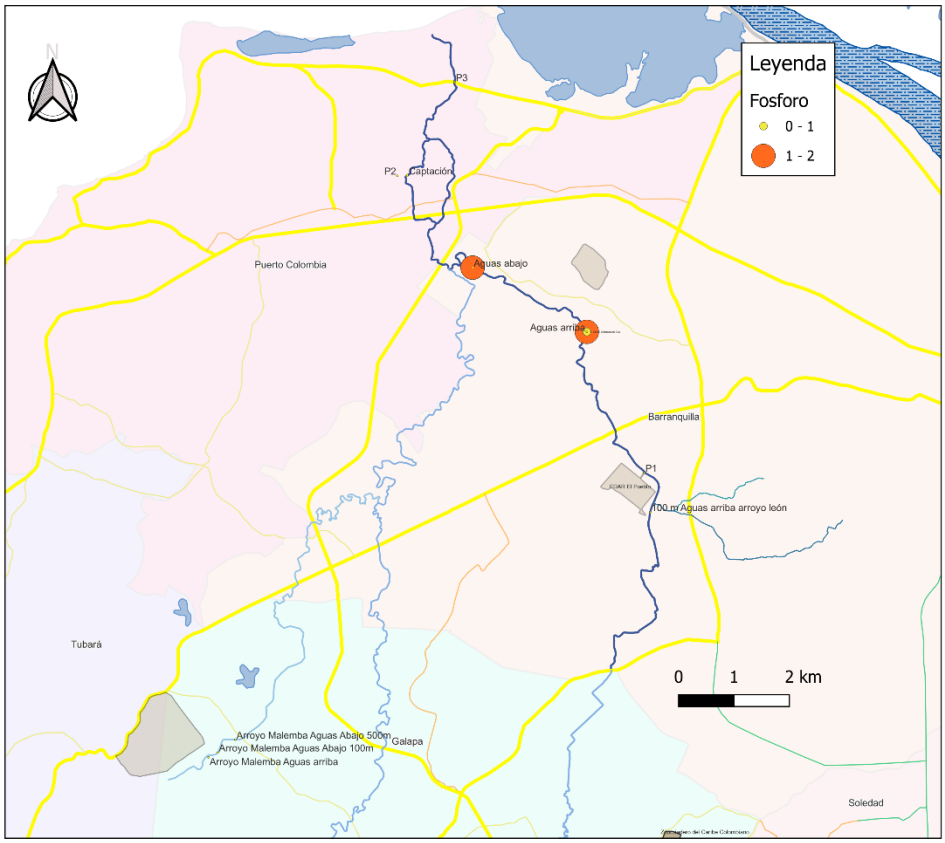

Figura 2–19. Variación espacial del Fósforo en el Arroyo León y los arroyos tributarios.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la estación de monitoreo ubicada sobre el Arroyo Malemba, se registró un valor bajo, inferior a 0,5 mg/L.

2.1.5 Análisis temporal: Evolución multianual y estacionalidad (periodos de aguas altas vs. aguas bajas).

Basados en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos recuperados, se realizó un primer acercamiento a la caracterización espacial de la calidad del agua, desde la el nacimiento hasta la desembocadura del Arroyo León.

2.2 Índices de Calidad del Agua (ICA) y de Contaminación (ICO)

Los índices de calidad y de contaminación del agua en Colombia son herramientas fundamentales desarrolladas para simplificar conjuntos complejos de datos fisicoquímicos y microbiológicos en valores adimensionales entre 0 y 1. Mientras que el Índice de Calidad del Agua (ICA) es un indicador agregado y promovido oficialmente por el IDEAM para calificar la aptitud general del recurso hídrico, los Índices de Contaminación (ICOs), como el ICOMO, ICOMI e ICOSUS, fueron propuestos por Ramírez y Viña para segregar de forma independiente problemas específicos de contaminación (materia orgánica, mineralización y sólidos, respectivamente) sin que una variable eclipse a la otra.

2.2.1 Metodología de cálculo (ej. ICA-IDEAM, ICOMI, ICOSUS, ICOMO).

El ICA califica el agua en corrientes superficiales en una de cinco categorías de calidad. Su cálculo anual se basa en el promedio de muestreos trimestrales.

La metodología para su cálculo sigue una sumatoria aritmética equiponderada o ponderada de los subíndices de calidad individuales I_{ikjt} obtenidos a través de curvas funcionales específicas.
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 y Coliformes fecales o termotolerantes (UFC/100 mL) (IDEAM, 2010), (Benavides Barrios, 2019), para demostrar 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 2-2.

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^{n} W_i * I_{ikjt}$$

Donde:

ICA_{njt}: Índice en la estación *j* en el tiempo *t*.

W_i: Peso relativo o ponderación asignada a la variable *i*.

I_{ikjt}: Valor del subíndice de la variable *i* (escala 0 a 1).

n: Número de variables involucradas (5 o 6).

Tabla 2-1. Variables y Ponderaciones W*i*

Variable	Unidad	Peso (n=5)	Peso (n=6)
Oxígeno Disuelto (OD)	% Saturación	0,20	0,17
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	0,20	0,17
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	0,20	0,17
Conductividad Eléctrica (C.E.)	µS/cm	0,20	0,17
pH	Unidades pH	0,20	0,15
Relación Nitrógeno/Fósforo (NT/PT)	Adimensional	N/A	0,17

Fuente: IDEAM, 2011

Tabla 2-2. 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)

Por su parte, los índices de contaminación (ICO's), fueron Desarrollados originalmente por Ramírez, Restrepo y Viña (1997). A diferencia del ICA, un valor cercano a 1 expresa una contaminación muy alta, mientras que un valor cercano a 0 expresa ausencia de contaminación. Su estructura metodológica se basa en el promedio simple de sus subíndices.

2.2.1.1 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Evalúa el impacto de vertimientos domésticos y orgánicos. Su fórmula integra las variables de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Coliformes Fecales o Totales (CF), y el porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (OD).

$$ICOMO = \frac{I_{DBO_5} + I_{CF} + I_{OD}}{3}$$

2.2.1.2 Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)

Refleja la adición de sales y sólidos disueltos en el agua. Su fórmula incluye las variables de Conductividad eléctrica (refleja sólidos disueltos), Dureza (cationes de calcio y magnesio) y Alcalinidad (aniones de carbonato y bicarbonato).

$$ICOMI = \frac{I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}}{3}$$

Su cálculo tiene unos criterios fijos:

Si la conductividad es > 270 µS/cm, $I_{Conductividad} = 1$.

Si la dureza es > 110 mg/L, $I_{Dureza} = 1$; si es < 30 mg/L, $I_{Dureza} = 0$.

Si la alcalinidad es > 250 mg/L, $I_{Alcalinidad} = 1$; si es < 50 mg/L, $I_{Alcalinidad} = 0$.

2.2.1.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

Este índice mide la presencia de material particulado por procesos de erosión o escorrentía. Su fórmula se determina de forma lineal directa a través de la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Tiene los siguientes criterios fijos:

Si SST > 340 mg/L ➔ ICOSUS = 1

Si SST < 10 mg/L ➔ ICOSUS = 0

Para valores intermedios se aplica la ecuación de interpolación lineal correspondiente al comportamiento de la variable.

2.2.2 Resultados espaciales y temporales de los índices.

Con base en los resultados de todas las caracterizaciones fisicoquímicas, las variaciones espaciales permiten evidenciar que las en la mayor parte de la cuenca, prevalecen valores del índice que indican una calidad de agua Mala, como se evidencia en la Figura 2–20; siendo los más preocupantes los vertimientos de Exotika Leather y Camagüey.

De igual manera, el comportamiento temporal del ICA, ha presentado fluctuaciones entre 0,65 y 0,18, valores que corresponden a clasificaciones entre regular y muy mala, observándose que, para los últimos años, la clasificación ser ha mantenido entre regular y mala (Figura 2–21); categorías que evidencian el deterioro del ecosistema acuático.

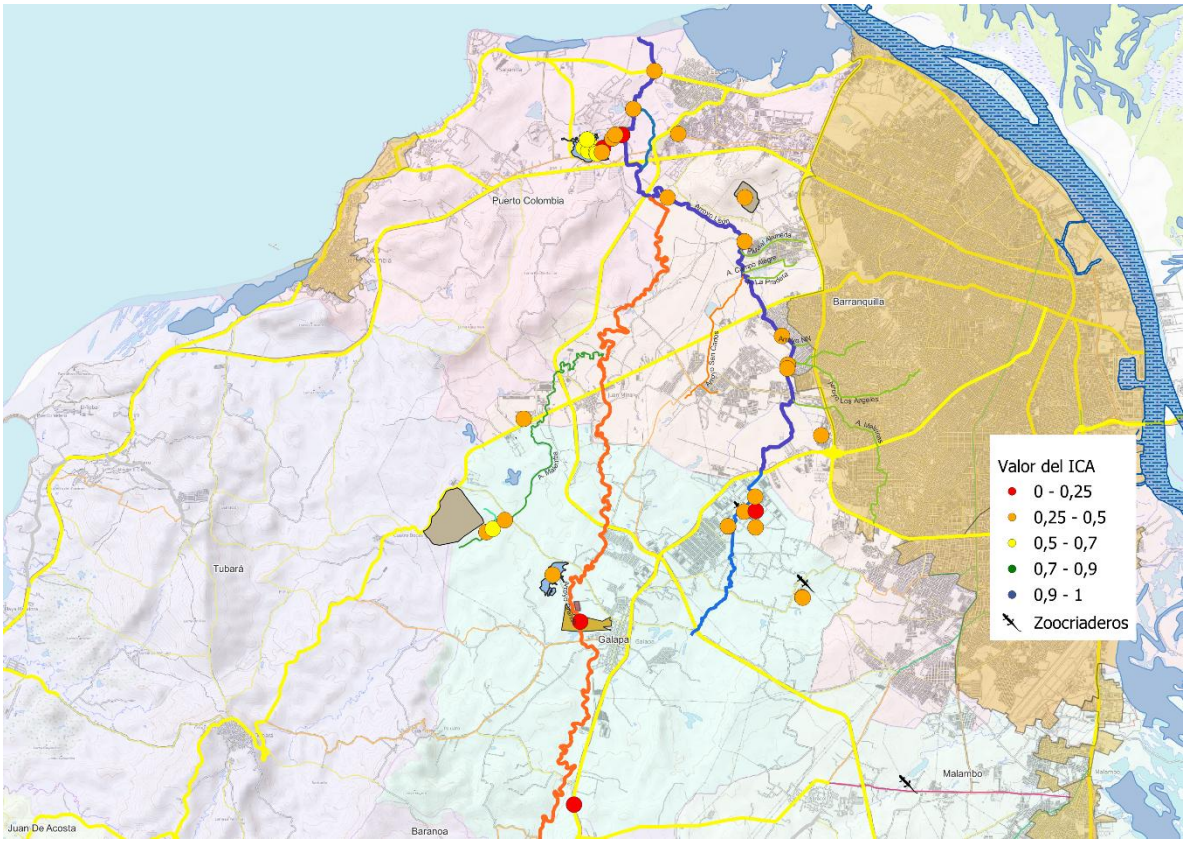

Figura 2–20. Comportamiento espacial de los valores del índice de calidad del agua – ICA, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

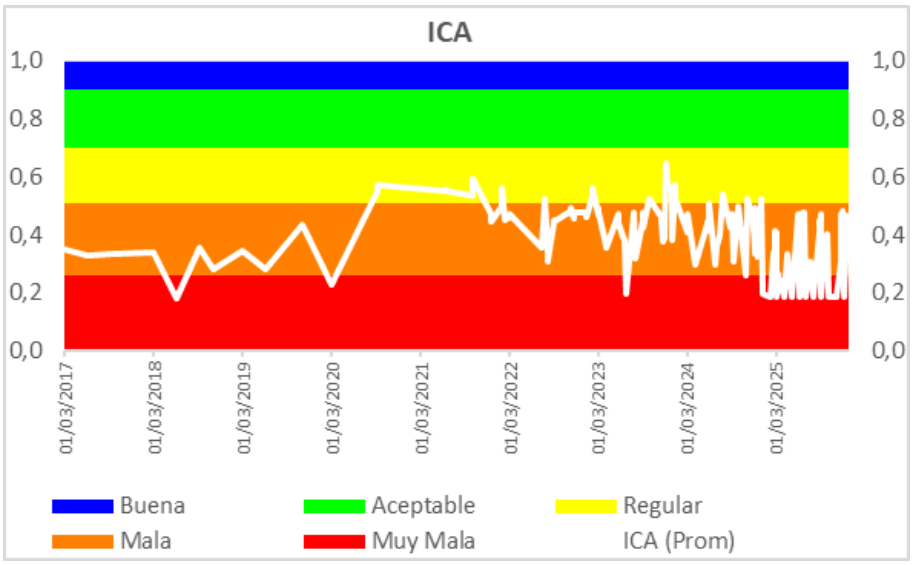

Figura 2–21. Comportamiento temporal de los valores del índice de calidad – ICA, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el comportamiento de los índices de contaminación, comenzando por el ICOSUS, permitió evidenciar los sitios de muestreos, más críticos se encontraron en el arroyo Malemba, el embalse de captación de Camagüey, el vertimiento de Exotika Leader, aguas debajo de la descarga pluvial de Alameda del río y aguas debajo de la desembocadura del lago del Cisne, con valores cercanos a uno (1), como se observa en la Figura 2–22; el valor del índice permite evidenciar variaciones que indican el arrastre de sólidos de manera intermitente o estacional, lo que puede estar asociado a efectos de lluvias intensas o a descargas puntuales de lodos industriales o domésticos (Figura 2–23). Ecológicamente un valor alto de ICOSUS indica que se incrementa la turbiedad de forma severa, bloqueando la luz solar, impidiendo la fotosíntesis y colmatando las branquias de los organismos acuáticos.

