

INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES: ESTRATEGIA DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO TILLAVÁ – DEPARTAMENTO DEL META

*Aplicación de la Fase IV: análisis de
información (2020 – 2025)*

DICIEMBRE *2025*

Irene Vélez Torres
Directora General

Jorge Alberto Sanabria Morales
**Subdirector Instrumentos
Permisos y Trámites Ambientales**

Oscar Alexander Varila Quiroga
Coordinador
Grupo de Regionalización
y Centro de Monitoreo

Yuli Carolina Velandia Roncancio
Líder de
Implementación Regional

Luisa Nathalie Hernández Calderón
Profesional
Componente Hídrico Superficial



Contenido

GLOSARIO	4
INTRODUCCIÓN	5
1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	7
1.1 Condición de Lugar	8
1.2 Condición de Tiempo	10
1.3 Condición de Modo	10
2 ANÁLISIS REGIONAL DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL	11
2.1 Información Analizada	11
2.2 Resultados	12
2.2.1 Condiciones hidrometeorológicas observadas	12
2.2.2 Cuerpos de agua objeto de análisis	13
2.2.3 Objetivos de calidad definidos en los cuerpos de agua objeto de análisis	14
2.2.4 Resultados estadísticos y tendencia de parámetros de calidad de agua por cuerpo de agua	15
2.2.5 Análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio	29
3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
3.1 CONCLUSIONES	35
3.2 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA	37
3.3 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL PARA EXTERNOS (SI APLICA)	39
4 BIBLIOGRAFÍA	39
5 ANEXOS	39
5.1 Anexo 1	39





GLOSARIO

ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORMACARENA	Corporación Para El Desarrollo Sostenible Del Área De Manejo Especial La Macarena
CT	Coliformes Totales
Cu	Cobre
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EIAc	Evaluación de Impactos Acumulativos
ICA	Informe de Cumplimiento Ambiental
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
MAG	Modelo de Almacenamiento Geográfico
Ni	Níquel
OD	Oxígeno Disuelto
ORFEO	Sistema de Gestión Documental
P	Fósforo
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrógeno
POMCA	Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
PORH	Plan de Ordenamiento de las fuentes hídricas superficiales
Portal	Portal de Recepción de Información
SILA	Sistema de información de Licencias Ambientales
SIPTA	Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
VITAL	Ventanilla Integral de Trámites Ambientales en Línea





INTRODUCCIÓN

La estrategia de monitoreo regional del componente hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá – Departamento del Meta, establece la estandarización de los parámetros, frecuencias y lugares para el monitoreo regional de calidad del recurso hídrico superficial. Dicha estandarización permite reconocer, mediante el análisis espacio-temporal sistemático de los resultados de monitoreo, los factores de alteración que se puedan presentar en el componente hídrico superficial, asociados a las actividades del sector de hidrocarburos que se desarrollan en el Departamento del Meta, esto ofrece a la Autoridad Ambiental un sustento técnico esencial para determinar si existe o no la acumulación de impactos sobre el recurso hídrico superficial en la región y la eventual necesidad de imponer nuevas restricciones ambientales que se consideren pertinentes a los proyectos de competencia de la ANLA.

Las estrategias de monitoreo son una línea de acción de la Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales (SIPTA) desarrollada por el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo, que busca optimizar el seguimiento de los proyectos objeto de licenciamiento ambiental y el proceso de Evaluación de Impactos Acumulativos EIAc, a través del fortalecimiento del monitoreo regional y brinda información de las condiciones ambientales de una región estratégicamente seleccionada, en este caso particular, la cuenca del río Tillavá – Departamento del Meta.

Las estrategias de monitoreo son desarrolladas a partir de cuatro Fases:

- Fase I: Selección de proyectos y se formulan las condiciones de tiempo, modo y/o lugar en la región seleccionada.
- Fase II: Participación en los proyectos seleccionados e implementación de la estrategia.
- Fase III: Adopción de los requerimientos de la estrategia
- Fase IV: Remisión datos periódicos del monitoreo.

En el departamento del Meta, la ANLA identificó que la cuenca del río Tillavá, nivel subsiguiente de la subzona hidrográfica del Ato Vichada, constituye un área en la cual se requiere fortalecer el monitoreo del recurso hídrico dado el gran potencial hidrocarburífero del territorio, esto con base en el número de proyectos (40 proyectos) que se desarrollan por parte de dicho sector.

La priorización de la cuenca del río Tillavá por ambas autoridades ambientales (Corporación Para El Desarrollo Sostenible Del Área De Manejo Especial La Macarena-CORMACARENA y la Autoridad Nacional De Licencias Ambientales ANLA) fue el hito para el despliegue de múltiples diagnósticos ambientales por parte de la ANLA en la región, de los cuales se destacan el Documento técnico de formulación de la Estrategia de





monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá elaborado en 2018, la Estrategia de monitoreo del recurso hídrico subterráneo en 2019 y el Reporte de Alertas de las subzonas hidrográficas del Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco publicado en marzo de 2020.

Este documento presenta el análisis de los datos presentados por los cinco (5) proyectos: LAM0019, LAM4795, LAM5995, LAM5506 y LAM5281, que, dada su complejidad, uso y aprovechamiento de recurso hídrico superficial, fueron priorizados para la configuración de una red de monitoreo del componente hídrico superficial, incluyendo los monitoreos realizados en los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 con fecha de corte documental del 30 de junio de 2025.

En el presente documento se muestra la comparación de los resultados de los monitoreos en las fuentes hídricas superficiales de interés frente a los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental regional (CORMACARENA). Sin embargo, esta comparación se realiza con el fin de generar alertas respecto al estado del recurso y no implica necesariamente una violación a límites máximos permisibles asociados a vertimientos u a otra obligación establecida dentro de la licencia ambiental. La verificación de límites máximos de vertimientos se lleva a cabo en detalle en el marco del seguimiento de cada uno de los expedientes asociados a las estrategias de monitoreo regional, por lo tanto, lo que se presenta en este documento son recomendaciones que deben ser verificadas y validadas en el seguimiento con los soportes respectivos.

Sin embargo, en el marco jurídico y ambiental de la Cuenca del Río Tillavá del departamento del Meta, es pertinente mencionar los procesos sancionatorios vigentes en los expedientes objeto de análisis en el presente documento que han sido ejecutadas por la ANLA en el marco de sus competencias, específicamente en cuanto al componente hídrico superficial.

Los procesos sancionatorios corresponden a actuaciones administrativas adelantadas por la autoridad ambiental, orientadas a investigar y, de ser el caso, sancionar presuntos incumplimientos a la normatividad ambiental vigente. Para el área regionalizada se registran nueve (9) procesos sancionatorios, en donde los hechos motivantes se relacionan con la presunta afectación del recurso hídrico superficial y su posible relación con las actividades de hidrocarburos desarrolladas en el territorio.

Es pertinente precisar que lo antes mencionado podrá ser consultado en el Anexo 1. del presente documento.



Como ya se ha mencionado, esta estrategia se focaliza en los proyectos del sector de hidrocarburos ubicados en la cuenca del río Tillavá del departamento del Meta, como se muestra a continuación:

LOCALIZACIÓN GENERAL

Convenciones

- Cuenca Río Tiliwe
- Drenaje Doble
- Banco de Arena

Fuente: ANLA, 2025.

A continuación, se presentan los expedientes que hacen parte de la estrategia, así como la localización, parámetros y demás condiciones de la estrategia de monitoreo regional de la cuenca del río Tillavá que ha sido implementada para los proyectos del sector hidrocarburos.



Tabla 1. Expedientes asociados con la estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial

EXPEDIENTE	NOMBRE PROYECTO	TITULAR LICENCIA AMB.	RESOLUCIÓN (1)	RESOLUCIÓN (2)
LAM0019	Desarrollo del Campo de Petróleo Crudo Pesado Rubiales	Ecopetrol S.A.	Resolución 1076 del 17/06/2019	Resolución 1820 del 11/11/2019.
LAM4795	Área de Explotación de Hidrocarburos Quifa	Frontera Energy	Resolución 1077 del 17/06/2019	Resolución 1885 del 25/08/2023
LAM5995	Campo Mago	Ecopetrol S.A.	Resolución 1080 del 17/06/2019	Resolución 1760 del 04/11/2019.
LAM5506	Explotación de Hidrocarburos Bloque CPE-6	Frontera Energy	Resolución 1079 del 17/06/2019	Resolución 958 del 24/05/2024
LAM5281	Perforación Exploratoria Bloque CPO-13	Tecpetrol	Resolución 1078 del 17/06/2019	

(1) Impone obligación de realizar un diagnóstico y proponer una red de monitoreo regional; (2) Resuelve recurso de reposición y/o aclara obligaciones.

Fuente: ANLA, 2025.

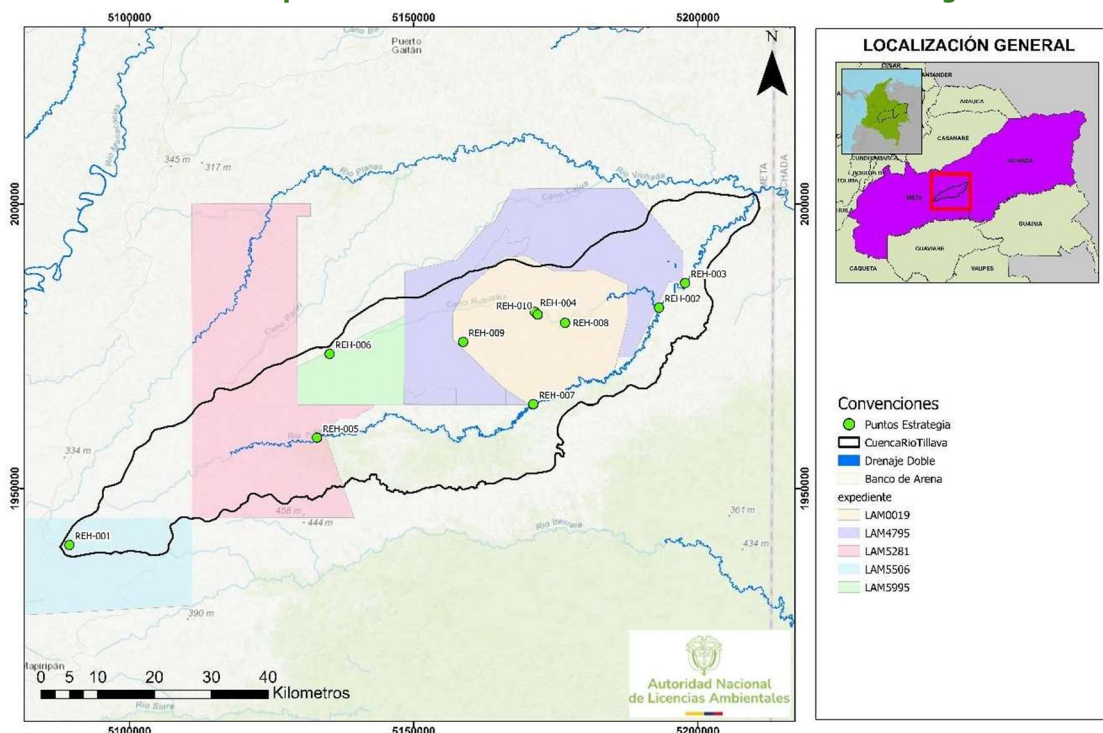
1.1 Condición de Lugar

De acuerdo con la formulación de la Estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá, el aprovechamiento del recurso autorizado por la ANLA en la cuenca se concentra sobre el cauce principal del río Tillavá, el caño Rubiales como principal tributario del río Tillavá, y el caño Masiferiana, tributario del caño Rubiales, razón por la que tanto la estrategia de monitoreo como el análisis se centra en estos 3 cuerpos de agua.