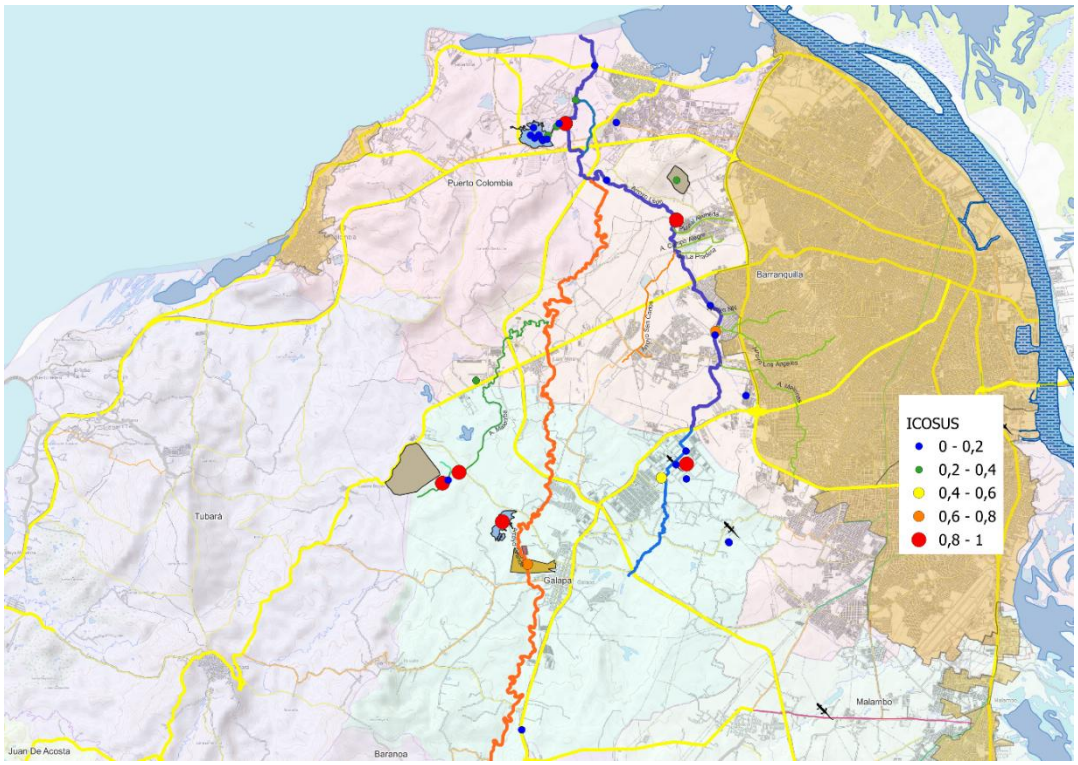

Figura 2–22. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por sólidos suspendidos - ICOSUS, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

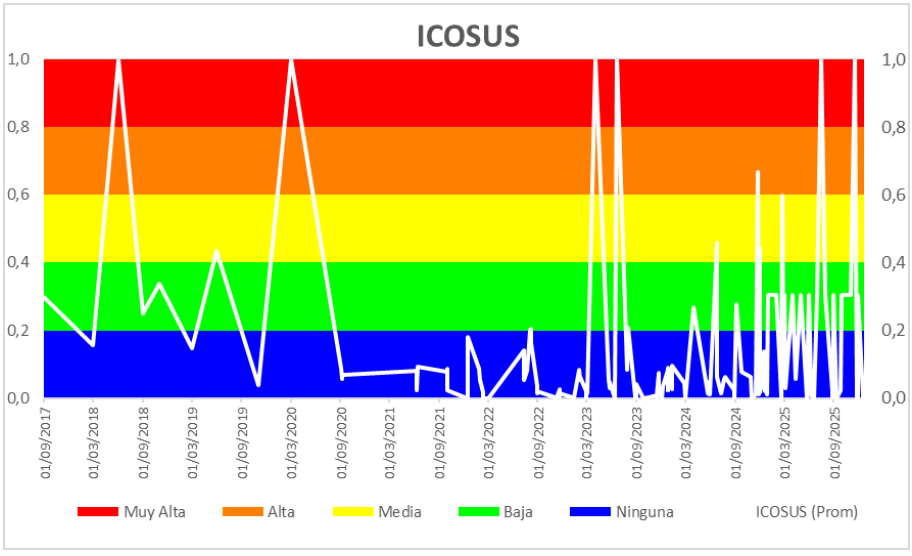

Figura 2–23. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por sólidos suspendidos - ICOSUS, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte el índice de mineralización ICOMI, osciló entre cero (0) y 0,33, picos aislados de 0,83 en la represa de captación de Camagüey (Figura 2–24); De igual forma se evidencia que el comportamiento temporal, indicando el predominio de baja o ninguna contaminación pro mineralización; lo que demuestra que las descargas de sales disueltas, compuestos de dureza (con calcio y/o magnesio) y la alcalinidad, no representan el disturbio principal del sistema

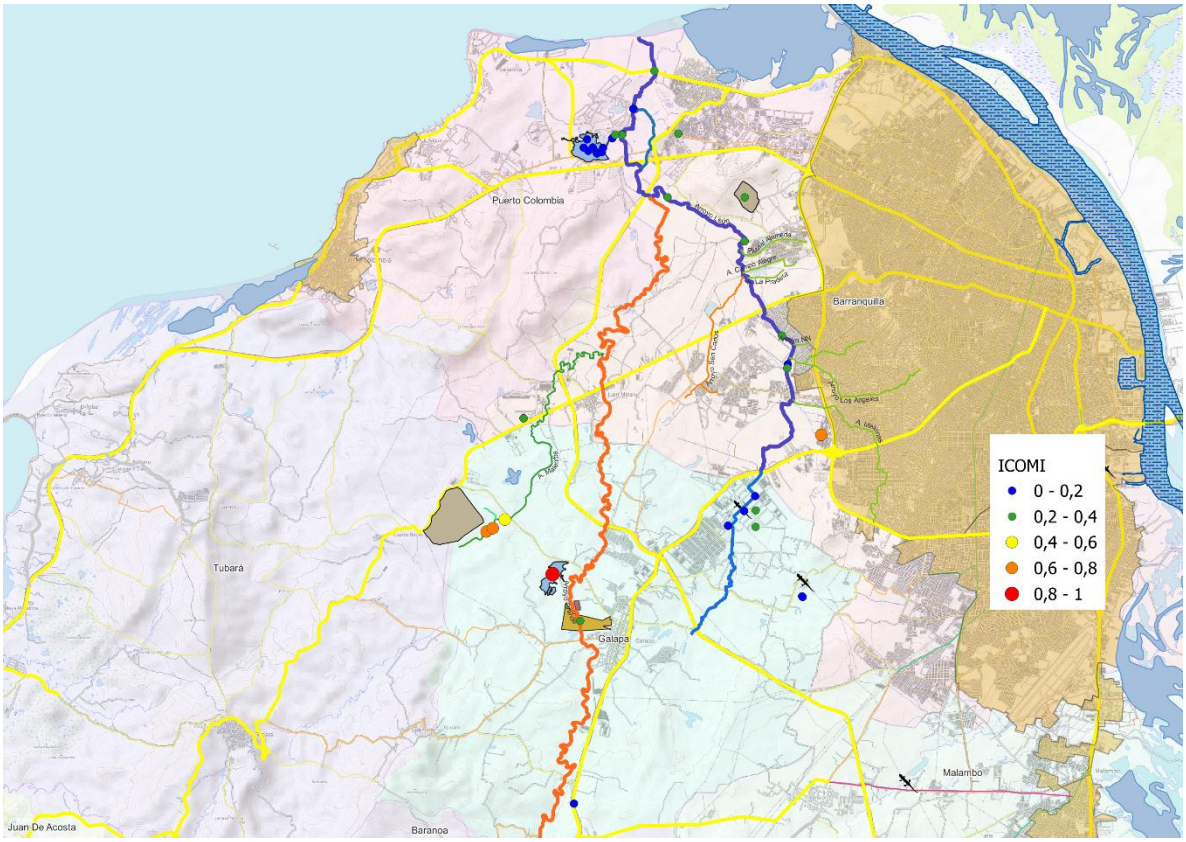

Figura 2–24. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por por mineralización - ICOMI, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

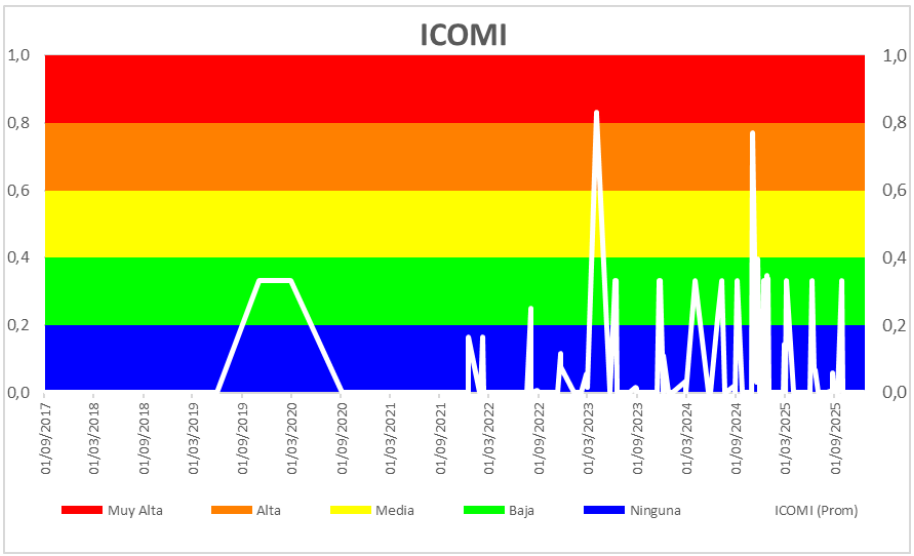

Figura 2–25. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por mineralización - ICOMI, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

Por su parte el comportamiento del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), presenta valores críticos en casi toda la cuenca (Figura 2–26), así mismo sucede con la fluctuación temporal (Figura 2–27). Este comportamiento es evidencia de una carga orgánica extrema y crónica. Valores cercanos a uno (1) indican el agotamiento severo del oxígeno disuelto, debido a la actividad de los microorganismos descomponedores, lo que genera condiciones de hipoxia y anoxia, afectando gravemente la fauna acuática y promoviendo procesos de fermentación anaerobia, lo que ocasiona malos olores.

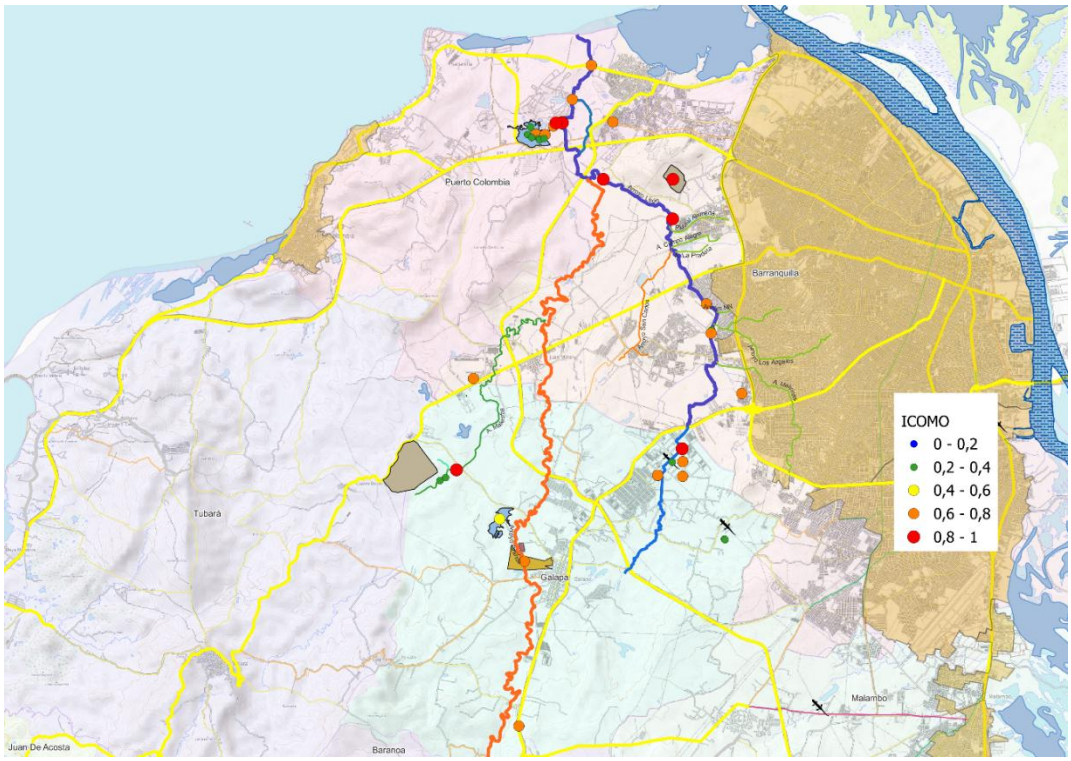

Figura 2–26. Comportamiento espacial de los valores del índice de contaminación por materia orgánica - ICOMO, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

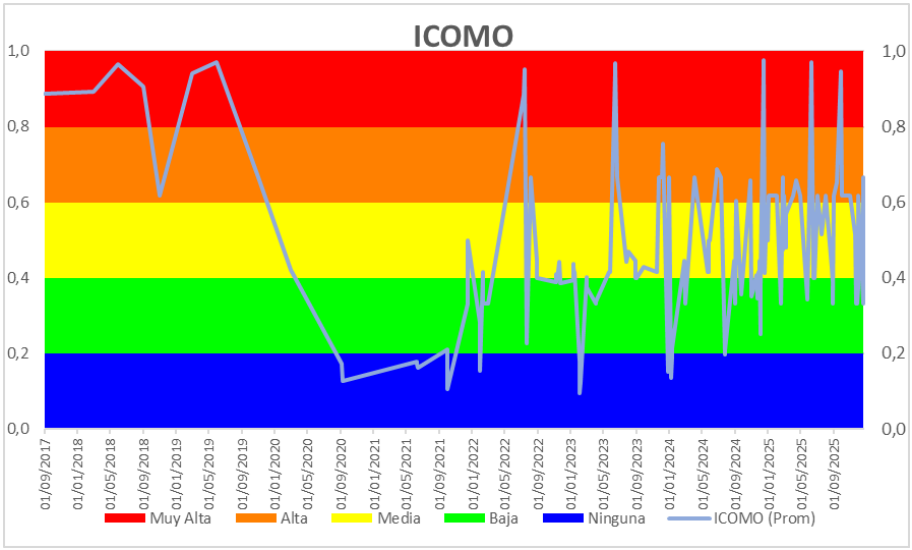

Figura 2–27. Comportamiento temporal de los valores del índice de contaminación por materia orgánica - ICOMO, en la cuenca del Arroyo León.
Fuente: Elaboración propia

3 RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA

Durante el mes de marzo de 2026 se realizaron actividades de campo, tendientes a realizar la caracterización del agua del Arroyo León y sus afluentes. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio de control de Calidad, de la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. – Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P.

A continuación, se presentan los resultados desde varios puntos de vista; con el fin de evidenciar el comportamiento de cada una de las variables evaluadas.

3.1 Oxígeno disuelto (mg/L)

El Oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno libre, no compuesto, que se encuentra presente en el agua y constituye uno de los indicadores más importantes de la salud ecológicas del sistema, , porque permite estimar la capacidad del cuerpo de agua para sostener peces, macroinvertebrados y otros organismos aeróbicos. Valores superiores a 5 mg/L suelen asociarse con buenas condiciones para la vida acuática; entre 4 y 2 mg/L se presentan situaciones de estrés severo e hipoxia; y por debajo de 2 mg/L se consideran condiciones críticas, zonas muertas o letales para la vida acuática aerobia, cercanas a la anoxia.

El oxígeno disuelto en toda la cuenca fluctuó entre 0,12 mg/L, en la estación E-14 (Aguas abajo Henequén) y 3,04 mg/L en la estación E-09 (Aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo). Se evidenció que todas las estaciones presentan valores inferiores a 4,0 mg/L, valor considerado como el límite más bajo de concentración de oxígeno en el cual pueden desarrollarse la mayoría de los organismos multicelulares, en especial los peces; por lo que se evidencia una condición generalizada de hipoxia y anoxia.

En los puntos ubicados sobre el Arroyo Grande, se observa que en la estación E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), se encuentra en hipoxia, con 1,91 mg/L; mientras que en la estación E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), se evidencia un descenso hasta niveles de anoxia (0,17 mg/L), lo que permite inferir que las descargas de la PTAR Galapa, agotan el oxígeno disuelto como consecuencia directa del consumo metabólico de las bacterias que digieren la carga orgánica. Un poco más abajo, E-03 (Arroyo Grande aguas abajo las Hermanas), se evidencia una ligera recuperación de la oxigenación

del agua, 0,9 mg/L; sin embargo, en la estación E-04 (Aguas arriba arroyo Granada), alcanza los niveles más altos del arroyo, 2,42 mg/L, valores que rayan entre la hipoxia y una pequeña cantidad de oxígeno suficiente para que se pueda observar la supervivencia de algunas especies animales tolerantes; sin embargo, en la estación E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada), los valores volvieron a descender, esta vez a 1,24 mg/L, lo que indica que el aporte que genera el Arroyo Granada, contribuye a la disminución del oxígeno disuelto, ya sea por aporte de material orgánica o por aumento de la turbiedad. Sin embargo, en la estación E-06 (Tramo final Arroyo Grande), las concentraciones de OD aumentan, sin salir de la hipoxia, con 2,33 mg/L. Así las cosas, se evidencia que la cuenca del arroyo Grande, sufre de una hipoxia generalizada, constituyéndose como punto crítico la E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa).

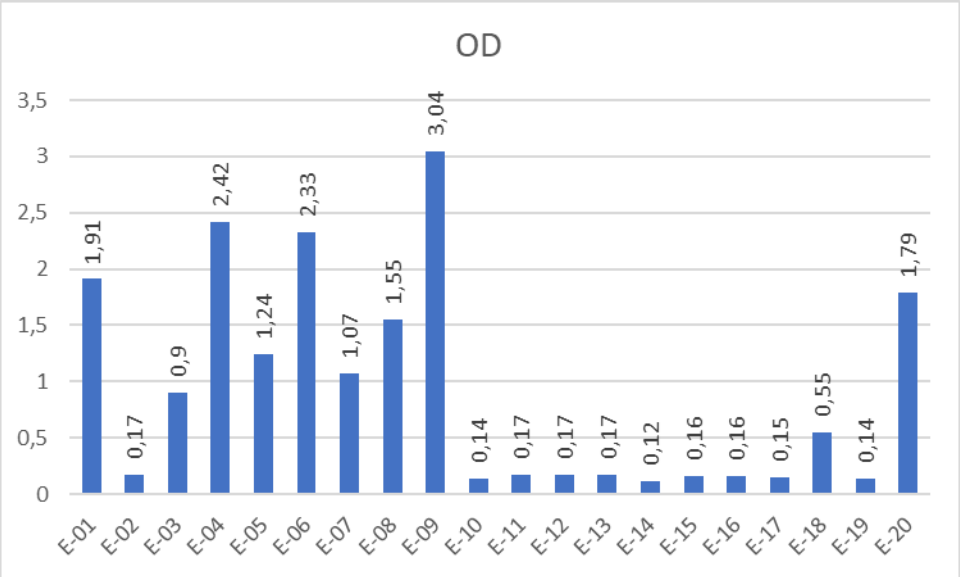

Figura 3–1. Valores de OD (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

En la estación E-09 (Aguas arriba Arroyo Cañas y Hondo), se encuentra ubicado en el tramo final del arroyo Malvinas, en él se obtuvo un valor de 3,04 mg/L, el valor más alto de toda la cuenca, aunque sigue siendo insuficiente para la mayoría de los organismos acuáticos sensibles. Esto indica una condición menos crítica que en otros tramos, pero todavía limitante para la biota.

Por su parte, al evaluar el comportamiento en el cauce central del Arroyo León y su origen, el Arroyo Cañas, también se observan valores de hipoxia generalizados, así como se evidencia el tramo más

comprometido, con valores casi permanentemente anóxicos. En el punto más alto de la cuenca, E-07 (Aguas arriba Zofia, sobre arroyo Cañas), se registró un valor de 1,07 mg/L, el cuál aumentó a 1,55 mg/L en la estación E-08 (Aguas abajo Zofia). Por su parte la E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo) presenta los mayores valores de anoxia del tramo, con 0,14 mg/L, evidencia que el agotamiento del oxígeno disuelto puede ser consecuencia del consumo metabólico de las bacterias que digieren la carga orgánica; observándose una zona de valores constantes, 0,17 mg/L, entre las estaciones E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo), E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde) y E-13 (aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)), seguida por la E-14 (Aguas abajo Henequén) con 0,12 mg/L, E-15 (Aguas arriba arroyo Grande) y E-16 (Aguas abajo arroyo Grande) con 0,16 mg/L; E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo), con 0,15 mg/L; E-18 (Aguas abajo brazo derecho) con 0,55 mg/L y E-19 (Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)) con 0,14 mg/L; mientras que en el E-20 (Desembocadura Arroyo León) en valor del OD llegó a 1,79 mg/L. Se evidencia el predominio de la anoxia en la mayor parte del Arroyo León, constituyéndose en punto crítico la E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo), con una recuperación parcial solo al final del sistema.

Frente a la normativa colombiana, estos valores se encuentran muy por debajo de cualquier condición deseable para la conservación de la vida acuática. La resolución 0631 de 2015 no fija un valor universal de oxígeno para todos los vertimientos, pero su análisis es fundamental para interpretar el impacto de descargas sobre el cuerpo receptor. En este caso, el conjunto de estaciones refleja un deterioro severo de la calidad del agua por carga orgánica y por la capacidad limitada de autodepuración de los arroyos. El punto más crítico es E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa) en el Arroyo Grande y E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo) en el Arroyo León.

3.2 DQO (mg/L)

La Demanda Química de Oxígeno, o DQO, mide la cantidad total de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente la materia orgánica y una parte de la materia inorgánica reductora presente en el agua. Es un indicador de contaminación orgánica global y, cuando sus valores son altos, suele reflejar descargas de aguas residuales domésticas, aportes industriales o acumulación de materia orgánica en descomposición.

A lo largo y ancho de la cuenca, los valores de la demanda química de oxígeno fluctuaron entre 52 mg/L, en la estación E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y 875 mg/L en la estación E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa).

En los puntos ubicados sobre el Arroyo Grande, se evidencia que su cabecera presenta el mayor foco de contaminación por materia orgánica. En la estación E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), se registró una concentración de 237 mg/L, de por sí alta; sin embargo, en la estación E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), casi se cuatriplica la concentración, 875 mg/L. los valores mínimos se observaron en la estación E-04 (Aguas arriba arroyo Granada) y E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada), con 81 mg/L, cada una. Esta oscilación muestra que el tramo superior del Arroyo Grande inicia con una carga oxidable muy alta y luego presenta una disminución relativa en algunos puntos intermedios, aunque sin llegar a condiciones limpias. El descenso posterior a E-01 puede relacionarse con dilución, sedimentación o transformación parcial de la carga orgánica, pero la persistencia de valores superiores a 80 mg/L evidencia una presión orgánica importante.

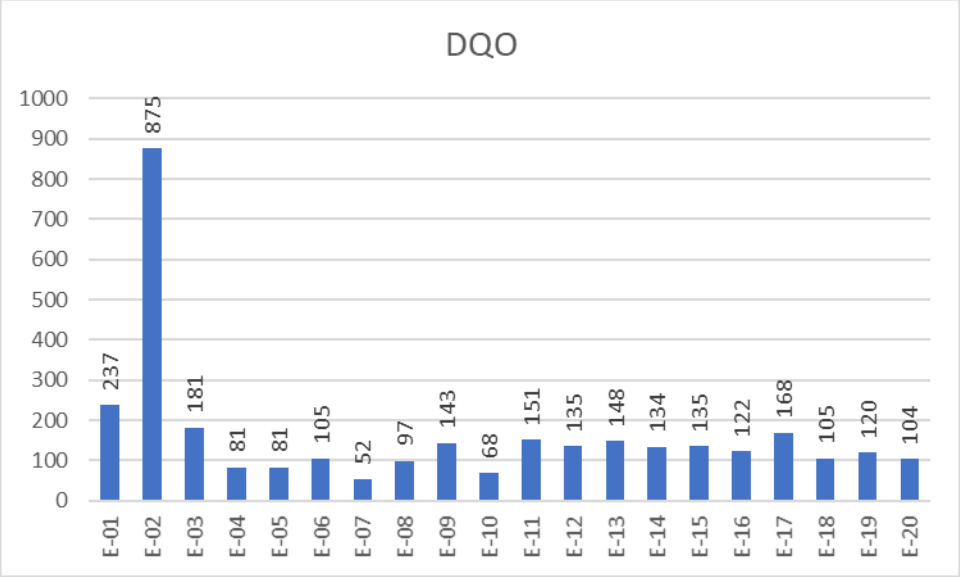

Figura 3–2. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

En la estación E-09 (Aguas arriba Arroyo Cañas y Hondo), se encuentra ubicado en el tramo final del arroyo Malvinas, en él se obtuvo un valor de 143 mg/L, un valor intermedio-alto que indica una afectación considerable del agua por compuestos oxidables.