A continuación, se presenta la espacialización de los puntos de monitoreo asociados a la estrategia de monitoreo regional.



Figura 2 Localización de los puntos que conforman la estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá– condición de lugar



Fuente: ANLA, 2025.

Así mismo, a continuación, se relacionan los puntos seleccionados para la estrategia regional.

Tabla 2. Puntos que conforman la estrategia de monitoreo – condición de lugar

CÓDIGO ACTO AD.	FUENTE HÍDRICA	SCR MAGNA-SIRGAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL		EXPEDIENTE
		ESTE	NORTE	
REH-001	Río Tillavá	5089432,00	1940059,00	LAM5506
REH-005	Río Tillavá	5133005,00	1958931,00	LAM5281
REH-007	Río Tillavá	5171059,00	1964828,00	LAM4795
REH-003	Río Tillavá	5197759,00	1986139,00	LAM4795
REH-006	Caño Rubiales	5135223,00	1973663,00	LAM5995
REH-004	Caño Rubiales	5171311,00	1981061,00	LAM0019
REH-008	Caño Rubiales	5176623,549	1979127,240	LAM0019
REH-002	Caño Rubiales	5193179,00	1981807,00	LAM0019
REH-009	Caño Masiferiana	5158707,00	1975783,00	LAM0019
REH-010	Caño Masiferiana	5171834,00	1980581,00	LAM0019

Fuente: ANLA 2025.



1.2 Condición de Tiempo

Dadas las características del régimen hidrológico en Departamento del Meta, se estableció una frecuencia de monitoreo semestral, los dos periodos en los cuales debe realizarse el monitoreo son **febrero** (época de estiaje) para la caracterización de las condiciones climáticas secas y de **junio** para la caracterización de las condiciones climáticas húmedas.

Tabla 3. Periodicidad de los monitoreos de la estrategia de monitoreo – condición de tiempo

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC

	Monitoreo en época seca
	Monitoreo en época de lluvia

Fuente: ANLA, 2025.

Adicionalmente, se ha establecido que la entrega de información se realizará como máximo tres (3) meses posteriores a la fecha de monitoreo.

1.3 Condición de Modo

En la formulación de la estrategia de monitoreo se definieron parámetros necesarios para monitorear, en los grupos que se indican a continuación:

Tabla 4. Parámetros de monitoreo para cuerpos receptores de vertimiento – condición de modo

Tipo de parámetro	Parámetro
Generales	Caudal, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, DBO5 (última, disuelta y particulada), DQO (disuelta y particulada), Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, turbiedad, grasas y aceites*.
Hidrocarburos	Hidrocarburos Totales
Compuestos de fósforo	Fósforo, ortofosfatos.
Compuestos de Nitrógeno	nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total.
Metales y metaloides	Bario, cadmio, plomo, hierro, mercurio.
Microbiológicos:	Coliformes Totales.
Hidrobiológicos:	plancton, bentos, macrófitas acuáticas*.
Iones:	Sulfatos, sulfuros y cloruros

*Nota: La DBO5 en su forma última, disuelta y particulada y la DQO en su forma disuelta y particulada, así como el grupo de hidrobiológicos, no fueron analizados en este informe.

Fuente: ANLA, 2025.



2 ANÁLISIS REGIONAL DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

2.1 Información Analizada

La información considerada en el análisis de calidad de agua del presente informe corresponde a la implementada en el informe denominado “Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá – departamento del Meta Aplicación Fase IV – análisis de datos” publicado por la ANLA en 2024 junto con la recopilada para el periodo 2024 de los cinco (5) expedientes asociados en la estrategia (ver Tabla 1). A continuación, en la Tabla 5 se relaciona la información por expediente (junto con su respectivo radicado) que ha sido incorporada para el análisis del presente informe.

Tabla 5 Disponibilidad de información en cada expediente para el presente informe

EXPEDIENTE	RADICADO	FECHA RADICADO	FUENTE
LAM0019	20256200748452	27-jun-25	ICA
LAM4795	20246200993392	30-ago-24	ICA
LAM5281	20246200992722	30-ago-24	ICA
LAM5506	20246201130692	30-sep-24	ICA
LAM5995	20246201120062	27-sep-24	ORFEO

Fuente: ANLA, 2025.

Asimismo, en la Tabla 6 se presenta información relevante de los puntos de monitoreo considerados para cada uno de los cuerpos de agua analizados en el presente informe:

Tabla 6. Descripción de los tramos / cuerpos de agua objeto de análisis y la información disponible en cada uno

Tramo / cuerpo de agua	Periodo	Total de Puntos por cuerpo de agua	Total de datos por cuerpo de agua*
Caño Masisiferiana	2020 - 2024	2	328
Caño Rubiales	2020 – 2024	4	838
Río Tillavá	2020 - 2024	4	669

Fuente: ANLA, 2025.



2.2 Resultados

2.2.1 Condiciones hidrometeorológicas observadas

La cuenca hidrográfica del río Tillavá se encuentra localizada al suroriente del departamento del Meta, sobre la Altillanura colombiana, en la parte más alta de la cuenca del río Vichada (subzona hidrográfica del Alto Vichada).

Con relación al régimen hidrológico, se realizó una identificación de las estaciones más cercanas a la cuenca del río Tillavá, a partir de las cuales se tomó la información así:

Estación	Código	Categoría	Fecha inicio	Fecha fin
PUEBLO NUEVO	32150040	Pluviométrica	01/01/2023	01/05/2025
OROCUE	35220030	Pluviográfica	01/01/2023	01/05/2025
PUERTO TEXAS	35180050	Pluviométrica	01/01/2023	01/03/2025
CUMARIBO	33055010	Climática ordinaria	01/01/2023	01/07/2025
LA ESPERANZA*	3515000110	Pluviométrica	01/07/2024	01/12/2024
PUERTO GAITAN	35120010	Pluviométrica	01/01/2023	01/06/2025

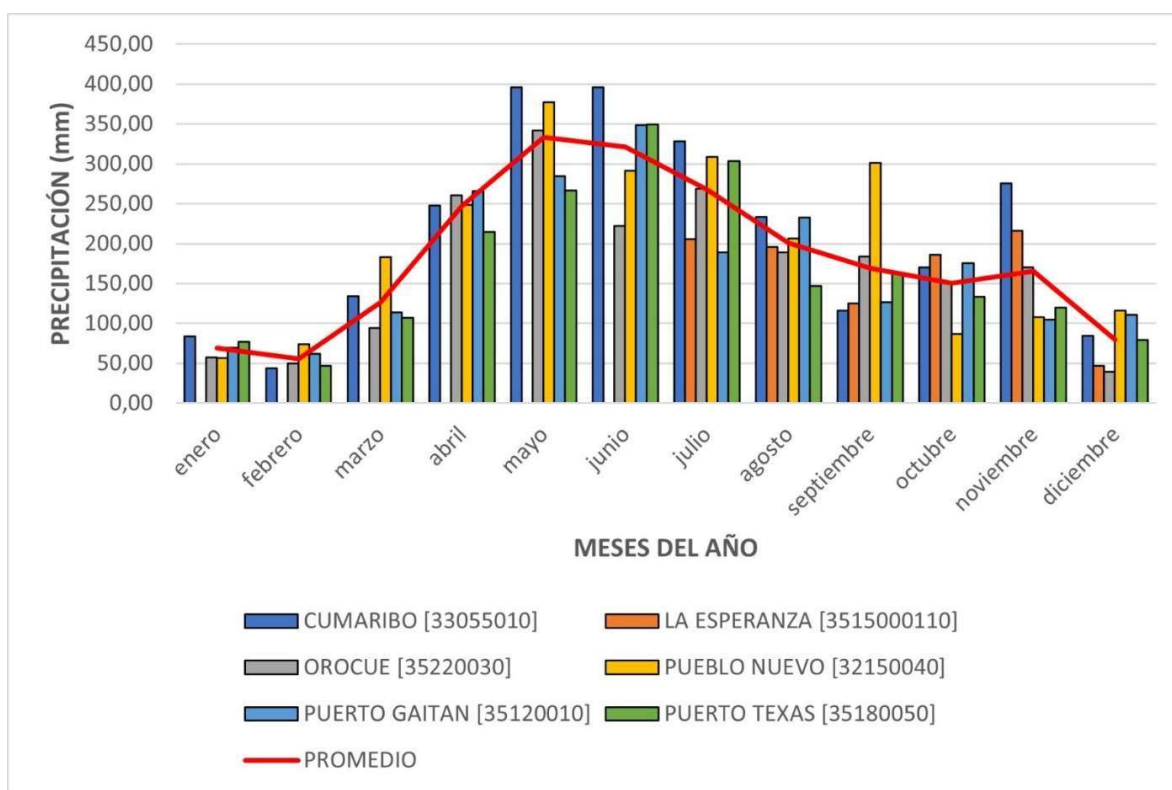
*Se toman los datos de esta estación, aun cuando el periodo es menor respecto a las otras, considerando su cercanía e influencia en la cuenca del río Tillavá.

Fuente: DHIME IDEAM, 2025. Adaptado por ANLA, 2025.

A partir de la información de las estaciones antes relacionadas, se evidencia un régimen de precipitaciones monomodal, presentando que el periodo de altas precipitaciones se registra entre **mayo y julio** y el periodo de bajas precipitaciones entre **diciembre y febrero**, como se muestra a continuación:



Figura 3. Variación temporal de la precipitación media mensual del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

Lo anterior, coincide con el régimen de precipitaciones identificado en el diagnóstico de formulación del Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas- POMCA del río Tillavá dentro del Área Hidrográfica Orinoco en ausencia instrumentación de la Red Básica Nacional. El cual fue utilizado como insumo en el informe denominado "Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá – departamento del Meta Aplicación Fase IV – análisis de datos" publicado por la ANLA en 2024 (específicamente Figura 3. Variación temporal de la precipitación media mensual del río Tillavá).

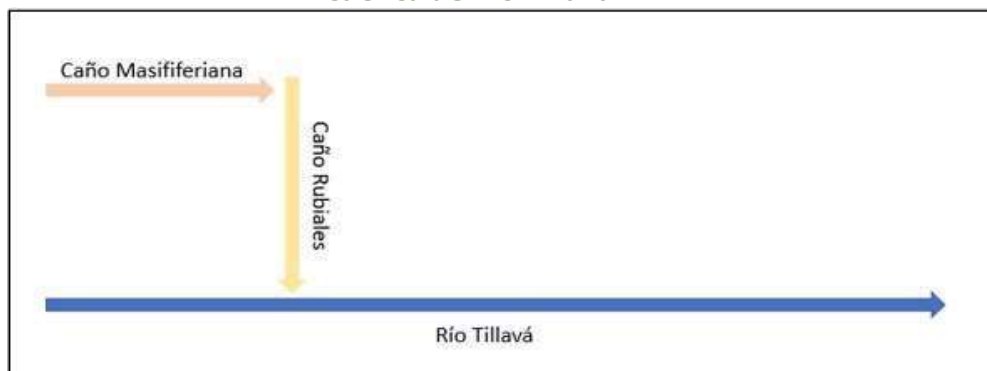
2.2.2 Cuerpos de agua objeto de análisis

A continuación, en la Figura 4 se presenta la espacialización de los drenajes definidos para el análisis regional de calidad del agua en la cuenca del río Tillavá junto con los puntos de monitoreo reportados por los cinco expedientes relacionados con la estrategia de monitoreo (ver Tabla 1).