Por su parte, al evaluar el comportamiento en el central del Arroyo León y su origen, el Arroyo Cañas, los valores oscilaron entre 52 y 168 mg/L, con el mínimo en E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y el máximo en E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo).
El tramo inicial del Arroyo León mostró 52 mg/L en E-07, 97 mg/L en E-08 (Aguas abajo Zofia) y 68 mg/L en E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo); luego aumentó a 151 mg/L en E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo), 135 mg/L en E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde) y 148 mg/L en E-13 (aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)); posteriormente descendió a 134 mg/L en E-14 (Aguas abajo Henequén), 135 mg/L en E-15 (Aguas arriba arroyo Grande), 122 mg/L en E-16 (Aguas abajo arroyo Grande), alcanzó 168 mg/L en E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo), bajó a 105 mg/L en E-18 (Aguas abajo brazo derecho), subió a 120 mg/L en E-19 (Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)) y terminó en 104 mg/L en E-20 (Desembocadura Arroyo León). Este patrón evidencia una fuerte variabilidad espacial, con puntos críticos asociados a la descarga de la EDAR el pueblo y los aportes urbanos, así como al tramo del brazo izquierdo.

Frente a la normatividad colombiana, la Resolución 0631 de 2015 considera la DQO como parámetro relevante para el control de vertimientos, especialmente cuando se evalúan descargas de aguas residuales domésticas y no domésticas. Aunque los límites exactos dependen del tipo de descarga y actividad, los valores observados en la cuenca son consistentes con aguas fuertemente impactadas, particularmente en el Arroyo Grande y en varios sectores del Arroyo León. En términos ambientales, la DQO confirma una elevada presencia de materia oxidable y una fuerte presión sobre la capacidad de autodepuración del sistema.

3.3 DBO5 (mg/L)

La Demanda Química de Oxígeno, o DQO, mide la cantidad total de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente la materia orgánica y una parte de la materia inorgánica reductora presente en el agua. Es un indicador de contaminación orgánica global y, cuando sus valores son altos, suele reflejar descargas de aguas residuales domésticas, aportes industriales o acumulación de materia orgánica en descomposición.

A lo largo y ancho de la cuenca, los valores de la demanda química de oxígeno fluctuaron entre 52 mg/L, en la estación E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y 875 mg/L en la estación E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa).

En los puntos ubicados sobre el Arroyo Grande, se evidencia que su cabecera presenta el mayor foco de contaminación por materia orgánica. En la estación E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), se registró una concentración de 237 mg/L, de por sí alta; sin embargo, en la estación E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), casi se cuatriplica la concentración, 875 mg/L. los valores mínimos se observaron en la estación E-04 (Aguas arriba arroyo Granada) y E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada), con 81 mg/L, cada una. Esta oscilación muestra que el tramo superior del Arroyo Grande inicia con una carga oxidable muy alta y luego presenta una disminución relativa en algunos puntos intermedios, aunque sin llegar a condiciones limpias. El descenso posterior a E-01 puede relacionarse con dilución, sedimentación o transformación parcial de la carga orgánica, pero la persistencia de valores superiores a 80 mg/L evidencia una presión orgánica importante.

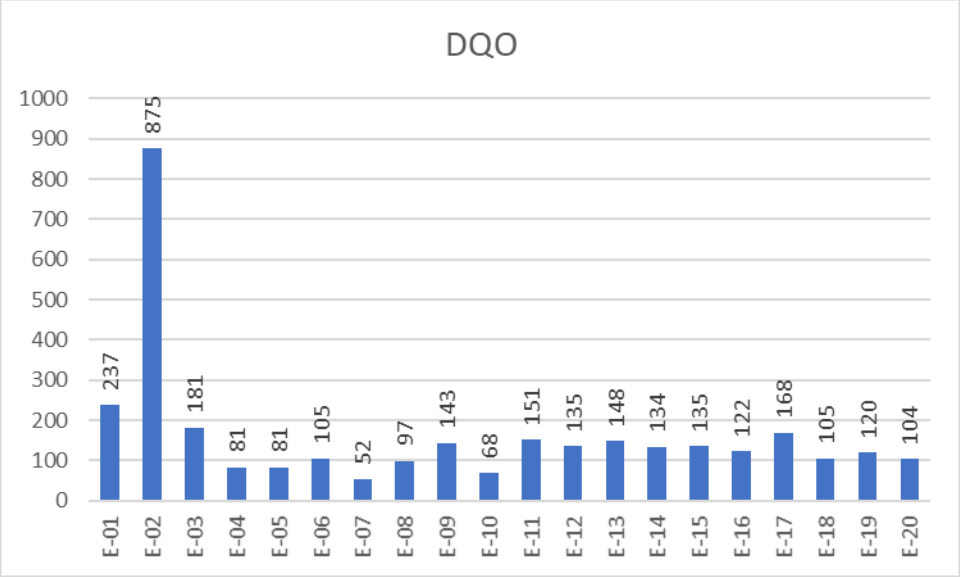

Figura 3–3. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

En la estación E-09 (Aguas arriba Arroyo Cañas y Hondo), se encuentra ubicado en el tramo final del arroyo Malvinas, en él se obtuvo un valor de 143 mg/L, un valor intermedio-alto que indica una afectación considerable del agua por compuestos oxidables.

Por su parte, al evaluar el comportamiento en el central del Arroyo León y su origen, el Arroyo Cañas, los valores oscilaron entre 52 y 168 mg/L, con el mínimo en E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y el máximo en E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo).

El tramo inicial del Arroyo León mostró 52 mg/L en E-07, 97 mg/L en E-08 (Aguas abajo Zofia) y 68 mg/L en E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo); luego aumentó a 151 mg/L en E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo), 135 mg/L en E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde) y 148 mg/L en E-13 (aguas abajo alameda del rio (aguas arriba Henequén y aguas abajo arroyos urbanos)); posteriormente descendió a 134 mg/L en E-14 (Aguas abajo Henequén), 135 mg/L en E-15 (Aguas arriba arroyo Grande), 122 mg/L en E-16 (Aguas abajo arroyo Grande), alcanzó 168 mg/L en E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo), bajó a 105 mg/L en E-18 (Aguas abajo brazo derecho), subió a 120 mg/L en E-19 (Aguas abajo Caujaral (intersección brazos)) y terminó en 104 mg/L en E-20 (Desembocadura Arroyo León). Este patrón evidencia una fuerte variabilidad espacial, con puntos críticos asociados a la descarga de la EDAR el pueblo y los aportes urbanos, así como al tramo del brazo izquierdo.

Frente a la normatividad colombiana, la Resolución 0631 de 2015 considera la DQO como parámetro relevante para el control de vertimientos, especialmente cuando se evalúan descargas de aguas residuales domésticas y no domésticas. Aunque los límites exactos dependen del tipo de descarga y actividad, los valores observados en la cuenca son consistentes con aguas fuertemente impactadas, particularmente en el Arroyo Grande y en varios sectores del Arroyo León. En términos ambientales, la DQO confirma una elevada presencia de materia oxidable y una fuerte presión sobre la capacidad de autodepuración del sistema.

3.4 Biodegradabilidad (mg/L)

La biodegradabilidad, expresada comúnmente como la relación entre DBO5 y DQO o mediante indicadores equivalentes, permite estimar qué fracción de la materia orgánica puede ser degradada por microorganismos. Valores altos suelen indicar presencia de materia orgánica fácilmente biodegradable, mientras que valores bajos sugieren una mayor proporción de compuestos refractarios o poco biodegradables.

En la cuenca, los valores de biodegradabilidad indican una capacidad limitada y variable de degradación de la materia orgánica. En el Arroyo Grande, los valores oscilan aproximadamente entre 0,444 y 0,469, mostrando un comportamiento muy homogéneo, con predominio de materia orgánica biodegradable; el valor máximo se observó en el punto E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada), seguido del E-06 (Tramo final Arroyo Grande), lo que indica un aumento tras recibir las aguas del arroyo Malemba o Granada; mientras que los valores más bajos se reportaron entre la E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa) y la E-03 (Arroyo Grande aguas abajo las Hermanas), sin observarse diferencias significativas al recibir las aguas de la PTAR Galapa.

Por su parte, en el Arroyo Malvinas, el valor en la E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo) fue de 0,448, lo que indica aguas con materia orgánica biodegradable

mientras que en el Arroyo León fluctúa entre 7,2 y 11,2 en la mayor parte del tramo, con un valor particularmente bajo en E-10 y relativamente más altos en E-07 y E-08. Esto sugiere que, aunque hay materia orgánica biodegradable, parte importante del sistema opera bajo condiciones de baja oxigenación, lo que limita la degradación aerobia y favorece procesos anaerobios.

Desde la perspectiva de la normatividad, la biodegradabilidad no siempre aparece como un parámetro con límite directo, pero es clave para interpretar la presión orgánica de los vertimientos. Los datos reflejan que la materia orgánica en los arroyos, especialmente en los tramos con anoxia, probablemente tiene una degradación incompleta y genera acumulación de compuestos reductores.

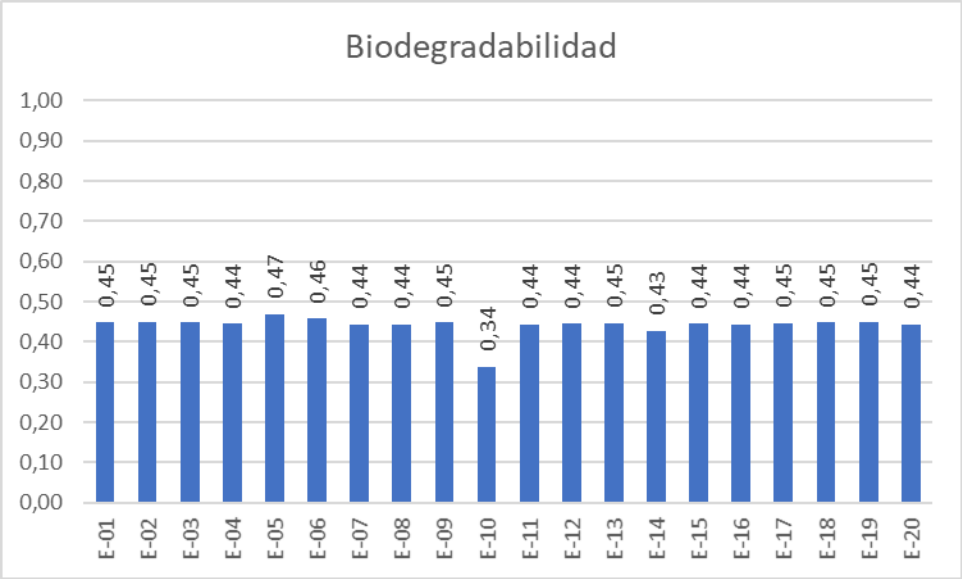

Figura 3–4. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.5 Sólidos disueltos totales – SDT (mg/L)

Los sólidos disueltos representan la fracción de sales, minerales y compuestos disueltos en el agua que no se retienen por filtración simple. Este parámetro se relaciona de forma directa con la mineralización del agua, la salinidad, la conductividad eléctrica y la carga de sustancias disueltas procedentes de aportes geológicos naturales o presiones antrópicas.

A lo largo del sistema hídrico evaluado, los SD presentaron valores notablemente elevados, con un comportamiento dinámico que contradice la estabilidad típica de las cargas disueltas basales. En el Arroyo Grande, las concentraciones oscilaron entre 760 mg/L y un máximo absoluto para toda la cuenca de 1490 mg/L registrado en la cabecera (E-01); este comportamiento longitudinal evidencia un fuerte proceso de dilución iónica provocado por el efluente de la PTAR Galapa, el cual deprime el valor a 788 mg/L (E-02) antes de volver a incrementarse por el aporte altamente mineralizado del Arroyo Granada (1100 mg/L en E-05). Por su parte, el Arroyo Malvinas (E-09) registró una concentración de 661 mg/L. Finalmente, el cauce principal del Arroyo León exhibió una meseta de estabilización urbana muy homogénea que oscila entre 622 mg/L (E-14) y 839 mg/L (E-10), donde las descargas masivas de la EDAR El Pueblo vuelven a generar un fenómeno de dilución física al

abatir los valores de 839 mg/L (E-10) a 627 mg/L (E-11).Desde el punto de vista del comportamiento longitudinal, los SD muestran fluctuaciones macroscópicas asociadas a la interacción entre los caudales efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y el régimen de estiaje de la cuenca. Lejos de presentar un incremento progresivo hacia la desembocadura, el parámetro registra sus picos críticos en las zonas rurales alta y media, mientras que los tramos que reciben la mayor presión metropolitana de Barranquilla tienden a estandarizar la firma hidroquímica del arroyo en un promedio constante de 630 mg/L a 680 mg/L, manteniéndose regular incluso tras la bifurcación y la confluencia con el brazo del Lago El Cisne (705 mg/L en E-17).

La normatividad colombiana y los criterios ecológicos evalúan los sólidos disueltos en relación con la presión osmótica que ejercen sobre la biota lótica y la alteración de los ciclos biogeoquímicos. En este escenario de época seca, concentraciones que superan los 600 mg/L de forma ininterrumpida en las 20 estaciones reflejan una condición crítica y persistente de degradación del régimen natural. El Arroyo Grande concentra el valor puntual más severo en su nacimiento, pero es el eje urbano del Arroyo León el que sostiene una carga disuelta estabilizada y densa, exportando continuamente una masa mineralizada constante hacia la desembocadura final (672 mg/L en E-20) y la interfase estuarina costera.

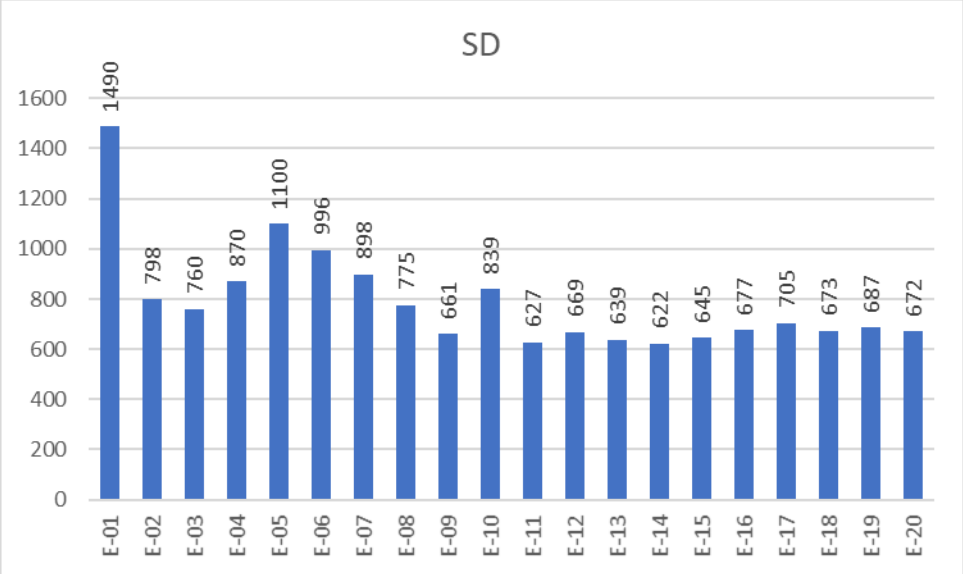

Figura 3–5. Valores de Sólidos Disueltos (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)

Los sólidos suspendidos totales (SST) miden la cantidad de partículas sólidas no disueltas que permanecen en la columna de agua, incluyendo sedimentos finos, materia orgánica particulada y material arrastrado por escorrentía o vertimientos. Este parámetro influye en la turbidez, la penetración de la luz, la fotosíntesis y la sedimentación en el fondo del cauce, y por tanto es clave para evaluar degradación física del sistema.

En la cuenca, los SST mostraron fluctuaciones amplias, con el valor más alto en el punto después de un sitio de descarga; E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), con 520 mg/L y menores valores, en tramos donde hubo mayor estabilidad hidráulica o menor arrastre de material, como el tramo E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas), E-08 (Aguas abajo Zofia) y E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo), con 11, 10 y 10 mg/L, respectivamente.

Por su parte, en el Arroyo Grande se observaron valores elevados en los puntos más aguas arriba; de tal manera que el E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa) inició con 115 mg/L, pasando a 520 mg/L en el E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), lo que evidencia una gran carga particulada en el sector superior, posiblemente asociada a escorrentía, descargas y remoción de material del cauce, y una vez descargadas las aguas de la PTAR Galapa, se incrementan en casi un 400 %. Luego sus valores disminuyeron a 38, 33 y 24 mg/L, en los puntos E-04 (Aguas arriba arroyo Granada), E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada) y E-06 (Tramo final Arroyo Grande), respectivamente. Esto demuestra que el tramo superior evaluado presenta una alta inestabilidad sedimentaria y fuerte presión antrópica, que se agrava por la descarga de la PTAR Galapa.

En el Arroyo Malvinas, la estación E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo), presentó 50 mg/L, un valor menor que varios puntos del Arroyo Grande pero todavía alto para un sistema superficial.

En el Arroyo León, los valores oscilaron entre 10 y 11 mg/L en el sector inicial y medio, con aumentos puntuales en E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo), llegando a 29 mg/L. Sin embargo, se registraron valores de 61 mg/L en E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde) y 98 mg/L en E-18 (Aguas abajo brazo derecho). En general, el Arroyo León mantiene una carga importante de sólidos en suspensión, con variaciones moderadas y un patrón relativamente homogéneo.

La Resolución 0631 de 2015 establece límites para vertimientos relacionados con sólidos suspendidos, y los resultados observados sugieren que la cuenca recibe cargas superiores a las deseables para un cuerpo de agua sensible (90 mg/L). Mientras que la resolución 449, en su artículo 1, indica que, para la Clase V, el valor máximo es de 50 mg/L, mientras que para la Clase II es de 10 mg/L.

En términos ecológicos, estos niveles favorecen la sedimentación, la reducción de la transparencia y el deterioro de los hábitats bentónicos. El Arroyo Grande muestra la mayor carga inicial, mientras que el Arroyo León presenta una condición más persistente y extendida de contaminación particulada.

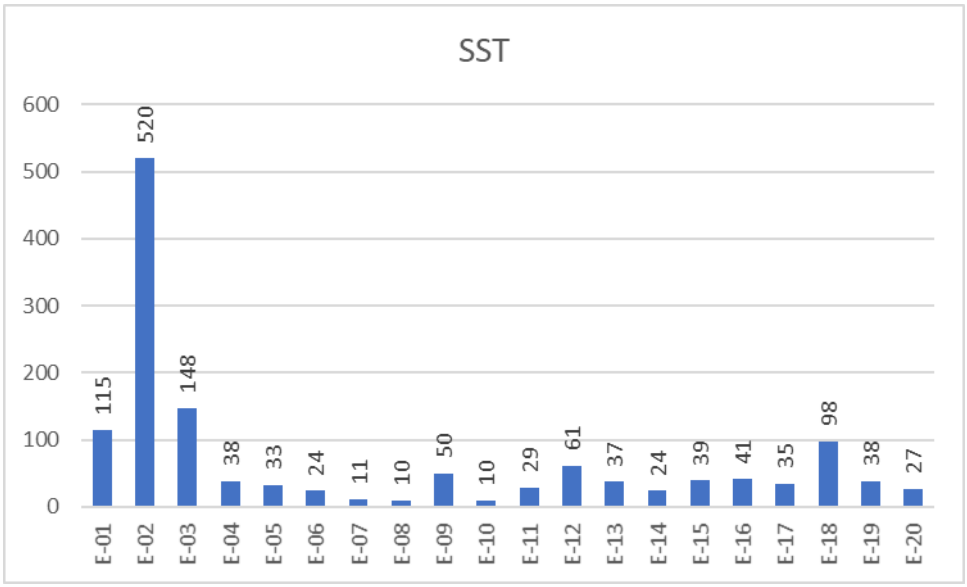

Figura 3–6. Valores de SST (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.7 pH (mg/L)

El pH mide el grado de acidez o alcalinidad del agua y controla buena parte de los procesos fisicoquímicos y biológicos del ecosistema acuático, ya que regula la disponibilidad de nutrientes, la toxicidad de algunos compuestos y la supervivencia de la biota. En términos generales, las aguas naturales suelen presentar valores cercanos a la neutralidad, y en Colombia la Resolución 0631 de 2015 establece rangos de referencia para vertimientos a cuerpos de agua, mientras que la

Resolución 0499 de 2012 sirve como marco de comparación para condiciones de calidad y aptitud del recurso hídrico.

En la cuenca evaluada, el pH se mantuvo relativamente estable y cercano a la neutralidad, con variaciones que oscilaron aproximadamente entre 7,1 y 7,9. En el Arroyo Grande se observaron valores entre 7,4 y 7,9, lo que evidencia una condición ligeramente alcalina pero dentro del rango esperado para aguas superficiales. En este arroyo, la estación E-01 presentó 7,9; luego disminuyó a 7,5 en E-02 y 7,6 en E-03, bajó a 7,4 en E-04, volvió a 7,9 en E-05 y descendió levemente a 7,8 en E-06. Esta dinámica muestra un comportamiento estable, con pequeñas oscilaciones que probablemente responden a aportes puntuales de vertimientos, mezcla con aguas de distinta composición y procesos de fotosíntesis y respiración.

En el Arroyo Malvinas, representado por la estación E-09, el pH fue de 7,5, un valor igualmente neutro y compatible con condiciones naturales de un sistema superficial con influencia de descargas urbanas y arrastre de materiales. En el Arroyo León, los valores también se mantuvieron en una franja neutra a levemente alcalina, entre 7,1 y 7,8. El valor más bajo se registró en E-10 con 7,1, mientras que los más altos se presentaron en E-07 y E-17 con 7,8. En general, el comportamiento del pH a lo largo del Arroyo León fue bastante estable, con ligeros descensos en el tramo medio y recuperación hacia algunos sectores aguas abajo.

Comparado con la normatividad colombiana, los valores obtenidos no evidencian una alteración severa del pH, ya que permanecen dentro de un intervalo típico para aguas superficiales. Sin embargo, aunque el pH no muestra una problemática crítica, su estabilidad no implica buena calidad, porque puede coexistir con altas cargas orgánicas, bajos niveles de oxígeno y elevados nutrientes. Por tanto, el pH en los tres arroyos no representa el principal factor de deterioro, pero sí confirma que el sistema opera dentro de una franja fisicoquímica moderadamente amortiguada.

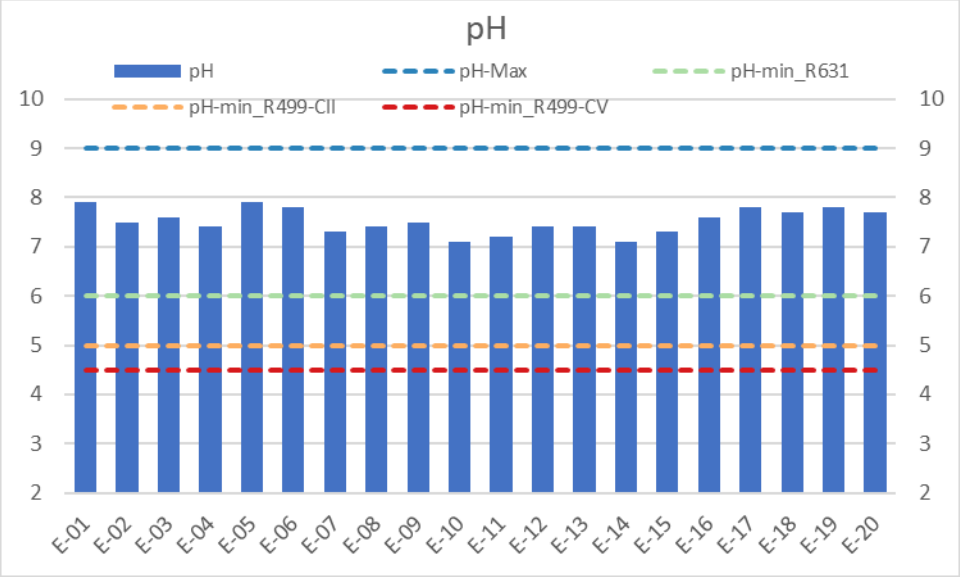

Figura 3–7. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.8 CONDUCTIVIDAD (µS/cm)

La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica, y depende de la concentración de iones disueltos, principalmente sales, nutrientes, metales y otros compuestos iónicos. Por ello, es un indicador indirecto de mineralización y de contaminación por descargas domésticas, agrícolas o industriales. En aguas naturales puede variar entre 100 y 2.000 µS/cm, dependiendo de la geología del sector, el tipo de suelo y los minerales disueltos (www.waterboards.ca.gov, 2026).

En toda la cuenta evaluada, la conductividad presentó valores muy altos, entre 1.090 µS/cm en la E-14 (Aguas abajo Henequén) y 2.620 en la E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa).

En el Arroyo Grande la conductividad fue muy alta, con valores entre 1.340 y 2.620 µS/cm, lo que indica una carga iónica significativa. Se observó 2.620 µS/cm en E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), 1.400 µS/cm en E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), 1.340 en E-03 (Arroyo Grande aguas abajo las Hermanas), 1.540 en E-04 (Aguas arriba arroyo Granada), 1.940 en E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada) y 1.780 en E-06 (Tramo final Arroyo Grande). Este comportamiento sugiere una fuerte

influencia de vertimientos y una elevada mineralización desde la parte alta del arroyo. El pico más alto en E-01 y el aumento en E-05 muestran que el sistema recibe aportes de sales o compuestos iónicos en varios sectores.

En el Arroyo Malvinas, la conductividad alcanzó 1.150 µS/cm en E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo), un valor también elevado, aunque menor que el del Arroyo Grande. En el Arroyo León, los valores oscilaron entre 1.090 y 1.590 µS/cm, con el valor mínimo en E-14 (Aguas abajo Henequén) y el máximo en E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas). El tramo inicial del León, especialmente en E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y E-08 (Aguas abajo Zofia), muestra una alta mineralización, seguida de una reducción relativa en el sector medio y posterior estabilización. En E-20 (Desembocadura Arroyo León) la conductividad fue de 1.180 µS/cm, lo que indica que el sistema conserva una carga iónica apreciable hasta su desembocadura, o en su defecto, la incidencia de aguas del mar.