Con el fin de analizar la dinámica del río Tillavá y los afluentes seleccionados, se definieron tres (3) tramos representados en la Figura 4. Es de indicar que, la selección de dichos tramos se realizó considerando la distribución de los puntos de monitoreo que se mostraron

previamente y las conexiones hidráulicas entre las diferentes corrientes.

Figura 4. Modelo conceptual definido para el análisis regional de calidad del agua en la cuenca del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

2.2.3 Objetivos de calidad definidos en los cuerpos de agua objeto de análisis

Mediante Resolución No. PS-GJ 1.2.6.16.0912 del 26 de julio de 2016, CORMACARENA estableció el Plan de Ordenamiento de las fuentes hídricas superficiales – PORH del río Tillavá, caño Rubiales y caño Masififeriana o Masififeriano, y sus objetivos de calidad, lo cual se muestra a continuación:

Tabla 7. Límites establecidos en los objetivos de calidad por CORMACARENA

CRITERIO DE CALIDAD	Río Tillavá tramo 1	Río Tillavá tramo 2	Caño Rubiales tramo 1	Caño Rubiales tramo 2	Caño Masififeriana tramo 1	Caño Masififeriana tramo 2
DBO5 (mg/l)	5	15	5	20	5	20
DQO (mg/l)	7	20	7	20	7	20
pH (unidades de pH)	4,5-9,0	6,5-9,0	4,5-9,0	4,5-9,0	4,5-9,0	4,5-9,0
Oxígeno disuelto (mg/l)	4	4	4	4	4	4
Coliformes fecales (NMP/100ml)	---	5000	---	5000	---	5000
Conductividad (ms/cm)	200	750	200	750	200	750
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	0,0025	---	0,0025	5	0,0025	5
Grasas y aceites (mg/l)	ND	10	ND	ND	ND	ND
SST (mg/l)	25	---	25	---	25	---
Fenoles (mg/l)	0,002	0,002	0,002	---	0,002	---
BMWP-col (-)	100	---	100	---	100	---
RAS (fracción)	---	10	---	10	---	10
Material flotante (-)	A	A	A	A	A	A
Materiales sedimentables (-)	A	---	A	---	A	---

Fuente: CORMACARENA, 2016 - Resolución No. PS-GJ 1.2.6.16.0912 del 26 de julio de 2016.



Los resultados obtenidos de los monitoreos se compararon, en primer lugar, con los objetivos de calidad establecidos mediante Resolución No. PS-GJ 1.2.6.16.0912 del 26 de julio de 2016, CORMACARENA, para el Río Tillavá, Caño Rubiales y caño Masififeriana. Adicionalmente, en algunos casos se mencionan criterios de calidad indicados en literatura técnica.

2.2.4 Resultados estadísticos y tendencia de parámetros de calidad de agua por cuerpo de agua

A continuación, se analizan de manera general los resultados de los parámetros definidos en la estrategia que presentan valores mayores al límite de detección, obteniendo su valor medio, mínimo, máximo y la desviación estándar, se compara con el objetivo de calidad y en **rojo** se resaltan los resultados en los cuales no se cumplió con el objetivo. Se realiza un análisis espacial y temporal de los resultados de parámetros en los cuales se presentó incumplimiento del criterio de calidad.

2.2.4.1 Río Tillavá

El cauce principal de la cuenca del río Tillavá cuenta con cuatro (4) puntos de la red de monitoreo del recurso hídrico superficial:

- Uno en su parte más alta: el punto denominado REH-001 cuyos datos de monitoreo son reportados por el expediente LAM5506.
- Dos puntos antes de la confluencia con el caño Rubiales: los puntos denominados REH-005 y REH-007, cuyos datos de monitoreo son reportados por el expediente LAM5281 y LAM4795, respectivamente.
- Uno posterior a la confluencia del caño Rubiales: el punto denominado REH-003, cuyos datos de monitoreo son reportados por el expediente LAM4795.

Con relación al punto REH-001, se cuenta con información limitada (información de una campaña de monitoreo del segundo semestre de 2021 y del segundo semestre de 2024), el cumplimiento específico de las obligaciones de monitoreo deberá ser objeto de revisión y análisis particular en el marco del seguimiento del expediente LAM5506 (expediente que reporta información de este punto de monitoreo).

Adicionalmente, con excepción del punto más aguas arriba (REH-001), los puntos de monitoreo de la red localizados sobre el río Tillavá, pertenecen al tramo No. 2 reglamentado por el PORH. A continuación, se analizan de manera general los resultados de los parámetros que cuentan con objetivos de calidad definidos por la Autoridad Ambiental Regional CORMACARENA, obteniendo su valor medio, la desviación estándar, la mínima y máxima, se





compara con el objetivo de calidad y en rojo se señalan los resultados en los cuales no se cumplió con el objetivo.

Tabla 8. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad del río Tillavá

Parámetro	No Datos	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Objetivo de calidad
Bario en mg/L	27	0,471	0,958	0,050	5,000	-
Cadmio en mg/L	27	0,012	0,025	0,003	0,100	-
Cloruros en mg/L	27	6,015	2,075	1,100	8,000	-
Coliformes Totales en NMP/100ml	27	3753,611	14154,219	1,000	75560,000	-
Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$	27	91,494	132,423	4,900	470,000	750
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	27	8,339	7,220	2,000	35,100	15
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	27	32,181	9,140	17,200	70,100	20
Fósforo Total en mg/L	27	0,077	0,069	0,020	0,270	-
Grasas y Aceites en mg/L*	27	-	-	-	-	10
Hidrocarburos Totales en mg/L*	27	-	-	-	-	-
Hierro en mg/L	27	2,629	4,767	0,050	26,194	
Mercurio en mg/L	27	0,001	0,000	0,001	0,002	
Nitratos en mg/L	27	0,760	0,528	0,100	3,000	
Nitritos en mg/L	27	0,011	0,007	0,003	0,030	
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	27	-	-	-	-	ND
Nitrógeno Total en mg/L	27	0,907	1,193	0,500	5,000	
Ortofosfatos en mg/L	26	0,161	0,276	0,020	0,920	
Oxígeno Disuelto en mg/L	25	5,672	1,378	3,390	7,800	>4
Plomo en mg/L*	27	-	-	-	-	
Sulfatos en mg/L	27	7,912	4,055	0,800	17,570	
Sólidos sedimentables en mg/L	24	0,233	0,378	0,100	1,700	
Sólidos suspendidos totales en mg/L	27	27,974	18,810	5,000	89,000	25
Temperatura en $^{\circ}\text{C}$	27	27,965	1,480	24,600	30,600	
Turbidez en NTU	27	21,648	27,268	0,590	117,000	
Valor de pH	27	6,481	1,475	5,260	8,740	6,5 - 9,0

* Hace referencia a registros que estuvieron debajo del límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio, el cual es inferior al límite normativo (en los casos en que existe la restricción normativa), por ende, hubo cumplimiento de los mismos.

Fuente: ANLA, 2025.





Análisis general

El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua del río Tillavá revela que, si bien varios parámetros se encuentran dentro de los objetivos de calidad establecidos, otros presentan excedencias que, podrían incidir en la integridad ecológica del ecosistema. Parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO), con un valor promedio de 32,181 mg/L y máximo de 70,100 mg/L (valor reportado por el expediente LAM4795, en el punto REH-003 en el primer semestre de 2021), superan el objetivo de calidad de 20 mg/L, lo que sugiere una elevada presencia de materia orgánica o compuestos químicos oxidables en el agua, condición que puede reducir el oxígeno disponible para la biota acuática (Tchobanoglous et al., 2003).

De manera similar, los sólidos suspendidos totales presentan un valor promedio de 27,974 mg/L y un máximo de 89 mg/L (valor reportado por el expediente LAM5281, en el punto REH-005 en el segundo semestre de 2024), superando el umbral establecido (25 mg/L), situación que puede generar efectos negativos sobre organismos bentónicos y peces al reducir la penetración de luz, alterar procesos fotosintéticos y generar condiciones de turbidez persistente (Allan & Castillo, 2007).

Se identifica además un valor máximo de hierro de 26,194 mg/L (valor reportado por el expediente LAM4795, en el punto REH-007 en el primer semestre de 2020), que excede ampliamente el límite guía comúnmente utilizado para protección de vida acuática (5 mg/L), lo cual podría implicar procesos de precipitación y acumulación de óxidos de hierro en el lecho, afectando el hábitat y las condiciones redox del sistema (CCME, 1999).

En cuanto al pH, si bien el promedio (6,481) se mantiene cerca del rango aceptable (6,5 – 9,0), el valor mínimo registrado (5,260) representa un incumplimiento y una posible condición de acidez puntual que puede incrementar la solubilidad y toxicidad de metales, además de alterar la fisiología de organismos sensibles (Chapman, 1996).

En parámetros sin objetivo de calidad definido, pero relevantes ecológicamente, se destacan el fósforo total (promedio de 0,077 mg/L) y ortofosfatos (0,161 mg/L), cuyos valores superan los umbrales recomendados para evitar eutrofización (<0,02 mg/L y <0,014 mg/L respectivamente, según Roldán & Ramírez, 2008 y USEPA, 1987), evidenciando una condición de enriquecimiento trófico en el sistema. Esta situación se ve reforzada por los valores de nitratos (0,760 mg/L promedio) y nitrógeno total (0,907 mg/L) que, también exceden los niveles asociados a eutrofia (>0,1 mg/L según Vollenweider, 1968), favoreciendo la proliferación de algas y el posible agotamiento de oxígeno disuelto en ciertos periodos del año.

En este sentido, aunque el oxígeno disuelto presenta un valor promedio de 5,67 mg/L (en cumplimiento del objetivo >4 mg/L), se registran valores mínimos de 3,390 mg/L (valor reportado por el expediente LAM4795, en el punto REH-003 en el primer semestre de 2021), lo cual puede ser crítico para organismos con alta demanda de oxígeno. Por su parte, los





coliformes totales presentan un promedio de 3.753 NMP/100 mL y un máximo de 75.560 NMP/100 mL (valor reportado por el expediente LAM5281, en el punto REH-005 en el segundo semestre de 2023), lo que sugiere una clara contaminación fecal, potencialmente asociada a actividades ganaderas o vertimientos domésticos.

Análisis particular de parámetros de interés

De acuerdo con la tabla anterior, se observa el incumplimiento de algunos objetivos de calidad, en los parámetros: DBO, DQO y sólidos suspendidos totales, específicamente en valores máximos, y, en otros casos se observa incumplimiento en los valores mínimos como en el oxígeno disuelto y pH. Respecto a la DQO y sólidos suspendidos totales adicional al incumplimiento del valor máximo, se evidencia también incumplimiento en el valor promedio.

A continuación, en la Figura 5 se presentan los gráficos de tendencia para los coliformes totales, DBO, DQO, Hierro, grasas y aceites, hidrocarburos totales, oxígeno disuelto, potencial de Hidrógeno y sólidos suspendidos totales seleccionados, considerando el comportamiento de los mismos e incumplimiento de los objetivos de calidad de agua en algunos que cuentan con este límite normativo establecido.

Los coliformes totales presentan los niveles más altos en el primer semestre de 2022 y en el segundo semestre de 2022, lo cual podría indicar contaminación significativa del agua en esos periodos asociada con aumento de materia orgánica. Ahora bien, entre el primer semestre de 2021 y el segundo semestre de 2023, los niveles se mantuvieron relativamente bajos, sugiriendo una mejora temporal en la calidad del agua y, finalmente la variabilidad en algunos periodos (como el primer semestre de 2022) indica que las condiciones del agua fueron muy cambiantes.

El hierro presenta una reducción notable de la concentración desde el primer semestre de 2021 hasta 2024, especialmente después del pico alto en el primer semestre de 2022, en donde se registra un aumento en el parámetro con concentraciones cercanas a 2,5 mg/L, asociado posiblemente a contaminación del cuerpo de agua o cambios estacionales, lo cual tiene sentido, toda vez que, por el comportamiento de las precipitaciones en la cuenca del río Tillavá entre mayo y julio se presentan los mayores registros de precipitación (ver Figura 3) y, en estos eventos se presenta arrastre de materiales, metales pesados, entre otros materiales hacia los cuerpos de agua.

El oxígeno disuelto mantiene su concentración entre el primer semestre de 2020 y el segundo semestre de 2022, con valores generalmente altos que son favorables para los organismos acuáticos. Este parámetro refleja una disminución a partir del 2023, acercándose a los valores más bajos en el primer semestre de 2024, pero siempre por encima del objetivo de validez (4 mg/L), lo que aún permite la supervivencia de especies. Ahora bien, para el segundo semestre de 2024 se refleja una recuperación del parámetro, con un valor más alto que el

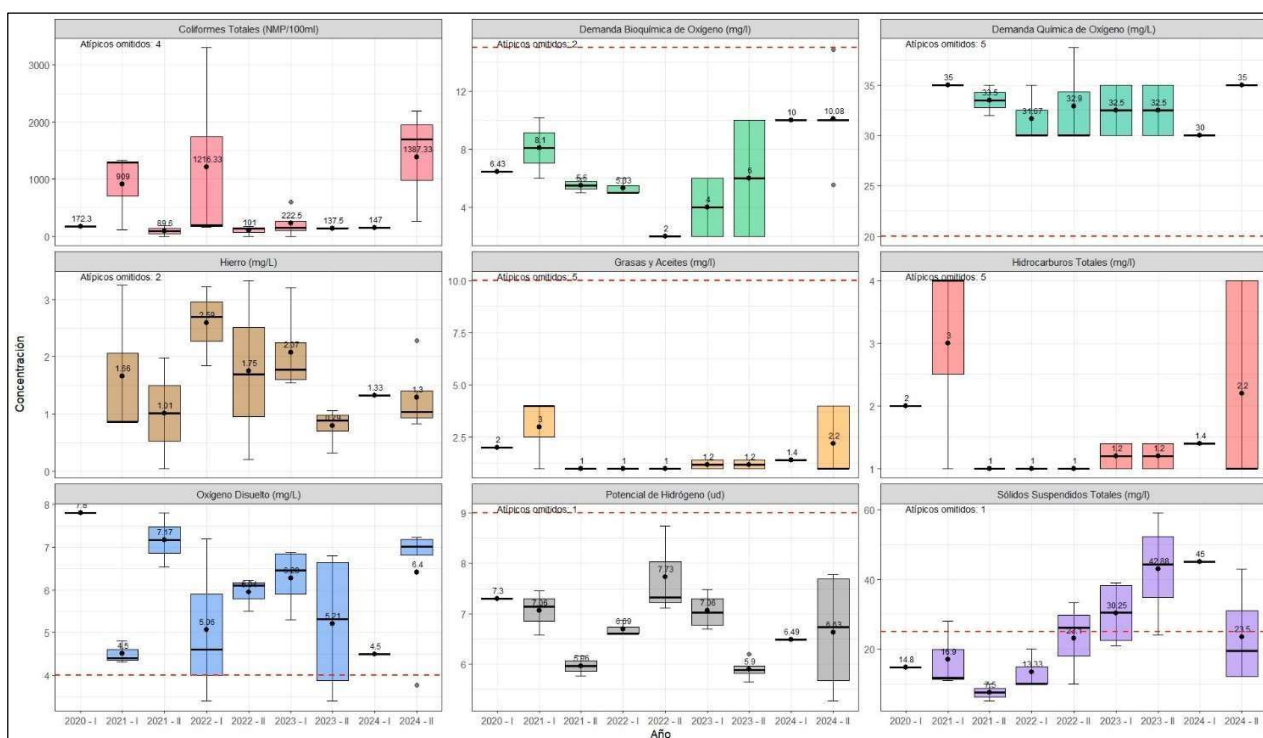


mínimo recomendado.

Para los sólidos suspendidos totales, se evidencia una disminución progresiva entre el primer semestre de 2020 y el segundo semestre de 2021, contrario al comportamiento del parámetro desde 2022 hasta el primer semestre de 2024, periodo en el cual se evidencia un incremento fuerte que indica contaminación significativa o descargas puntuales sobre el cuerpo de agua; sin embargo, en el segundo semestre del año 2024 se presenta una reducción en la concentración del parámetro.

En términos generales, se evidencia para el río Tillavá un aumento en la DBO y DQO en los primeros años (2020 – 2021), lo cual refleja eventos de contaminación orgánica más intensa. En cuanto a coliformes y grasas, se identifican concentraciones muy variables, con valores extremos en algunos periodos, lo que podría indicar contaminación puntual o cambios en las condiciones de tratamiento del agua. Respecto a la turbidez y sedimentación, se observa un aumento de los sólidos suspendidos que, para el período de 2023 a 2024 se mejora junto con las concentraciones de otros parámetros como el hierro y los hidrocarburos, lo cual refleja a nivel general una mejora en la calidad del recurso.

Figura 5 Análisis parámetros de calidad del agua del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.



2.2.4.2 Caño Rubiales

Sobre esta fuente hídrica se establecieron cuatro (4) puntos de la red de monitoreo, con una cobertura total de su cauce iniciando en la parte alta de la subcuenca, previa a la confluencia del caño Masiferiana con el caño Rubiales, aguas abajo de la zona de mezcla del permiso de vertimientos a cuerpo de agua superficial autorizado por la ANLA para cinco puntos en el cauce caño Rubiales para el proyecto Campo Rubiales (LAM0019), y previo a la confluencia del caño Rubiales con el río Tillavá. Estos monitoreos son ejecutados por dos (2) proyectos de los cinco (5) vinculados a la estrategia de monitoreo dada su complejidad: Campo Rubiales – expediente LAM0019 y Campo Mago – expediente LAM5995. Con excepción del punto REH-006, los puntos de monitoreo de la red localizados sobre el caño Rubiales pertenecen al tramo No. 2 reglamentado por el PORH.

A continuación, se analizan de manera general los resultados de los parámetros que cuentan con objetivos de calidad definidos por la Autoridad Ambiental Regional CORMACARENA obteniendo su valor medio, la desviación estándar, la mínima y máxima, se compara con el objetivo de calidad y en rojo se señalan los resultados en los cuales no se cumplió con el objetivo:

Tabla 9. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad del caño Rubiales

Parámetro	No Datos	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Objetivo de calidad
Bario en mg/L	38	0,343	0,234	0,009	0,983	
Cadmio en mg/L	38	0,002	0,001	0,001	0,003*	
Cloruros en mg/L	37	5,984	7,261	1,000	44,000	
Coliformes Totales en NMP/100ml	38	2024,229	2633,070	1,800	13960,000	
Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$	38	29,497	65,514	3,000	406,000	750,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	38	-	-	-	-	20,000
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	18	11,778	9,144	2,000	45,000	20,000
Fósforo Total en mg/L	28	0,397	0,450	0,050	1,000*	
Grasas y Aceites en mg/L	38	0,659	0,704	0,200	4,520	ND
Hidrocarburos Totales en mg/L	38	0,428	0,360	0,200	2,510	
Hierro en mg/L	38	1,467	1,212	0,136	4,300	
Mercurio en mg/L*	38	-	-	-	-	
Nitratos en mg/L	27	1,082	0,425	0,068	1,500*	
Nitritos en mg/L	27	0,548	0,414	0,010	1,000*	
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	25	0,454	0,087	0,300	0,540	5,000



Parámetro	No Datos	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Objetivo de calidad
Nitrógeno Total en mg/L	30	0,740	0,646	0,500	3,900	
Ortofosfatos en mg/L	28	0,423	0,464	0,050	1,000*	
Oxígeno Disuelto en mg/L	38	5,738	0,941	3,300	7,780	>4
Plomo en mg/L*	38	-	-	-	-	
Sulfatos en mg/L	30	6,933	4,169	1,000	11,000	
Sólidos sedimentables en mg/L	31	0,116	0,063	0,100	0,400	
Sólidos suspendidos totales en mg/L	32	25,178	9,547	5,000	47,000	25,000
Temperatura en °C	38	27,394	1,686	22,830	31,090	
Turbidez en NTU	31	22,575	14,969	1,720	60,000	
Valor de pH	38	6,521	0,661	5,250	7,730	4,5 - 9,0

*Hace referencia a registros que estuvieron debajo del límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio, el cual es inferior al límite normativo (en los casos en que existe la restricción normativa), por ende, hubo cumplimiento de los mismos.

Fuente: ANLA, 2025.

Adicionalmente, es pertinente indicar que, en el caño Rubiales se cuenta con un tablero de control del recurso hídrico superficial, tal como se muestra en la Figura 6. Los tableros de control son contruidos a partir de la información recolectada de los monitoreos realizados por las empresas o Instituciones gubernamentales, para luego servir como instrumento en la toma de decisiones y la generación de alertas tempranas, en este caso específico, el tablero de control es desarrollado a partir de la información reportada por el proyecto “Explotación de hidrocarburos en el campo Rubiales – LAM0019”.

En línea con lo anterior, es válido mencionar que, el Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales de la ANLA, pone a disposición de los licenciarios y la ciudadanía, los resultados del seguimiento de diferentes variables ambientales asociadas a los proyectos obras o actividades sujetas a licenciamiento ambiental. Esto con la finalidad de llevar un proceso oportuno y transparente en la evaluación y seguimiento de las licencias ambientales.

A continuación, se presenta una captura del tablero de control del caño Rubiales, el cual contiene la información de los monitoreos in situ y fisicoquímicos de las estaciones automáticas para el componente hídrico superficial del proyecto antes mencionado. Dicho monitoreo automático fue impuesto por la entidad mediante la Resolución 1717 de 2019 que acogió la obligación de monitoreo del concepto técnico No. 4781 de 2019.

Ahora bien, el tablero de control está asociado con el reporte de estaciones automáticas localizadas sobre 14 puntos de monitoreo que, a su vez, están relacionados con vertimientos del expediente LAM0019, razón por la cual, en el análisis del presente informe se consideran





Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales
Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo


Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



Análisis general

De igual forma, se reportan valores mínimos de oxígeno disuelto de 3,300 mg/L (valor reportado por el expediente LAM5995, en el punto REH-006 en el primer semestre de 2020) por debajo del objetivo de calidad (>4 mg/L), aunque el valor promedio (5,738 mg/L) permanece dentro del rango permitido. Estas condiciones pueden ser críticas para la fauna acuática, especialmente en periodos de alta temperatura o carga orgánica, al reducir la disponibilidad de oxígeno en el medio (Chapman, 1996).



En cuanto al pH, con un promedio de 6,521 y un valor mínimo de 5,250 (valor reportado por el expediente LAM5995, en el punto REH-006 en el primer semestre de 2022), se observa una tendencia a la acidez en algunas muestras, lo cual puede aumentar la solubilidad y toxicidad de metales, afectando el equilibrio iónico y fisiológico de los organismos acuáticos (CCME, 1999).