Comparada con la normatividad colombiana, la conductividad no suele tener un límite único de referencia para vertimientos domésticos, pero sí es útil para interpretar la calidad general del agua. Los valores observados son compatibles con aguas afectadas por cargas antrópicas importantes. En términos espaciales, el Arroyo Grande presenta la mayor conductividad, seguido por el Arroyo León, mientras que el Arroyo Malvinas muestra una condición intermedia.

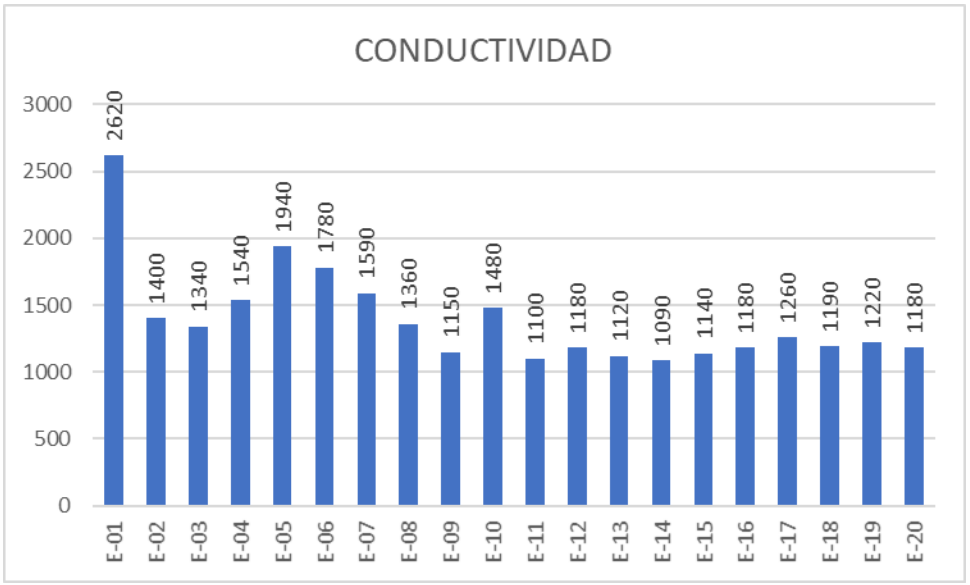

Figura 3–8. Valores de Conductividad (µS/cm) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.9 NITRÓGENO TOTAL (mg/L)

El nitrógeno total integra las formas orgánicas e inorgánicas de este nutriente, y su presencia en exceso también favorece la eutrofización, la proliferación de algas y el deterioro de la calidad del agua. Las formas inorgánicas incluyen el nitrato (NO3 -), nitrito (NO2-), el amoníaco (NH4+) ionizado, pero no incluye el amoníaco no ionizado (NH3), y gas del nitrógeno (N2). El contenido de Nitrógeno orgánico en un agua incluye el Nitrógeno de aminoácidos, aminas, polipéptidos, proteínas y otros compuestos orgánicos del Nitrógeno. Todas las formas de Nitrógeno son inofensivas a los organismos acuáticos excepto el amoníaco no ionizado y el nitrito, que puede ser tóxico para los peces. El nitrito no es generalmente un problema en los cuerpos de agua, sin embargo, si hay bastante oxígeno disponible en el agua para que se oxide, el nitrito puede ser convertido fácilmente a nitrato. Es un parámetro muy sensible a descargas domésticas, aguas residuales tratadas o sin tratar, y procesos de descomposición orgánica. Los valores de nitrógeno total en aguas naturales suelen fluctuar entre 0,1 y 3,0 mg/L; variando según el origen del agua y su estado trófico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2026).

A lo largo y ancho de la cuenca, los valores de nitrógeno total fluctuaron entre 27,8 mg/L, en el E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo) y 115 mg/L, en E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa). Siendo la cabecera y zona media del Arroyo Grande, el cuerpo de agua con los valores más elevados, con un promedio de 77,57 mg/L; mientras que los demás cauces, incluida la zona baja del Arroyo Grande, aunque también presentaron valores muy altos, comparados con los esperados en aguas naturales, registraron un promedio fue mucho menor, 38,41 mg/L.

En los puntos ubicados sobre el Arroyo Grande, se evidencia que su cabecera presenta el mayor foco de contaminación por presencia de nitrógeno; el nitrógeno total se mantuvo alto en toda la secuencia, con 115 mg/L en E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), 80 mg/L en E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), 62,3 mg/L en E-03 (Arroyo Grande aguas abajo las Hermanas), 53 mg/L en E-04 (Aguas arriba arroyo Granada), 44,8 mg/L en E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada) y 39,3 mg/L en E-06 (Tramo final Arroyo Grande). Se observa un descenso progresivo aguas abajo, lo cual sugiere cierta dilución o transformación biogeoquímica, aunque los valores continúan siendo elevados. Se evidencia que las descargas de la PTAR Galapa, actúan como solvente de los valores de nitrógeno total.

En el Arroyo Malvinas, E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo) se presentó un valor de 31,3 mg/L, uno de los menores valores registrados, entre los arroyos evaluados, pero aún relevante desde el punto de vista ecológico.

En el Arroyo León, los valores oscilaron entre 27,8 y 41,8 mg/L, con el máximo en E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo) y el mínimo en E-10 (Aguas arriba EDAR el Pueblo). Esto revela una carga nitrogenada persistente, especialmente en el tramo urbano, después de la EDAR el Pueblo, la cual, contrario al vertimiento de la PTAR Galapa, que actúa como solvente, la EDAR aporta carga nitrogenada al cuerpo de agua.

El comportamiento longitudinal indica que el nitrógeno total tiende a reducirse desde las cabeceras o puntos iniciales hacia los sectores inferiores en el Arroyo Grande; pero en el Arroyo León, permanece relativamente estable con fluctuaciones moderadas. El valor alto en E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo) sugiere influencia directa de vertimientos recientes o remezcla con aguas enriquecidas con nutrientes.

En el marco normativo colombiano, no existe norma con valores específicos para Nitrógeno Total, sin embargo, se interpretan los valores de las especies nitrogenadas individuales, en particular nitritos, nitratos y amoniaco. La Resolución 0631 de 2015 es especialmente relevante porque regula vertimientos con contenido de nutrientes, y estos resultados muestran que existe una carga potencialmente eutrofizante importante. El Arroyo Grande concentra las mayores cargas iniciales, mientras que el Arroyo León mantiene una condición sostenidamente enriquecida.

El Decreto 1076 de 2015, de la Presidencia de la República de Colombia, establece los usos del agua. El decreto establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, cuando para su potabilización se requiera tratamiento convencional o desinfección. En ambos casos, la concentración de amoniaco debe ser menor o igual a 1 mg/L de N y la concentración de nitratos y nitritos debe ser menor o igual a 10 mg/L de N. En cuanto a los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario, la concentración de nitratos + nitritos debe ser menor o igual a 100 mg/L de N y la concentración de nitritos debe ser menor o igual a 10 mg/L de N.

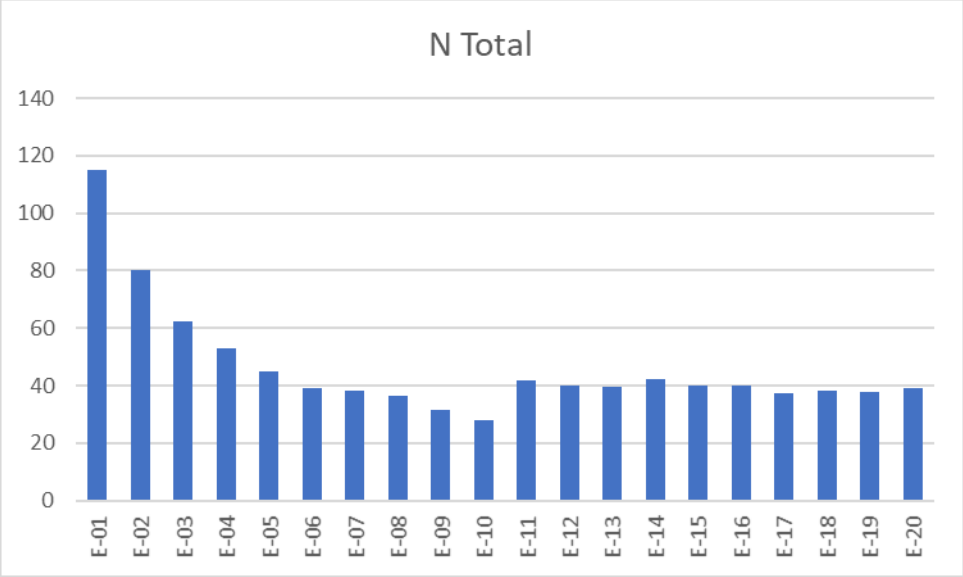

Figura 3–9. Valores de nitrógeno total (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.10 FÓSFORO (mg/L)

El valor de fósforo total reúne las distintas formas de fósforo presentes en el agua, tanto disueltas como particuladas, y es un nutriente clave para el crecimiento algal. Cuando aparece en exceso, favorece la eutrofización, incrementa la productividad primaria y puede deteriorar el equilibrio ecológico, especialmente si se combina con altas cargas orgánicas.

En la cuenca, el fósforo total presentó valores altos en todos los cuerpos de agua, lo que indica enriquecimiento nutrimental generalizado. En el Arroyo Grande se registraron valores de 5,44 mg/L en la E-01 (Aguas arriba PTAR Galapa), de 3,3 mg/L en la E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa), 2,95 mg/L en la E-03 (Arroyo Grande aguas abajo las Hermanas), 4,12 mg/L en E-04 (Aguas arriba arroyo Granada), 3,58 mg/L en E-05 (Aguas Abajo Arroyo Granada) y 4,48 mg/L en E-06 (Tramo final Arroyo Grande). Esto evidencia una carga muy elevada, con un descenso después del primer tramo, seguida de nuevas oscilaciones que probablemente responden a aportes puntuales y arrastre de material orgánico.

Por su parte, en el Arroyo Malvinas, el fósforo total fue de 3,0 mg/L en E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo), mientras que en el Arroyo León los valores fluctuaron entre 3,41 y 4,53 mg/L, con

un mínimo relativo en E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas) y un máximo en E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde). Desde el tramo medio del arroyo León, E-11 (Aguas abajo EDAR el Pueblo), hasta su desembocadura, E-20 (Desembocadura Arroyo León), se mantiene concentraciones elevadas, especialmente en zonas con aporte urbano, E-12 (Aguas abajo arroyos urbanos y brazo Caribe Verde) y E-15 (Aguas arriba arroyo Grande), lo que refuerza la idea de una fuerte presión por nutrientes. La persistencia de valores altos hasta la desembocadura indica que el sistema no logra depurar de forma eficiente esta carga.

Frente a la Resolución 0631 de 2015, estos niveles son compatibles con un impacto fuerte sobre el cuerpo receptor, ya que el fósforo es uno de los principales desencadenantes de procesos de eutrofización. En la práctica, la cuenca evaluada presenta una condición altamente enriquecida en fósforo, con especial crítica en el Arroyo Grande y el Arroyo León.

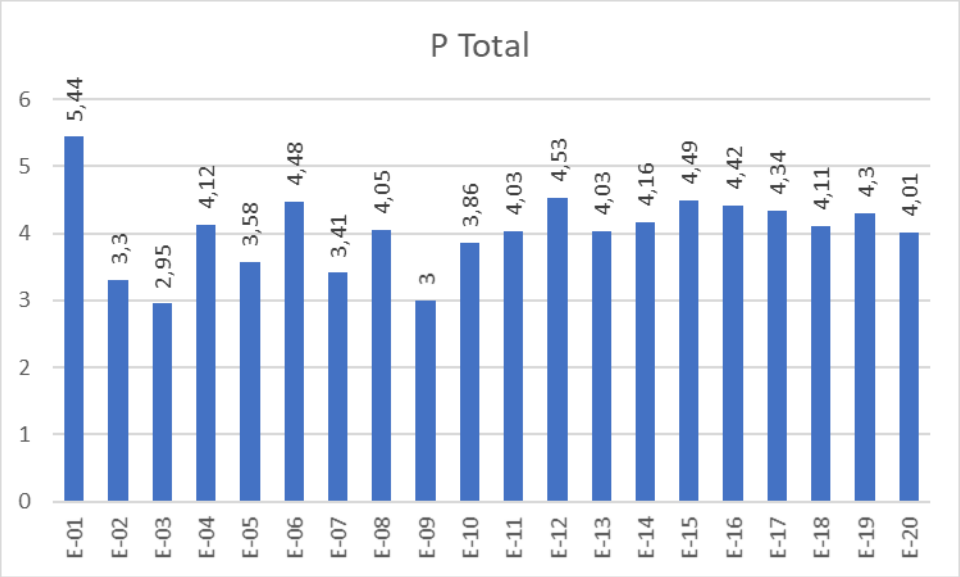

Figura 3–10. Valores de Fósforo (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.11 Coliformes totales (UFC 100 mL)

Los coliformes totales presentaron valores muy homogéneos, en toda la cuenca, entre 4.480 y 5.500 UFC/100 mL. En la subcuenca del Arroyo Grande (estaciones E-01 a E-06), los coliformes totales (CT) presentan un incremento marcado al pasar de 237 UFC/100 mL en la estación E-01 a 875 UFC/100 mL en la estación E-02 debido a la descarga de la PTAR Galapa. Posteriormente, los valores de CT descienden de forma notable en la estación E-03 (181 UFC/100 mL) y alcanzan un mínimo de 81 UFC/100 mL en las estaciones E-04 y E-05, estabilizándose en 105 en el tramo final del arroyo (E-06).