Por otro lado, los valores de DQO, con un máximo de 45 mg/L (valor reportado por el expediente LAM5995, en el punto REH-006 en el segundo semestre de 2023) y un promedio de 11,778 mg/L, permanecen dentro del objetivo (20 mg/L), pero muestran variabilidad y algunos valores elevados que podrían estar relacionados con aportes puntuales de materia orgánica biodegradable o contaminantes químicos oxidables (Tchobanoglous et al., 2003).

En cuanto a los parámetros sin objetivos normativos definidos, se destacan concentraciones elevadas de fósforo total (0,397 mg/L en promedio) y ortofosfatos (0,423 mg/L promedio), con valores máximos de 1,0 mg/L en ambos casos (aunque este valor corresponde al límite de detección del método analítico empleado por el laboratorio), que superan los umbrales propuestos para prevenir procesos de eutrofización (<0,02 mg/L para fósforo total y <0,014 mg/L para ortofosfatos, según Roldán & Ramírez, 2008 y USEPA, 1987). Esto indica una condición de alto enriquecimiento trófico, que puede fomentar el crecimiento excesivo de algas, generar episodios de anoxia y deteriorar la calidad ecológica del caño. Esta situación es coherente con los valores de nitratos (1,08 mg/L promedio), que también exceden los límites sugeridos para sistemas no eutróficos (>0,1 mg/L, Vollenweider, 1968), así como con las concentraciones de nitritos (0,548 mg/L promedio).

Aunque los niveles de metales como hierro (máximo de 4,3 mg/L, valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-004 en el primer semestre de 2022) y cadmio (máximo de 0,003 mg/L, valor reportado por el expediente LAM0019 en los puntos REH-004, REH-008 y REH-002; sin embargo, es pertinente aclarar que dicho valor corresponde al límite de detección de la técnica analítica empleada por el laboratorio) no exceden límites críticos para protección de vida acuática, su presencia debe ser monitoreada especialmente en contextos con pH bajo, ya que su toxicidad puede aumentar en condiciones ácidas. Los niveles de coliformes totales (promedio de 2.024 NMP/100 mL; máximo de 13.960 NMP/100 mL, valor reportado por el expediente LAM5995, en el punto REH-006 en el primer semestre de 2020) reflejan una carga de contaminación fecal significativa, lo que representa un riesgo sanitario y una limitación para usos recreativos o de contacto directo.

Análisis particular de parámetros de interés

De acuerdo con la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: DBO, grasas y aceites y sólidos suspendidos totales, en valores máximos, y en otros casos se observa incumplimiento en los valores mínimos como en el oxígeno disuelto, lo cual indica que el incumplimiento no es generalizado en estos parámetros; sin





embargo, en los parámetros correspondientes a grasas y aceites y sólidos suspendidos totales se observa incumplimiento también a nivel de los promedios por lo que se analiza en detalle a continuación.

En la Figura 7 se presentan los gráficos de tendencia para los coliformes totales, hierro, grasas y aceites, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno, seleccionados considerando el comportamiento de estos e incumplimiento de los objetivos de calidad de agua en algunos que cuentan con este límite normativo establecido. Es pertinente indicar que, algunos parámetros como la DQO y los sólidos suspendidos totales que, reflejan incumplimiento normativo según la Tabla 9, no son considerados en el presente análisis, toda vez que los datos de estos no reflejan variaciones en el análisis gráfico aquí considerado.

Los coliformes totales muestran una tendencia creciente a lo largo del tiempo. En 2020, los niveles comienzan alrededor de 1.500 NMP/100ml y se incrementan considerablemente en 2024, alcanzando valores cercanos a 3.100 NMP/100ml. Esto indica un posible aumento de la contaminación microbiana en el cuerpo de agua.

El hierro muestra una ligera fluctuación a lo largo de los años, pero en general los valores se mantienen dentro de un rango de 1,0 a 3,0 mg/L. Aunque hay picos, como en el primer semestre de 2022 (donde el valor se acerca a 3,2 mg/L), el hierro parece estabilizarse a valores más bajos en los últimos semestres, indicando cierta reducción en los niveles de este contaminante.

El parámetro grasas y aceites muestra una disminución significativa desde 2020 hasta 2024, con una reducción notable en los niveles a partir de 2021. A partir de 2022, los valores se estabilizan en niveles muy bajos (alrededor de 0,4 mg/L), lo que indica una mejora en cuanto a la presencia de grasas y aceites en el agua o el medio monitorizado. Esto sugiere que podría deberse a intervenciones o cambios que contribuyeron a reducir la contaminación por este parámetro.

El comportamiento del oxígeno disuelto muestra una tendencia a la disminución constante desde 2020 hasta 2024, con algunas fluctuaciones (pequeños aumentos en algunos períodos, como en el primer semestre de 2021 con un valor de 5,75 mg/L y 2022 con un valor de 5,5 mg/L). Esta caída progresiva podría ser indicativa de cambios ambientales que afecten la calidad del agua, como mayores temperaturas, contaminación o disminución de la capacidad de oxigenación en el agua.

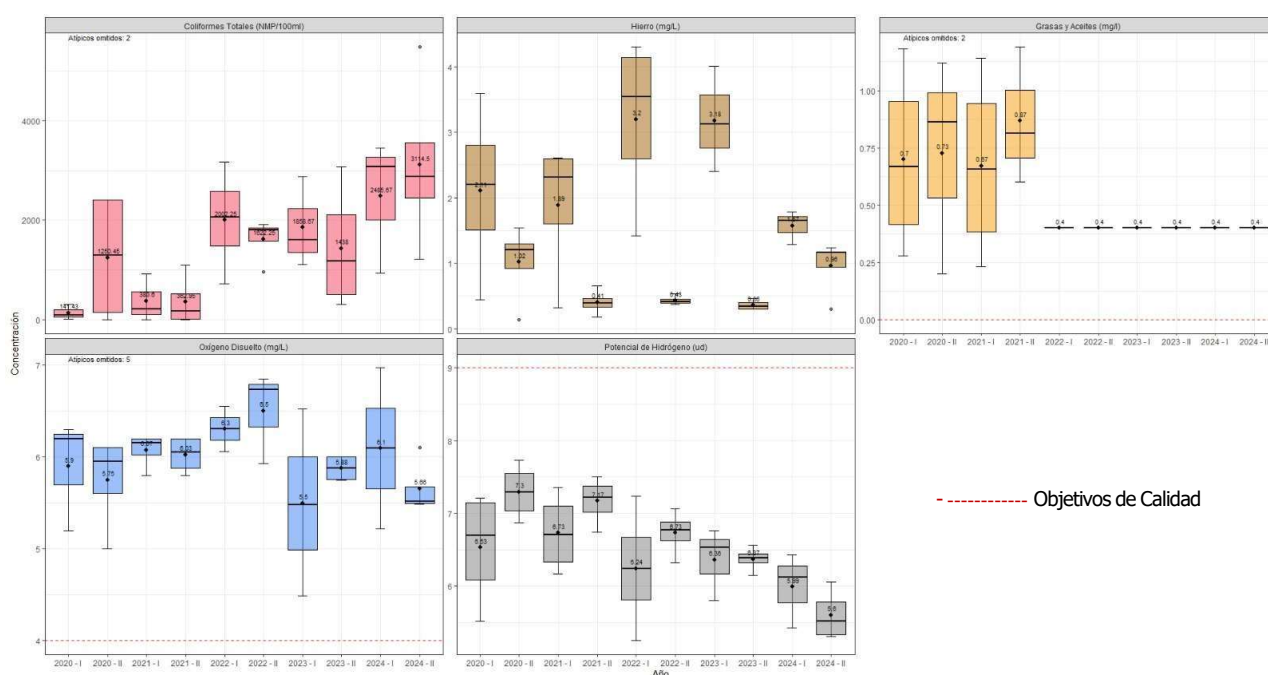
Respecto al potencial de hidrógeno, este parámetro muestra una tendencia general al aumento desde 2020 hasta 2024, con algunas fluctuaciones a lo largo del tiempo. Este aumento podría reflejar un cambio en las condiciones del agua o del ambiente que hace que el pH se vuelva más neutral o ligeramente básico. Aunque hay algunos descensos en ciertos períodos (como en 2023, específicamente segundo semestre), la tendencia general muestra que los valores de pH han sido más altos en comparación con los primeros años del periodo



analizado.

En conjunto, los datos muestran que la calidad del agua en el caño Rubiales ha mejorado en términos de grasas y aceites, cuyas concentraciones han disminuido a niveles muy bajos desde 2020, lo que podría indicar una mejora en la calidad del agua en cuanto a la contaminación por aceites; sin embargo, la calidad ha desmejorado en cuanto a la presencia de coliformes y oxígeno disuelto (cuyas concentraciones reflejan una disminución a lo largo del periodo analizado), lo que puede reflejar problemas de contaminación orgánica y una posible eutrofización o acidificación.

Figura 7 Análisis parámetros de calidad del agua del caño Rubiales



Fuente: ANLA, 2025.

2.2.4.3 Caño Masiferiana

El caño Masiferiana (o Masiferiano) es tributario al caño Rubiales y se encuentra en inmediaciones de la actividad hidrocarburífera, específicamente, al expediente LAM0019 – Desarrollo del Campo de Petróleo Crudo Pesado Rubiales. Sobre esta fuente hídrica se formularon dos (2) puntos de monitoreo localizados en la parte alta del cauce y previo a la confluencia con el caño Rubiales. Ambos puntos de monitoreo son ejecutados por el expediente LAM0019.

A continuación, se analizan de manera general los resultados de los parámetros que cuentan con objetivos de calidad definidos por la Autoridad Ambiental Regional CORMACARENA obteniendo su valor medio, la desviación estándar, la mínima y máxima, se compara con el



objetivo de calidad y en rojo se señalan los resultados en los cuales no se cumplió con el objetivo.

Tabla 10. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad del caño Masififeriana

Parámetro	No Datos	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Objetivo de calidad
Bario en mg/L*	15	-	-	-	-	
Cadmio en mg/L*	15	-	-	-	-	
Cloruros en mg/L	15	4,200	1,600	1,000	5,000	
Coliformes Totales en NMP/100ml	15	12496,527	38314,796	1,800	155310,000	
Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$	15	11,780	10,480	2,200	39,000	750,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L*	15	-	-	-	-	20,000
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	7	10,429	1,050	10,000	13,000	20,000
Fósforo Total en mg/L	11	0,312	0,422	0,050	1,000	
Grasas y Aceites en mg/L	15	0,575	0,231	0,400	1,020	ND
Hidrocarburos Totales en mg/L	15	0,352	0,092	0,200	0,465	
Hierro en mg/L	15	3,905	5,840	0,300	19,470	
Mercurio en mg/L*	15	-	-	-	-	
Nitratos en mg/L	11	1,066	0,504	0,068	1,500	
Nitritos en mg/L	11	0,414	0,412	0,010	1,000	
Nitrógeno Amoniacal en mg/L*	9	-	-	-	-	5,000
Nitrógeno Total en mg/L	11	0,624	0,120	0,500	0,800	
Ortofosfatos en mg/L	11	0,309	0,423	0,050	1,000	
Oxígeno Disuelto en mg/L	15	4,909	1,668	2,200	7,650	>4
Plomo en mg/L*	15	-	-	-	-	
Sulfatos en mg/L	11	8,345	4,089	1,000	15,000	
Sólidos sedimentables en mg/L	14	0,107	0,026	0,100	0,200	
Sólidos suspendidos totales en mg/L	11	30,909	17,910	10,000	84,000	25,000
Temperatura en °C	15	26,738	2,278	22,600	32,600	
Turbidez en NTU	11	28,900	17,086	2,000	55,200	
Valor de pH	15	6,561	0,694	5,590	8,210	4,5 - 9,0

* Hace referencia a registros que estuvieron debajo del límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio, el cual es inferior al límite normativo (en los casos en que existe la restricción normativa), por ende, hubo cumplimiento de los mismos.

Fuente: ANLA, 2025.





Análisis general

Los resultados de calidad del agua en el caño Masiferrana evidencian la presencia de varios parámetros dentro de los rangos aceptables, sin embargo, también se registran excedencias que podrían comprometer la integridad ecológica del sistema. El parámetro más crítico es el de sólidos suspendidos totales, cuyo valor promedio (30,91 mg/L) y máximo (84 mg/L, valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-0010) superan el objetivo de calidad (25 mg/L), lo cual puede afectar la transparencia del agua, disminuir la penetración de luz, alterar la fotosíntesis acuática y provocar sedimentación en exceso, afectando directamente los hábitats bentónicos (Allan & Castillo, 2007).

El oxígeno disuelto, aunque presenta un valor promedio de 4,91 mg/L que cumple con el objetivo (>4 mg/L), tiene registros mínimos de hasta 2,2 mg/L (valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-009), lo cual representa un riesgo para la fauna acuática más sensible, especialmente en condiciones de altas temperaturas o cargas orgánicas elevadas (Chapman, 1996).

Por su parte, el pH se encuentra en un promedio de 6,56, dentro del rango permitido (4,5 – 9,0), aunque el valor mínimo de 5,59 (valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-009) indica condiciones de acidez moderada que pueden aumentar la solubilidad de metales y la toxicidad de algunos contaminantes (CCME, 1999).

Los niveles de hierro, con un promedio de 3,91 mg/L y un máximo de 19,47 mg/L (valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-009), también son relevantes, ya que superan el umbral guía de 5 mg/L en varios puntos, pudiendo alterar procesos redox y generar acumulación de óxidos en el lecho del cauce, lo cual afecta tanto la calidad del hábitat como el desarrollo de biota asociada (CCME, 1999).

En cuanto a parámetros sin objetivos normativos definidos, se destacan concentraciones elevadas de fósforo total (0,312 mg/L promedio) y ortofosfatos (0,309 mg/L promedio), con máximos de 1,0 mg/L; sin embargo, es pertinente indicar que este valor corresponde al límite de detección del método analítico empleado por el laboratorio en ambos casos. Estos valores superan ampliamente los umbrales sugeridos para evitar eutrofización en ecosistemas acuáticos ($<0,02$ mg/L y $<0,014$ mg/L, respectivamente, Roldán & Ramírez, 2008; USEPA, 1987), indicando un estado trófico elevado que puede favorecer la proliferación de algas, la reducción del oxígeno y el deterioro de las condiciones ecológicas del caño.

De forma coherente, los niveles de nitratos (1,07 mg/L promedio) y nitritos (0,41 mg/L promedio) refuerzan esta condición, superando los valores indicativos de eutrofia ($>0,1$ mg/L para nitratos, Vollenweider, 1968), mientras que el nitrógeno total (0,62 mg/L) también evidencia aporte significativo de nutrientes.

Los coliformes totales, con un promedio de 12.497 NMP/100 mL y un valor máximo de 155.310





NMP/100 mL (valor reportado por el expediente LAM0019, en el punto REH-0010), indican una carga fecal extremadamente alta, posiblemente derivada de vertimientos domésticos, ganadería o escorrentía, representando riesgos sanitarios y ecológicos.

Análisis particular parámetros de interés

Según la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: grasas y aceites y sólidos suspendidos totales, en valores máximos, y en otros casos se observa incumplimiento en los valores mínimos como en el oxígeno disuelto. A continuación, se presenta el análisis gráfico de aquellos parámetros cuyos registros permiten hacer una comparación de su comportamiento en los diferentes periodos que cuentan con registro.

Los coliformes totales presentan un aumento considerable en su concentración a partir del segundo semestre del año 2022. En 2020 y 2021 los valores eran relativamente bajos, pero desde 2022 se disparan, superando los 6000 NMP/100ml en algunos casos. Esto sugiere un empeoramiento en la calidad microbiológica, posiblemente por contaminación fecal.

Respecto al hierro, este parámetro muestra valores elevados al inicio del período analizado, especialmente en 2020 y 2021, superando los 2 mg/L. Luego, disminuye progresivamente hasta valores mucho menores en 2023 y 2024 (cerca de 0,3 mg/L). Esta tendencia indica una posible mejora en este parámetro químico.

El parámetro grasas y Aceites presentan niveles elevados en 2020 y 2021, con valores cercanos a 1,0 mg/L. A partir de 2022, los valores se estabilizan en 0,4 mg/L, lo que representa una mejora y menor presencia de contaminantes orgánicos.

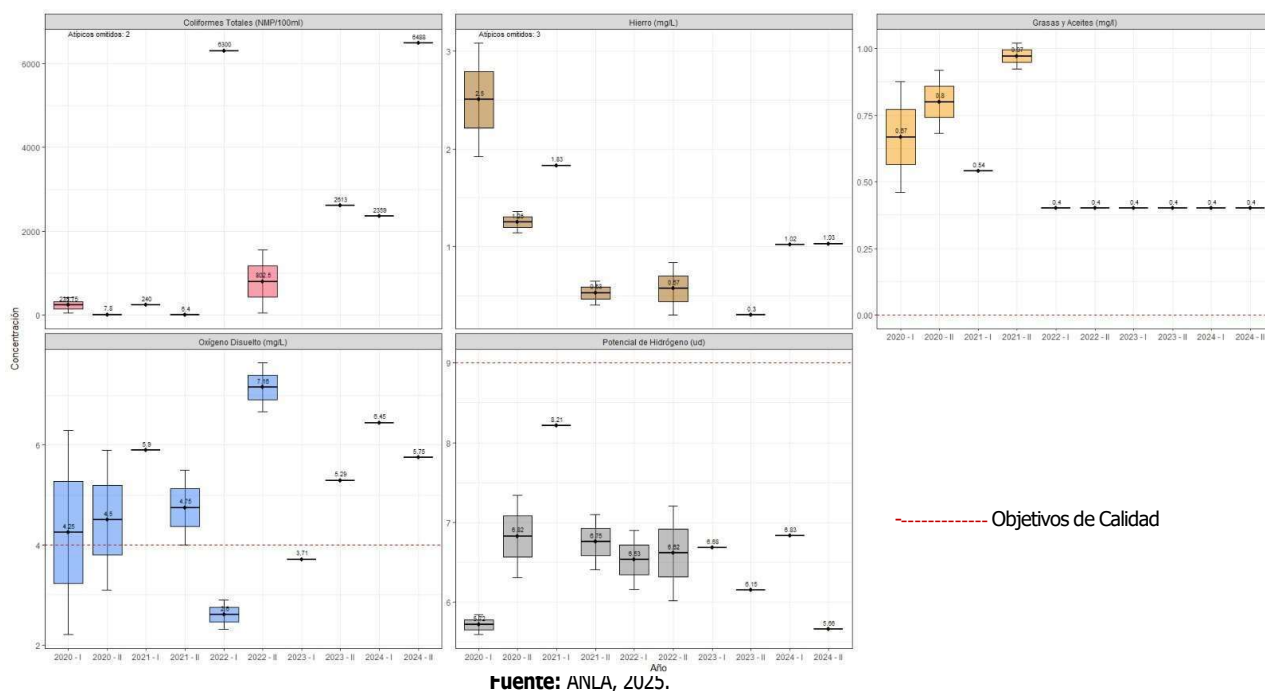
El oxígeno Disuelto tiene variabilidad, pero en general se mantiene alrededor o por encima del límite de 4 mg/L. Hubo una disminución crítica en el primer semestre de 2022 (hasta 2,58 mg/L), indicando un posible evento de contaminación o eutrofización. Posteriormente, se recupera y se mantiene en niveles aceptables en 2023 y 2024.

El potencial de Hidrógeno (pH) se ha mantenido mayormente dentro del rango aceptable (entre 6,5 y 8,5). Sin embargo, hay una caída en el segundo semestre de 2024 con un valor de 5,06, indicando acidez anormal en ese período.

En términos generales, el caño Masisiferiano, presenta una alteración del parámetro coliformes totales (alta contaminación microbiológica desde 2022), una mejora en las concentraciones del hierro y grasas y aceites (disminuyen con el tiempo), un comportamiento variable del oxígeno disuelto (afectado en ciertos momentos, pero se recupera) y concentraciones estables del pH (con excepción puntual), salvo una acidez en el segundo semestre de 2024. En resumen, la parte biológica (coliformes) del agua en el caño Masisiferiano es la que presenta mayores alteraciones, lo que podría implicar riesgos para la salud y para el uso recreativo o de abastecimiento del agua.



Figura 8 Análisis parámetros de calidad del agua del caño Masififeriana



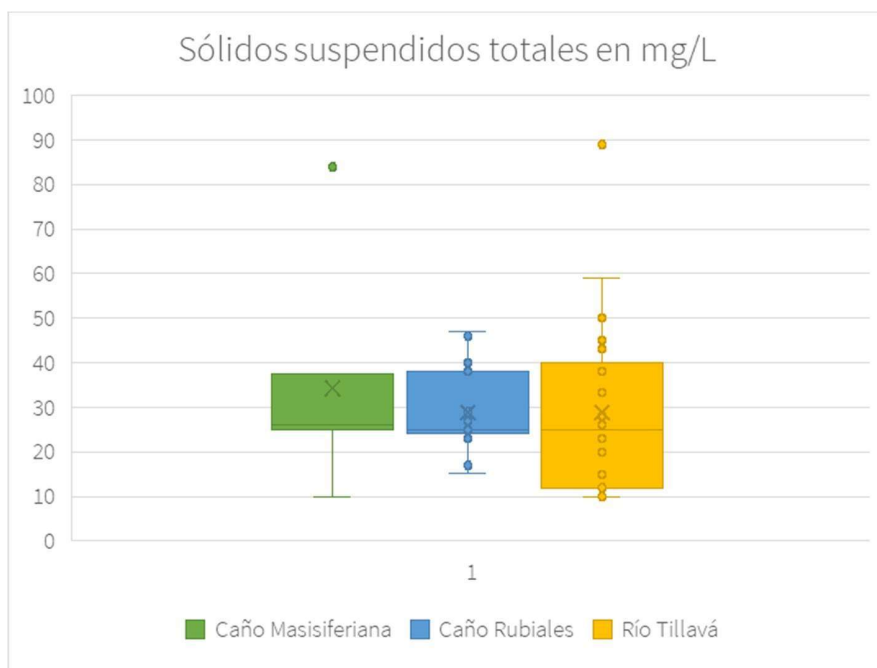
2.2.5 Análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se seleccionaron algunos parámetros para su análisis de manera conjunta en el área de la cuenca del río Tillavá los cuales corresponden a sólidos suspendidos totales, pH, oxígeno disuelto y coliformes totales.

2.2.5.1 Sólidos suspendidos totales

En la Figura 9 se presenta la variación de los sólidos suspendidos totales - SST para los cuerpos de agua analizados.