En los afluentes secundarios, el Arroyo Cañas registra valores de CT bajos que van desde 52 UFC/100 mL (estación E-07) hasta 97 UFC/100 mL (estación E-08), mientras que el Arroyo Malvinas (estación E-09) reporta un valor de 143 UFC/100 mL.

A lo largo del cauce principal del Arroyo León (estaciones E-10 a E-20), se observa un nuevo aumento en los CT tras el paso por la EDAR El Pueblo, subiendo de 68 UFC/100 mL en la estación E-10 a 151 UFC/100 mL en la estación E-11. En el trayecto influenciado por los arroyos urbanos del suroccidente de Barranquilla y la confluencia del Arroyo Grande (estaciones E-12 a E-16), los niveles de CT se mantienen estables en un rango aproximado de 122 UFC/100 mL a 148 UFC/100 mL. En la zona de bifurcación, el brazo izquierdo (estación E-17, influenciado por el Lago del Cisne) registra un valor de 168 UFC/100 mL, superior al brazo derecho (estación E-18) que presenta 105 UFC/100 mL. Finalmente, tras recibir la descarga de la PTAR Lagos del Caujaral (estación E-19 con 120 UFC/100 mL), los coliformes totales en la desembocadura del arroyo León en el mar (estación E-20) se sitúan en 104 UFC/100 mL. Al comparar estos niveles de CT con los objetivos de calidad de la Resolución 449 de 2021 de la CRA, es importante destacar que la autoridad ambiental no asignó un límite normativo ni a mediano ni a largo plazo en los objetivos de calidad de la norma de referencia.

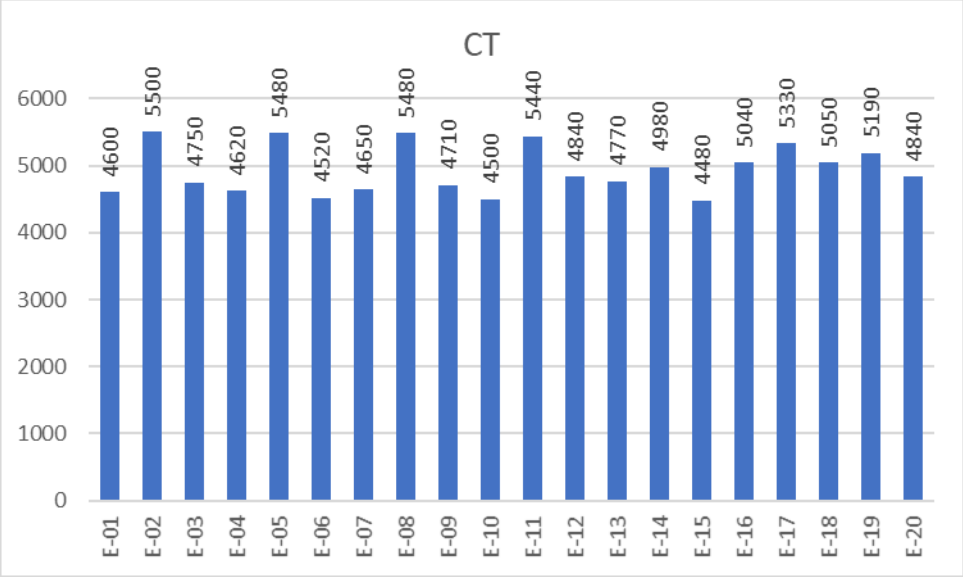

Figura 3–11. Valores de Coliformes totales (UFC / 100 mL) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.12 Coliformes Termotolerantes(UFC 100 mL)

En la subcuenca del Arroyo Grande (estaciones E-01 a E-06), los coliformes termotolerantes (CTT) inician con 4.600 NMP/100 mL en la estación E-01 y aumentan a 5.260 NMP/100 mL en la estación E-02 tras la descarga de la PTAR Galapa. A lo largo del recorrido restante del Arroyo Grande, los CTT se mantienen en concentraciones elevadas que oscilan entre 4.520 y 5.480 NMP/100 mL, incorporando los aportes del Arroyo Malemba.

En los afluentes secundarios, el Arroyo Cañas (estaciones E-07 y E-08) reporta valores de CTT entre 4.650 y 5.200 NMP/100 mL, mientras que el Arroyo Malvinas (estación E-09) registra 4,410 NMP/100 mL. Sobre el cauce principal del Arroyo León (estaciones E-10 a E-20), los CTT aumentan tras el vertimiento de la EDAR El Pueblo, pasando de 4.800 en la estación E-10 a 5.350 NMP/100 mL en la estación E-11. Las descargas pluviales de los barrios del suroccidente de Barranquilla y la incorporación del Arroyo Grande (estaciones E-12 a E-16) mantienen los CTT en un rango constante de entre 4.330 y 5.050 NMP/100 mL.

En la zona de bifurcación, el brazo izquierdo (estación E-17) presenta 4.830 NMP/100 mL y el brazo derecho (estación E-18) muestra 4.630 NMP/100 mL.

Posteriormente, tras la influencia de la PTAR Lagos del Caujaral (estación E-19 con 4.720 NMP/100 mL), el sistema llega a la desembocadura en el mar (estación E-20) con una concentración de 4.550 NMP/100 mL. Al comparar los CTT con la Resolución 449 de 2021 de la CRA, se evidencia que los valores actuales no tienen objetivo de calidad en la categoría de mediano plazo (Clase V), la cual tolera cargas contaminantes altas en cuerpos hídricos intervenidos. Sin embargo, para los Coliformes Termotolerantes (CTT) a mediano plazo, la autoridad ambiental no asignó un límite normativo específico. Mientras que para largo plazo, el objetivo de calidad está establecido bajo la Clase II con un límite permisible de 20.000 UFC/100 mL. Al comparar este estándar con los datos monitoreados, donde se registra un valor máximo de 535, se concluye que todas las estaciones cumplen ampliamente y se encuentran muy por debajo del límite máximo permitido a largo plazo.

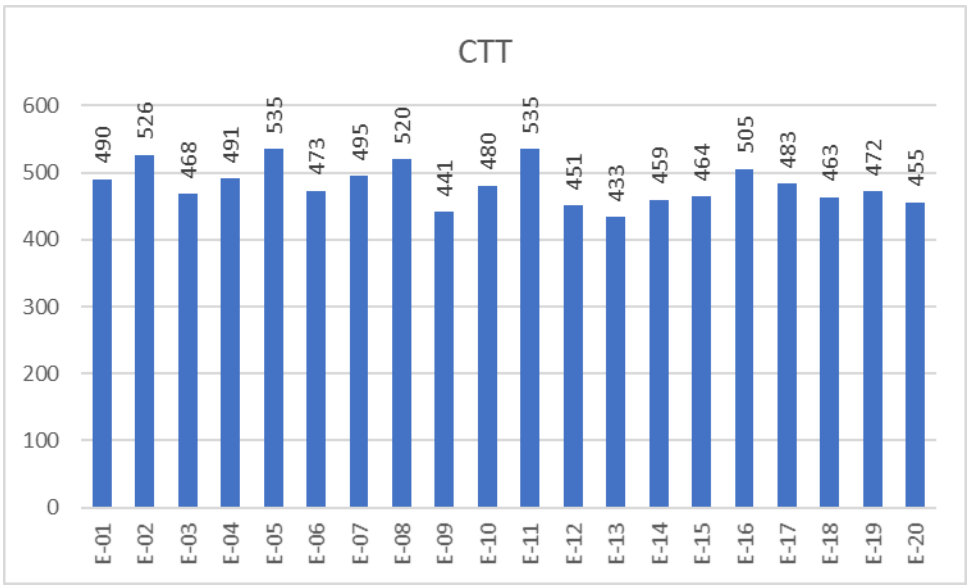

Figura 3–12. Valores de Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente: Elaboración propia

3.13 ICA

Aunque el ICA se puede calcular a partir de seis parámetros básicos, en este caso la autoridad ambiental ha querido ser mucho más precisa, ampliando el espectro de evaluación a once (11) parámetros. En la Tabla 3-1 se presenta el resumen de los resultados de los tramos a los cuales se les calculó el ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA-ICA.

Tabla 3-1. 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 regular.

El gradiente del ICA a lo largo de las 20 estaciones oscila entre un mínimo de 0,27 (E-02, aguas abajo de la PTAR Galapa) y un máximo de 0,47 (E-05 y E-06), lo que permite evidenciar que, de forma homogénea, el 95% de las estaciones se clasifican en la categoría de Mala Calidad (0,26 –

0,50), con una única excepción, la estación E-07 (Aguas arriba arroyo Cañas), catalogada con categoría regular. Un ICA persistentemente inferior a 0,50 durante la época seca —donde no hay escorrentía pluvial que diluya o aporte oxígeno por escorrentía limpia— denota una pérdida de la resiliencia ecosistémica. La biota acuática nativa se encuentra bajo un estrés ambiental crónico debido a que las variables fisicoquímicas agregadas (como el oxígeno y la carga orgánica) superan los umbrales de tolerancia homeostática del ecosistema lótico (Fernández & Solano, 2005).

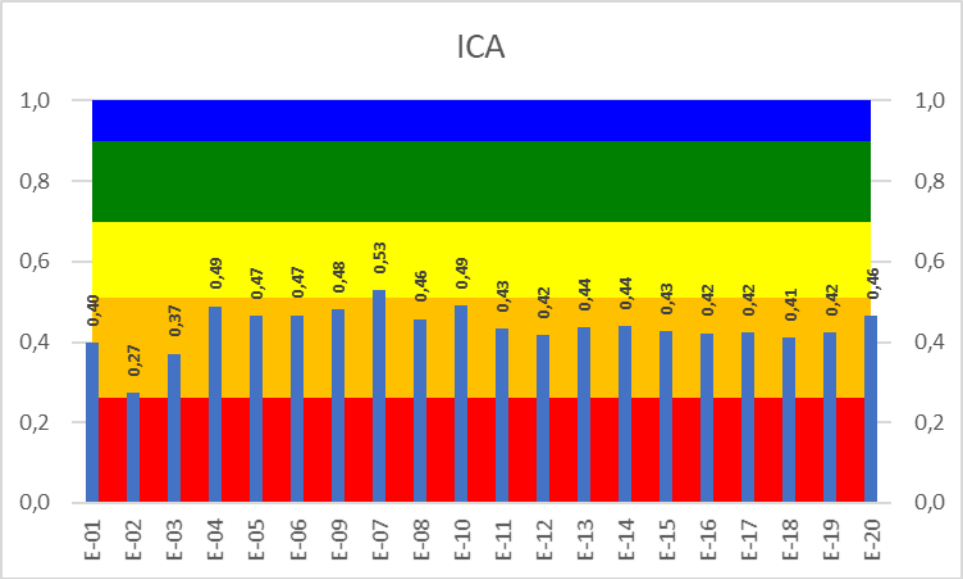

Figura 3–13. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente. Elaboración Propia

3.14 ICOSUS

El comportamiento de este índice es altamente heterogéneo y localizado. En la mayoría de las estaciones urbanas y de confluencia (como E-07, E-08, E-10), el índice es extremadamente bajo (0,01 a 0,09), aproximándose a condiciones basales de ausencia de contaminación por sólidos; sin embargo, se registran dos picos críticos, un máximo absoluto de 1,00 en E-02 (Aguas abajo PTAR Galapa) y un incremento secundario notable en E-18 (Aguas abajo brazo derecho) alcanzando in valor de 0,274. El valor de 1,00 en E-02 evidencia que la PTAR Galapa está descargando lodos suspendidos de manera directa, superando el límite crítico de saturación visual del agua. Ecológicamente, esto genera la colmatación de los hábitats intersticiales en el bentos, obstruyendo los sitios de desove y refugio de macroinvertebrados. Por su parte, el incremento anómalo en el brazo derecho (E-18) respecto al brazo izquierdo (E-17, 0,085) valida técnicamente la presencia de

vertimientos ilegales de escombros o actividades de lavado de arenas o procesos de erosión sobre este tramo del cauce (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