Figura 9 Variación de los sólidos suspendidos totales en la cuenca del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

Los SST es un parámetro ampliamente utilizado para determinar la calidad del agua. Es una medida importante para determinar el grado de afectación y el impacto potencial en los ecosistemas acuáticos. En la Tabla 11 se presentan los rangos definidos en la literatura técnica para clasificar la calidad del agua asociada con este parámetro específicamente.

Tabla 11. Rangos asociados con concentraciones de SST en el agua superficial

Rango	Clasificación de la calidad del agua
$SST < 25$	Excelente: Muy buena calidad
$25 < SST < 75$	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola
$75 < SST < 150$	Aceptable: Con indicios de afectación. Condición regular para los peces. Riego agrícola restringido
$150 < SST < 400$	Regular: Agua con alto contenido de material suspendido
$SST > 400$	Mala: Aguas superficiales con alta carga. Mala condición para los peces

Fuente: Tomado de Posada, Mojica, Pino, & Bustamante, 2013. Adaptado por ANLA, 2024.

En general, se evidencia que la concentración de SST en la cuenca y tramos analizados se encuentran entre los 10 y 60 mg/L, y con una mediana que oscila entre 28 – 30 mg/l, presentándose los mayores resultados y la mayor variación en el río Tillavá.

De acuerdo con estos resultados, se trata de aguas con condiciones de calidad entre buena y excelente. Respecto al cumplimiento de los objetivos de calidad, se observa que, en los tres



cuerpos de agua, no se cumplió con el objetivo establecido por CORMACARENA (2016) para este parámetro (25 mg/l), en el rango entre promedio y máximos; sin embargo, al analizar el criterio de calidad establecido en la literatura técnica consultada, los valores inferiores a 25 mg/l reflejan condiciones excelentes de calidad del agua, por lo que se recomienda a la corporación revisar si el criterio establecido está acorde con las condiciones de la zona.

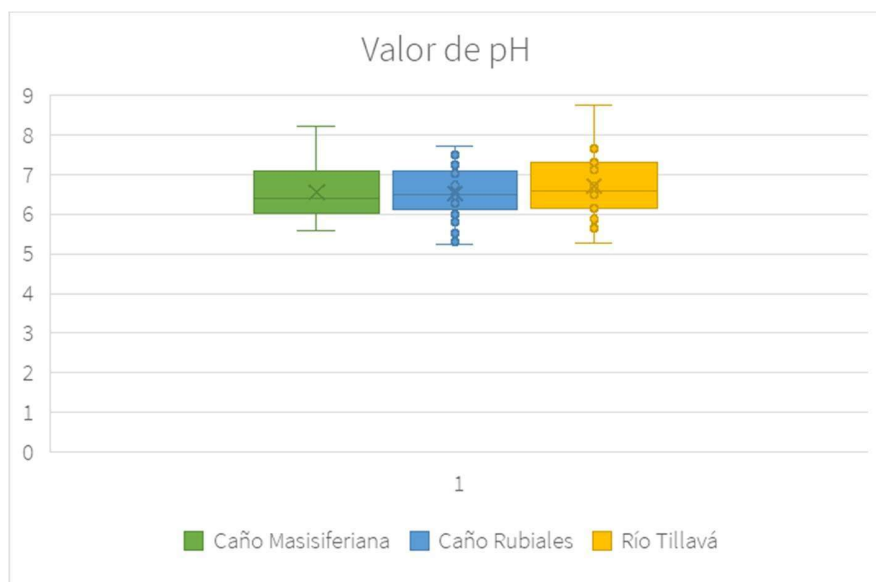
Considerando la conectividad de los cuerpos de agua: caño Masisiferiana afluente del caño Rubiales, el cual desemboca en el río Tillavá, no se observa un aumento sistemático de la mediana de SST, lo cual indica que el sistema tiene mecanismos de autorregulación o procesos de mezcla y sedimentación. Lo anterior, está relacionado con el aumento progresivo del parámetro hacia aguas abajo, lo cual puede estar relacionado con más fuentes de aporte de sólidos suspendidos hacia el río Tillavá, una mayor complejidad hidrológica en la zona y la influencia de eventos puntuales o estaciones (como lluvias intensas).

En conclusión, a la luz de los datos analizados, no se evidencia de manera directa la acumulación de impactos en cuanto a este parámetro en la cuenca del río Tillavá.

2.2.5.2 pH

En la Figura 10 se presenta la variación del pH para los cuerpos de agua analizados.

Figura 10 Variación del pH en la cuenca del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

El potencial de hidrógeno – pH es muy importante en las aguas superficiales, debido a que es el rango en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman esta sumamente restringido, por lo que, si es alterado drásticamente, los





procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados o inhibidos. En la Tabla 12 se relacionan los rangos establecidos en el decreto 1076 de 2015 para destinación del recurso.

Tabla 12. Rangos asociados con concentraciones de pH en el agua según destinación del recurso.

Uso	Rango
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	5.0 - 9.0 unidades
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.	6.5 - 8.5 unidades
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.	4.5 - 9.0 unidades.

Fuente: MADS, Decreto 1076 de 2015.

En general, los resultados de pH se encuentran entre 5,25 y 8,74 unidades con promedio de 6,59 unidades, por lo que cumple con los criterios establecidos para todos los usos, salvo algunas excepciones en cuanto a desinfección para consumo humano en sus valores mínimos, dado que el límite inferior para este criterio es más alto. Adicionalmente, se observa cumplimiento del objetivo de calidad establecido por CORMACARENA (2016) para este parámetro en los caños (4,5 – 9,0 unidades) y en la mayoría de los resultados en el río Tillavá (6,5 – 9,0 unidades), salvo algunos resultados en el rango de mínimos sobre el río Tillavá, esto debido a que el límite inferior del objetivo para el río es más alto que para los caños.

En términos generales, los tres cuerpos de agua tienen valores de pH compatibles con un ecosistema saludable (entre ~6 y 8), ya que no se detectan condiciones extremas de acidez o alcalinidad (las medianas se mantienen en un rango estable y saludable). Ahora bien, el río Tillavá muestra la mayor dispersión, reflejo de su rol como receptor de múltiples entradas y su complejidad ecológica en el sistema analizado. Finalmente, no se detectan condiciones críticas para la vida acuática en términos de pH, pero el comportamiento sugiere la importancia de seguir monitoreando especialmente el tramo del Río Tillavá.

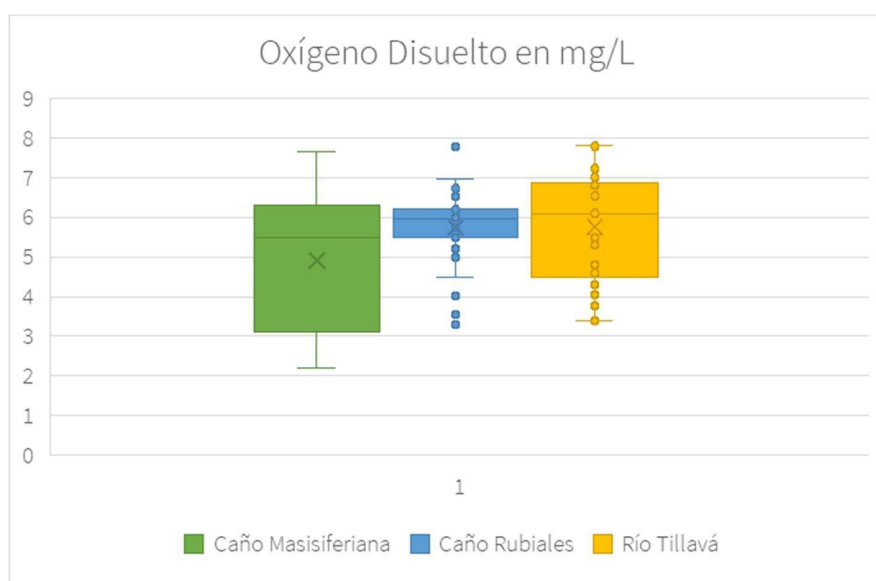
2.2.5.3 Oxígeno disuelto

En la Figura 11 se presenta la variación del oxígeno disuelto para diferentes tramos analizados.





Figura 11 Variación del oxígeno disuelto en la cuenca del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

El oxígeno disuelto resulta esencial para la supervivencia de la mayoría de las especies acuáticas, incluyendo a los peces, organismos invertebrados y plantas. Además, desempeña un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio del ecosistema. En la Tabla 13 se presentan los rangos definidos en la literatura técnica para clasificar la calidad del agua asociada con este parámetro.

Tabla 13. Rangos asociados con concentraciones de oxígeno disuelto en el agua superficial

Rango	Clasificación de la calidad
0,0 - 4,0	Mala, algunas poblaciones de peces y macroinvertebrados empezarán a bajar.
4,1 - 7,9	Aceptable
8,0 - 12,0	Buena
12,0 +	Excelente

Fuente: Tomado de Posada, Mojica, Pino, & Bustamante, 2013. Adaptado por ANLA, 2024

En general, se evidencia que la concentración del oxígeno disuelto en los tramos analizados se encuentra en concentraciones entre los 2,2 y 7,8 mg/L, con promedio de 5,59 mg/l, por lo que se trata de aguas con condiciones de calidad entre aceptable y mala. Respecto al cumplimiento de los objetivos de calidad, se observa que, en los tres cuerpos de agua analizados, se presentó incumplimiento del objetivo establecido por CORMACARENA (2016) para este parámetro, en el rango de mínimos.

Lo anterior, puede ser causado por la materia orgánica en descomposición, como hojas, plantas y animales muertos, lo cual consume oxígeno disuelto, por descargas de aguas residuales domésticas y agropecuarias de la zona, cuyos componentes que consumen el



oxígeno disuelto en el agua y por la variación en cuanto a las temporadas climáticas.

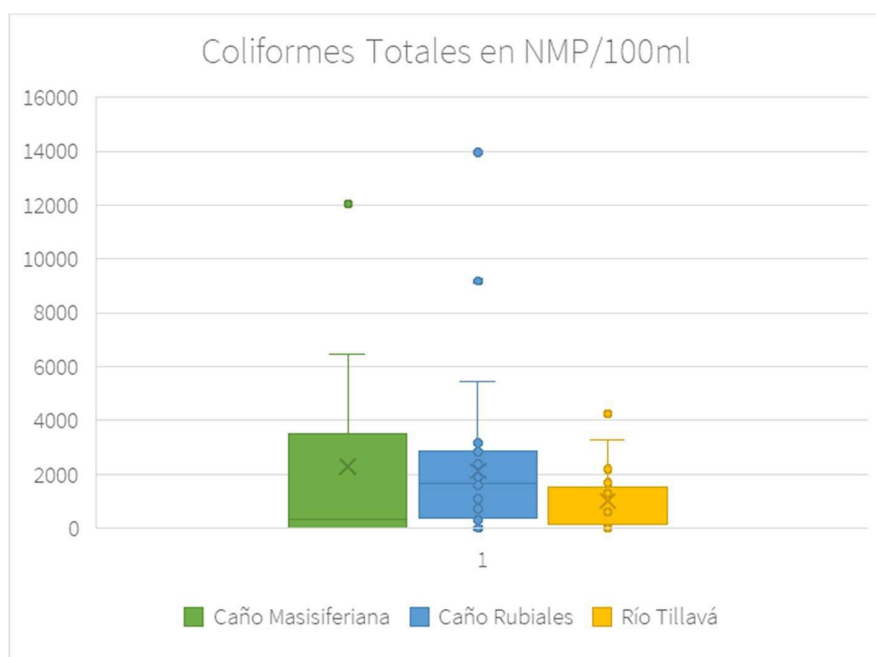
Respecto a la conectividad de los cuerpos de agua, se evidencia una tendencia hacia la estabilización e incluso mejora del oxígeno disuelto a lo largo del flujo hídrico. A pesar de valores bajos en Masisiferiana, el sistema no se degrada aguas abajo, lo que sugiere una buena capacidad de autorregulación o intervención positiva del entorno en caño Rubiales y el río Tillavá.

En conclusión, a la luz de los datos analizados de oxígeno disuelto, se observan condiciones de calidad entre aceptable y mala en los tres cuerpos de agua.

2.2.5.4 *Coliformes totales*

En la Figura 12 se presenta la variación de los coliformes totales para diferentes tramos analizados.

Figura 12 Variación de los coliformes totales en la cuenca del río Tillavá



Fuente: ANLA, 2025.

Los coliformes totales son bacterias que se pueden encontrar en el ambiente, aunque su presencia no indica necesariamente contaminación fecal.

En la Tabla 14 se relacionan las concentraciones máximas establecidas en el decreto 1076 de 2015 para destinación del recurso.





Tabla 14. Concentraciones de coliformes totales en el agua según destinación del recurso.

Uso	Criterio de Calidad
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	20.000 NMP/100ml
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.	1.000 NMP/100ml
ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.	5.000 NMP/100ml

Fuente: MADS, Decreto 1076 de 2015.

En general, se evidencia que la concentración de los coliformes en los tramos analizados se asocia con condiciones de calidad que restringen su destinación para consumo humano y agrícola, dado que no cumple los criterios establecidos en el decreto 1076 de 2015 para estos usos establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5.

Las mayores concentraciones están en el caño Masififeriana y Caño Rubiales, mientras que en el río Tillavá las concentraciones son menores, esto sugiere un proceso de mejora continua aguas abajo, lo cual puede estar relacionado con un mayor caudal, mejor oxigenación y otras condiciones ambientales favorables.

Si bien los valores reportados se consideran altos, y limitan los usos del agua en la cuenca, la mayoría de los resultados están por debajo de los 3000 NMP/100 mL y no se observa que se esté presentando acumulación de impactos, dado que los resultados sobre el río Tillavá fueron menores que sobre los caños.

En conclusión, se observan impactos sobre la calidad del agua para cuerpos de agua analizados en cuanto al parámetro coliformes totales, dado que los resultados indican limitación en cuanto al uso del recurso, lo cual puede ser consecuencia de descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial, así como por descomposición de materia orgánica, sin embargo, no se evidencia en la matriz de agua la acumulación en cuanto a este parámetro dado que no se observa incremento en las concentraciones hacia aguas abajo.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

El análisis realizado incluye únicamente los parámetros fisicoquímicos en la matriz de agua, obtenidos a partir de monitoreos realizados en el periodo comprendido entre el año 2020 y el año 2024, reportados por cinco (5) expedientes del sector de hidrocarburos dentro de los ICAs correspondientes a estos periodos. Se espera que en la medida que se tengan datos





de monitoreos hidrobiológicos, se podrá analizar en conjunto con los resultados de los parámetros fisicoquímicos, y de esta manera poder revisar de manera más amplia las implicaciones de las actividades tanto mineras como de los sectores agrícola y pecuario que se realizan en los cuerpos de agua analizados, por lo que, se considera que el análisis aquí presentado puede tener limitaciones al no tener en cuenta posibles afectaciones en la fauna y flora acuáticas y acumulaciones de metales pesados en los sedimentos.

De acuerdo con la comparación realizada frente a los objetivos de calidad se detectaron algunos parámetros que no cumplen con los objetivos planteados por CORMACARENA (2016) en el Plan de Ordenamiento de las fuentes hídricas superficiales – PORH del río Tillavá, caño Rubiales y caño Masiferiana o Masiferiano, los cuales corresponden a los parámetros de demanda química de oxígeno – DQO, sólidos suspendidos totales – SST, oxígeno disuelto y valor de pH. A continuación, se presentan conclusiones generales de cada uno de estos parámetros.

Con respecto a los SST se observa que los cuerpos de agua analizados están asociados con condiciones de calidad entre buena y excelente, ya que, en general se evidencia que la concentración de SST en la cuenca y tramos analizados se encuentran entre los 10 y 60 mg/L, y con una mediana que oscila entre 28 – 30 mg/l, presentándose los mayores resultados y la mayor variación en el río Tillavá. Conforme a lo anterior, se observa que las concentraciones de este parámetro no son altas ni reflejan condiciones asociadas con una alteración en la calidad del agua de las corrientes analizadas, aun cuando se evidencia que no se cumplió con el objetivo establecido por CORMACARENA (2016) para este parámetro (25 mg/l); sin embargo, al analizar el criterio de calidad establecido en la literatura técnica consultada, los valores inferiores a 25 mg/l reflejan condiciones excelentes de calidad del agua, por lo que se recomienda a la corporación revisar si el criterio establecido está acorde con las condiciones de la zona.

En cuanto al oxígeno disuelto, los resultados en general reportaron concentraciones entre los 2,2 y 7,8 mg/L, con promedio de 5,59 mg/l, lo cual indica que en general se cumple con





el objetivo de calidad establecido a nivel de promedios (superior a 4 mg/L). También se observan condiciones de calidad entre aceptable y mala en la mayoría de los cuerpos de agua, ya que, el incumplimiento se presenta por valores mínimos registrados en los tres cuerpos de agua analizados así: río Tillavá 3,390 mg/L, caño Rubiales 3,300 mg/L y caño Masiferiana 2,200 mg/L, siendo este último cuerpo de agua el que refleja menor concentración del parámetro.

Por último, respecto a coliformes totales, se evidencia por las condiciones de este parámetro, se trata de aguas cuyas condiciones de calidad restringen su destinación para consumo humano y agrícola, dado que no cumple con los criterios establecidos en el decreto 1076 de 2015 para estos usos establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 (20000, 1000 y 5000 NMP/100ml respectivamente).

Ahora bien, en términos generales y, a partir de los datos analizados no se evidencia en la matriz de agua acumulación en las concentraciones de los parámetros evaluados, toda vez que los incumplimientos registrados se presentan de forma puntual y no reflejan un aumento en su concentración hacia aguas abajo en el sistema hidrológico.

3.2 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA

Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
General	Se encontró que los expedientes LAM5281, LAM5506, LAM5995 han presentado en los reportes realizados, la codificación establecida en las obligaciones de la estrategia, sin embargo, esta codificación es diferente a los lineamientos establecidos por el centro de monitoreo en cuanto a la asignación de ID_ANLA, dificultando la identificación de puntos y el análisis temporal y espacial. Así mismo, estos expedientes no cuentan con obligaciones de reporte a través del portal de recepción de información.	Se recomienda ajustar vía seguimiento las obligaciones asociadas al reporte de información a través del portal de recepción y la aplicación de la codificación establecida por el centro de monitoreo de la ANLA en relación con las obligaciones de monitoreo correspondientes a la estrategia de monitoreo regional de cada proyecto.





	Se evidencia en el análisis de algunos parámetros, utilización de límites de detección, de los métodos analíticos, que no permiten la comparación con la normativa respectiva, así como los objetivos de calidad aplicables.	Se recomienda para los seguimientos de los expedientes asociados con la estrategia, evaluar y realizar los requerimientos necesarios, para asegurar que los límites de detección de los métodos analíticos empleados por los laboratorios permitan la comparación con la normatividad y criterios de calidad objetivos de calidad aplicables.
LAM0019	Se observa incumplimiento del objetivo de calidad en varios periodos (época de estiaje y seca) para el parámetro Oxígeno Disuelto desarrollado en el caño Masisiferiana.	Se recomienda solicitar en el marco del seguimiento, las causas de este resultado y si están relacionadas con las actividades del proyecto e iniciar los correspondientes procesos sancionatorios ambientales, en caso de encontrar mérito para ello (Ley 1333/09 mod. Ley 2387 de 2024).
LAM4795 LAM0019 LAM5995 LAM5281 LAM0019	Valores de pH persistentemente ácidos, en su mayoría por debajo del rango normativo. Esta acidez sostenida puede afectar la reproducción, el crecimiento y la supervivencia de especies acuáticas, además de incrementar la solubilidad y toxicidad de metales y nutrientes, con implicaciones directas en la calidad del recurso hídrico.	Se recomienda realizar un análisis de las relaciones temporales entre el pH y el régimen de lluvias, con el fin de diferenciar si la acidez obedece principalmente a procesos naturales (como lixiviación de suelos ácidos) o a aportes antrópicos (vertimientos de tipo domésticos o industriales) y así orientar estrategias de manejo y control que contribuyan a mitigar sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos y la calidad del recurso hídrico.
	Excedencias de metales (Fe, Pb y Ba principalmente): Los registros muestran superaciones frecuentes de los límites de preservación de flora y fauna para metales, con riesgo de toxicidad y bioacumulación en cadenas tróficas.	Se recomienda que los límites de detección empleados sean suficientemente bajos respecto a los criterios de calidad ambiental, garantizando sensibilidad analítica adecuada para la detección temprana de episodios de contaminación. Bario: LMC ≤ 1.0 mg/L, Cadmio: LMC ≤ 0.01 mg/L, Mercurio: LMC ≤ 0.002 mg/L y Plomo: LMC ≤ 0.05 mg/L,
LAM5506	Información limitada reportada (información de una campaña de monitoreo del segundo semestre de 2021 y del segundo semestre de 2024)	Se recomienda solicitar a la empresa el cumplimiento de las obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo regional.





3.3 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL PARA EXTERNOS (SI APLICA)

Validar con la autoridad ambiental regional, si los objetivos de calidad establecidos en la cuenca son acordes con las condiciones de la zona o si algunos de los parámetros deben ser ajustados. Lo anterior, considerando lo evidenciado en el parámetro de sólidos suspendidos totales, para el cual se registró que, en los tres cuerpos de agua, no se cumplió con el objetivo establecido por CORMACARENA (2016) para este parámetro (25 mg/l), en el rango entre promedio y máximos; sin embargo, se identificó que esto es contradictorio al criterio de calidad establecido en la literatura técnica consultada.

4 BIBLIOGRAFÍA

- [1.] ANLA, 2024. Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Tillavá – departamento del Meta Aplicación Fase IV – análisis de datos. Bogotá.
- [2.] ANLA, 2020. Reporte de Alertas de las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco (SZH-AVRGM). Bogotá.
- [3.] CORMACARENA, 2016. Resolución No. PS-GJ 1.2.6.16.0912 del 26 de julio de 2016, "*Por la cual se establece el Plan de Ordenamiento de las fuentes hídricas superficiales – PORH del río Tillavá, caño Rubiales y caño Masififeriana o Masififeriano, y sus objetivos de calidad*"
- [4.] MADS, 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- [5.] Posada, Mojica, Pino, & Bustamante, 2013. Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia.
- [6.] Rodier J, Legube B, Merlet N. 2010. Análisis del agua. Barcelona.
- [7.] Roldan G, Ramírez J. 2008. Fundamentos de limnología Neotropical. Rionegro.
- [8.] Tarradellas, J. ,2006. Red de Calidad del Agua de los Ríos de Colombia. Lausanne.

5 ANEXOS

5.1 Anexo 1

[Anexo 1. Procesos sancionatorios](#)