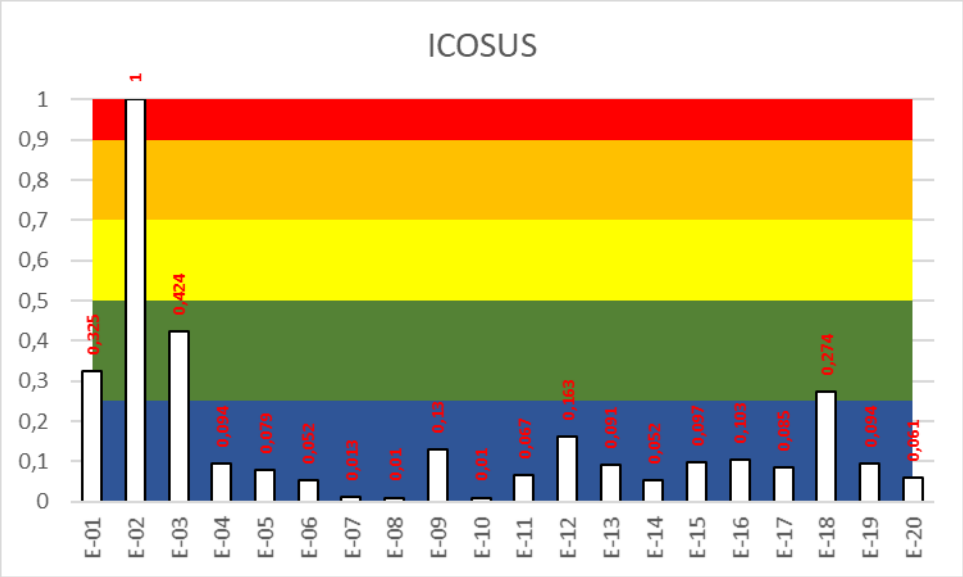

Figura 3–14. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente. Elaboración Propia

3.15 ICOMO

El comportamiento espacial del índice demuestra que éste presenta el perfil más crítico y homogéneo de degradación en toda la cuenca, indicando degradación biológica por descargas domésticas o residuos con alta demanda de oxígeno; lo que demuestra que la cuenca del Arroyo León se comporta hidrológicamente como un reactor anaerobio continuo en flujo lineal durante la época seca (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011). La persistencia de valores superiores a 0,90 en prácticamente el 90% de las estaciones revela que el consumo de oxígeno disuelto por actividad bacteriana heterótrofa es crónico e irreversible bajo el régimen de caudales en la época de estiaje. Las infraestructuras de saneamiento (PTAR Galapa y EDAR El Pueblo) e introducciones difusas urbanas introducen pulsos de carga que anulan cualquier intento de recuperación natural del sistema lótico. La ligera reducción observada en la desembocadura (E-20 = 0,9212) no representa un proceso de saneamiento o autodepuración real del arroyo; técnicamente responde a un fenómeno físico de dilución estuarina causado por la intrusión de la cuña salina marina durante las mareas (Torres, Cruz, & Patiño, 2009). Como conclusión ecológica, el Arroyo León actúa

como un vector crítico que transfiere masivamente pasivos ambientales orgánicos y nutrientes hacia el ecosistema marino-costero receptor, extendiendo el riesgo de anoxia y degradación biológica hacia la interfase litoral.

Valores de ICOMO tan cercanos a uno (1) implican un estado irreversible de anoxia o hipoxia severa en la columna de agua (Ramírez & Viña, 1998). La velocidad de consumo de oxígeno por parte de las bacterias heterótrofas para degradar la carga orgánica supera por completo las tasas de reoxigenación atmosférica durante la época seca. Esto suprime la fauna de peces nativos y restringe la red trófica a organismos adaptados a respiración aérea o pigmentos especializados (como la hemoglobina en larvas de Chironomus). El Arroyo Malvinas (E-09 (aguas arriba del Arroyo Cañas y Hondo)), con un valor de 0,89, es indicador de que las aguas pluviales (ausentes durante la época de muestreo) son interceptadas por posibles descargas ilegales y con un posible afloramiento o nacimiento natural, que mitiga sutilmente el impacto orgánico generalizado de la cuenca.

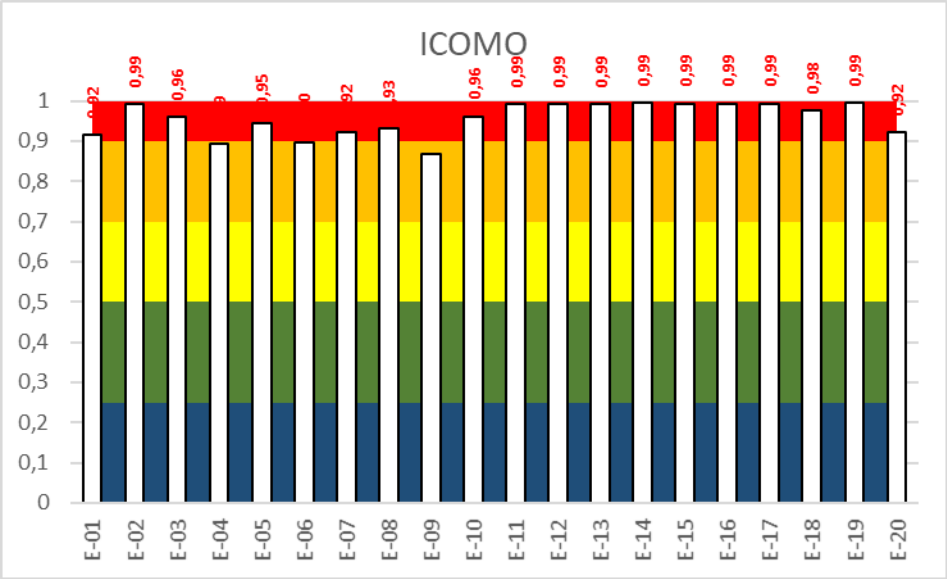

Figura 3–15. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente. Elaboración Propia

3.16 ICOpH

Este índice evalúa las anomalías de acidez o alcalinidad extrema en el cuerpo de agua, demostrando la estabilidad absoluta en las 20 estaciones de monitoreo, con valores que oscilan estrictamente entre 0,00 y 0,02. Dichos valores cercanos a cero denotan que el pH de la cuenca se mantiene en rangos ecológicamente óptimos y neutros (normalmente entre 7,0 y 8,0 unidades de pH).

Esto puede responder a la litología de la cuenca del departamento del Atlántico, rica en depósitos calcáreos y carbonatos que confieren un potente "efecto tampón" o capacidad amortiguadora al agua. Las descargas ácidas o alcalinas puntuales de las industrias son neutralizadas rápidamente por el sistema, impidiendo choques químicos que afecten la permeabilidad celular de la biota acuática (Ramírez & Viña, 1998).

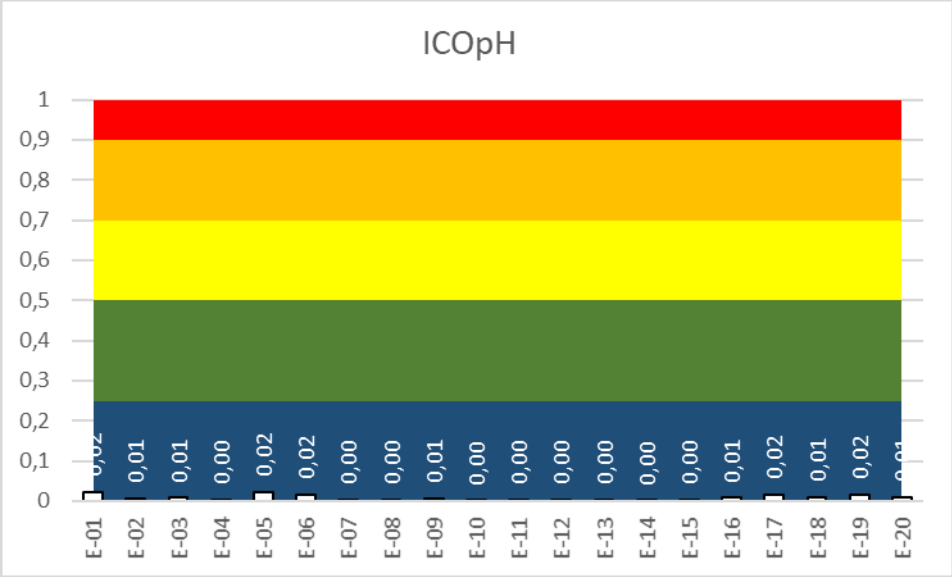

Figura 3–16. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente. Elaboración Propia

3.17 ICOTRO

El ICOTRO en todas las estaciones se encuentran clasificadas bajo la condición cualitativa de Hipereutrofia, con valores varían desde 3,0 (E-14 y E-18) hasta un pico máximo de 5,4 en la estación

E-16. La hipereutrofia generalizada e ininterrumpida en época seca indica un colapso en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes. El sistema se encuentra saturado de fósforo y nitrógeno procedentes en su mayoría de las aguas residuales tratadas (PTAR Galapa y EDAR El Pueblo). El pico de 5,4 en E-16 (Aguas abajo arroyo Grande) se explica porque este punto se localiza inmediatamente aguas abajo de la confluencia del Arroyo Grande sobre el Arroyo León, funcionando como la confluencia de ambas subcuencas. Desde el punto de vista ecológico, esto puede promover el crecimiento desmedido de macrófitas flotantes (como el buchón de agua), así como generar los llamados “blooms” de cianobacterias, las cuales obstruyen el paso de luz y aceleran la degradación del lecho, al morir y descomponerse (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).



Figura 3–17. Valores de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo evaluadas.
Fuente. Elaboración Propia

Al integrar el comportamiento de los cinco índices descritos anteriormente, bajo el escenario hidroclimatológico de época seca, se concluye que la cuenca del Arroyo León no funciona actualmente como un ecosistema lótico natural, sino como un canal abierto de conducción y estabilización anaerobia de aguas residuales urbanas.

Mientras el sistema posee una excelente protección geoquímica contra la contaminación química industrial por pH (gracias a la neutralidad indicada por el ICOpH), sufre un colapso ecológico casi absoluto por vectores orgánicos y de nutrientes. Las plantas de tratamiento (PTAR Galapa y EDAR

El Pueblo), a pesar de remover carga inicial, aportan caudales efluentes que durante el estiaje los arroyos de la cuenca no pueden asimilar, lo que eleva el ICOMO a niveles máximos y revela la hipereutrofia generalizada del sistema. La dinámica de la bifurcación terminal demuestra que el E-17 (Aguas abajo brazo izquierdo) realiza un arrastre pasivo ambiental orgánico del Lago El Cisne, mientras el brazo derecho (E-18) revela una zona de vertimientos de sólidos (por erosión o lavado de lodos). Finalmente, al llegar a la desembocadura (E-20), los ligeros descensos en los índices no significan una recuperación real de la cuenca, sino que son el efecto físico de la dilución estuarina, lo cual es provocado por la intrusión de la cuña salina del mar Caribe. El arroyo, por lo tanto, transfiere su carga eutrófica y orgánica residual directamente al ecosistema costero receptor, extendiendo el impacto ambiental fuera de los límites de la cuenca continental (Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, 2020) y (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

4 Bibliografía

Alcaldía de Barranquilla. (26 de 04 de 2021). *La trampa del arroyo León: la salvaguarda de la ciénaga de Mallorquín.* Obtenido de https://barranquilla.gov.co/adi/trampa-arroyo-leon-salvaguarda-cienaga-mallorquin

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.

Cáceres, Y., Arrieta Ruiz, J. C., & Salazar Barrios, J. E. (2018). Elementos fisicoquímicos contaminantes presentes en el arroyo Cañafístula del municipio de Polonuevo, Atlántico. *Nodo, 12*(24), 60-73.

Corporación autónoma del Atlántico - CRA. (21 de Septiembre de 2021). Resolución 499 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*.

Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. (2020). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) de los arroyos directos al Bajo Magdalena y Mar Caribe. Informe técnico de calidad.* Barranquilla, Colombia.

Decreto 1553 de 2024. (23 de 12 de (2024). *Por el cual se sustituye el Capítulo 7 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015... en lo relacionado con la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales.* Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Endémico. (18 de 06 de 2020). *Endémico ciencia*. Obtenido de Cascadas, un ecosistema en movimiento: https://endemico.org/cascadas-ecosistema-movimiento/

Fernández, N., & Solano, F. (2005). *Índices de calidad y de contaminación del agua. Pamplona, Colombia.* Pamplona: Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura.

Fornier, A. (12 de 03 de 2026). *Volcano active foundation*. Obtenido de LLUVIA ÁCIDA Y BIODIVERSIDAD: https://volcanofoundation.org/es/acid-rain-biodiversity/#:~:text=pH%20de%205%2C6

Guzmán Tordecilla, M. D., Elles-Pérez, C. J., Ramos De la Hoz, Y., & Castillo Ramírez, M. (2025). Calidad ambiental y contaminantes emergentes: una mirada hacia la ciénaga de Mallorquín y Arroyo León. *Educosta*.

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

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1.00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia.*

MADS. (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. Diario Oficial No. 49523.

MADS. (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*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MADS. (18 de 05 de 2018). Resolución 0883 de 2018. Diario Oficial No. 50.603. *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones*. 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.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2024). Diagnóstico de la Comisión Técnica sobre la Ciénaga de Mallorquín: 21 hallazgos sobre la situación ecosistémica, jurídica y territorial. Informe Técnico. Bogotá., Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (01 de 07 de 2026). *Promedio de Nitrógeno Total (PNT)*. Obtenido de Hoja metodológica versión 1,2: https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_NT.pdf

Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.* Santa Fe de Bogotá: Univ. Jorge Tadeo Lozano.

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8*(15), 79-84.

Universidad Autónoma del Caribe. (2012). Análisis de la problemática ambiental y territorial de la subcuenca del arroyo León-Hondo. *Revista Arte & Diseño, 245*.

www.waterboards.ca.gov. (01 de 07 de 2026). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad*. Obtenido de Foletto Informativo 3.1.3.0: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf