



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Superficial en la Cuenca del Río Ranchería– Departamento de La Guajira

Aplicación de la Fase IV Análisis de Información

JUNIO **2024**

Rodrigo Elías Negrete Montes
Director General

Luis Enrique Orduz Valencia
**Subdirector Instrumentos
Permisos y Trámites
Ambientales**

Camilo Andrés Bernal Forero
Coordinador
**Grupo de Regionalización
y Centro de Monitoreo**

Jairo Alberto Ruiz Lopez
Líder de
Implementación Regional

Juliana Andrea Alzate Gómez
Gloria Patricia Moscote Ordóñez
Profesionales
Componente Hídrico Superficial

Dayam Soret Calderon Rivera
Nelson Felipe Moreno Cardona
Wilfredo Marimon Bolivar
Profesionales
Centro de Monitoreo



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	5
Localización de los puntos de monitoreo definidos en la estrategia del río Ranchería	6
Periodicidad del monitoreo	11
Parámetros de monitoreo	11
Expedientes relacionados con la estrategia de monitoreo	12
INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA	15
ANÁLISIS REGIONAL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA.....	17
Definición de cuerpos de agua objeto de análisis.....	17
Parámetros considerados en el análisis.....	21
Objetivos de calidad definidos en los cuerpos de agua objeto de análisis.....	21
Valores estadísticos de parámetros con información	23
Arroyo Palomino	23
Arroyo Cerrejón.....	29
Arroyo Cequión	34
Arroyo Caurina	36
Arroyo Tabaco	38
Arroyo Bruno.....	42
Río Ranchería.....	47
Análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio	52
Conductividad.....	52
Sulfatos.....	0
Sólidos Suspendidos Totales	0
Coliformes Totales	0
Modelación hidrológica y de calidad de agua	0
Modelación hidrológica	0
Modelación de calidad de agua	21
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	41



INTRODUCCIÓN

La estrategia de monitoreo en la cuenca del río Ranchería establece la estandarización de los parámetros y frecuencias para el monitoreo regional de calidad y cantidad del recurso hídrico superficial. Dicha estandarización permite reconocer mediante el análisis espaciotemporal sistemático de los resultados de monitoreo, los factores de alteración que se puedan presentar en el componente hídrico superficial, asociados a las actividades socioeconómicas desarrolladas en la zona del departamento de La Guajira. Esto ofrece a la Autoridad Ambiental un sustento técnico esencial para determinar si hay impactos ambientales sobre el recurso hídrico superficial en la región y la necesidad de imponer restricciones ambientales 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, de la cuenca del río Ranchería.

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

- Fase I: Se seleccionan los proyectos de mayor complejidad de la región, definidos a partir de la revisión conjunta con la Subdirección de Seguimiento de Licencias Ambientales y se formulan las condiciones de tiempo, modo y/o lugar en la región seleccionada.
- Fase II: Los profesionales del Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo participan en el seguimiento ambiental de los proyectos seleccionados para la implementación de la estrategia de monitoreo.
- Fase III: Adopción de los requerimientos formulados en los conceptos técnicos mediante actos administrativos que imponen nuevas obligaciones de monitoreo de los recursos naturales por los proyectos seleccionados
- Fase IV: En cumplimiento de las nuevas obligaciones, los usuarios remiten datos periódicos del monitoreo de recursos naturales según la metodología estandarizada para cada región.

El departamento de La Guajira ha sido priorizado por esta Autoridad Nacional por la alta sensibilidad del componente hidrológico (condiciones de escasez de agua y baja capacidad de retención), del medio socioeconómico (presencia de comunidades étnicas) y el potencial minero energético que localiza a uno de los mayores proyectos mineros del país, que es el Complejo Minero El Cerrejón (Proyecto de Interés Nacional y Estratégico – PINE mediante el documento CONPES 3762 del 20 de agosto de 2013).





Con este propósito, en el año 2018 se elaboró el Reporte de Alertas de la Zona Hidrográfica Caribe – Guajira, que abarca en su totalidad el departamento de La Guajira y las subregiones Norte Cesar y Distrito de Santa Marta de los departamentos de Magdalena y Cesar. Actualmente, este documento cuenta con dos actualizaciones publicados en los años 2020 y 2022 y concluyen que, para zonas puntuales, se pueden obtener potenciales categorías de impactos asociadas a la alteración de disponibilidad y calidad de los componentes hídrico superficial, subterráneo, de calidad del aire, conflictividad social, alteración y cambios en el paisaje, alteración en rutas de migración y hábitat de la fauna. A partir de estos se puede afirmar que el departamento de La Guajira es un espacio potencial para la ocurrencia de impactos acumulativos y sinérgicos, por lo cual la ANLA continuará fortaleciendo el seguimiento ambiental de los instrumentos de manejo y control ambiental de su competencia.

Es importante destacar que en la cuenca del río Ranchería, la Corporación Autónoma Regional de La Guajira - CORPOGUAJIRA ha adelantado la formulación de instrumentos de planificación del recurso hídrico superficial, destacando el POMCA del río Ranchería adoptado mediante el Acuerdo 004 del 29 de julio de 2011 y la definición de objetivos de calidad mediante la Resolución 1319 del 2016.

Es de señalar que el alcance del presente informe se centra en el análisis de los impactos asociados a la disponibilidad y calidad del componente hídrico superficial a partir de la información disponible para el componente en la cuenca del río Ranchería, conformada por 27 puntos de monitoreo localizados sobre el río Ranchería y algunos tributarios priorizados, con corte de información a diciembre del año 2023.





DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

La estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Ranchería constituye un proceso de cuatro (4) fases como se mencionó en la parte introductoria, derivando de un esquema de monitoreo configurado como red, considerando que sus condiciones de tiempo, modo y lugar se planearon según un objetivo común como el fortalecimiento de datos e información para identificar, seguimiento y gestión de impactos acumulativos.

Por su parte, el análisis de impactos acumulativos en el componente hídrico superficial requiere como mínimo, un seguimiento sistemático de la dinámica del recurso que contemple su variación mensual multitemporal enmarcada en el régimen hidrológico, es decir, en la variación de oferta del recurso intra-anual de las corrientes hídricas sobre las cuales esta Autoridad ha otorgado permisos de captación, de ocupación de cauces o de vertimiento sobre cuerpos de agua superficial.

Teniendo en cuenta lo anterior, la red de monitoreo específica del sector minero en la cuenca del río Ranchería, además de aportar a la estructuración de una línea base para el área de estudio con la información suficiente para establecer la agregación e interacción de impactos de los diferentes usuarios del recurso hídrico superficial, busca también contribuir al conocimiento regional de la dinámica hidrológica, con un mayor nivel de detalle para la Autoridad Ambiental Regional en torno a las actividades mineras, considerando la necesidad identificada por CORPOGUAJIRA en el POMCA del río Ranchería de establecer la presión ejercida por diferentes sectores que hacen uso y aprovechamiento del recurso hídrico (CORPOGUAJIRA, 2011) y la alta intervención del territorio en la zona de estudio.

A continuación, se presenta las características más relevantes de la formulación de la estrategia y que se describen en el “*Documento Técnico Estrategia Regional de Monitoreo del Recurso Hídrico Superficial Para la Cuenca del Río Ranchería – Departamento de La Guajira - Estandarización de Parámetros y Frecuencias de Monitoreo de Aguas superficiales para los proyectos en la Cuenca del río Ranchería – Departamento de la Guajira*” elaborado por el Grupo de Regionalización de la Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales de esta Autoridad Nacional en el año 2018.





Localización de los puntos de monitoreo definidos en la estrategia del río Ranchería

En la siguiente tabla (ver Tabla 1) se listan las coordenadas de los veinte (20) sitios de monitoreo definidos en la cuenca del río Ranchería en la estrategia inicial.

Tabla 1. Puntos y características de la propuesta de estrategia de monitoreo de agua superficial en la cuenca del río Ranchería

CÓDIGO	EXPEDIENTE	NOMBRE CUERPO DE AGUA	OBSERVACIONES	COORDENADA ESTE *	COORDENADA NORTE *
REM-001	LAM1094	Rio Cerrejón	Aguas abajo del arroyo Los Estados, permite medir las características de la confluencia de las dos corrientes.	1156069.89	1711787.94
REM-002	LAM1094	Arroyo El Cequión	Antes de su influencia del sector aguas abajo de Laguna No identificada. Concentración de actividades mineras.	1158131.02	1712245.98
REM-003	LAM1094	Arroyo Galluso	Previo a la confluencia con el río Ranchería.	1157852.19	1719298.87
REM-004	LAM1094	Arroyo La Ceiba o Caurina	Previo a la confluencia con el río Ranchería. Aguas abajo vertimientos.	1158298.03	1719463
REM-007	LAM1094	Rio Ranchería	Permite realizar el balance hídrico sobre el río Ranchería entre A. Galluso y A. La Ceiba.	1158078.17	1719512.35
REM-005	LAM1094	Arroyo Bruno	Mide el caudal conjunto del arroyo Bruno y carada Tamborana.	1168121.27	1726621.49
REM-008	LAM1094	Rio Palomino	Aguas abajo de la confluencia con el Río Mapurito. Antes del proyecto Cerrejón.	1147240.29	1702263.89
REM-006	LAM1094	Rio Palomino	Aguas abajo de su desembocadura con el río Ranchería.	1144567.9	1705036.18
REM-009	LAM3491	Rio Cerrejón	Aguas abajo de arroyo Salado y aguas abajo	1156154.02	1710680.19





CÓDIGO	EXPEDIENTE	NOMBRE CUERPO DE AGUA	OBSERVACIONES	COORDENADA ESTE *	COORDENADA NORTE *
			de la vía. Antes de permisos de vertimiento. Concentración de actividades mineras.		
REM-010	LAM3491	Rio Cerrejón	Previo al arroyo La Trampa. Permite medir condiciones previas al río Ranchería. Aguas abajo de vertimientos.	1153546	1714583
REM-011	LAM1094	Rio Ranchería	Aguas arriba del río Cerrejón.	1150409.97	1714362.64
REM-012	LAM1094	Rio Ranchería	Aguas abajo del río Cerrejón.	1153740	1716469
REM-013	LAM1094	Arroyo El Cequión	Antes de aportar a río Ranchería. Aguas abajo tajo.	1156293.58	1718082.02
REM-014	LAM1094	Arroyo La Ceiba o Caurina	En cercanías al límite superior del área de influencia del proyecto.	1160121.01	1715818.72
REM-015	LAM1094	Rio Ranchería	Cercana a los tajos y previo a las lagunas.	1158064.94	1720005.13
REM-016	LAM1094	Arroyo Seco	Permite conocer la calidad aguas abajo de población Los Remedios. Concentración actividades mineras.	1167060.9	1720418.86
REM-017	LAM1094	Rio Ranchería	Aguas arriba de la confluencia del Arroyo El Tabaco, reúne los efectos de lagunas y paso vehículo.	1161184.22	1723346.06
REM-018	LAM1094	Arroyo Bruno	Prevía a la confluencia con el río Ranchería.	1166135.71	1727609.39
REM-019	LAM1094	Arroyo Bruno	Inicio de proyecto, cerca de la vía de comunicación. En Estación IDEAM ESPERANZA LA HDA. Concentración actividades mineras.	1171457	1724358
REM-020	LAM1094	Cañada Tamborana	Inicio de proyecto, cerca de la vía de comunicación, aportante al arroyo Bruno.	1172124.15	1725814.6

* Coordenadas MAGNA SIRGAS Origen Único Nacional
Fuente: ANLA, 2018.

Figura 1. Localización de los puntos de monitoreo de la estrategia del recurso hídrico superficial de la cuenca del río Ranchería

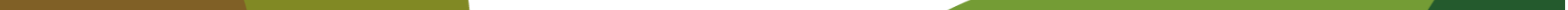




Tabla 2. Puntos y características de la propuesta de estrategia de monitoreo de agua superficial en la cuenca del río Ranchería 2024

CODIGO GDB	CODIGO ESTRATEGIA	DRENAJE	Expediente	OBSERVACIONES	COORDENAD A ESTE*	COORDENAD A NORTE*
ARRPALO	REM-001	Arroyo Palomino	LAM1094	Arroyo Palomino Abajo	5025931.18	2771189.05
ARRPALOAR	REM-002	Arroyo Palomino	LAM1094	Arroyo Palomino Arriba	5030299.75	2766855.71
ARRCER	REM-003	Arroyo Cerrejón	LAM1094	Arroyo Cerrejón Arriba	5038555.15	2775358.37
ARRCERA	REM-004	Arroyo Cerrejón	LAM1094	Arroyo Cerrejón Abajo	5038148.37	2777041.06
ARRSEQUION	REM-007	Arroyo Cequíón	LAM1094	Arroyo Cequíón	5038931.85	2782375.86
ARRCAURI	REM-005	Arroyo Caurina	LAM1094	Arroyo Caurina	5041208.59	2784259.31
ARRTAB	REM-008	Arroyo Tabaco	LAM1094	Arroyo Tabaco Abajo	5044548.62	2788656.85
ARRTABE	REM-006	Arroyo Tabaco	LAM1094	Arroyo Tabaco Arriba	5045731.57	2785883.27
ARRBRU	REM-009	Arroyo Bruno	LAM1094	Arroyo Bruno - Aguas Arriba	5054525.00	2788635.51
ARRBRUA	REM-010	Arroyo Bruno	LAM1094	Arroyo Bruno - Aguas Abajo	5050175.18	2791605.88
Rio 116	REM-011	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Fonseca	5015650.53	2762209.20
Rio 119	REM-012	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Puente Guajiro	5021394.09	2765390.80
Rio 111	REM-013	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Después de confluencia con Palomino	5025454.27	2771354.60
Rio 112	REM-014	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Bocatoma Oreganal	5027299.36	2773131.79
Rio 113	REM-015	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Saraita	5028199.39	2774124.82
Rio 113 A	REM-016	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Provincial	5028009.00	2774743.00
Rio 114	REM-017	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Cerrejón Central	5029027.13	2775425.04
Rio 115	REM-018	Río Ranchería	LAM1094	Río Ranchería - Puerto Arturo	5032962.88	2779295.85



* Coordenadas MAGNA SIRGAS Origen Único Nacional
Fuente: ANLA, 2024.

[illegible]

Fuente: ANLA, 2024.



Periodicidad del monitoreo

Dadas las características del régimen hidrológico de la cuenca del río Ranchería, se estableció que los periodos en los que se deben monitorear son de febrero a marzo (descenso de caudales) para las condiciones climáticas secas y de octubre a noviembre (aumento de caudales para las condiciones climáticas húmedas):

Tabla 3. Condiciones de tiempo de la estrategia de monitoreo

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

	Monitoreo en época seca
	Monitoreo en época de lluvia

Fuente: ANLA, 2018

Parámetros de monitoreo

En la formulación de la estrategia de monitoreo se definieron veintiséis (26) parámetros necesarios a monitorear acorde con las condiciones de la cuenca del río Ranchería, los cuales se relacionan en la Tabla 4:

Tabla 4. Parámetros definidos en la estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial de la cuenca del río Ranchería

Tipo de parámetro	Parámetro
Generales	Caudal, temperatura, conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, pH, DBO5, DQO, Sólidos suspendidos totales, Sólidos sedimentables, Grasas y aceites, Turbiedad
Hidrocarburos	Hidrocarburos totales
Compuestos de fósforo	Fósforo, ortofosfatos
Compuestos de nitrógeno	Nitritos, Nitratos, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total
Metales y metaloides	Cadmio, Plomo, Hierro, Mercurio, Níquel, Cobre, Zinc, Cromo
Microbiológicos	Coliformes Totales

Fuente: ANLA, 2018. Adaptado por ANLA, 2024.





Expedientes relacionados con la estrategia de monitoreo

A continuación, en la Tabla 5 se relacionan los expedientes asociados con la estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial:

Tabla 5. Expedientes asociados con la estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial

EXPEDIENTE	NOMBRE PROYECTO	TITULAR LICENCIA AMB.	ACTOS ADMINISTRATIVOS	ESTADO DE LA OBLIGACIÓN
LAM1094	Explotación de Carbón Bloque Central del Cerrejón zona Norte, mina El Cerrejón (áreas integradas)	CARBONES COLOMBIANOS DEL CERREJÓN S.A.	Concepto Técnico No. 6332 del 14 de octubre de 2021	Vigente
LAM3491	Proyecto minero de explotación de carbón Mina Caypa	CARBONES COLOMBIANOS DEL CERREJÓN S.A.	Resolución 1105 del 24 de junio de 2020	Vigente

Fuente: ANLA, 2018.

Con relación al proyecto LAM1094, en las consideraciones del análisis de cumplimiento de la *Ficha S-01. Monitoreo de aguas* del Plan de Seguimiento y Monitoreo del Concepto Técnico No. 6332 del 14 de octubre de 2021 se mencionó lo siguiente:

“En el marco del seguimiento del Informe de Cumplimiento No.15 del proyecto EXPLOTACIÓN DE CARBÓN BLOQUE CENTRAL DEL CERREJÓN ZONA NORTE. MINA EL CERREJÓN - expediente LAM1094, el grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo procedió a realizar la revisión correspondiente del monitoreo que actualmente realiza el proyecto, con el fin de homologar y/o ajustar el monitoreo actual que realiza el proyecto para dar alcance a la Estrategia de monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Ranchería, cuyo objetivo es el fortalecimiento del monitoreo regional que realizan los titulares de los instrumentos de manejo y control de competencia de la ANLA para obtener la captura de información necesaria para evaluación de impactos acumulativos (...).

El proyecto El Cerrejón cuenta con una amplia red de monitoreo localizada sobre el río Ranchería (14 puntos de monitoreo); arroyos afluentes al río Ranchería (9 arroyos con 15 puntos de monitoreo) y lagunas de sedimentación (11 puntos de monitoreo).

Adicionalmente, una red de monitoreo de hidrobiológicos compuesta por 22 puntos de monitoreo, de los cuales seis (6) puntos se localizan a lo largo del cauce del río Ranchería.”





Con relación a la comparación de la estrategia de monitoreo regional y las obligaciones de la ficha de seguimiento y monitoreo previamente mencionada, se concluye lo siguiente:

- *“Los puntos de monitoreo codificados por el proyecto como RIO102, RIO109, RIO111, RIO113 y RIO114 coinciden con el objetivo de localización de seis (6) puntos de monitoreo de la Estrategia.*
- *Los puntos de monitoreo codificados por el proyecto como ARRBRU, ARRBRUA, ARRCURI, ARRPALO, ARRPALOR y ARRSEQUION, coinciden con el objetivo de localización de seis (6) puntos de monitoreo sobre arroyo Bruno, arroyo Caurina, arroyo Palomino y arroyo Cequíón, establecidos en la Estrategia.*
- *El punto RIO113A establecido como obligación de monitoreo al proyecto mediante el artículo 2 de la Resolución 1108 de 2020 aporta información relevante para la Estrategia de monitoreo en virtud de la orden sexta de la Sentencia T-614 de 2019, por lo cual se considera necesario incluir dicho punto dentro de la Estrategia.*

En ese sentido, se considera que los puntos sobre los cuales el proyecto monitorea el río Ranchería y sus tributarios son suficientes para el análisis regional y de impactos acumulativos bajo las condiciones actuales del proyecto, en ese sentido no se generan requerimientos relacionados con nuevos puntos de monitoreo.”

(Subrayado fuera de texto)

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de la estrategia de monitoreo tomará como referencia la información de monitoreo reportada y disponible del proyecto minero El Cerrejón (con expediente LAM1094) para el río Ranchería y los tributarios priorizados en la estrategia.

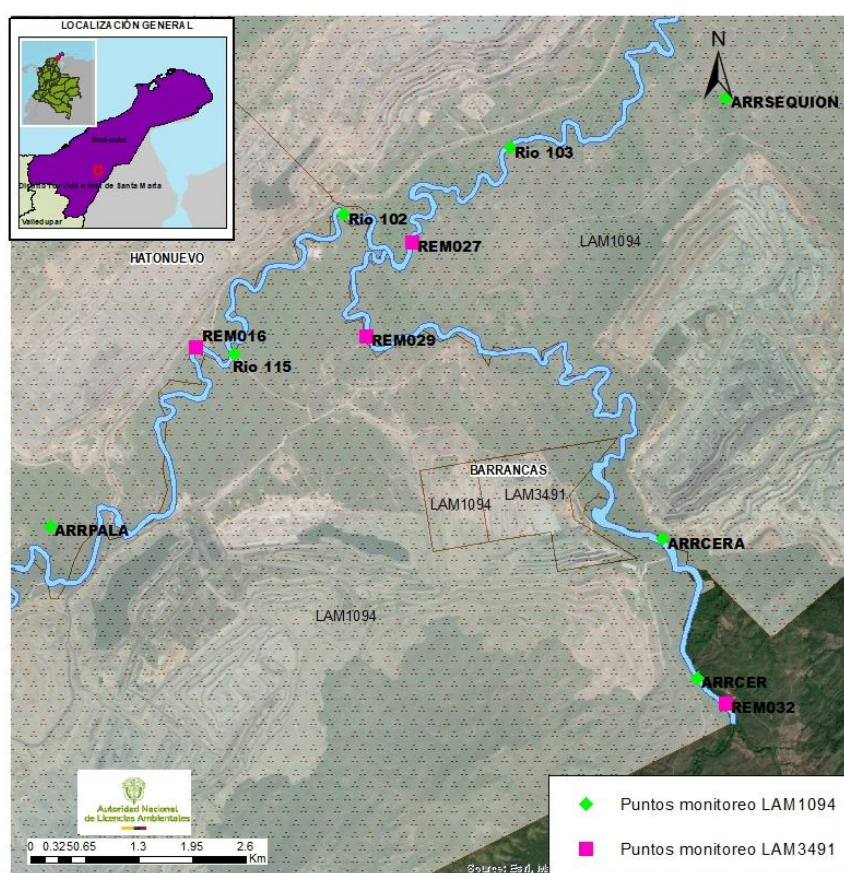
Ahora bien, con relación al proyecto LAM3491, en revisión de los Conceptos Técnicos de Seguimiento elaborados desde el año 2021 (posterior a la ejecutoria del Acto Administrativo que acogió el monitoreo de la estrategia) se identificó que desde el Informe de Cumplimiento Ambiental – ICA 16 correspondiente al año 2021, el titular de la Licencia Ambiental ha venido monitoreando y reportando en este instrumento los resultados de los monitoreos, no obstante, es de indicar que CARBONES COLOMBIANOS DEL CERREJÓN S.A.S. solicitó a esta Autoridad Nacional dar continuidad al plan de explotación minera a cielo abierto y subterráneo del proyecto minero Caypa, en el sentido de ampliar el cronograma de ejecución de la actividad minera hasta el año 2022 para la minería a cielo abierto y hasta el año 2023 para la minería subterránea. En este sentido, posterior a la culminación de la etapa de operación el titular del instrumento de control y seguimiento ambiental deberá iniciar las actividades de desmantelamiento y abandono, de acuerdo con la Resolución 1765 del 5 de septiembre de 2006, modificada por la Resolución 572 del 18 de julio de 2012 (aclarada por Resolución 112 del 7 de febrero de 2014) y modificada por Resolución 175 del 26 de febrero



de 2014, donde se establecen obligaciones específicas relacionadas con el Plan de Cierre del proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior, y como se ha mencionado previamente con relación a la necesidad del monitoreo sistemático del recurso hídrico, en la siguiente figura (ver Figura 3), se evidencia una cercanía de los sitios de muestreo con relación a los sitios del expediente LAM1094, por lo que, para el presente análisis, se tomará como referencia únicamente la información del proyecto LAM1094.

Figura 3. Localización de los puntos de monitoreo del proyecto LAM3491 con relación al proyecto LAM1094



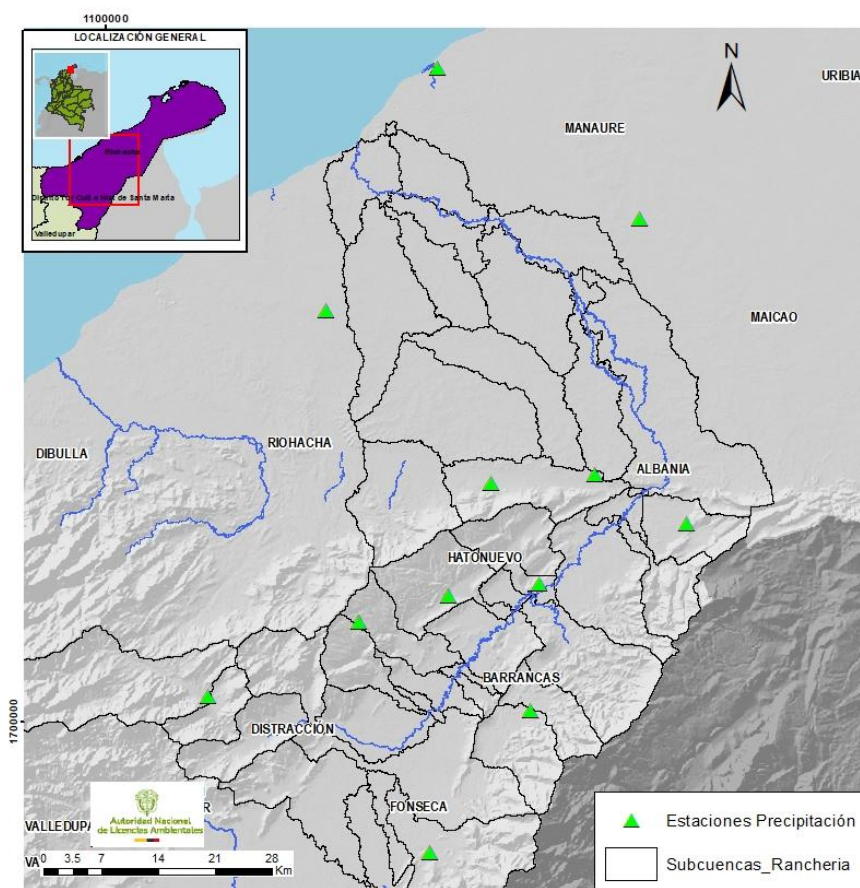
Fuente: ANLA, 2024.



INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA

Como área de análisis se tuvo en cuenta la totalidad de la subzona hidrográfica del río Ranchería y sus afluentes principales, acotando algunas áreas de acuerdo con la localización de los proyectos mineros, tal cómo se muestra en la Figura 4.

Figura 4 Cuencas río Ranchería y localización estaciones de precipitación



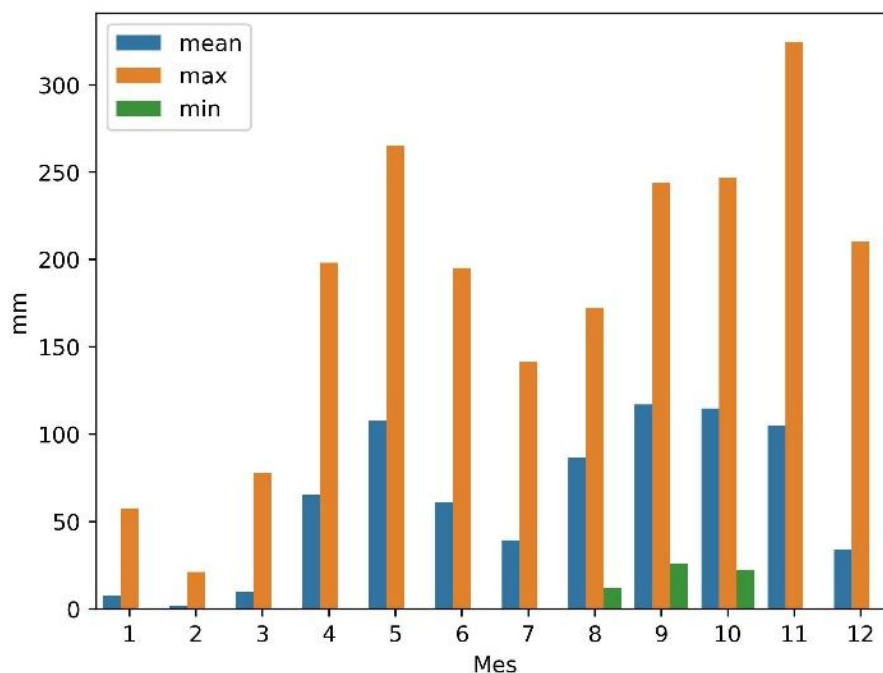
Fuente: ANLA, 2024.

En la Figura 5 se presenta el resultado de la precipitación media mensual multianual en el área de análisis. Para ello se utilizó información de precipitación de la red de estaciones hidroclimatológicas del IDEAM disponibles en el CONEJO EL [15060150], LOMITAS LAS [15060060], SABANAS DE MANUELA [15060050], LAGUNITAS [15060040], GUACAMAYO [15060090], TAJO



SUR [15060210], ESPERANZA LA HACIENDA [15060130], ARENA LA [15060270], CUESTECITA [15060020], REMEDIOS LOS [15060010], CARACAS HACIENDA [15070150] y MAYAPO [15070140] en el periodo de 1990 – 2022.

Figura 5 Régimen de precipitación en el área de análisis



Fuente: ANLA, 2024.

En la figura anterior, se observa que el régimen de la zona es bimodal con dos periodos de lluvia en el año, siendo los meses de mayores precipitaciones mayo, en el primer semestre, y noviembre, en el segundo semestre; en el mes de julio se observa una disminución importante de las precipitaciones que marca la división entre una temporada de lluvias y otra; por su parte, la temporada seca corresponde al periodo entre enero y febrero.



ANÁLISIS REGIONAL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA

A partir de revisión de la información disponible en la Base de Datos Corporativa (BDC) de la entidad validada a 2022 y la información de monitoreos disponible por parte del expediente LAM1094 del año 2023, se definieron los cuerpos de agua objeto de análisis en el presente informe, los cuales corresponden al río Ranchería y seis (6) afluentes a los que se realizó un análisis estadístico y gráfico de variables el cual se detallará más adelante.

Definición de cuerpos de agua objeto de análisis

A continuación, en la Tabla 6 se relacionan los números de puntos de monitoreo que se consideraron en cada cuerpo de agua objeto de análisis, así como el número de muestras y la relación de estas por años de registro de monitoreo.

Tabla 6. Información disponible en cada cuerpo de agua objeto de análisis

Cuerpo de agua	No. de puntos de monitoreo	No. de muestras TOTAL	No. de muestras POR AÑO	Años de monitoreos
Río Ranchería	13	781	81	2016
			129	2018
			150	2020
			141	2021
			153	2022
			127	2023
Arroyo Palomino	2	61	2	2016
			4	2018
			13	2020
			16	2021
			16	2022
			10	2023
Arroyo Cerrejón	2	81	6	2016





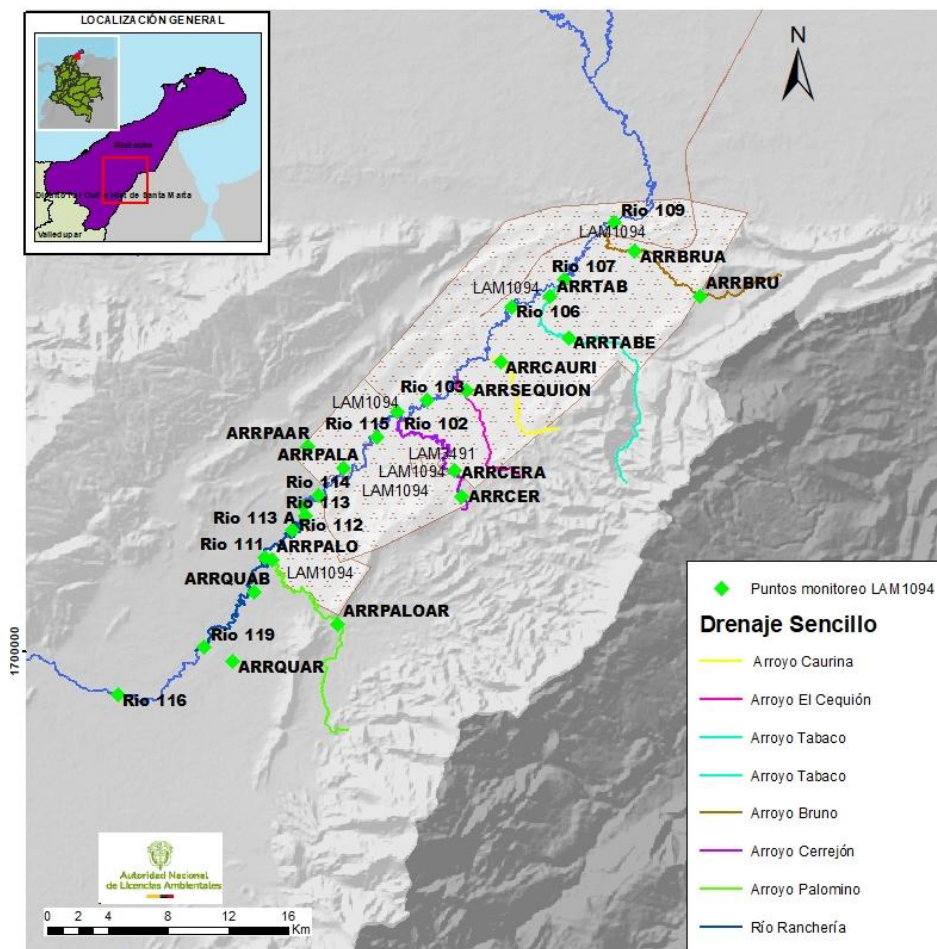
Cuerpo de agua	No. de puntos de monitoreo	No. de muestras TOTAL	No. de muestras POR AÑO	Años de monitoreos
			17	2018
			11	2020
			20	2021
			18	2022
			9	2023
Arroyo Cequión	1	4	3	2020
			1	2021
Arroyo Caurina	1	3	2	2020
			1	2022
Arroyo Tabaco	2	86	7	2016
			15	2018
			13	2020
			19	2021
			20	2022
			12	2023
Arroyo Bruno	2	107	10	2016
			16	2018
			19	2020
			24	2021
			24	2022
			14	2023

Fuente: ANLA, 2024.

A continuación, en la Figura 2 se presenta la espacialización de los drenajes definidos para el análisis regional de calidad del agua en la cuenca del río Ranchería junto con los puntos de monitoreo reportados por el expediente LAM1094.



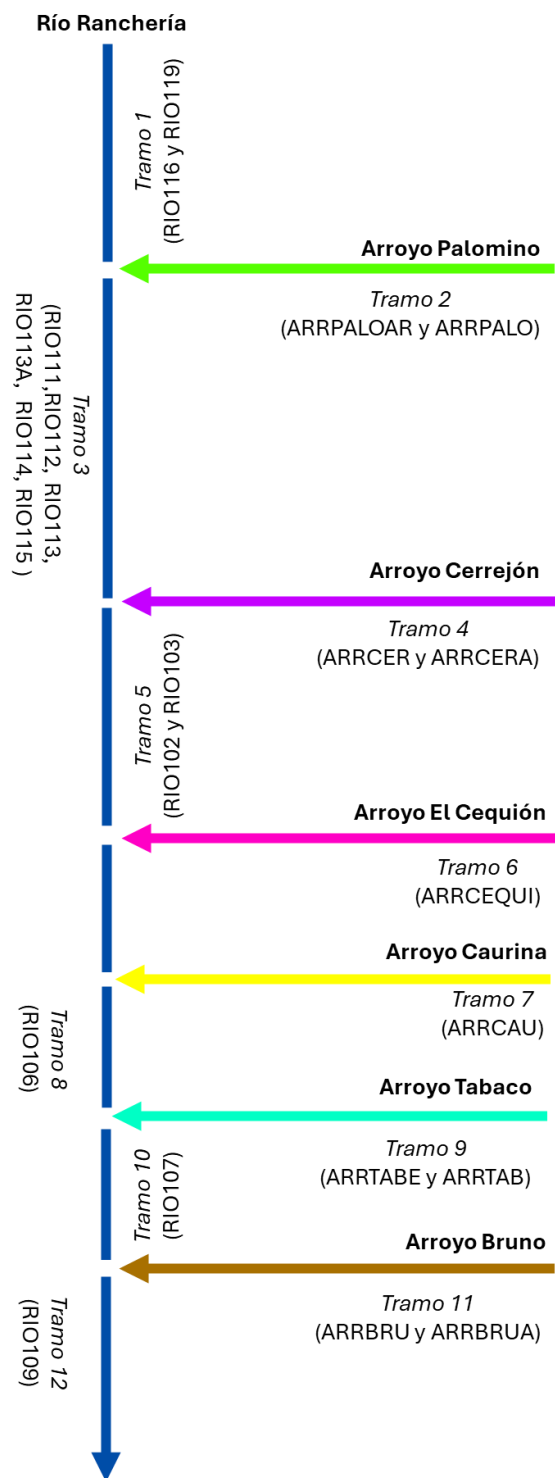
Figura 6. Espacialización de los cuerpos de agua objeto de análisis en la cuenca del río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024.

Con el fin de analizar la dinámica del río Ranchería y los afluentes seleccionados, se definieron doce (12) tramos representados en la Figura 7. 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 7. Modelo conceptual definido para el análisis regional de calidad del agua en la cuenca del río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024.



Parámetros considerados en el análisis

Una vez revisada la base de datos se determinaron los parámetros a los cuales se realizará el análisis estadístico y de tendencias, los cuales son: Alcalinidad Total en mg/L CaCO_3 , Cloruros en mg/L, Coliformes Fecales en NMP/100ml, Coliformes Totales en NMP/100ml, Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$, Cobre en mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L, Demanda Química de Oxígeno en mg/L, Fenoles en mg/L, Fluoruros en mg/L, Fósforo Total en mg/L, Grasas y Aceites en mg/L, Hierro en mg/L, Nitratos en mg/L, Nitritos en mg/L, Nitrógeno Amoniacal en mg/L, Ortofosfatos en mg/L, Oxígeno Disuelto en mg/L, Plomo en mg/L, Sólidos Disueltos en mg/L, Sólidos sedimentables en mg/L, Sólidos suspendidos totales en mg/L, Sólidos Totales en mg/L, Sulfatos en mg/L, Temperatura en $^{\circ}\text{C}$, Turbidez en NTU y Valor de pH.

Es de mencionar que para el caso de los parámetros de Hidrocarburos Totales en mg/L, Cadmio en mg/L, Cromo en mg/L, Níquel en mg/L, Mercurio en mg/L y Zinc en mg/L que se encuentran en la estrategia de monitoreo, predomina el reporte de concentraciones iguales al límite de detección de la técnica analítica utilizada por el laboratorio para su cuantificación, los cuales tienen valores de <1,00 mg/L, <0,01 mg/L, <0,2 mg/L, <0,1 mg/L, <0,00100 mg/L y <0,02 mg/L, respectivamente.

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

Es necesario tener en cuenta que mediante la Ley 2415 del 8 de agosto de 2024, se declaró al río Ranchería, su cuenca y afluentes como sujeto de derechos para su conservación, mantenimiento y restauración y que mediante la Resolución 1319 del 17 de junio de 2016 la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (CORPOGUAJIRA) estableció los objetivos de calidad para corto, mediano y largo plazo (2017-2029) para los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción; en el Artículo Primero se establecen objetivos de calidad según el uso y en el Artículo Segundo se establecen los usos para los cuerpos de agua.





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

Parámetro	Unidad	Consumo humano y doméstico	Preservación de flora y fauna	Agrícola	Recreativo Primario	Industrial	Receptor y transporte de aguas tratadas
	SIGLA	CHD	PFF	AGP	CP	INDUST	ASIMIL
DBO5	mg/L	<15	<8	<20	<15	<50	<70
DQO	mg/L	<20	<10	<30	<30	<100	<150
pH	U de pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	4,0 a 9,0	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5	>5	>4	>5	>4	>4
Conductividad	μS/cm	-	<50	<50	<50	<120	<150
Turbiedad	UNT	<10	-	-	-	-	-
Color	Pt -Co	<20	-	-	<75	-	<150
Coliformes totales	NMP/100ml	<1.000	-	<5000	<1000	<5000	-
Coliformes fecales	NMP/100ml	<400	-	<2000	<200	-	-
Nitratos	mg/L	<10	<10	<15	<30	<30	<100
Nitritos	mg/L	<1	<0,1	<0,15	<0,3	<0,3	<1
Fosfatos	mg/L	<0,5	<0,5	<1	<0,5	<1	<5
Sulfatos	mg/L	<400	-	-	-	-	<500
Grasas y aceites	mg/L	No visible	<20	<20	No visible	<50	<75
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<50	<15	<20	<50	<200	<200
Olor	Olor	Aceptable	-	-	Aceptable	-	-
Sustancias tóxicas	STOX	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	<0,5	-	-	<0,5	-	<4

Fuente: CORPOGUAJIRA, 2016.

Específicamente, y con relación a los cuerpos de agua objeto de análisis, se menciona que:

- Arroyo Tabaco y Cerrejón: tienen un uso actual de asimilación y un uso priorizado en el largo plazo de industrial.
- Arroyo Bruno: tienen un uso actual de asimilación y un uso priorizado en el largo plazo de industrial.
- Río Ranchería: el río Ranchería se divide en tramos y, con relación a la localización de los sitios de monitoreo definidos en la estrategia de monitoreo, el uso actual del río es Agropecuario, con uso priorizado en el largo plazo de contacto primario e industrial.

Para el presente análisis se tomarán como referencia el uso agrícola, industrial y asimilación, considerando que estos son los usos predominantes, actuales y prospectivos, del tramo y afluentes objeto de análisis.





Valores estadísticos de parámetros con información

A partir de la revisión de información disponible para el análisis regional de calidad del agua, inicialmente se elaboraron a modo de síntesis, de toda la información disponible por cada parámetro, tablas con valores estadísticos como el promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos de las series de datos consideradas por cada tramo definido en los cuerpos de agua objeto de análisis.

Con base en lo anterior, se desarrolló el análisis de la información de monitoreo, identificando las tendencias regionales en las concentraciones y comportamiento de estos; sin embargo, si hay datos relevantes que son analizados de forma particular.

Para la estimación de la tendencia de los parámetros de calidad del agua se implementó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, la cual consiste en una prueba estadística que permite llevar a cabo análisis de tendencias de los datos analizados que arroja resultados asociados con:

- Datos con tendencia creciente: se refiere a un aumento progresivo y sostenido del parámetro analizado en el tiempo
- Datos con tendencia decreciente: se refiere a una disminución progresiva y sostenida del parámetro analizado en el tiempo.
- Datos sin tendencia: se refiere a un comportamiento normal o permanente del dato analizado.

Se calculó además el valor Z de cada parámetro y se comparó con los valores Z críticos de la distribución normal al 90% y 95% para los niveles de confianza de dos colas ($-/+ 2,1$) ya que este valor define si hay o no tendencia en el parámetro.

Previo a la aplicación de la prueba antes mencionada y con el fin de identificar los puntos que contaban con información de variabilidad espacial y temporal suficiente para aplicar la prueba estadística, se realizó una revisión, análisis y depuración de los datos de calidad de agua de los expedientes y parámetros que cuentan con la misma. La información del análisis de tendencia se puede observar en el [Anexo 1. Analisis tendencial.docx](#).

Arroyo Palomino

De acuerdo con la información de muestreos y campañas de calidad realizadas para los periodos 2016 a 2023, en la Tabla 8, se presenta un resumen estadístico de los principales hallazgos respecto a la calidad del agua del arroyo Palomino. Para el análisis se tomará como objetivo de calidad receptor y transporte de aguas tratadas y uso industrial para abarcar la mayor cantidad de parámetros posibles. Este arroyo se encuentra antes del desarrollo minero, el expediente LAM1094 tiene autorizado un vertimiento de la Laguna Palmaritos, sin embargo, se encuentran activo para el periodo de 2023.





A continuación, los estadísticos de los parámetros analizados:

Tabla 8. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Palomino

Parámetros	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	189,95	44,20	270,88	54,66	NA
Cloruros en mg/L	25,12	5,11	102,73	18,63	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	5680	1,80	113000	18000	-
Coliformes Totales en NMP/100ml	35000	1,80	1600000	206000	<5000
Conductividad en µS/cm	533,53	178,60	1860,00	239,04	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	1,88	0,60	3,83	1,19	<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	27,40	18,00	32,90	4,35	<100
Fenoles en mg/L	0,28	0,07	0,88	0,26	NA
Fluoruros en mg/L	0,38	0,20	0,91	0,22	NA
Fósforo Total en mg/L	0,36	0,08	0,81	0,23	NA
Grasas y Aceites en mg/L	1,13	0,21	3,00	1,01	<50
Hierro en mg/L	1,20	0,01	9,56	2,40	NA
Nitratos en mg/L	0,39	0,02	2,56	0,52	<30
Nitritos en mg/L	0,06	0,00	0,37	0,09	<0,3
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	0,28	0,28	0,28		NA
Ortofosfatos en mg/L	0,31	0,014	1,78	0,37	<1
Oxígeno Disuelto en mg/L	6,93	5,17	8,62	0,79	> 4
Sólidos Disueltos en mg/L	328,77	114,00	1505,00	190,74	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,25	0,00	0,80	0,27	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	38,86	0,36	986,67	138,88	<200
Sólidos Totales en mg/L	375,28	122,00	1715,00	236,47	NA
Sulfatos en mg/L	48,27	5,31	911,70	119,66	<500
Temperatura en °C	27,38	22,95	32,51	1,82	NA
Turbidez en NTU	58,85	0,53	735,00	148,34	NA
Valor de pH	8,21	7,03	9,35	0,37	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

Según la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en coliformes totales, SST, sulfatos, pH y mínimos en los nitritos.

Los valores mínimos que reportan cero corresponden a los valores menores al límite de detección.

En cuanto a otros parámetros fisicoquímicos, el rango de la temperatura del agua varía entre 22,95 °C y 32,51 °C, el pH varía entre 7,03 – 9,35 y se encuentra en el rango establecido por el objetivo de calidad en cuanto al valor mínimo e incumplimiento en el valor máximo; para la DQO se presentan un valor máximo de 32,9 mg/l y no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el valor máximo de la DBO₅ (1,88 mg/l) no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el oxígeno disuelto no presenta incumplimiento del objetivo de calidad





(<4mg/l) con valores promedio de 6,93 mg/l ; el promedio de alcalinidad (189,95 mg/l) se mantiene por debajo de niveles máximos permisibles (Roldan y Ramírez, 2008).

En general no se observan valores relevantes en los grupos de compuestos orgánicos (grasas y aceites y fenoles); en cuanto a compuestos de fósforo se observan condiciones de eutrofia de manera generalizada con fósforo total > 0,02 mg/l y ortofosfatos > 0,014 mg/l (Roldan y Ramírez, 2008 y USEPA, 1987); al igual que los compuestos de nitrógeno los cuales presentaron valores máximos > 2mg/l coincidentes con condiciones de eutrofia (Vollenweider, 1968), y específicamente, el valor máximo de nitritos (0,37 mg/l) presentó incumplimiento en el objetivo de calidad establecido (0,3 mg/l) y cumple para los nitratos.

En cuanto a otros iones, los fluoruros presentan promedio de 0,38 mg/l; cloruros promedio 102,73 mg/l respecto a metales y metaloides en general se observan resultados por debajo de los límites de detección o valores bajos, excepto para los valores máximos de hierro 9,56 mg/l que de acuerdo con el decreto 1076 no cumple con el uso para agricultura (< 5mg/l).

En general se presentan concentraciones de los sólidos totales con un valor promedio de 375,28 mg/l y para los disueltos de 328,77 mg/l.

Por último, en cuanto a microbiológicos, los coliformes totales se presenta incumplimiento de los objetivos establecidos.

De acuerdo con los datos anteriores se presenta un análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio espacial y temporal por parámetro: conductividad, oxígeno, pH, sólidos suspendidos-turbidez, sulfatos.

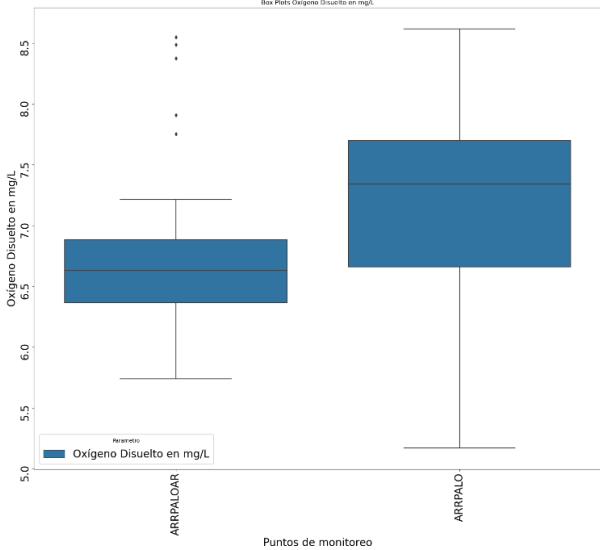
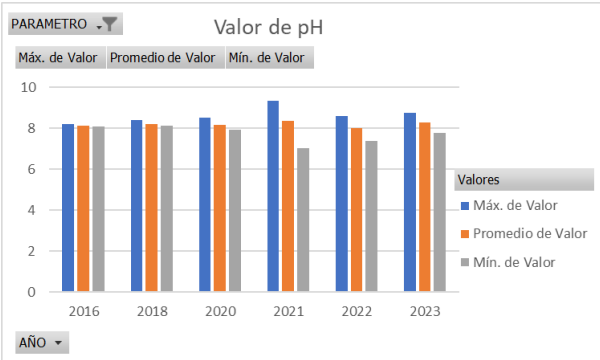
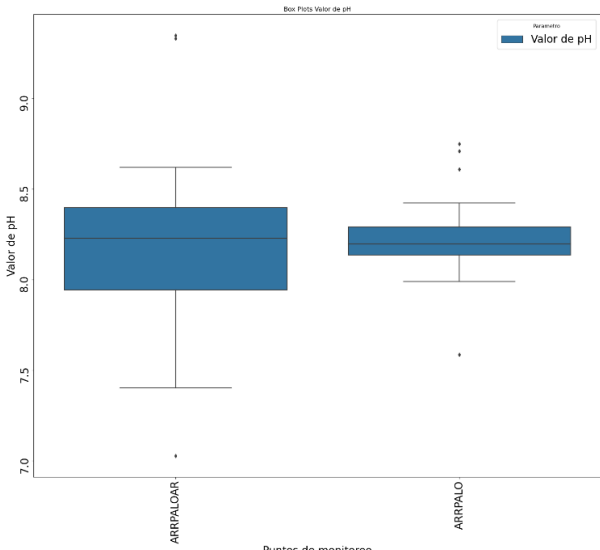




Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$																													
Análisis temporal <table><caption>Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Análisis temporal)</caption><tr><th>AÑO</th><th>Máx. de Valor</th><th>Promedio de Valor</th><th>Mín. de Valor</th></tr><tr><td>2016</td><td>450</td><td>400</td><td>350</td></tr><tr><td>2018</td><td>400</td><td>350</td><td>300</td></tr><tr><td>2020</td><td>1860</td><td>600</td><td>400</td></tr><tr><td>2021</td><td>900</td><td>550</td><td>200</td></tr><tr><td>2022</td><td>1000</td><td>500</td><td>250</td></tr><tr><td>2023</td><td>500</td><td>450</td><td>300</td></tr></table>	AÑO	Máx. de Valor	Promedio de Valor	Mín. de Valor	2016	450	400	350	2018	400	350	300	2020	1860	600	400	2021	900	550	200	2022	1000	500	250	2023	500	450	300	Durante el periodo analizado (2016 a 2023) se registra valores mínimos (178,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) por encima del objetivo de calidad establecido para el uso de asimilación que tiene un valor de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El registro máximo es de 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el año 2020.
AÑO	Máx. de Valor	Promedio de Valor	Mín. de Valor																										
2016	450	400	350																										
2018	400	350	300																										
2020	1860	600	400																										
2021	900	550	200																										
2022	1000	500	250																										
2023	500	450	300																										
Análisis espacial <table><caption>Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Análisis espacial)</caption><tr><th>Puntos de monitoreo</th><th>Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$</th></tr><tr><td>ARRPAOAR</td><td>178,6</td></tr><tr><td>ARRPAO</td><td>543,8</td></tr></table>	Puntos de monitoreo	Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$	ARRPAOAR	178,6	ARRPAO	543,8	Sobre el arroyo Palomino se encuentran dos puntos de monitoreo, uno aguas arriba de la mina ARRPAOARR y del punto de vertimiento, en el cual realiza vertimientos esporádicamente y en tiempos de lluvia, y otro, aguas abajo a 100 metros de la confluencia con el río Ranchería (ARRPALO). Espacialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRPAOARR presenta promedios de 526,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el punto ARRPAO de concentraciones ligeramente mayores con 543,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para el punto aguas arriba se presentó un pico de conductividad de 986 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y aguas abajo 1860. Las menores conductividades registradas para el punto aguas arriba es de 178,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de 283,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aguas abajo. Para ambos puntos se incumple con el objetivo de calidad que es de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$.																						
Puntos de monitoreo	Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$																												
ARRPAOAR	178,6																												
ARRPAO	543,8																												
Oxígeno Disuelto en mg/L																													
Análisis temporal <table><caption>Oxígeno Disuelto en mg/L (Análisis temporal)</caption><tr><th>AÑO</th><th>Máx. de Valor</th><th>Promedio de Valor</th><th>Mín. de Valor</th></tr><tr><td>2016</td><td>7,5</td><td>7,2</td><td>7,0</td></tr><tr><td>2018</td><td>8,5</td><td>7,5</td><td>6,5</td></tr><tr><td>2020</td><td>8,5</td><td>7,2</td><td>6,5</td></tr><tr><td>2021</td><td>8,0</td><td>6,5</td><td>5,2</td></tr><tr><td>2022</td><td>8,0</td><td>6,8</td><td>5,8</td></tr><tr><td>2023</td><td>8,61</td><td>7,0</td><td>6,0</td></tr></table>	AÑO	Máx. de Valor	Promedio de Valor	Mín. de Valor	2016	7,5	7,2	7,0	2018	8,5	7,5	6,5	2020	8,5	7,2	6,5	2021	8,0	6,5	5,2	2022	8,0	6,8	5,8	2023	8,61	7,0	6,0	Para el periodo analizado (2016 a 2023) se encuentran valores en cumplimiento del objetivo de calidad establecido (4 mg) con concentraciones entre 5,16-8,61 mg/L.
AÑO	Máx. de Valor	Promedio de Valor	Mín. de Valor																										
2016	7,5	7,2	7,0																										
2018	8,5	7,5	6,5																										
2020	8,5	7,2	6,5																										
2021	8,0	6,5	5,2																										
2022	8,0	6,8	5,8																										
2023	8,61	7,0	6,0																										





Análisis espacial  Oxígeno Disuelto en mg/L Puntos de monitoreo	Espacialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRPAOARR presenta promedios de 6,77 mg/l y el punto ARRPAO de concentraciones ligeramente mayores 7,16 mg/l. Para el punto aguas arriba la menor concentración registrada es de 5,74 mg/l, y aguas abajo es de 5,2 mg/l. Para ambos puntos se cumple con el objetivo de calidad que es de 4 mg/L.
pH	
Análisis temporal  PARAMETRO Valor de pH Máx. de Valor Promedio de Valor Mín. de Valor Valores ■ Máx. de Valor ■ Promedio de Valor ■ Mín. de Valor AÑO	El valor del pH registrado para el periodo de análisis (2016 a 2023) se encuentra en el rango 7,02-9,3 Unidades, concluyendo que las aguas del arroyo Palomino tienden a ser de carácter básico y este valor se encuentra por encima del límite máximo establecido en los objetivos de calidad (8,5 Unidades).
Análisis espacial  Box Plot Valor de pH Valor de pH Puntos de monitoreo	Espacialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRPAOARR presenta promedios de 8,2 Unidades y el punto ARRPAO de 8,23 Unidades. Por lo tanto, no se presentan variaciones del pH espacialmente. El valor máximo del pH es de 9,35 Unidades y el menor es 7 Unidades para ambos puntos de monitoreo. Solo un registro máximo se encuentra por encima del objetivo de calidad que es de 8,5 Unidades. Para el punto aguas abajo se cumple con el objetivo de calidad (6,5 Unidades).





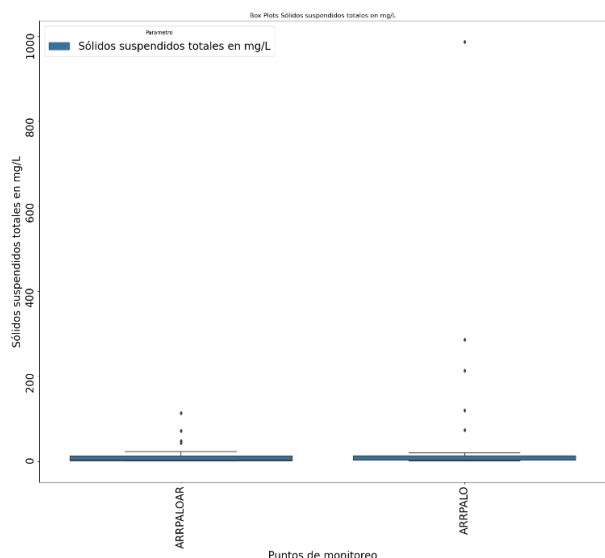
Sólidos suspendidos totales en mg/L

Análisis temporal



Los registros más altos de este parámetro se presentaron en el año 2016, superando el valor máximo establecido en los objetivos de calidad que es de 200 mg/L, desde el año 2018 ha presentado una tendencia a incrementar para los valores máximos registrados.

Análisis espacial



Especialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRPAOARR presenta promedios de 13 mg/l y el punto ARRPAO de 33,7 mg/l por lo tanto se presentan concentraciones mayores para el punto aguas abajo.

El valor máximo del SST (987 mg/l) se presentó en abril de 2016 coincidiendo con época de lluvias, en el punto ARRPAO.

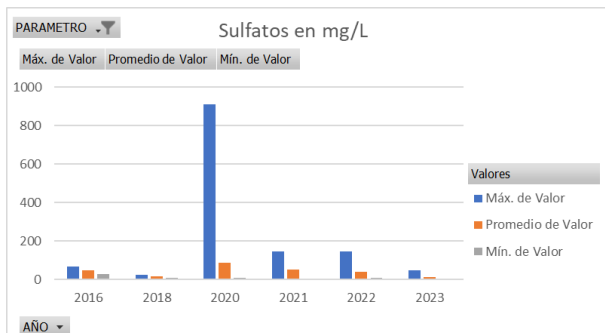
Se incumple con el objetivo de calidad (<200 mg/L) para el valor máximo registrado en el punto ARRPAO, ubicado aguas abajo.

El punto aguas arriba para todas las campañas cumple con el objetivo de calidad.

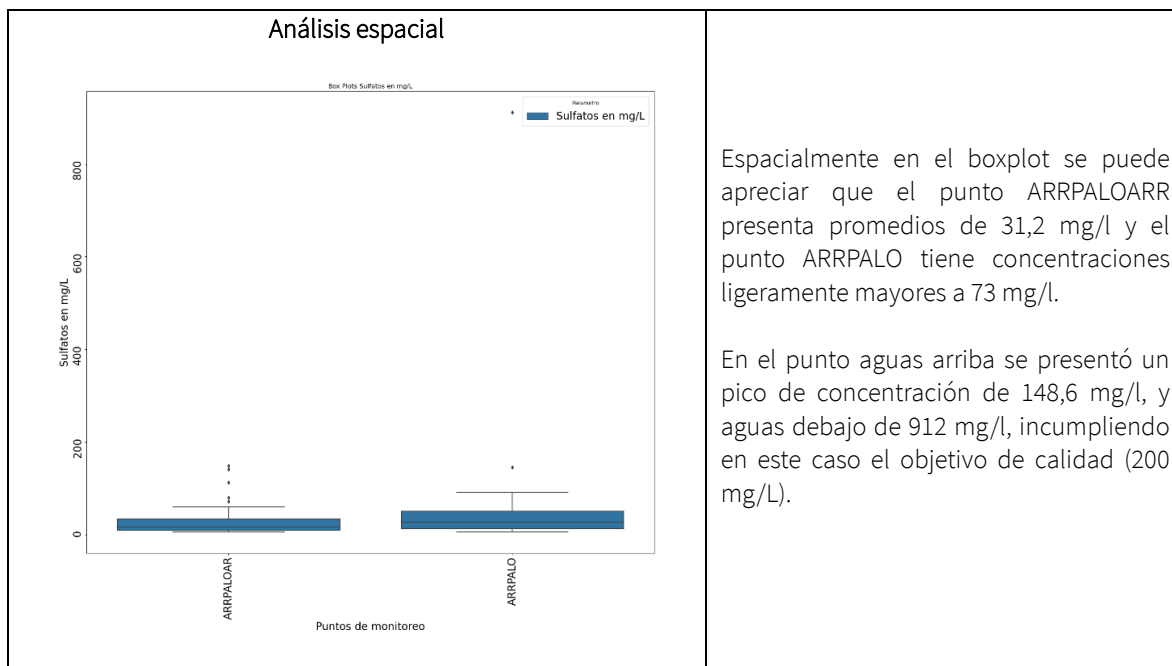
Se recomienda por tanto al equipo de seguimiento especial seguimiento a mantenimiento de cunetas y demás estructuras que pudieran ser sumideros de material suspendido.

Sulfatos en mg/L

Análisis temporal



Los registros más altos de este parámetro se presentaron en el año 2020, superando el valor máximo establecido en los objetivos de calidad que es de 500 mg/L.



Arroyo Cerrejón

De acuerdo con la información de muestreos y campañas de calidad realizadas para los periodos 2016 a 2023, en la Tabla 9 se presenta un resumen estadístico de los principales hallazgos respecto a la calidad del agua y cantidad del agua del arroyo Cerrejón. Para el análisis se tomará como objetivo de calidad receptor y transporte de aguas tratadas y uso industrial tal cómo está definido en la resolución de Corpoguajira. Este arroyo se encuentra luego del desarrollo minero, el expediente LAM1094 tiene autorizado un vertimiento de la Laguna Annex2, y Comuneros.

A continuación, los estadísticos de los parámetros analizados:

Tabla 9. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Cerrejón

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	69,60	262,40	164,28	51,12	NA
Cloruros en mg/L	7,40	248,10	44,41	58,17	NA
Cobre en mg/L	0,00	0,10	0,03	0,04	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	1,80	300000	14200	43600	-
Coliformes Totales en NMP/100ml	1,80	300000	19200	56400	<5000
Conductividad en µS/cm	194,80	3449,00	746,00	864,62	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	0,50	3,20	1,20	0,69	<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	1,30	56,70	27,50	11,76	<100
Fluoruros en mg/L	0,13	1,46	0,43	0,38	NA
Fósforo Total en mg/L	0,07	0,57	0,18	0,15	NA



Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Grasas y Aceites en mg/L	0,22	3,00	0,83	0,76	<50
Hierro en mg/L	0,02	11,58	1,30	2,58	NA
Nitratos en mg/L	0,03	4,20	0,64	0,66	<30
Nitritos en mg/L	0,00	0,24	0,04	0,06	<0,3
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	0,28	1,17	0,78	0,46	NA
Ortofosfatos en mg/L	0,03	1,61	0,28	0,28	<1
Oxígeno Disuelto en mg/L	5,22	9,30	7,40	0,84	> 4
Sólidos Disueltos en mg/L	76,00	2760,00	516,62	711,28	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,00	1,80	0,20	0,35	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	0,18	1220,00	61,30	160,52	<200
Sólidos Totales en mg/L	100,00	3000,00	605,87	750,11	NA
Sulfatos en mg/L	5,00	1425,00	185,73	415,71	<500
Temperatura en °C	24,17	35,39	27,68	2,22	NA
Turbidez en NTU	1,20	1205,00	55,32	151,74	NA
Valor de pH	7,14	9,38	8,17	0,40	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

Según la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en ortofosfatos, coliformes totales, SST, sulfatos y nitritos. Los valores mínimos que reportan cero corresponden a los valores menores al límite de detección.

En cuanto a otros parámetros fisicoquímicos, el rango de la temperatura del agua varía entre 24,2°C y 35,4°C, el pH varía entre 7,14 – 9,38 y se encuentra en el rango establecido por el objetivo de calidad en cuanto al valor mínimo e incumplimiento en el valor máximo; para la DQO se presentan un valor máximo de 56,7 mg/l y no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el valor máximo de la DBO5 (3,2 mg/l) no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el oxígeno disuelto no presenta incumplimiento del objetivo de calidad (<4mg/l) con valores promedio de 7,4 mg/l ; el promedio de alcalinidad (164.28 mg/l) se mantiene por debajo de niveles de máximos permisibles (Roldan y Ramírez, 2008).

En general no se observan valores relevantes en los grupos de compuestos orgánicos (grasas y aceites y fenoles); en cuanto a compuestos de fósforo se observan condiciones de eutrofia de manera generalizada con fósforo total > 0,02 mg/l y ortofosfatos > 0,014 mg/l (Roldan y Ramírez, 2008 y USEPA, 1987); los compuestos de nitrógeno no presentaron incumplimiento con el objetivo de calidad.

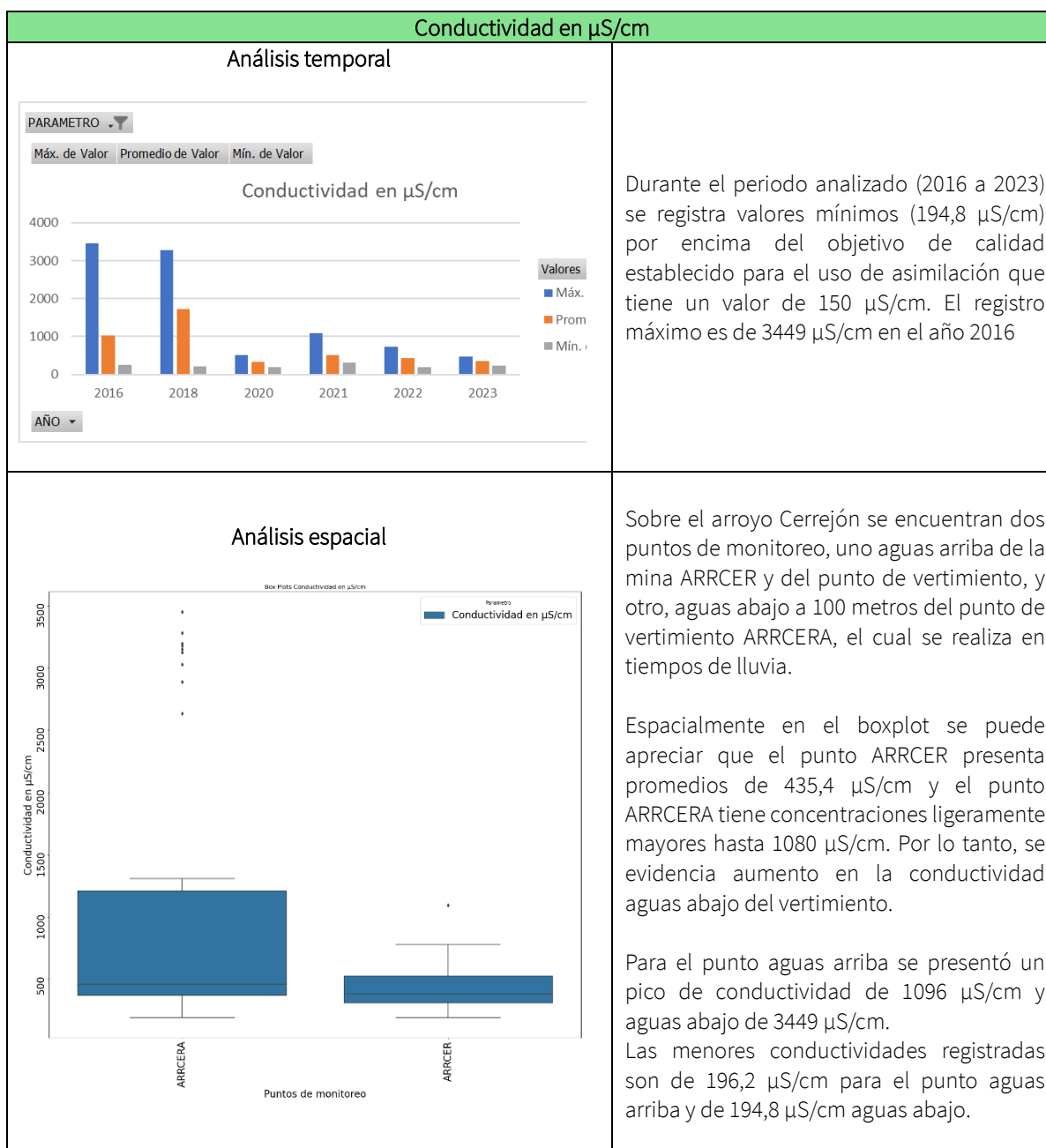
En cuanto a otros iones, los fluoruros presentan promedio de 0,43 mg/l; cloruros promedio 533,53 mg/l respecto a metales y metaloides en general se observan resultados por debajo de los límites de detección o valores bajos, excepto para los valores máximos de hierro 11,58 mg/l que de acuerdo con el decreto 1076 no cumple con el uso para agricultura (< 5mg/l).



En general se presentan concentraciones de los sólidos totales tales un valor promedio de 605,87 mg/l y para los disuelto de 516,62mg/l.

Por último, en cuanto a microbiológicos, los coliformes totales se presenta incumplimiento de los objetivos establecidos.

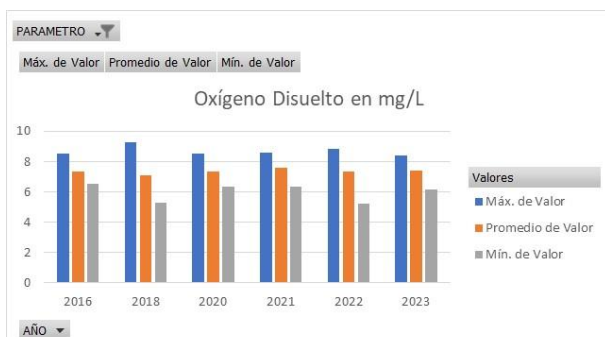
De acuerdo con los datos anteriores se presenta un análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio espacio temporal por parámetro: conductividad, pH, sólidos suspendidos-turbidez y sulfatos.





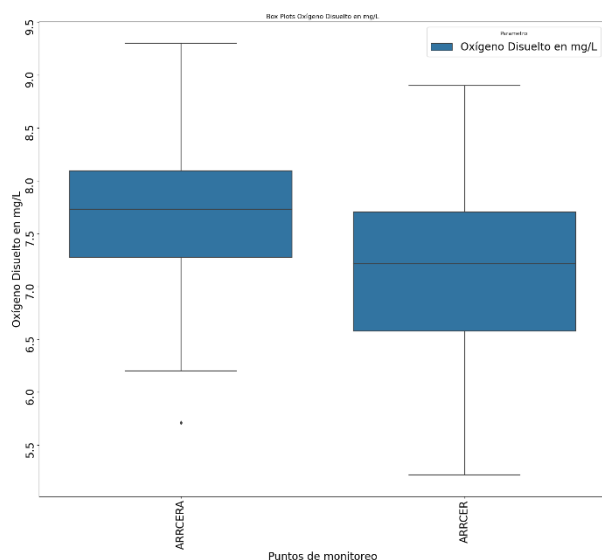
Oxígeno Disuelto en mg/L

Análisis temporal



Para el periodo analizado (2016 a 2023) se encuentran valores en cumplimiento del objetivo de calidad establecido (4 mg) con concentraciones entre 5,21-9,3 mg/L.

Análisis espacial

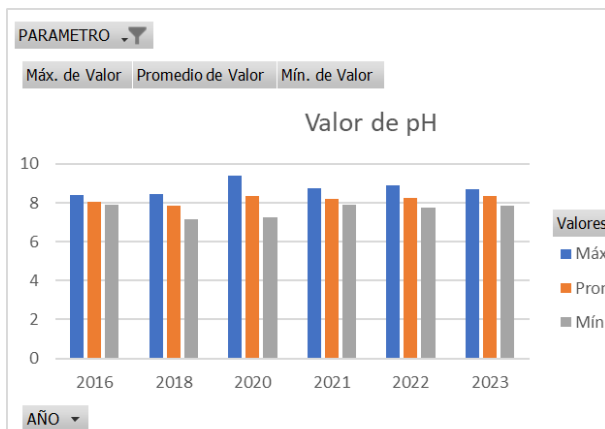


El punto ARRCER presenta promedios de 7,16 mg/l y el punto ARRCERA 7,45 mg/L.

Para el punto aguas arriba la menor concentración registrada es de 5,22 mg/l, y aguas abajo es de 5,71 mg/l, evidenciando que hay oxigenación del arroyo. Para ambos casos se cumple con el objetivo de calidad que es de 4 mg/L.

pH

Análisis temporal

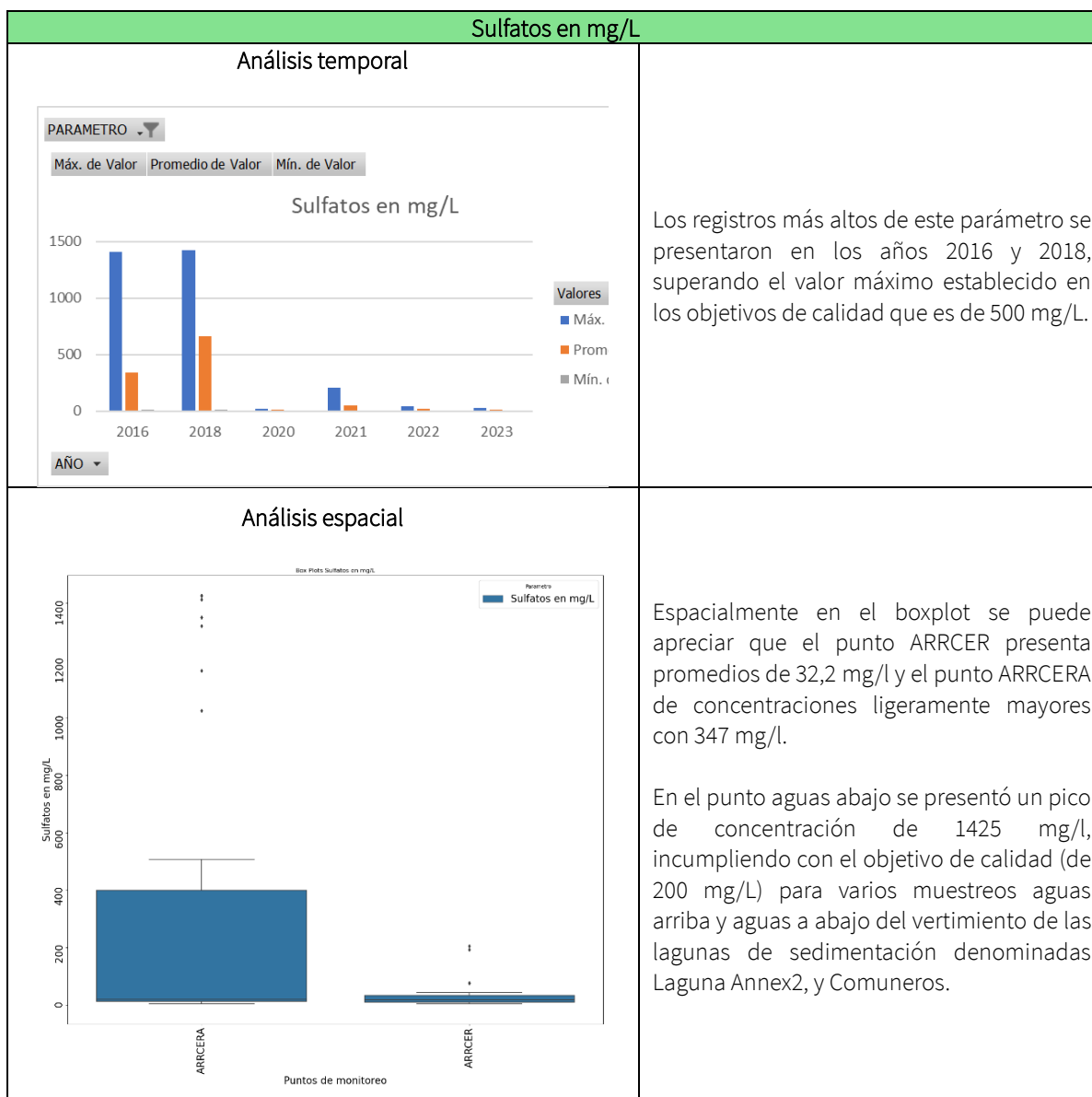


El valor del pH registrado para el periodo de análisis (2016 a 2023) se encuentra en el rango 7,13-9,37 Unidades, por lo que las aguas del arroyo Cerrejón tienden a ser de carácter básico y este valor se encuentra por encima del límite máximo establecido en los objetivos de calidad (8,5 Unidades).



Análisis espacial Box Plot Valor de pH Parametro: Valor de pH Puntos de monitoreo: ARRCERA, ARRCER	Espacialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRCER presenta promedios de 8,2 Unidades y el punto ARRCERA de 8,15 Unidades. Por lo tanto, no se presentan variaciones del pH espacialmente. El valor máximo del pH es de 9,38 Unidades en el punto ARRCERA, incumpliendo con el objetivo de calidad (8,5 Unidades). Para el punto aguas arriba se cumple con el objetivo de calidad.
Sólidos suspendidos totales en mg/L	
Análisis temporal PARAMETRO: Sólidos suspendidos totales en mg/L Máx. de Valor, Promedio de Valor, Mín. de Valor Valores: Máx., Prom, Mín. AÑO: 2016, 2018, 2020, 2021, 2022, 2023	Los registros más altos de este parámetro se presentaron en el año 2021, superando el valor máximo establecido en los objetivos de calidad que es de 200 mg/L.
Análisis espacial Box Plot Sólidos suspendidos totales en mg/L Parametro: Sólidos suspendidos totales en mg/L Puntos de monitoreo: ARRCERA, ARRCER	Espacialmente en el boxplot se puede apreciar que el punto ARRCER presenta promedios de 60,12 mg/l y el punto ARRCERA de 62,5 mg/l por lo tanto se presentan concentraciones muy similares. El valor máximo de este parámetro es de 1220 mg/l en el punto ARRCER y se incumple con el objetivo de calidad de 200 mg/L para ambos puntos de monitoreo para meses de épocas de lluvia.





Arroyo Cequión

De acuerdo con la información de muestreos y campañas de calidad realizadas para los periodos 2016 a 2023, en la Tabla 10 se presenta un resumen estadístico de los principales hallazgos respecto a la calidad del agua del arroyo Cequión. Para el análisis se tomará como objetivo de calidad receptor y transporte de aguas tratadas y uso industrial tal cómo está definido en la resolución de Corpoguajira. Este arroyo se encuentra luego del desarrollo minero, el expediente LAM1094 tiene autorizado un vertimiento de la Laguna Annex. Solo hay información del punto de monitoreo aguas abajo del vertimiento.





Tabla 10. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Cequión

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	65,60	244,00	133,33	79,69	NA
Cloruros en mg/L	18,86	214,40	107,67	80,87	NA
Cobre en mg/L	0,01	0,01	0,01		NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	23,00	33000,00	8980,75	16059,42	-
Coliformes Totales en NMP/100ml	240,00	79000,00	21180,00	38597,87	<5000
Conductividad en μ S/cm	449,00	3800,00	1936,25	1401,50	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	2,03	2,03	2,03		<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	25,92	48,15	34,45	11,98	<100
Fluoruros en mg/L	0,87	0,87	0,87		NA
Fósforo Total en mg/L	0,13	0,41	0,25	0,15	
Grasas y Aceites en mg/L	0,22	0,43	0,32	0,15	<50
Hierro en mg/L	0,52	3,91	1,83	1,82	NA
Nitratos en mg/L	1,01	3,04	1,81	0,86	<30
Nitritos en mg/L	0,04	0,05	0,05	0,01	<0,3
Ortofosfatos en mg/L	0,40	0,40	0,40		<1
Oxígeno Disuelto en mg/L	6,73	8,04	7,38	0,69	> 4
Plomo en mg/L	0,23	0,23	0,23		NA
Sólidos Disueltos en mg/L	271,00	2798,00	1436,00	1053,67	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,10	0,30	0,20	0,14	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	18,75	175,00	83,05	71,31	<200
Sólidos Totales en mg/L	362,00	2864,00	1531,50	1033,05	NA
Sulfatos en mg/L	27,63	1662,22	800,07	693,53	<500
Temperatura en °C	20,73	26,97	25,20	2,99	NA
Turbidez en NTU	37,00	356,00	136,90	148,02	NA
Valor de pH	7,93	8,46	8,15	0,22	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

Según la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en, coliformes totales, SST y sulfatos. Los valores mínimos que reportan cero corresponden a los valores menores al límite de detección.

En cuanto a otros parámetros fisicoquímicos, el rango de la temperatura del agua varía entre 24,2°C y 35,4°C, el pH varía entre 7,93 – 8,46 y se encuentra en el rango establecido por el objetivo de calidad; para la DQO se presentan un valor máximo de 48,15mg/l y no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el valor máximo de la DBO₅ (2,03mg/l) no presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el oxígeno disuelto no presenta incumplimiento del objetivo de calidad (<4mg/l) con valores promedio de 7,4 mg/l ; el promedio de





alcalinidad (133,33mg/l) se mantiene por debajo de niveles máximos permisibles (Roldan y Ramírez, 2008).

En general no se observan valores relevantes en los grupos de compuestos orgánicos (grasas y aceites y fenoles); en cuanto a compuestos de fósforo se observan condiciones de eutrofia de manera generalizada con fósforo total > 0,02 mg/l y ortofosfatos > 0,014 mg/l (Roldan y Ramírez, 2008 y USEPA, 1987); los compuestos de nitrógeno no presentaron incumplimiento con el objetivo de calidad.

En cuanto a otros iones, los fluoruros presentan promedio de 0,87 mg/l; cloruros promedio 1936,25 mg/l respecto a metales y metaloides en general se observan resultados por debajo de los límites de detección o valores bajos.

En general se presentan concentraciones de los sólidos totales altos con un valor promedio de 1531,50mg/l y para los disuelto de 1436,00mg/l.

Por último, en cuanto a microbiológicos, los coliformes totales se presenta incumplimiento de los objetivos establecidos.

Cómo solo hay una estación de monitoreo no se presenta el análisis espacio temporal.

Arroyo Caurina

A continuación, en la Tabla 11 se presentan los resultados y la información estadística de los parámetros objeto de análisis, para este caso, se toma como referencia el cumplimiento de objetivos de calidad de uso industrial al tratarse del uso prospectivo de los tributarios que menciona la Resolución 1319 de 2016. Es de mencionar que este cuerpo de agua no es receptor de vertimientos por parte de los proyectos mineros vinculados a la estrategia, no obstante, es receptor de las aguas del arroyo La Ceiba por medio de un trasvase en una longitud de 1,1 kilómetros (aproximadamente), actividad que hace parte de las obras autorizadas mediante Resolución 1386 de 2014 del expediente LAM1094.

Tabla 11. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Caurina

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	117,00	247,00	203,67	75,06	NA
Cloruros en mg/L	12,98	36,73	28,81	13,71	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	11,00	240,00	163,67	132,21	NA
Coliformes Totales en NMP/100ml	17,00	240,00	165,67	128,75	<5000
Conductividad en µS/cm	287,70	584,00	485,23	171,07	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	1,30	1,30	1,30	-	<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	21,00	21,00	21,00	-	<100
Fenoles en mg/L	0,10	0,10	0,10	-	NA
Fluoruros en mg/L	0,00	0,00	0,00	-	NA





Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Fósforo Total en mg/L	0,18	0,94	0,43	0,43	NA
Grasas y Aceites en mg/L	0,20	0,23	0,21	0,02	<50
Hierro en mg/L	0,20	4,70	2,45	3,18	NA
Nitratos en mg/L	0,19	0,74	0,56	0,32	<30
Nitritos en mg/L	0,02	0,02	0,02	0,00	<0,3
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	1,00	1,00	1,00	-	NA
Ortofosfatos en mg/L	0,22	0,37	0,32	0,09	NA
Oxígeno Disuelto en mg/L	4,92	5,66	5,17	0,42	> 4
Sólidos Disueltos en mg/L	169,00	328,00	275,00	91,80	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,10	0,40	0,20	0,17	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	17,14	169,00	67,76	87,68	<200
Sólidos Totales en mg/L	362,00	376,00	366,67	8,08	NA
Sulfatos en mg/L	19,77	39,15	32,69	11,19	<500
Temperatura en °C	27,13	27,60	27,29	0,27	NA
Turbidez en NTU	37,50	135,00	70,00	56,29	NA
Valor de pH	7,77	8,29	7,94	0,30	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

De acuerdo con los datos analizados de la tabla anterior, se evidencia que específicamente para la conductividad se supera el límite establecido por CORPOGUAJIRA en el objetivo de calidad, incluso en el valor mínimo reportado. Si bien este parámetro se relaciona con los cloruros y sulfatos, estos dos parámetros se registran con concentraciones inferiores a 250 mg/L y 400 mg/L que establecen los artículos 2.2.3.3.9.3. y 2.2.3.3.9.4. del Decreto 1076 de 2015 como criterios de calidad para el tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico y desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Sobre los parámetros de DBO y DQO, se reportan valores máximos de 1,3 y 21 mg/L, respectivamente, presentando un cumplimiento al objetivo de calidad. El valor del pH varía entre 7,77-8,29 Unidades y se encuentra en el rango establecido en los objetivos de calidad. El valor mínimo de oxígeno disuelto reportado es de 4,92 mg/L, superior al límite inferior definido por CORPOGUAJIRA de 4 mg/L.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, los coliformes totales y fecales presentan cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos, al igual que los parámetros de grasas y aceites y compuestos de nitrógeno.

Dado que, en este cuerpo de agua solo hay una estación de monitoreo y presenta pocos datos no se presenta el análisis espacio temporal.





Arroyo Tabaco

En la siguiente tabla (ver Tabla 12) se presentan los resultados estadísticos principales del arroyo Tabaco y para el análisis, de acuerdo con los objetivos de calidad, el Arroyo Tabaco tiene un uso priorizado de industrial, por lo que se tomarán estos criterios como referencia. Es de mencionar que este cuerpo de agua es receptor de vertimientos de la Laguna Tabaco.

Tabla 12. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Tabaco

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	107,70	436,00	224,16	48,22	NA
Cloruros en mg/L	5,59	328,00	48,90	47,05	NA
Cobre en mg/L	0,00	25,10	3,14	6,51	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	4,50	9000000	116542,43	975580,08	NA
Coliformes Totales en NMP/100ml	1,80	9000000	122112,2	969931,19	<5000
Conductividad en μ S/cm	256,90	3802,00	834,41	612,89	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	0,20	4,12	1,33	1,32	<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	0,90	58,15	29,37	14,07	<100
Fenoles en mg/L	0,07	0,46	0,20	0,13	NA
Fluoruros en mg/L	0,13	1,12	0,35	0,22	NA
Fósforo Total en mg/L	0,07	0,72	0,30	0,16	NA
Grasas y Aceites en mg/L	0,21	3,00	0,88	0,72	<50
Hierro en mg/L	0,00	17,00	0,89	2,89	NA
Nitratos en mg/L	0,03	4,00	0,68	0,75	<30
Nitritos en mg/L	0,00	0,58	0,07	0,13	<0,3
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	0,28	0,28	0,28	0,00	NA
Ortofosfatos en mg/L	0,09	1,36	0,37	0,32	NA
Oxígeno Disuelto en mg/L	4,89	9,81	6,95	0,94	> 4
Plomo en mg/L	0,00	3,41	0,89	1,13	NA
Sólidos Disueltos en mg/L	140,00	2682,00	525,17	446,50	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,00	1,30	0,14	0,28	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	0,18	675,00	32,35	110,02	<200
Sólidos Totales en mg/L	148,00	4221,00	626,03	641,54	NA
Sulfatos en mg/L	6,77	1819,00	143,25	275,36	<500
Temperatura en °C	24,20	32,26	28,15	2,09	NA
Turbidez en NTU	0,29	1004,00	50,75	149,75	NA
Valor de pH	7,18	8,92	8,08	0,31	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

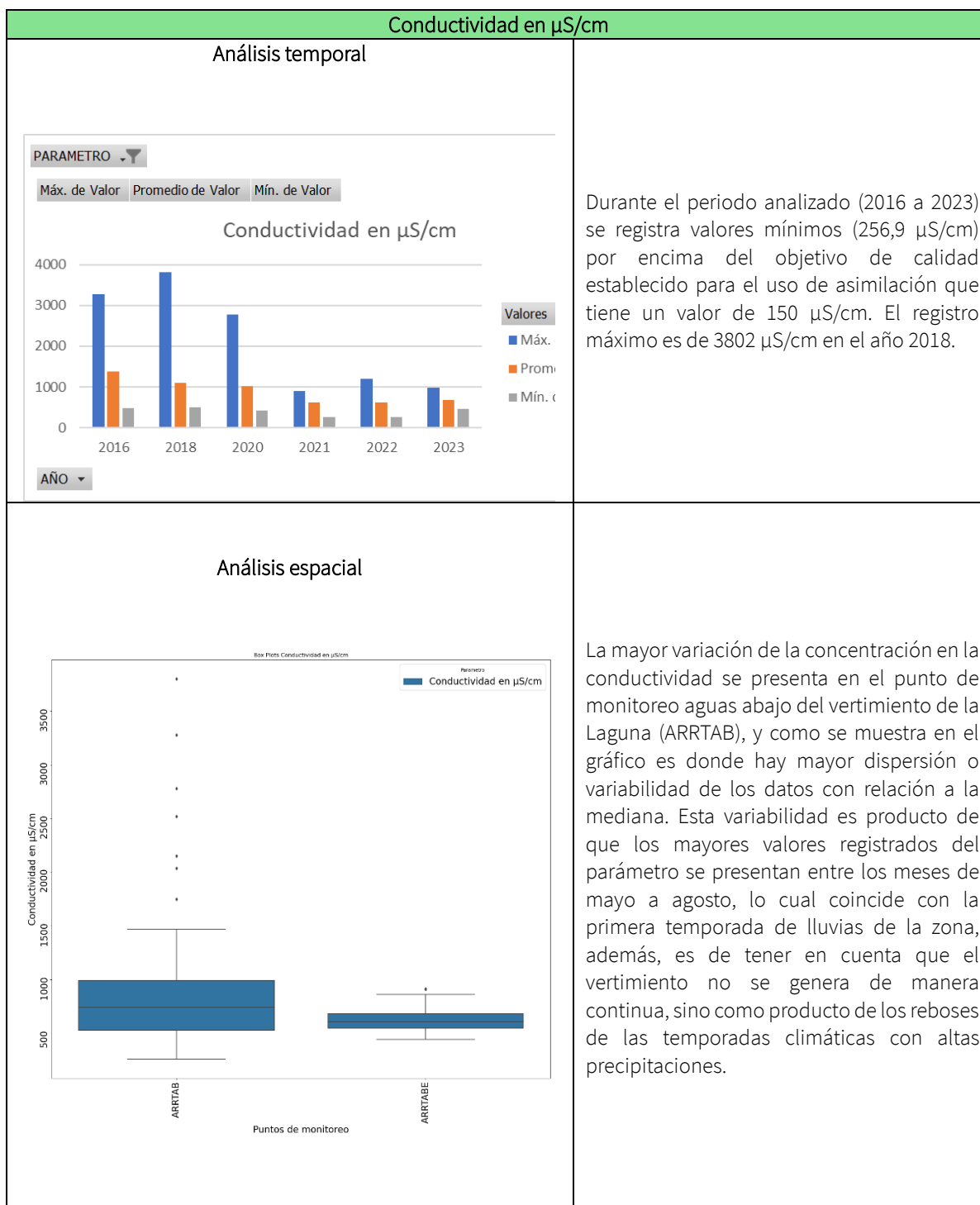
De acuerdo con los datos de la tabla anterior, se evidencia que hay incumplimiento de los parámetros de coliformes totales, conductividad, sólidos suspendidos totales, sulfatos y pH, principalmente relacionado con los valores máximos registrados de estos parámetros.

Sobre los parámetros de DBO y DQO, se reportan valores máximos de 1,3 y 29,37 mg/L, respectivamente, presentando cumplimiento al objetivo de calidad. El valor mínimo de oxígeno disuelto reportado es de 4,89 mg/L, superior al límite inferior definido por



CORPOGUAJIRA de 4 mg/L y los parámetros de grasas y aceites y compuestos de nitrógeno presentan cumplimiento de los objetivos de calidad.

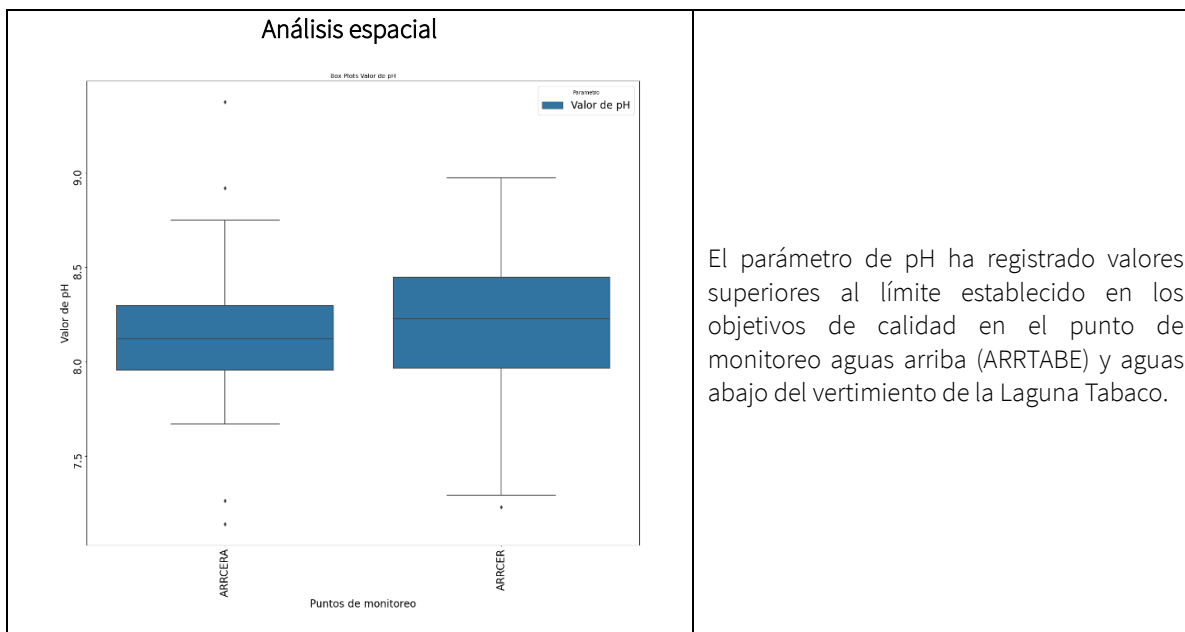
A partir de los registros en este tramo, a continuación, se presenta un análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio espacial y temporal por parámetro.



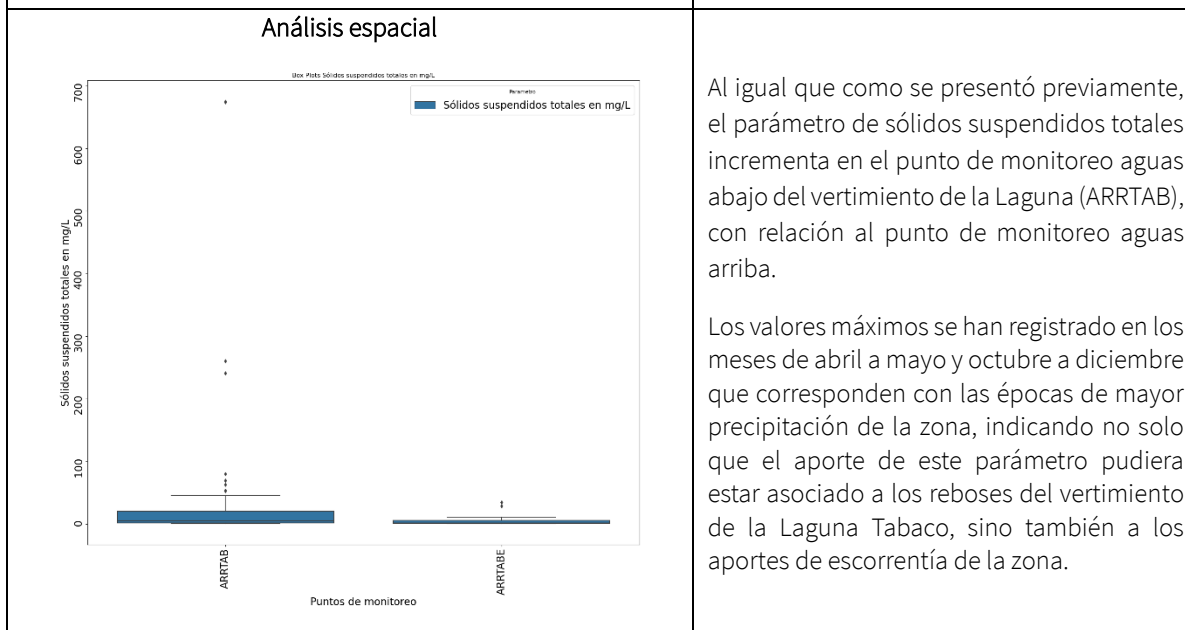
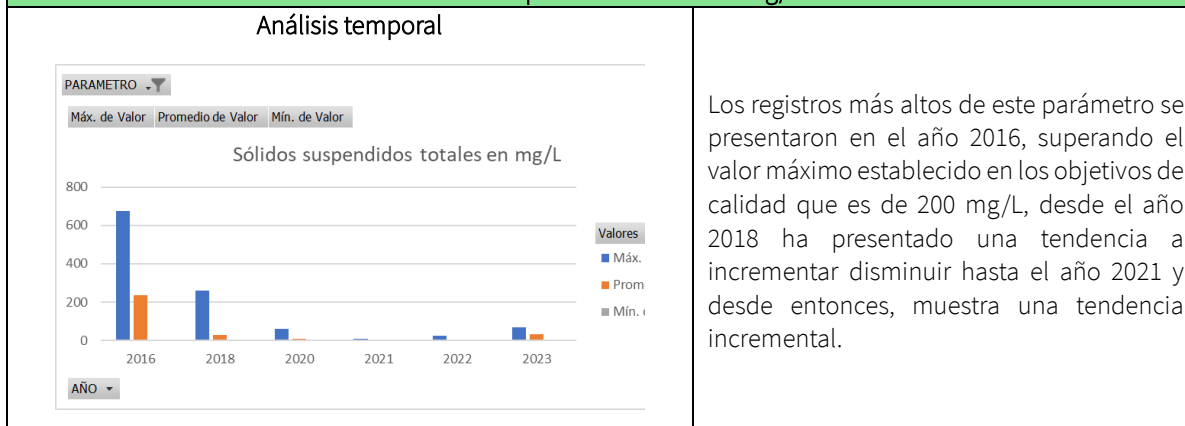


Oxígeno Disuelto en mg/L	
Análisis temporal Para el periodo analizado (2016 a 2023) se encuentran valores en cumplimiento del objetivo de calidad establecido (4 mg) con concentraciones entre 4,89-9,81 mg/L.	
Análisis espacial De acuerdo con la gráfica, se observa una disminución de la concentración de este parámetro en el punto de monitoreo aguas abajo del vertimiento de la Laguna (ARRTAB), sin embargo, se evidencia que incluso los valores mínimos reportados de este parámetro se encuentran en cumplimiento del objetivo de calidad (>4 mg/L).	
pH	
Análisis temporal El valor del pH registrado para el periodo de análisis (2016 a 2023) se encuentra en el rango 7,18-8,92 Unidades, concluyendo que las aguas del arroyo Tabaco tienden a ser de carácter básico y este valor se encuentra por encima del límite máximo establecido en los objetivos de calidad (8,5 Unidades).	





Sólidos suspendidos totales en mg/L





Arroyo Bruno

En la siguiente tabla (ver Tabla 13) se presentan los resultados estadísticos principales del arroyo Bruno y para el análisis, de acuerdo con los objetivos de calidad, el Arroyo Bruno tiene un uso priorizado de industrial, por lo que se tomarán estos criterios como referencia. Es de mencionar que este cuerpo de agua es receptor de vertimientos de la Laguna Potreritos y que la ubicación de los puntos de monitoreo analizados se encuentra previo al tramo de desviación del arroyo autorizado mediante Resolución 759 de 14 de julio de 2014.



Tabla 13. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Arroyo Bruno

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	58,31	347,82	187,34	52,67	NA
Cloruros en mg/L	6,61	117,64	36,54	20,26	NA
Cobre en mg/L	0,00	0,20	0,04	0,06	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	1,80	300000,00	9839,50	38290,48	NA
Coliformes Totales en NMP/100ml	1,80	300000,00	12843,72	43095,86	<5000
Conductividad en μ S/cm	151,60	1437,00	624,43	250,27	<120
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	0,10	6,34	1,50	1,17	<50
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	3,00	64,53	26,26	13,33	<100
Fluoruros en mg/L	0,14	0,79	0,32	0,14	NA
Fósforo Total en mg/L	0,07	1,80	0,34	0,35	NA
Grasas y Aceites en mg/L	0,21	3,00	0,95	0,80	<50
Hierro en mg/L	0,00	20,86	1,83	4,76	NA
Nitratos en mg/L	0,02	3,10	0,50	0,52	<30
Nitritos en mg/L	0,00	0,46	0,04	0,08	<0,3
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	0,28	6,50	2,76	2,11	NA
Ortofosfatos en mg/L	0,003	3,14	0,38	0,52	NA
Oxígeno Disuelto en mg/L	4,65	9,29	6,90	0,96	> 4
Plomo en mg/L	0,00	0,18	0,02	0,03	NA
Sólidos Disueltos en mg/L	76,70	980,00	365,03	178,56	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,00	2,20	0,32	0,56	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	0,00	1557,00	64,01	211,94	<200
Sólidos Totales en mg/L	108,00	1636,00	442,78	245,41	NA
Sulfatos en mg/L	5,04	648,51	68,82	102,34	<500
Temperatura en °C	23,30	36,59	28,57	2,36	NA
Turbidez en NTU	0,25	1725,00	80,88	266,26	NA
Valor de pH	7,03	8,94	8,04	0,32	6,5-8,5

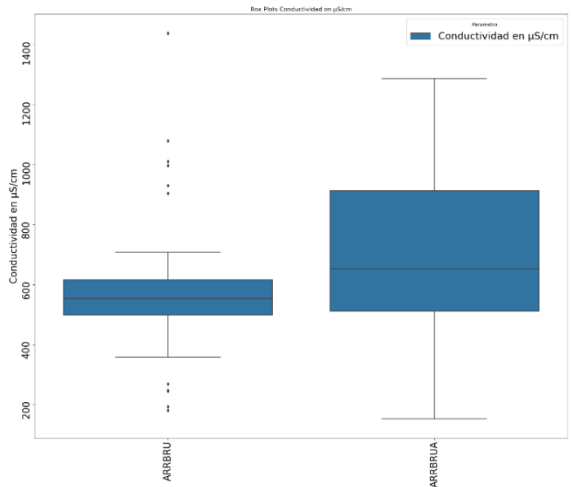
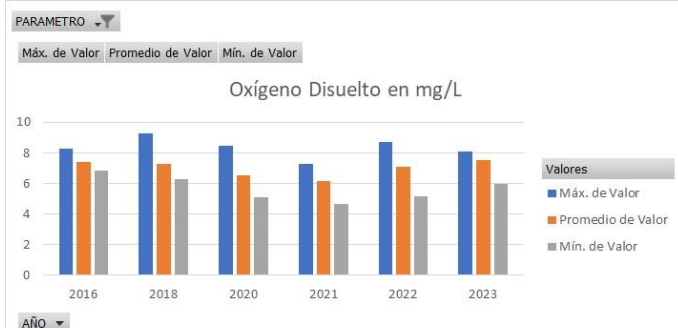
Fuente: ANLA, 2024.

De acuerdo con los datos de la tabla anterior, se evidencia que hay incumplimiento de los parámetros de coliformes totales, conductividad, nitritos, sólidos suspendidos totales, sulfatos y pH, principalmente relacionado con los valores máximos registrados de estos parámetros.

Sobre los parámetros de DBO y DQO, se reportan valores máximos de 6,34 y 64,53 mg/L, respectivamente, presentando cumplimiento al objetivo de calidad. El valor mínimo de oxígeno disuelto reportado es de 4,65 mg/L, superior al límite inferior definido por CORPOGUAJIRA de 4 mg/L y los parámetros de grasas y aceites y compuestos de nitrógeno presentan cumplimiento de los objetivos de calidad.



A partir de los registros en este tramo, a continuación, se presenta un análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio espacial y temporal por parámetro.

Conductividad en $\mu\text{S/cm}$		
Análisis temporal 		Durante el periodo analizado (2016 a 2023) se registra valores mínimos (151 $\mu\text{S/cm}$) por encima del objetivo de calidad establecido para el uso de asimilación que tiene un valor de 150 $\mu\text{S/cm}$. El registro máximo es de 1437 $\mu\text{S/cm}$ en el año 2022.
Análisis espacial 		A pesar de que el mayor registro en la concentración de este parámetro se encuentra en el punto aguas arriba (ARRBRU), se observa en la figura una tendencia incremental para el punto de monitoreo aguas abajo (ARRBURA). Para ambos casos, los registros exceden el objetivo de calidad de 150 $\mu\text{S/cm}$.
Oxígeno Disuelto en mg/L		
Análisis temporal 		Para el periodo analizado (2016 a 2023) se encuentran valores en cumplimiento del objetivo de calidad establecido (4 mg) con concentraciones entre 4,65-9,28 mg/L.





Análisis espacial De acuerdo con la gráfica, se observa un incremento de la concentración de este parámetro en el punto de monitoreo aguas abajo del vertimiento de la Laguna (ARRBRUA), y los valores mínimos reportados de este parámetro se encuentran en cumplimiento del objetivo de calidad (>4 mg/L).	
pH	
Análisis temporal El valor del pH registrado para el periodo de análisis (2016 a 2023) se encuentra en el rango 7,02-8,94 Unidades, concluyendo que las aguas del arroyo Bruno tienden a ser de carácter básico y este valor se encuentra por encima del límite máximo establecido en los objetivos de calidad (8,5 Unidades).	
Análisis espacial El parámetro de pH ha registrado valores superiores al límite establecido en los objetivos de calidad (8,5 Unidades) aguas arriba y aguas abajo del vertimiento de la Laguna Potreritos, con una tendencia a incrementar en dirección aguas abajo	





Sólidos suspendidos totales en mg/L

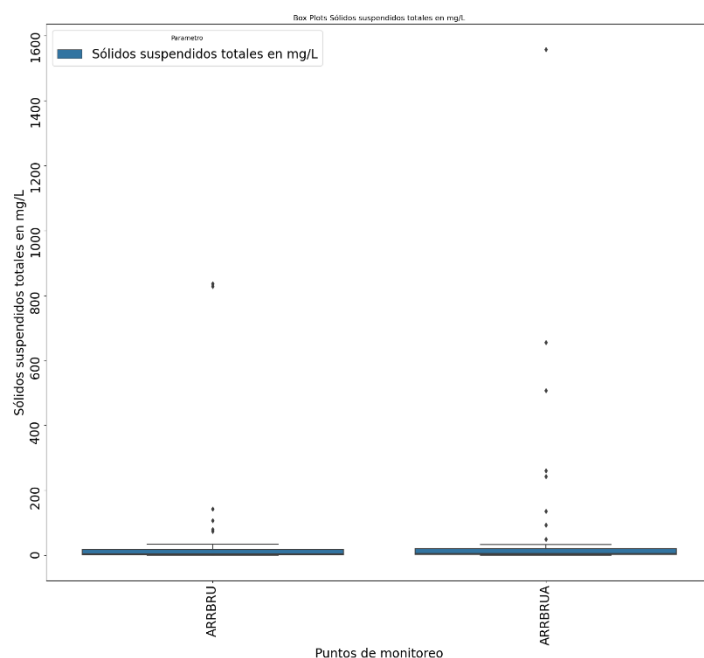
Análisis temporal



Los registros más altos de este parámetro se presentaron en el año 2021, superando el valor máximo establecido en los objetivos de calidad que es de 200 mg/L.

Se observa una tendencia a incrementarse desde el año 2016 hasta el año 2021 y, posteriormente disminuye la concentración máxima registrada en el año 2022.

Análisis espacial



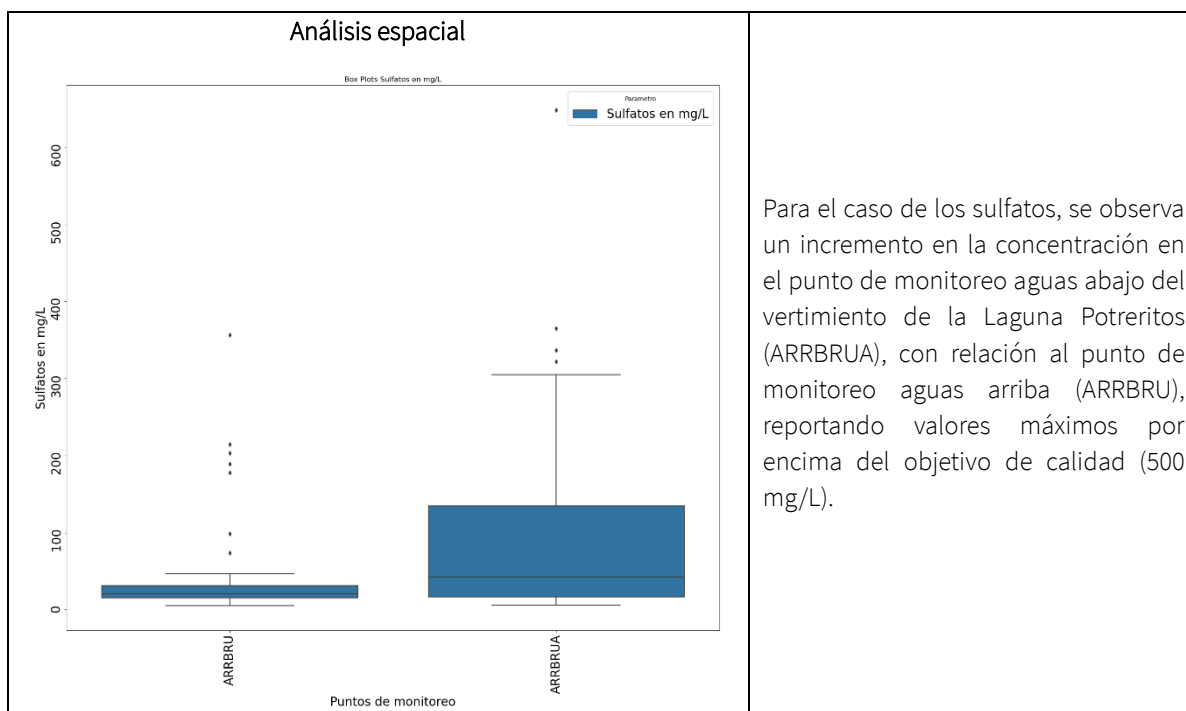
El parámetro de sólidos suspendidos tiene una tendencia aproximadamente constante entre los dos sitios de monitoreo, sin embargo, se observa en la gráfica que la sección ubicada aguas abajo (ARRBRUA) es la que ha presentado las concentraciones más altas de este parámetro, superando los objetivos de calidad (200 mg/L).

Sulfatos en mg/L

Análisis temporal



Los registros más altos de este parámetro se presentaron en el año 2020, superando el valor máximo establecido en los objetivos de calidad que es de 500 mg/L.



Río Ranchería

De acuerdo con la información de muestreos y campañas de calidad realizadas para los periodos 2016 a 2023, en la Tabla 8, se presenta un resumen estadístico de los principales hallazgos respecto a la calidad del agua del río Ranchería. Para el análisis se tomará como objetivo de calidad uso agrícola. Se tomaron los trece (13) puntos distribuidos a lo largo del río y en cercanías del proyecto LAM1094.

Tabla 14. Valores estadísticos y cumplimiento de los objetivos de calidad en el Río Ranchería

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Alcalinidad Total en mg/L CaCO ₃	0,47	286,00	133,74	51,87	NA
Cadmio en mg/L	0,0	0,27	0,02	0,04	NA
Cloruros en mg/L	2,80	455,00	32,66	40,13	NA
Cobre en mg/L	0,00	2,04	0,026	0,11	NA
Coliformes Fecales en NMP/100ml	0,70	9,20E+06	4,75E+04	3,87E+05	<2000
Coliformes Totales en NMP/100ml	0,40	3,00E+06	4,23E+04	1,93E+05	<5000
Conductividad en µS/cm	0,20	1766,00	421,21	201,08	<50
Cromo en mg/L	0,00	1,66	0,032	0,12	NA
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	0,10	70,1	17,79	273,42	<20
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	0,81	362,50	29,88	26,09	<30
Fenoles en mg/L	0,02	0,19	0,06	8,36	NA
Fluoruros en mg/L	0,01	228,00	13,41	39,39	NA



Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Objetivo de calidad
Fósforo Total en mg/L	0,0012	1,80	0,35	0,23	NA
Grasas y Aceites en mg/L	0,0020	29,30	1,14	2,04	NA
Hierro en mg/L	0,00	68,17	3,37	8,29	NA
Nitratos en mg/L	0,004	4,10	0,63	0,45	<15
Nitritos en mg/L	0,001	2,7	0,13	2,52	<0,15
Nitrógeno Amoniacal en mg/L	0,001	11,50	1,50	2,03	NA
Nitrógeno Total Kjeldahl en mg/L	3,00	25,90	10,59	6,91	NA
Ortofosfatos en mg/L	0,00	3,02	0,53	0,39	<1
Oxígeno Disuelto en mg/L	3,70	10,7	6,85	1,48	>4
Plomo en mg/L	0,00	2,30	0,03	0,13	NA
Sólidos Disueltos en mg/L	0,01	1268,00	249,22	140,18	NA
Sólidos sedimentables en mg/L	0,00	516,00	29,13	95,25	NA
Sólidos suspendidos totales en mg/L	0,10	8870,00	154,81	548,36	<20
Sólidos Totales en mg/L	0,10	8900,00	420,79	567,00	NA
Sulfatos en mg/L	0,00	2704,00	80,17	220,48	-
Temperatura en °C	20,23	41,68	28,4	2,56	NA
Turbidez en NTU	0,78	8020,00	160,70	495,05	NA
Valor de pH	6,36	9,32	8,09	1,39	6,5-8,5

Fuente: ANLA, 2024.

Según la tabla anterior, se observa incumplimiento en algunos objetivos de calidad, en los parámetros: conductividad, coliformes totales, fecales SST, DBO, DQO, ortofosfatos, pH y oxígeno disuelto.

Los valores mínimos que reportan cero corresponden a los valores menores al límite de detección.

En cuanto a otros parámetros fisicoquímicos, el rango de la temperatura del agua varía entre 20,23 °C y 41,68°C, el pH varía entre 6,36– 9,32 y se encuentra en el rango establecido por el objetivo de calidad en cuanto al valor mínimo e incumplimiento en el valor máximo; para la DQO se presentan un valor máximo de 362,50 mg/l y presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el valor máximo de la DBO5 (4900mg/l) presenta incumplimiento en el objetivo de calidad; el oxígeno disuelto presenta incumplimiento del objetivo de calidad (<4mg/l) sin embargo su valor promedio de 6,8 mg/l ; el promedio de alcalinidad (133,74mg/l) se mantiene por debajo de niveles máximos permisibles (Roldan y Ramírez, 2008).

En general se observan valores relevantes en los grupos de compuestos orgánicos grasas y aceites (máx. 29,30 mg/l) y fenoles (promedio 0,06 mg/l); en cuanto a compuestos de fósforo se observan condiciones de eutrofia de manera generalizada con fósforo total > 0,02 mg/l y ortofosfatos > 0,014 mg/l (Roldan y Ramírez, 2008 y USEPA, 1987); los compuestos de nitrógeno los cuales presentaron valores máximos > 2mg/l coincidentes con condiciones de eutrofia (Vollenweider, 1968), y específicamente, el valor máximo de nitritos (2,7 mg/l) presentó incumplimiento en el objetivo de calidad establecido (0,15 mg/l) y cumple para los nitratos.



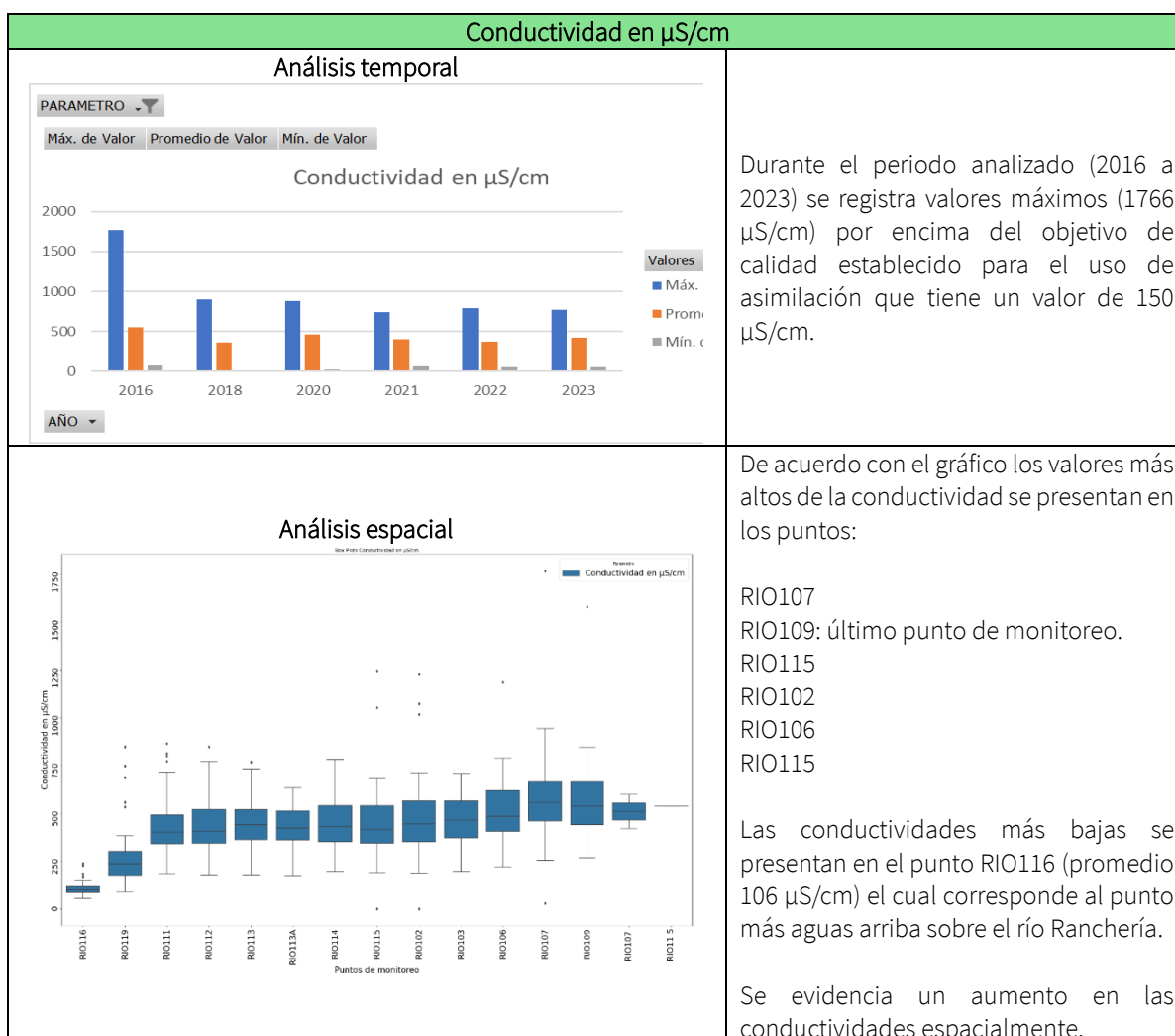
En cuanto a otros iones, los fluoruros presentan promedio de 13,41mg/l; cloruros promedio de 32,66 mg/l respecto a metales y metaloides en general se observan resultados por debajo de los límites de detección o valores bajos.

En el río Ranchería hay presencia de Cadmio promedio 0,02 mg/l, su valor máximo se presenta en el punto Rio114, Cobre promedio de 0,026 mg/l su valor máximo se presenta en el punto Rio116, Cromo promedio 0,032 valor máximo en el punto Rio115, Plomo promedio de 0,03 mg/l en el punto RIO103.

En general se presentan concentraciones de los sólidos totales un valor promedio de 420,79mg/l y para los disueltos de 249,22mg/l.

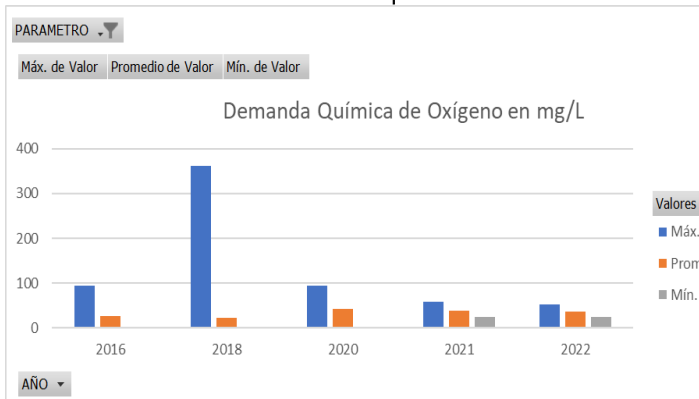
Por último, en cuanto a microbiológicos, los coliformes totales se presenta incumplimiento de los objetivos establecidos.

De acuerdo con los datos anteriores se presenta un análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio espacial y temporal por parámetro.



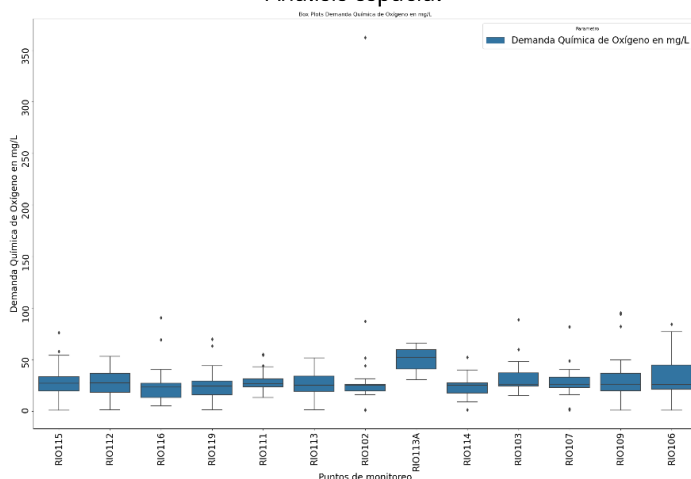
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L

Análisis temporal



Para el periodo analizado (2016 a 2023) se registran valores mínimos de hasta 2 mg/L y valores máximos de 70,09 mg/L, siendo este valor superior al objetivo de calidad para uso agrícola que es de 20 mg/L y para uso industrial que es de 50 mg/L.

Análisis espacial



De acuerdo con el gráfico los valores más altos de la DQO se presentan en los puntos:

RIO102

RIO109: último punto de monitoreo.

Las concentraciones más bajas (promedio de 0,58 mg/l) se presentan en los puntos:

RIO109

RIO115

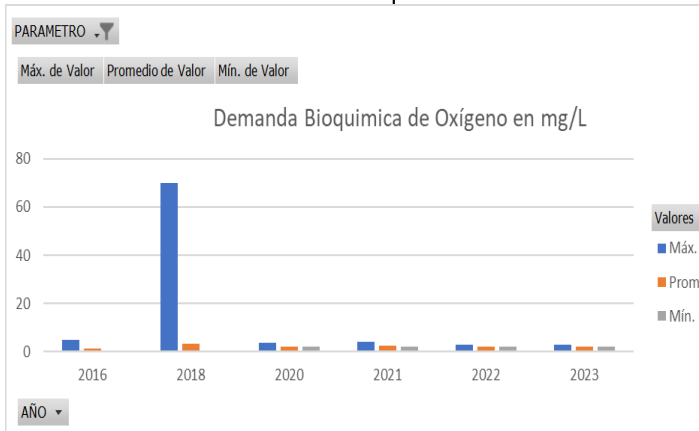
RIO106

RIO102

No se evidencia un aumento en la DQO espacialmente.

Demanda Química de Oxígeno en mg/L

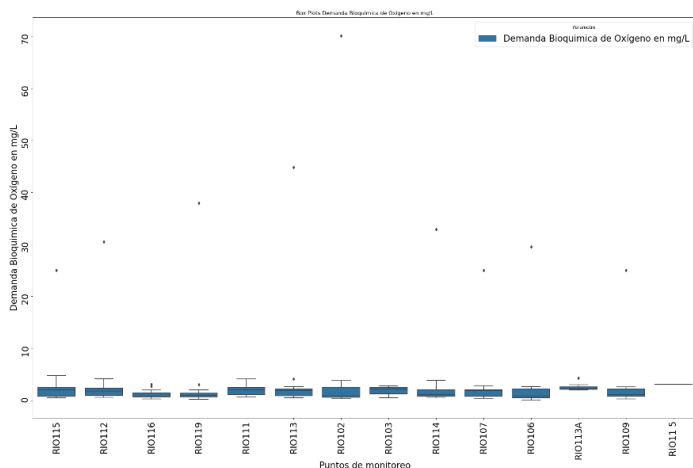
Análisis temporal



Para el periodo analizado (2016 a 2023) se registran valores mínimos de hasta 2 mg/L y valores máximos de 362,5 mg/L, siendo este valor superior al objetivo de calidad para uso agrícola que es de 30 mg/L y para uso industrial que es de 100 mg/L.



Análisis espacial



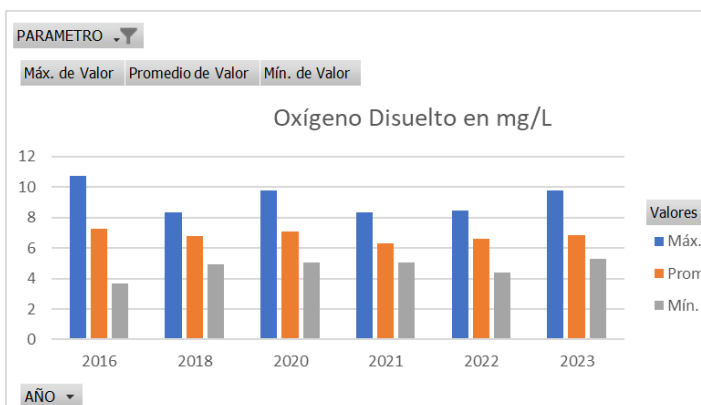
De acuerdo con el gráfico los valores más altos de la DBO se presentan en los puntos:

RIO102
RIO113
RIO119: Punto aguas arriba del expediente LAM1094
RIO114
RIO112

No se evidencia un aumento en la DBO espacialmente.

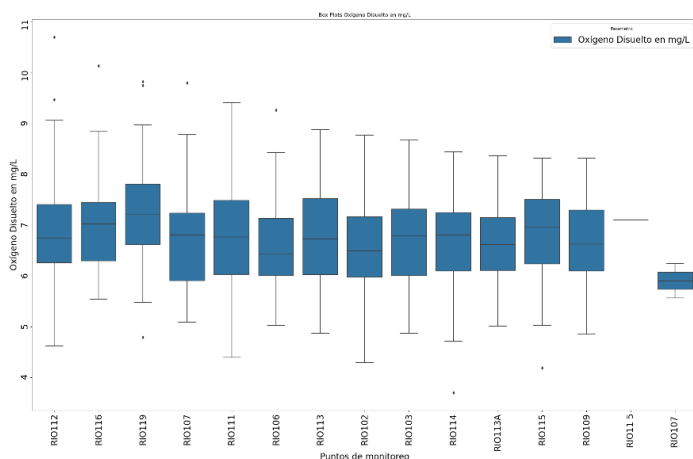
Oxígeno Disuelto en mg/L

Análisis temporal



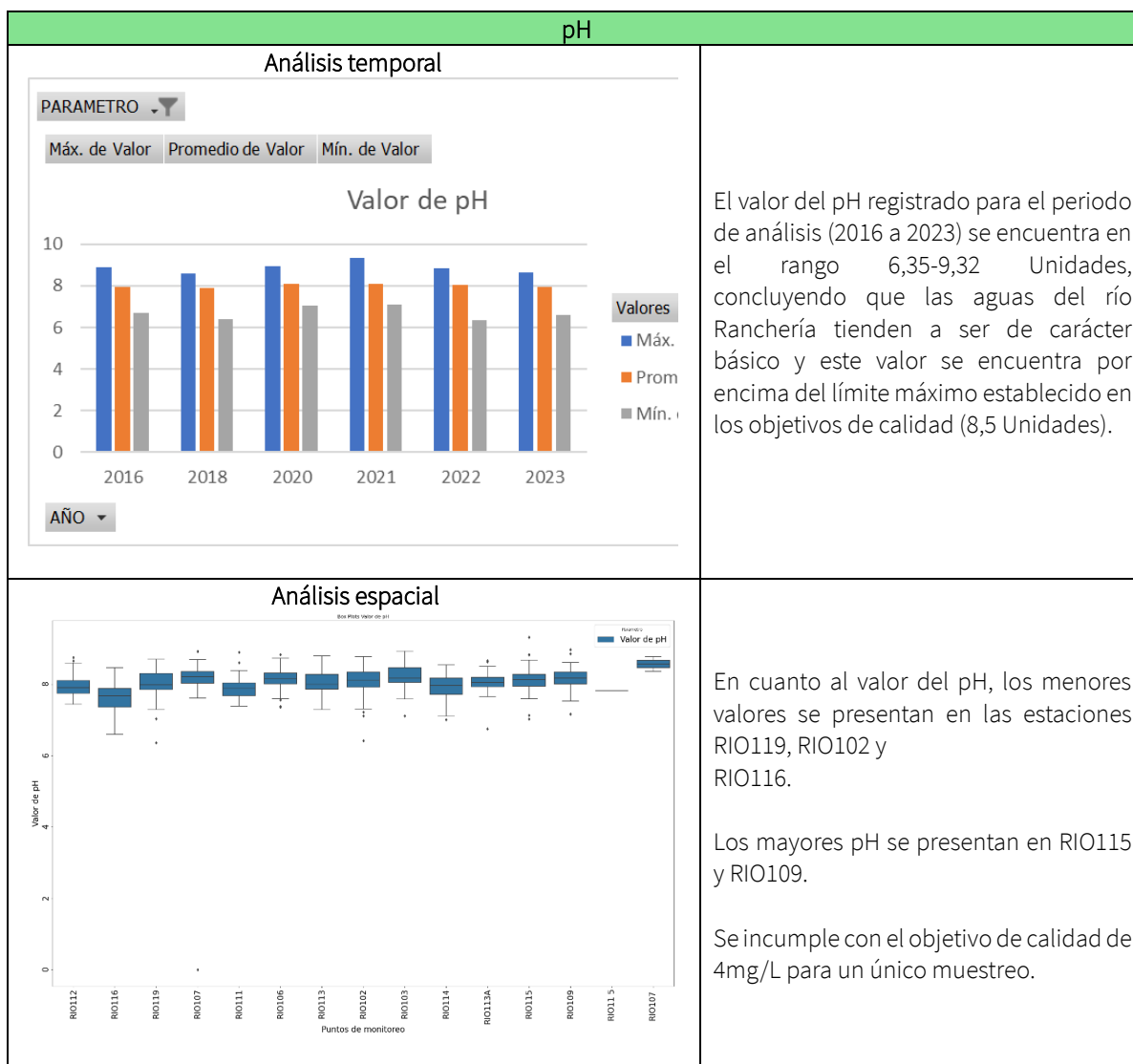
Para el periodo analizado (2016 a 2023) se encuentra que solo en el año 2016 se registraron concentraciones por debajo del objetivo de calidad establecido (4 mg/L) con un reporte de 3,70 mg/L, no obstante, la concentración promedio de los registros es de 6,7 mg/L siendo este valor superior al límite establecido en el objetivo de calidad

Análisis espacial



De acuerdo con el gráfico solo se presenta incumplimiento con el objetivo de calidad para el oxígeno disuelto (de 4mg/L) en la estación RIO114 para una sola campaña.

No se evidencia una disminución en el oxígeno disuelto espacialmente.



Análisis de parámetros relevantes en la zona de estudio

Conductividad

En la Figura 8 se presenta la variación de la conductividad para las diferentes fuentes hídricas. La conductividad es una medida importante para determinar el grado de mineralización y el impacto potencial en los ecosistemas acuáticos.

En la Tabla 15 se presentan los rangos definidos en la teoría para clasificar la calidad del agua asociada con este parámetro.



Tabla 15. Rangos asociados con concentraciones de conductividad en el agua superficial

Parámetros	Unidades	Nivel de influencia		
		Bajo	Medio	Alto
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<100	100-200	>200

Fuente: (Tarradellas, 2006), 2013. Adaptado por ANLA, 2024.

Se evidencia en la siguiente figura que la conductividad en la cuenca y tramos analizados se encuentran en concentraciones de hasta 3800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con promedio de 634 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se trata de aguas con condiciones de alta mineralización.

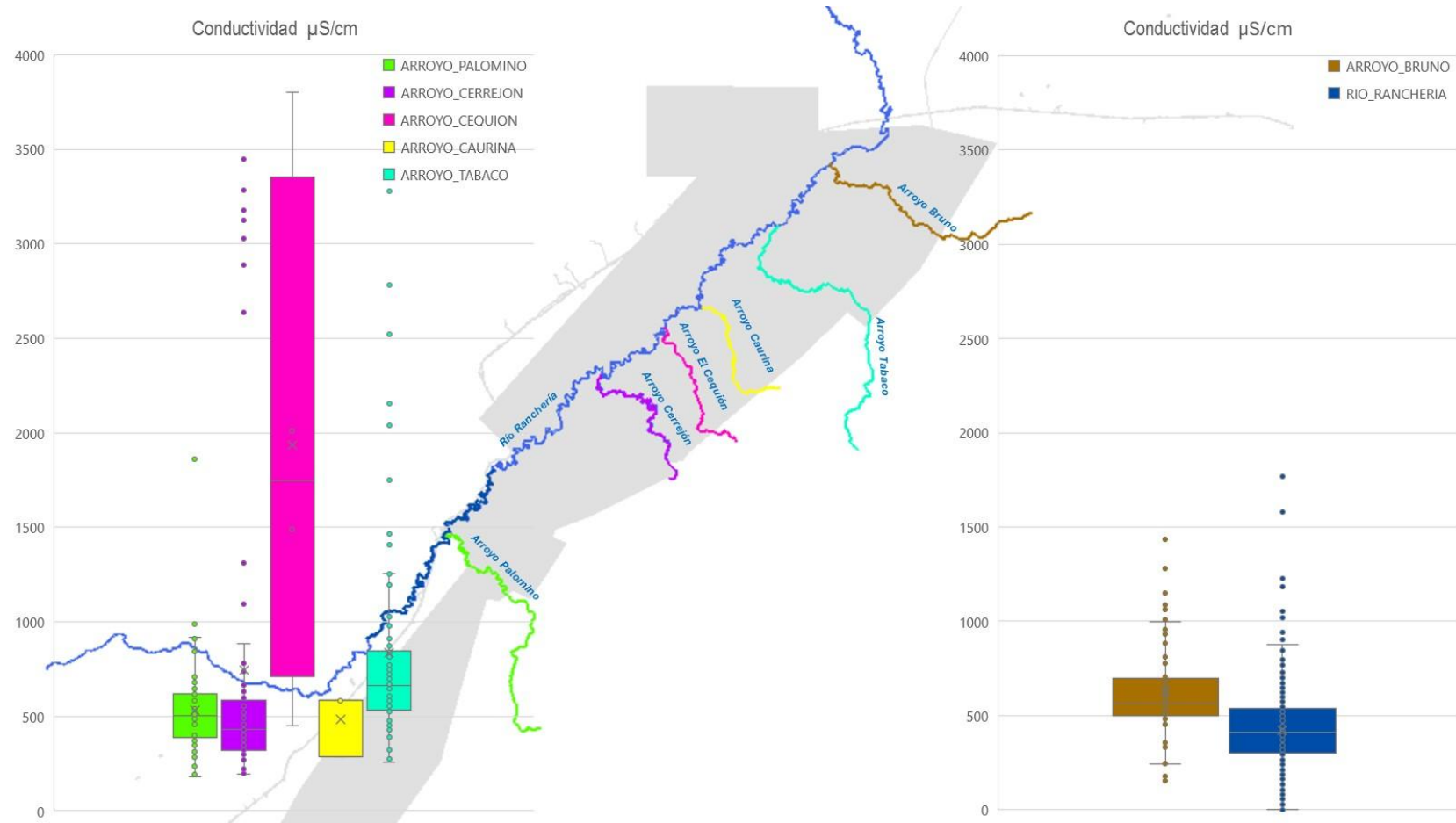
El valor más elevado de la conductividad se encuentra en el arroyo Tabaco, se identifican también valores elevados de la concentración en Arroyo Cequión sin embargo para esta fuente hay pocos datos.

Se evidencia en las figuras que la conductividad mantiene sus niveles promedio en todos los afluentes. Las concentraciones más elevadas se presentan de manera general en los afluentes del río Ranchería.





Figura 8. Variación de la conductividad



Fuente: ANLA, 2024.



Sulfatos

En la Figura 9 se presenta la variación de los sulfatos para las diferentes fuentes hídricas. Los sulfatos son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía en algunas centenas de miligramos por litro; generalmente su concentración depende de la concentración del sulfato de hierro o similares presentes en el suelo o en lechos rocosos de ríos. Se sabe que la explotación de pirita en minas conduce a un incremento del ion sulfato en agua debido principalmente a los procesos de oxidación. Los sulfatos en concentraciones superiores a los 200 mg/L favorecen la corrosión de los metales y cambian el sabor al agua (en menor medida que los cloruros y carbonatos).

En la Tabla 16 se presentan los rangos definidos en la teoría para clasificar la concentración de calidad del agua asociada con este parámetro específicamente.

Tabla 16. Rangos asociados con concentraciones de sulfatos en el agua superficial

Parámetros	Unidades	Nivel de influencia		
		Bajo	Medio	Alto
Sulfatos	mg/l	<50	50-100	>100

Fuente: (Tarradellas, 2006), 2013. Adaptado por ANLA, 2024.

En general, se evidencia que la concentración de sulfatos en la cuenca y tramos analizados se encuentran en entre 0 o menor al límite de detección y 2704 mg/L, y promedio de 93,2 mg/l se trata de aguas con concentraciones altas y puede deberse a una condición natural del tipo de suelo o roca.

El valor más elevado de los sulfatos se encuentra en el río Ranchería, los datos del río corresponden a datos que presentan picos, que puede asociarse a eventos de precipitación en la zona y arrastre de sedimentos.

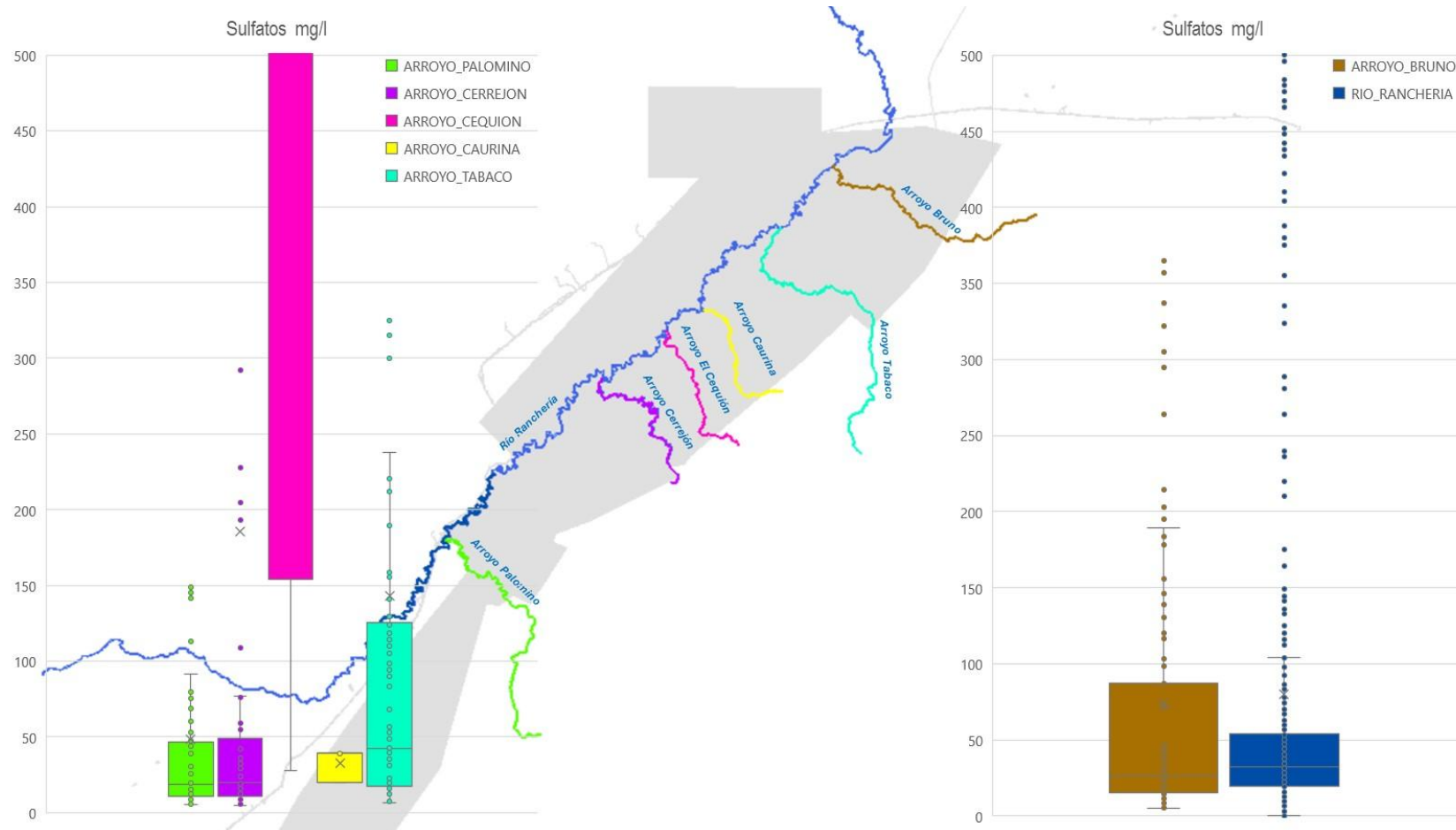
se identifican también valores elevados de la concentración en Arroyo Cequión correspondiente con los datos de alta conductividad, sin embargo, para esta fuente hay pocos datos.

Se evidencia en las figuras que los sulfatos mantienen sus niveles promedio en todos los afluentes. Las concentraciones más elevadas se presentan de manera general en los afluentes.





Figura 9. Variación de los sulfatos



Fuente: ANLA, 2024.



Sólidos Suspendidos Totales

En la Figura 10 se presenta la variación de los sólidos suspendidos totales o SST para las diferentes fuentes hídricas. Los SST son un parámetro ampliamente utilizado para determinar la calidad del agua. Es una medida importante para determinar el impacto potencial en los ecosistemas acuáticos.

En la Tabla 17 se presentan los rangos definidos en la teoría para clasificar la calidad del agua asociada con este parámetro específicamente.

Tabla 17. 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: 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 fuerte impacto de aguas con alta carga. Mala condición para los peces

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

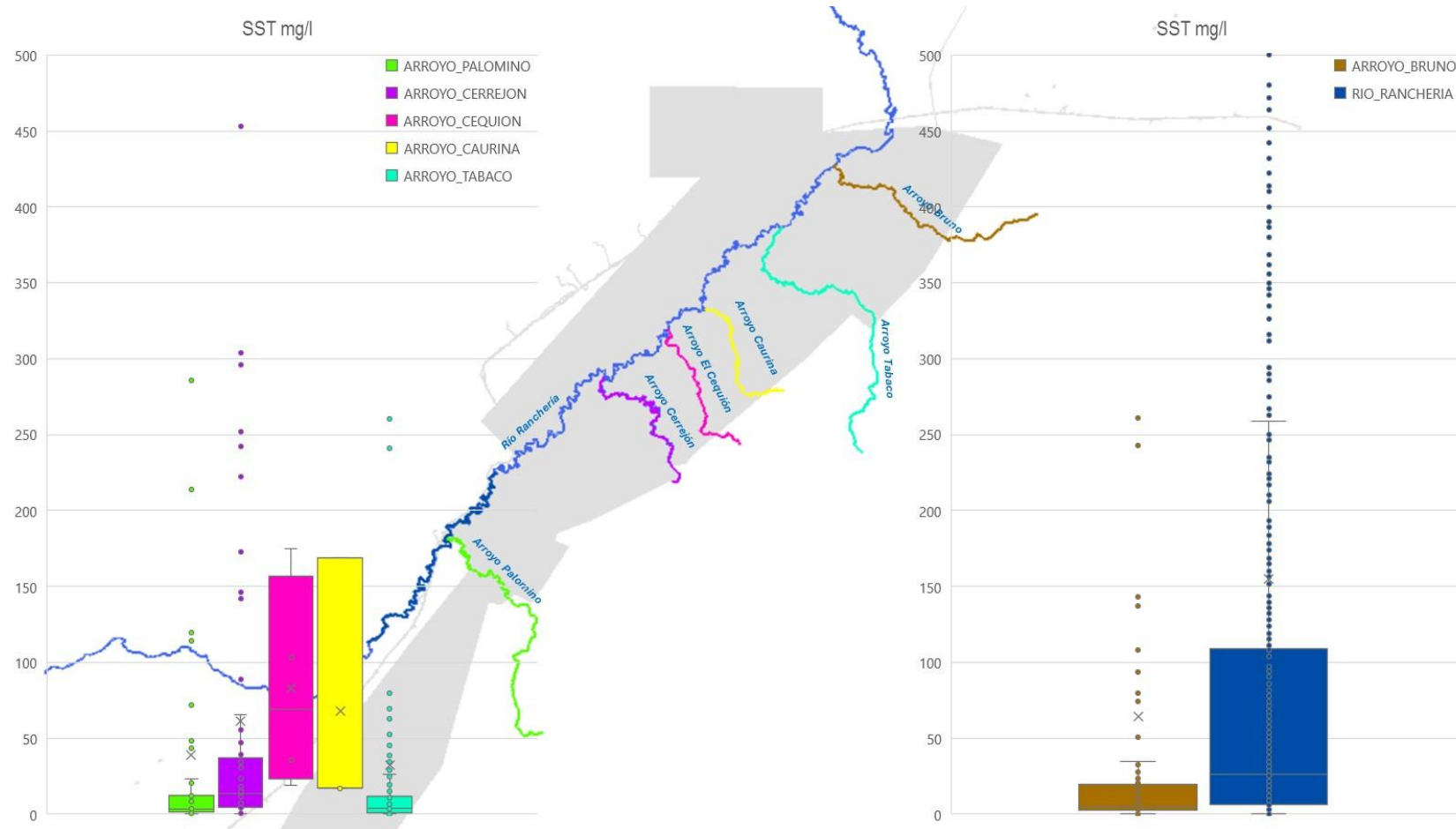
En general, se evidencia que la concentración de SST en la cuenca y tramos analizados se encuentran entre menor al límite de detección y 8870 mg/L, y promedio de 124 mg/l se trata de aguas con condiciones de calidad aceptables. Lo anterior, puede ser causado por descargas de agua residual con alto contenido de material suspendido, por fuentes difusas y arrastre de sedimentos en épocas de lluvias.

El valor más elevado de los SST se encuentra en el río Ranchería, los datos del río corresponden a datos que presentan picos, que puede asociarse a eventos de precipitación en la zona y arrastre de sedimentos. Para el río Ranchería se evidencia mayor contenido de SST debido a que es el afluente principal que recibe los demás afluentes y transporta el material disuelto.

Se evidencia en las figuras que los SST mantienen sus niveles promedio en todos los afluentes a excepción de Caurina y cequión sin embargo para estos afluentes se contó con menor cantidad de datos. Las concentraciones más bajas se presentan de manera general en los afluentes.



Figura 10. Variación de los sólidos suspendidos totales



Fuente: ANLA, 2024.



Coliformes Totales

En la Figura 11 se presenta la variación de los coliformes totales para las diferentes fuentes hídricas. Los coliformes totales son bacterias que se pueden encontrar en el ambiente. Aunque su presencia no indica necesariamente la existencia de materia fecal.

En general, se evidencia que la concentración de los coliformes en la cuenca y tramos analizados se encuentran en concentraciones entre los 0 y 9000000 NMP/100 ml, con promedio de 43462 NMP/100 ml, lo cual restringe su uso para potabilización. Es de resaltar que los vertimientos de los proyectos mineros en las corrientes hídricas analizadas se relacionan principalmente con los excedentes de aguas lluvia de las lagunas de sedimentación, en los cuales no se encuentran altas concentraciones de este parámetro, por lo que los registros en las fuentes hídricas pueden ser producto de otras actividades regionales.

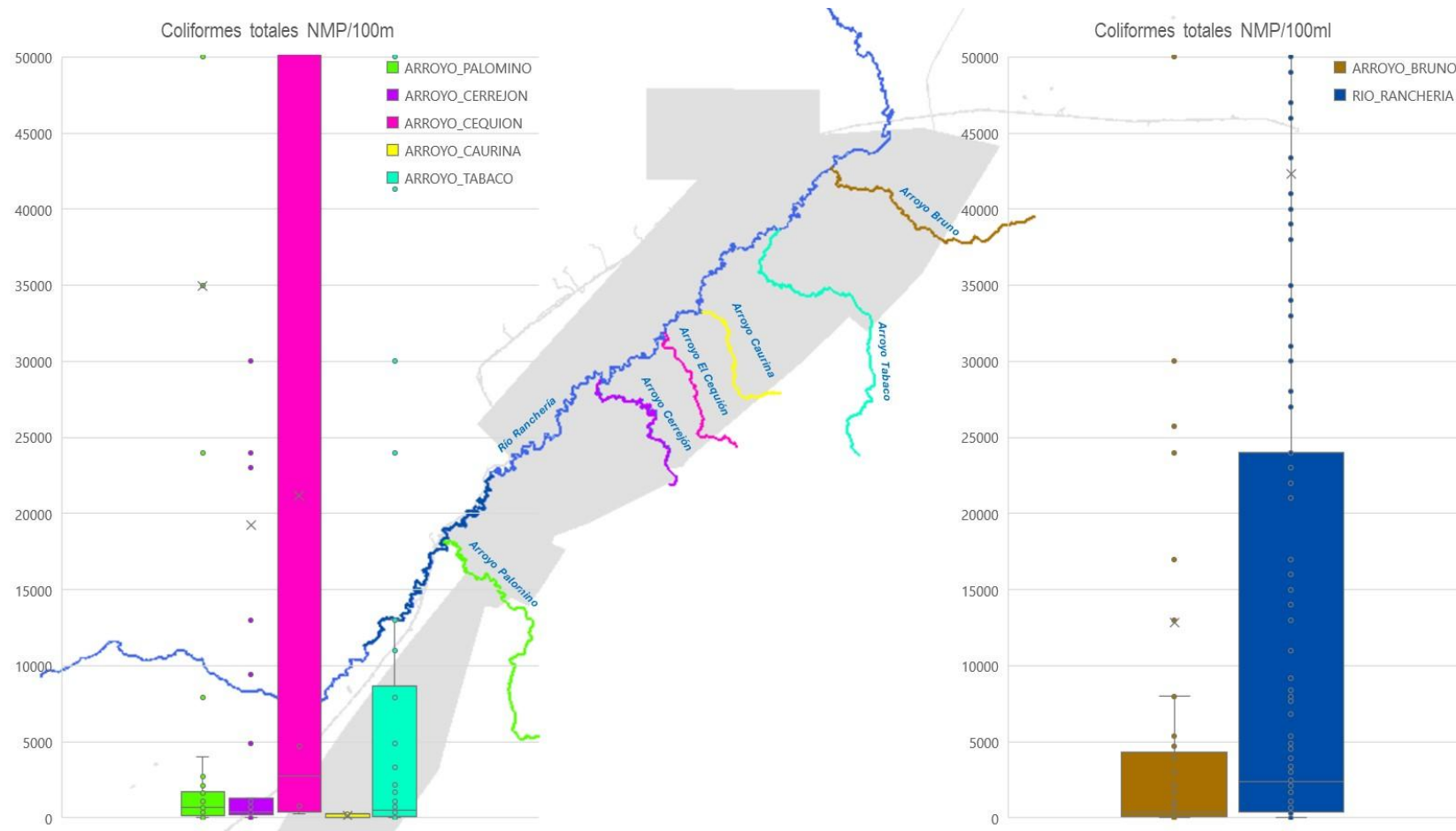
El valor más elevado de los CT se encuentra en el Arroyo Tabaco y cequión. Así mismo para el río Ranchería.

Se evidencia en las figuras que los CT mantienen sus niveles promedio en todos los afluentes. Las concentraciones más bajas se presentan en arroyo Caurina.





Figura 11 Variación de los coliformes totales



Fuente: ANLA, 2024.



Modelación hidrológica y de calidad de agua

Modelación hidrológica

Para el desarrollo de la estrategia de monitoreo de la subzona hidrográfica (SZH) del río Ranchería se emplea el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Este modelo hidrológico permite subdividir la cuenca del río Ranchería en subcuencas con la finalidad de poder clasificar o sectorizar por usos de suelo, tipos de suelos y pendientes, con la finalidad de obtener Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), para posteriormente obtener un balance hídrico y tránsito de caudales para cada subcuenca a escala diaria (Arnold et al., 2012). En ese sentido para configurar el modelo hidrológico en la SZH se extrae información de usos de suelos extraído de la Agencia Espacial Europea (ESA) en una escala de 10 m basado en coberturas extraídas de imágenes de Sentinel-1 y Sentinel-2 para el año 2021 (Zanaga et al., s. f.). Referente a información de suelos se extrae esta información de los datos la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), referente a la información de pendientes se emplea el modelo de elevación SRTM 30 (Shuttle Radar Topography Mission) y finalmente la información hidrometeorológica y climatológica se emplean los datos diarios de precipitación, temperatura y caudales del IDEAM, los últimos usados para realizar la calibración y validación del modelo hidrológico.

Referente a la configuración del modelo hidrológico para la SZH se clasifica la misma en 44 subcuencas (ver Tabla 18), incluyendo la cuenca aferente al embalse el Cercado que regula los caudales hacia la cuenca alta del río Ranchería. La simulación se realiza desde el año 2000 hasta el 2023, donde se estiman los caudales diarios para cada una de las subcuencas y a partir de la serie diaria simulada se estiman caudales extremos asociados a periodos de retorno (máximos y mínimos), caudales ambientales por diferentes percentiles de la curva de duración de caudales (Q90, Q95, Q97.5) y por la metodología 7Q10 (Chiang & Johnson, 1976) de forma mensual, los cuales son solamente indicativos hasta que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible formule y adopte la Guía metodológica para la estimación del caudal ambiental en Colombia y estos sean estimados por la Autoridad Ambiental Regional competente. Asimismo, se estima la Oferta hídrica total (OHT), Oferta hídrica disponible (OHD) para posteriormente estimar los índices hídricos acorde al ENA 2022. Es de destacar, que la demanda hídrica para cada una de las subcuencas se estimó basado en la información de concesiones de agua de los expedientes de ANLA validadas por el Centro de Monitoreo y la información reportada por Corpoguajira en el SIRH.

Los resultados obtenidos de modelación hidrológica se pueden consultar en el siguiente enlace: Resultados SZH Río Ranchería




Tabla 18. Subcuencas modelo hidrológico SZH río Ranchería

Subcuencas	Nombre de subcuencas	Origen Único Nacional – punto de descarga de cada subcuenca	
		Coordenada Este	Coordenada Norte
1	Río Ranchería (Quebrada de Moreno - Mar Caribe)	5011813.35	2835274.40
2	Quebrada de Moreno (Arroyo Karaisira - Río Ranchería)	5015844.00	2829818.50
3	Río Ranchería (Arroyo Urúamahana - Quebrada de Moreno)	5015873.64	2829818.50
4	Arroyo Karaisira (Nacimiento - Quebrada de Moreno)	5015814.36	2828721.92
5	Quebrada de Moreno (Arroyo La Quebradita - Arroyo Karaisira)	5015844.00	2828721.92
6	Arroyo La Quebradita (Nacimiento - Quebrada de Moreno)	5019726.46	2810020.89
7	Brazo derecho Río Ranchería (Arroyo Porciosa - Arroyo Urúamahana)	5040146.45	2817548.72
8	Brazo izquierdo Río Ranchería (Arroyo Porciosa - Arroyo Urúamahana)	5040087.18	2817548.72
9	Arroyo Porciosa (Nacimiento - Río Ranchería)	5048681.95	2806968.26
10	Quebrada de Moreno (Arroyo El Salado - Arroyo La Quebradita)	5019756.10	2810020.89
11	Quebrada de Moreno (Nacimiento - Arroyo El Salado)	5023875.66	2796980.55
12	Arroyo El Salado (Nacimiento - Quebrada de Moreno)	5023934.94	2796980.55
13	Río Ranchería (CUESTECITAS - AUT [15067050] - Arroyo Porciosa)	5048622.67	2806968.26
14	Río Ranchería (Arroyo Bruno - CUESTECITAS - AUT [15067050])	5048830.13	2793678.91
15	Arroyo Bruno (Nacimiento - Río Ranchería)	5048148.48	2793038.81
16	Río Ranchería (Arroyo Tabaco - Arroyo Bruno)	5048118.84	2793068.44
17	Arroyo Tabaco (Nacimiento - Río Ranchería)	5045006.94	2789274.89
18	Arroyo Aguas Blancas (Nacimiento - Río Ranchería)	5037686.57	2782991.82
19	Río Ranchería (Arroyo Aguas Blancas - Arroyo Tabaco)	5044947.67	2789274.89
20	Río Ranchería (Río Cerrejón - Arroyo Aguas Blancas)	5037716.21	2782932.54
21	Arroyo Grande (Nacimiento - Río Ranchería)	5030721.84	2776886.57
22	Río Ranchería (Arroyo Grande - Río Cerrejón)	5034752.49	2780620.85
23	Río Cerrejón (Nacimiento - Río Ranchería)	5034782.13	2780591.21
24	Río Ranchería (Arroyo Pozo Hondo - Arroyo Grande)	5030662.57	2776916.20
25	Río Ranchería (Río Palomino - Arroyo Pozo Hondo)	5025327.88	2771196.24
26	Arroyo Pozo Hondo (Nacimiento - Río Ranchería)	5025298.25	2771225.87
27	Río Ranchería (Arroyo La Quebrada - Río Palomino)	5025238.97	2771107.32
28	Río Ranchería (Nacimiento - Embalse El Cercado)	4995093.85	2767728.69
29	Río Palomino (Río Mapurito - Río Ranchería)	5025268.61	2771077.69
30	Río Mapurito (Nacimiento - Río Palomino)	5030336.56	2767076.67
31	Río Ranchería (Arroyo Mamón - Arroyo La Quebrada)	5024468.41	2769240.18
32	Arroyo Mamón (Nacimiento - Río Ranchería)	5020852.68	2765239.17
33	Río Palomino (Nacimiento - Río Mapurito)	5030306.92	2767047.04
34	Arroyo La Montana (Nacimiento - Río Ranchería)	5007812.33	2764500.27
35	Embalse El Cercado	4998506.98	2763490.58
36	Río Ranchería (Embalse El Cercado - Arroyo La Cuesta)	5000314.14	2762868.20
37	Río Ranchería (Arroyo La Cuesta - Arroyo La Montana)	5007785.14	2764468.60
38	Arroyo La Cuesta (Nacimiento - Río Ranchería)	5000343.78	2762838.56
39	Río Ranchería (Arroyo La Montana - Arroyo Mamón)	5020882.31	2765209.53
40	Arroyo La Quebrada (Arroyo La Quebradita - Río Ranchería)	5024527.68	2769240.18
41	Arroyo La Quebrada (Arroyo Saladillo - Arroyo La Quebradita)	5017711.14	2758333.72

Subcuencas	Nombre de subcuencas	Origen Único Nacional – punto de descarga de cada subcuenca	
		Coordenad a Este	Coordenad a Norte
42	Arroyo La Quebrada (Nacimiento - Arroyo Saladillo)	5012880.28	2757029.68
43	Arroyo La Quebradita (Nacimiento - Arroyo La Quebrada)	5017711.14	2758274.44
44	Arroyo Saladillo (Nacimiento - Arroyo La Quebrada)	5012909.92	2757000.05

Fuente: ANLA, 2024

Índices Hídricos

Como se mencionó con anterioridad se estimaron los índices hídricos para la SZH acorde a lo presentado por el ENA 2022. En ese sentido se puede observar que la toda la SZH del río Ranchería está clasificada como altamente deficitaria de agua (ver Figura 12) acorde a los resultados obtenidos de Evapotranspiración Real ETR) y Potencial (ETP) para cada una de las subcuencas, lo que indica que la SZH presenta un desequilibrio entre la precipitación recibida y demanda hídrica atmosférica, lo que hace que haya déficit de agua, requiriendo que se mantengan las medidas de manejo existentes referentes a rehabilitación de la vegetación riparia en rondas hídricas, rehabilitación de tierras y ejecución de planes de compensación, resaltando que la condición deficitaria de la SZH es por razones naturales.

Ahora referente a las condiciones de regulación hídrica de la SZH que fueron estimadas basado en la serie diaria de caudales simulados, se obtuvo que las subcuencas del río Cerrejón (subcuenca 23) y Palomino (subcuenca 29, 30 y 33) (ver Tabla 18), presentan una regulación hídrica muy baja (ver Figura 13) y una condición de regulación baja para las cuencas del arroyo Tabaco y Bruno, destacando que los puntos que corresponden a la presente estrategia localizados en las subcuencas mencionadas son los denominados ARRPAOAR, ARRPAO, ARRCER, ARRBRU, ARRBRUA, ARRTAB y ARRTABE. Lo anterior indica que en periodos de estiaje estos cuerpos de agua pueden llegar a obtener valores muy bajos de caudal o nulos y en contraste en periodos de caudales altos hay mayor riesgo por inundaciones siendo necesario revisar la pertinencia de optimizar las medidas de manejo con el objetivo de que las captaciones se realicen en condiciones de caudales, que prevengan la ocurrencia de conflictos por oferta hídrica disponible y efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos en condiciones de estiaje.

Por otra parte, referente a la relación entre oferta hídrica disponible (OHD) y demanda hídrica extraída de los permisos de concesión de los expedientes ANLA y los reportados por Corpoguajira en el SIRH, se pudo determinar que la cuenca media de la SZH presenta Índice de Uso del Agua (IUA) que pueden ir de moderado a alto (ver Figura 14), siendo moderado en el tramo del río Ranchería comprendido entre el Arroyo Pozo Hondo hasta el río Cerrejón, cuyos puntos de la estrategia corresponden a Río111, Río 113, Río 113A, Río 114 y Río 115, y alto desde el río Cerrejón hasta el Arroyo Tabaco donde los puntos de la presente estrategia



son Río 103 y Río 106, posteriormente baja la presión sobre el recurso hídrico, dado que disminuye el uso y aprovechamiento desde el Arroyo Tabaco hasta el Arroyo Bruno obteniendo un IUA muy bajo cuyo punto de la estrategia sería el denominado Río 109. Por otra parte, referente a los tributarios del río Ranchería, se puede destacar que los Arroyos Bruno (ARRBRUA y ARRBRU), Tabaco (ARRTABE y ARRTAB), Grande, Aguas Blancas y los Ríos Cerrejón (ARRCER), presentan IUA Críticos, lo que indica que hay sobre explotación del recurso hídrico en comparación con la Oferta Hídrica Disponible. En ese contexto sería necesario mantener para el río Ranchería y los afluentes mencionados las medidas que garanticen el uso eficiente del agua acorde al PUEAA y adicionalmente es pertinente establecer medidas de manejo que prevengan impactos sobre la oferta hídrica de las concesiones de agua en los periodos de estiaje.

Finalmente, acorde con la estimación del Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) se puede destacar que las cuencas más vulnerables a un desabastecimiento hídrico por la alta presión en su uso y aprovechamiento y baja regulación hídrica son el Arroyo Bruno y Tabaco, como el tramo del río Ranchería comprendido entre el Arroyo Tabaco y Cuestecitas dado que su IVH es Alto y Muy Alto (ver Figura 15), lo que permite concluir que en estos cuerpos de agua la regulación hídrica es baja por condiciones naturales, no obstante, se recomienda mantener las medidas de manejo que mejoren las condiciones de regulación hídrica como restauración de rondas hídricas con vegetación riparia, rehabilitación de tierras y compensaciones, sin embargo, es necesaria en caso de hacer uso de los permisos de captación de agua superficial vigentes limitar el uso de los mismos solo para periodos de caudales altos que se dan normalmente en el último trimestre del año (octubre, noviembre y diciembre) y periodos declarados como fenómeno del niño para cualquier mes del año acorde al índice ONI (Ocean Niño Index). Vale la pena mencionar que los permisos de concesión de agua superficial no han sido empleados para el periodo de revisión, sin embargo, estas recomendaciones serían aplicables en el caso de hacer uso de los permisos que se encuentran vigentes.



Figura 12. Índice de Aridez SZH río Ranchería

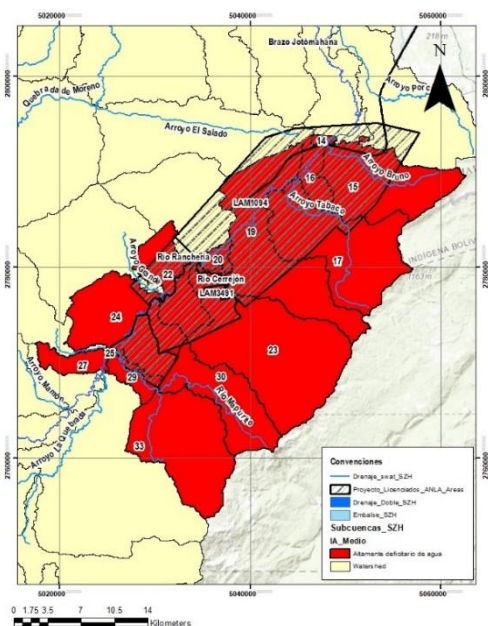
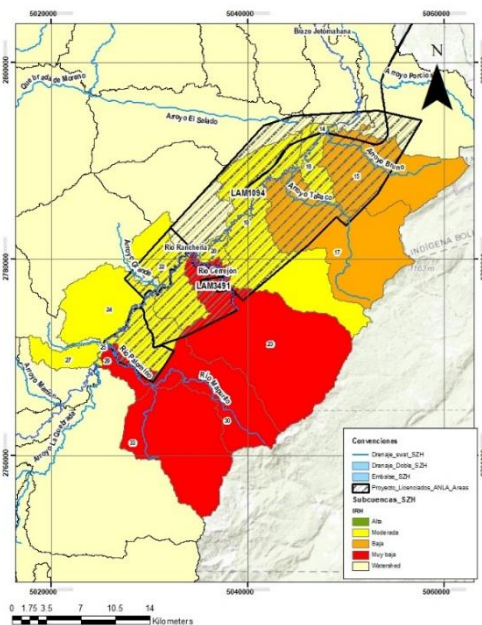
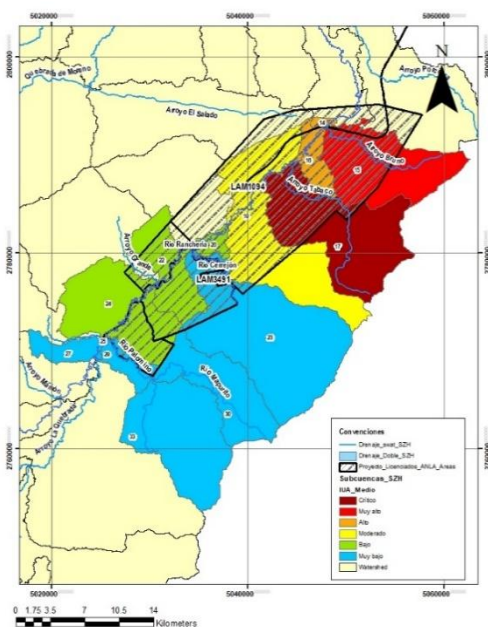


Figura 13. Índice de Regulación Hídrica SZH río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024.

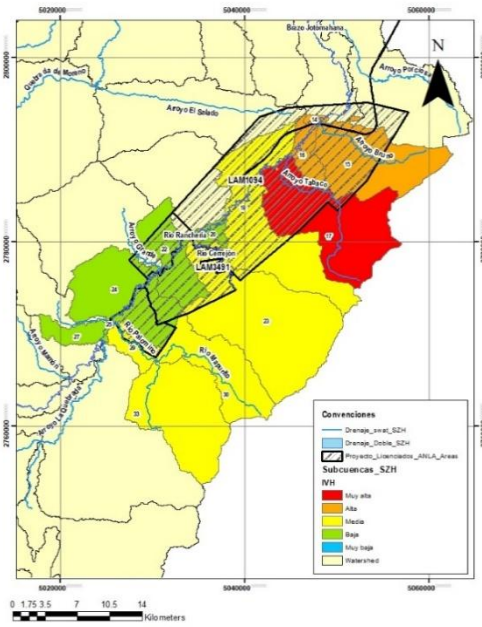
Figura 14. Índice de Uso del Agua (IUA) SZH río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024.

Fuente: ANLA, 2024.

Figura 15. Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) SZH río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024.



Resultados de Caudales

Arroyo Bruno

El arroyo Bruno es un tributario del río Ranchería localizado hacia la margen derecha de la SZH, cuyos puntos de la estrategia de monitoreo corresponden a ARRBRUA y ARRBRUA. Este cuerpo de agua acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de 0.43 m³/s (ver Figura 17), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta 0.065 m³/s (ver Figura 18), destacando que históricamente se han presentado caudales nulos, específicamente durante los meses de marzo, julio y agosto. Asimismo, cabe destacar que el Arroyo Bruno presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2008, 2011, y 2012 presentaron caudales por encima del promedio dado que fueron años “Niña”, al igual que para el año 2014 y 2015, sin embargo, es de resaltar que el arroyo Bruno y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámicas del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000), lo cual explica qué no se haya visto reflejada de forma notoria la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, ni el fenómeno del Niño del año 2023. Por otra parte, es de destacar que el Arroyo Bruno presenta eventos de caudales altos en promedio de 10.7 m³/s (ver Figura 16) que normalmente se presentan hacia el último trimestre del año, siendo este periodo el de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del Arroyo Bruno se resalta que la mayor oferta se da en los meses de octubre, noviembre y diciembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan 1.3 m³/s, en octubre 0.53 m³/s y diciembre 0.73 m³/s. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de marzo 0.22 m³/s, julio de 0.13 m³/s y agosto 0.22 m³/s. Finalmente acorde a la estimación de caudales ambientales por las 4 metodologías expuestas con anterioridad se destaca que este en promedio de 0.02 m³/s.

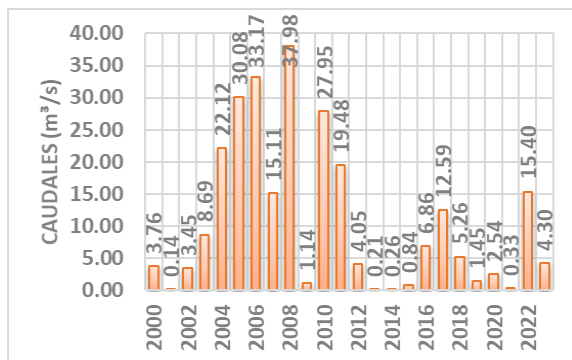
Referente a eventos extremos el Arroyo Bruno puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de 6.62 m³/s y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar probablemente valores de 44.57 m³/s y 54.25 m³/s respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años alcanzan caudales de 0.020 m³/s y en sequías extremas asociadas a periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de 0.002 m³/s (2 l/s).

Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el Arroyo Bruno se destaca que cuenta en la actualidad con 2 permisos de captación vigentes del expediente LAM1094 que suma 0.380 m³/s los cuales no están en uso, destacando que si en caso de empelarse estas captaciones en simultaneo el Arroyo Bruno no contaría con la oferta suficiente para cubrir la demanda hídrica otorgada, por consiguiente, en el caso de reactivarse el uso del recurso hídrico superficial, es recomendable optimizar las medidas de manejo que limiten la operación de las captaciones únicamente a periodos de caudales altos que se dan en los meses de octubre, noviembre y diciembre.



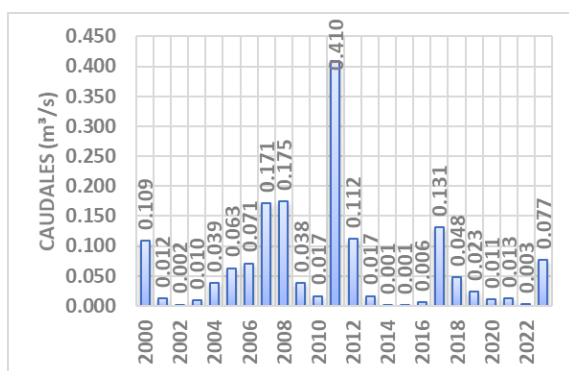


Figura 16. Caudales máximos anuales Arroyo Bruno (2000 – 2023)



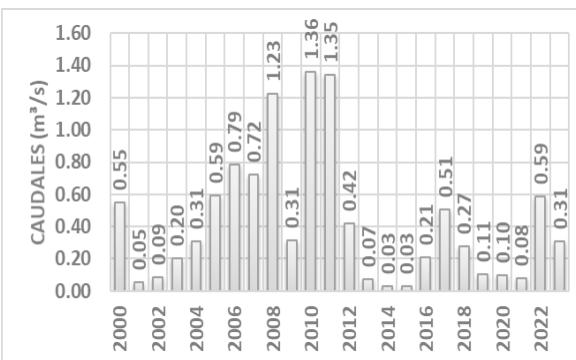
Fuente: ANLA, 2024

Figura 18. Caudales mínimos anuales Arroyo Bruno (2000 – 2023)



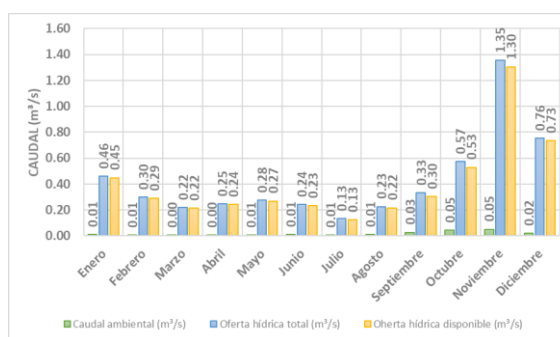
Fuente: ANLA, 2024

Figura 17. Caudales promedio anuales Arroyo Bruno (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 19. Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental Arroyo Bruno



Fuente: ANLA, 2024

Río Cerrejón

El Río Cerrejón es un tributario del río Ranchería localizado hacia la margen derecha de la SZH, cuyo punto de la estrategia de monitoreo corresponde al denominado ARRCER. Este cuerpo de agua acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de 0.86 m³/s (ver Figura 21), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta 0.078 m³/s (ver Figura 22), destacando que históricamente se han presentado caudales nulos especialmente en los cuatro primeros meses de año. Asimismo, cabe destacar que el Río Cerrejón presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2007, 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio, dado que fueron años “Niña”, sin embargo, es de resaltar que el río Cerrejón y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámica del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000), lo cual explica qué no se haya visto reflejada de forma notoria la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, ni el fenómeno del Niño del año 2023. Por otra parte, es de destacar que el río Cerrejón presenta eventos de caudales altos en promedio de 10.31



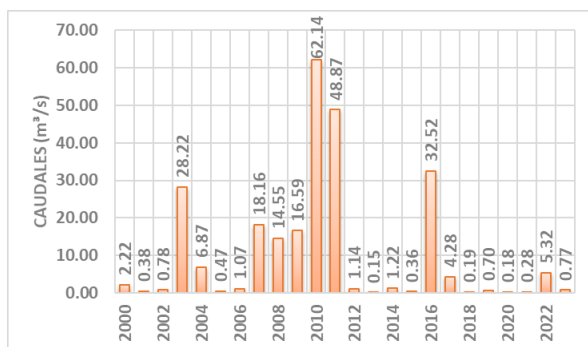
m^3/s (ver Figura 20) que normalmente se presentan desde agosto a diciembre, siendo este periodo el de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del río Cerrejón se resalta que la mayor oferta se da en los meses de agosto a diciembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $1.83 \text{ m}^3/\text{s}$, en agosto $1.29 \text{ m}^3/\text{s}$, septiembre $1.77 \text{ m}^3/\text{s}$, octubre $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$ y diciembre $1.21 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de marzo $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ y abril $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$. Finalmente acorde a la estimación de caudales ambientales por las 4 metodologías expuestas con anterioridad se destaca que este en promedio es de $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ destacando que casi en el 50% del año estos caudales pueden ser nulos.

Referente a eventos extremos el río Cerrejón puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $2.87 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar probablemente valores de $277.91 \text{ m}^3/\text{s}$ y $559.62 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años alcanzan caudales de $0.029 \text{ m}^3/\text{s}$ y en sequias extremas asociadas a periodos de retorno de 5 años en adelante, los caudales serán nulos.

Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Cerrejón, se destaca que este cuerpo de agua no cuenta con permisos de captación de agua superficial, sin embargo, en caso de requerirse algún permiso de captación se deberá limitar únicamente a los meses de agosto a diciembre.

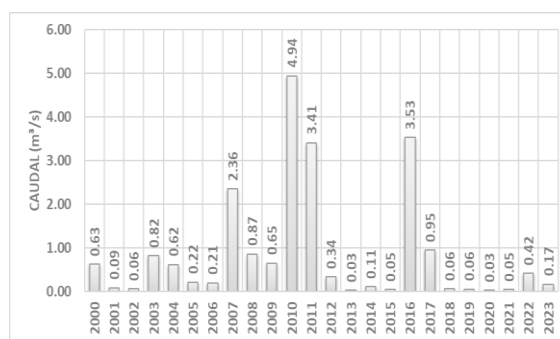
Figura 20 Caudales máximos anuales Río Cerrejón (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

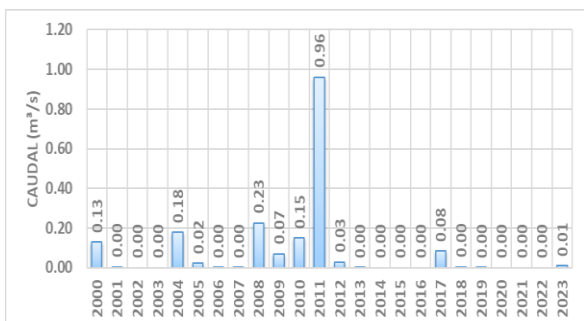
Figura 22. Caudales mínimos anuales Río Cerrejón (2000 – 2023)

Figura 21. Caudales promedio anuales Río Cerrejón (2000 – 2023)

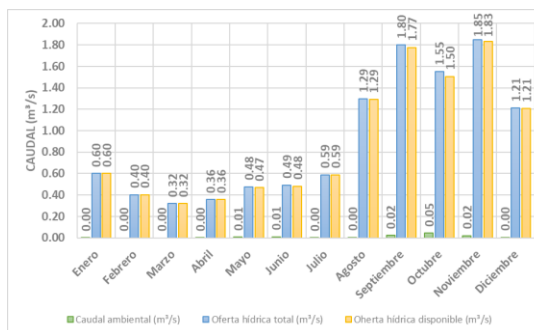


Fuente: ANLA, 2024

Figura 23. Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental Río Cerrejón



Fuente: ANLA, 2024



Fuente: ANLA, 2024

Arroyo Tabaco

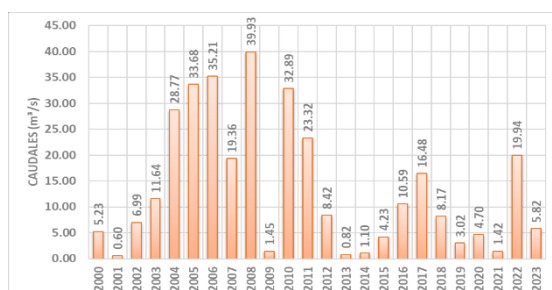
El arroyo Tabaco es un tributario del río Ranchería localizado hacia la margen derecha de la SZH, cuyos puntos de la estrategia de monitoreo corresponden a ARRTAB y ARRTABE. Este cuerpo de agua acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 25), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta $0.103 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 26), destacando que históricamente se han presentado caudales nulos como se observa en los años 2002, 2014 y 2015 asociados a fenómenos del niño. Asimismo, cabe destacar que el Arroyo Tabaco presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2008, 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio dado que fueron años “Niña”, al igual que para el año 2022, sin embargo, es de resaltar que el arroyo Tabaco y en general el Caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámicas del Atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000). Por otra parte, es de destacar que el Arroyo Tabaco presenta eventos de caudales altos en promedio de $13.49 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 24) que normalmente se presentan hacia el último trimestre del año, siendo este periodo el de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del Arroyo Tabaco se resalta que la mayor oferta se da en los meses de octubre, noviembre y diciembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $1.91 \text{ m}^3/\text{s}$, en octubre $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ y diciembre $1.11 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de marzo $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ y julio de $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$. Finalmente acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del Arroyo Tabaco es de $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 27 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el Arroyo Tabaco puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $10.02 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $104.80 \text{ m}^3/\text{s}$ y $149.76 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años alcanzan caudales de $0.035 \text{ m}^3/\text{s}$ (35 l/s) y en sequías extremas asociadas a periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ (3 l/s).

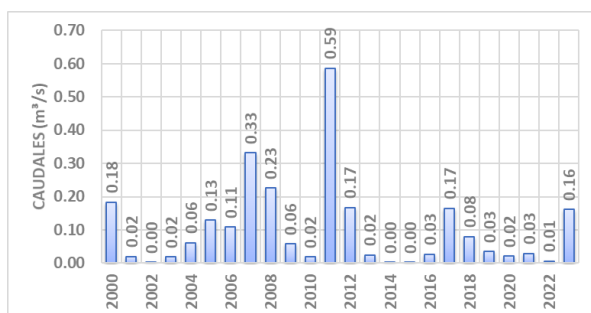
Finalmente acorde con los permisos de captación que tiene el Arroyo tabaco se destaca que cuenta en la actualidad con 2 permisos de captación vigentes del expediente LAM1094 que suma un caudal otorgado de $0.370 \text{ m}^3/\text{s}$, no obstante, la empresa no reporta el uso de estas captaciones recientemente, destacando que si estas captaciones operan en simultaneo el Arroyo tabaco no cuenta con la oferta suficiente para cubrir la demanda hídrica otorgada durante todo el año, por consiguiente, se recomienda establecer medidas de manejo que limiten las captaciones durante los meses de octubre y diciembre.

Figura 24. Caudales máximos anuales Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



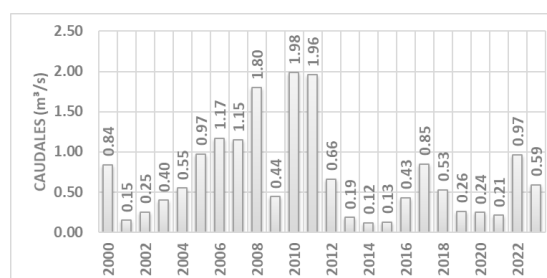
Fuente: ANLA, 2024

Figura 26. Caudales mínimos anuales Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



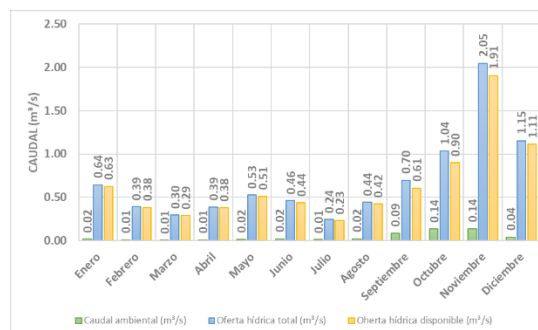
Fuente: ANLA, 2024

Figura 25. Caudales promedio anuales Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 27. Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental Arroyo Tabaco



Fuente: ANLA, 2024

Río Palomino (Nacimiento - Río Mapurito)

La subcuenca del río Palomino desde su nacimiento hasta antes de la afluencia con el río Mapurito cuenta con un punto de la estrategia de monitoreo que corresponde a ARRPALOR. Este cuerpo de agua acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de $0.51 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 29), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta $0.047 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 30), destacando que históricamente se han presentado caudales nulos en casi el 10% del tiempo asociados a fenómenos del niño. Asimismo, cabe destacar que el río Palomino hacia su cuenca alta presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2010, y

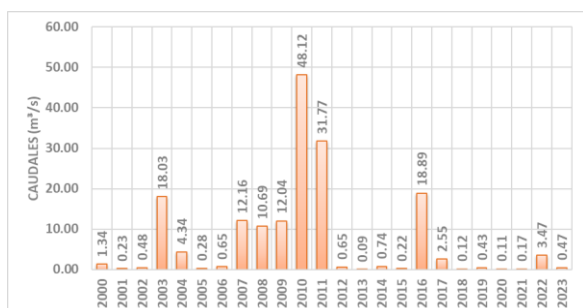
2011 presentaron caudales por encima del promedio dado que fueron años “Niña”, sin embargo, es de resaltar que el río Palomino y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámicas del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000), dado que no se evidencia una influencia con la triple niña ocurrida entre los años 2020 y 2022. Por otra parte, es de destacar que el río Palomino presenta eventos de caudales altos en promedio de $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 28) que normalmente se presentan desde agosto hasta diciembre, siendo este periodo el de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del río Palomino hacia su cuenca alta se resalta que la mayor oferta se da en entre los meses de agosto a octubre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $1.91 \text{ m}^3/\text{s}$, en octubre $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ y diciembre $1.11 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de febrero, marzo y abril igual a 0.24 , 0.29 y $0.21 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental de la cuenca alta del río Palomino (aguas arriba de río Mapurito) es de $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 31 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Palomino puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $1.81 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $200.30 \text{ m}^3/\text{s}$ y $411.39 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años en adelante presentan caudales de menores a 1 l/s .

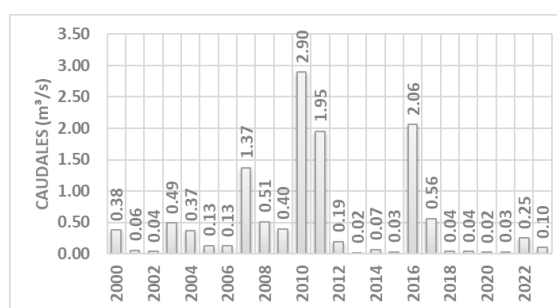
Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Palomino en su cuenca alta, se destaca que este no cuenta con permisos de captación de agua superficial, sin embargo, en caso de requerirse algún uso del recurso hídrico superficial se debe tener presente la variación estacional y la oferta hídrica disponible a nivel mensual, en particular para los meses de agosto a diciembre.

Figura 28. Caudales máximos anuales río Palomino desde nacimiento hasta antes de afluencia del río Mapurito (2000 – 2023)



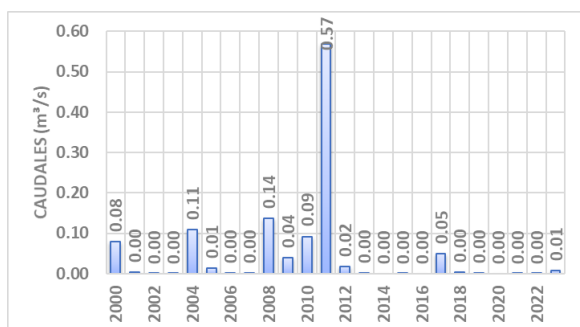
Fuente: ANLA, 2024

Figura 29. Caudales promedio anuales río Palomino desde nacimiento hasta antes de afluencia del río Mapurito (2000 – 2023)



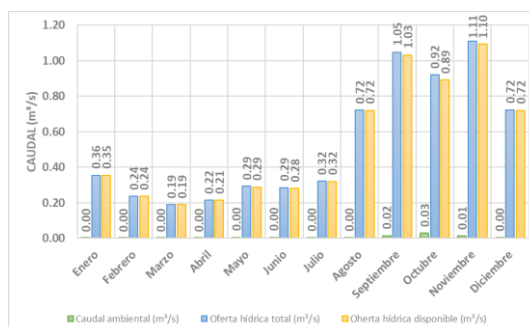
Fuente: ANLA, 2024

Figura 30. Caudales mínimos anuales río Palomino desde nacimiento hasta antes de afluencia del río Mapurito (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 31 Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Palomino desde nacimiento hasta antes de afluencia del río Mapurito



Fuente: ANLA, 2024

Río Palomino (Río Mapurito - Río Ranchería)

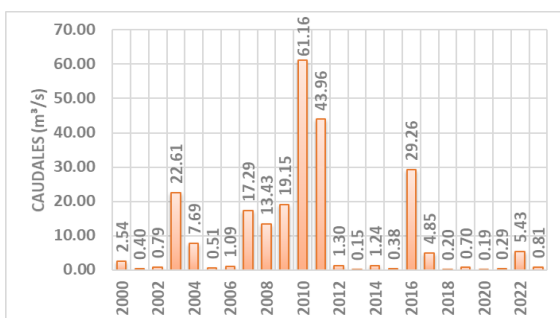
La subcuenca del río Palomino desde la afluencia con el río Mapurito hasta su descarga en el río Ranchería cuenta con un punto de la estrategia de monitoreo que corresponde a ARRPAO. Este cuerpo de agua acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 33), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta $0.089 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 34), destacando que históricamente se han presentado caudales nulos en casi el 10% del tiempo asociados a fenómenos del niño, especialmente hacia los meses de enero a abril y en ocasiones en julio y agosto. Asimismo, cabe destacar que el río Palomino hacia su cuenca baja presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2007, 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio, dado que fueron años “Niña”, sin embargo, es de resaltar que el río Palomino y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámicas del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000), dado que no se evidencia una influencia con la triple niña ocurrida entre los años 2020 y 2022. Por otra parte, es de destacar que el río Palomino presenta eventos de caudales altos en promedio de $9.81 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 32) que normalmente se presentan desde agosto hasta diciembre, siendo este periodo el de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del río Palomino hacia su cuenca baja, se resalta que la mayor oferta se da en entre los meses de agosto a diciembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $2.08 \text{ m}^3/\text{s}$ y los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre oscila la OHD entre 1.35 y $1.98 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de febrero, marzo y abril igual a 0.46 , 0.37 y $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental de la cuenca baja del río Palomino es de $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 35 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Palomino puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $2.93 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $249.10 \text{ m}^3/\text{s}$ y $491.60 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $0.034 \text{ m}^3/\text{s}$ (34 l/s) y en periodos de retorno mayores presentan caudales menores a 1 l/s o nulos.

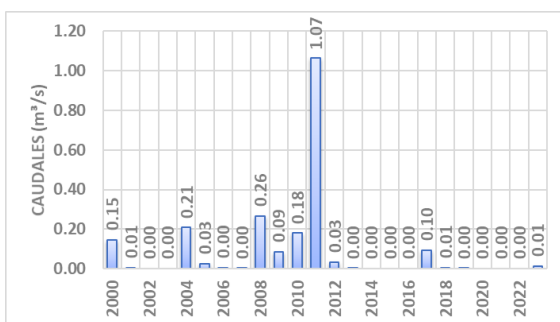
Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Palomino en su cuenca baja, se destaca que este no cuenta con permisos de captación de agua superficial, sin embargo, en caso de requerirse algún uso del recurso hídrico superficial se debe tener presente la variación estacional y la oferta hídrica disponible a nivel mensual, en particular para los meses de agosto a diciembre

Figura 32. Caudales máximos anuales río Palomino desde el río Mapurito hasta el río Ranchería (2000 – 2023)



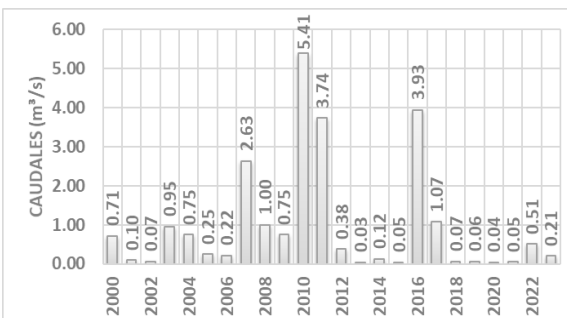
Fuente: ANLA, 2024

Figura 34 Caudales mínimos anuales río Palomino desde el río Mapurito hasta el río Ranchería (2000 – 2023)



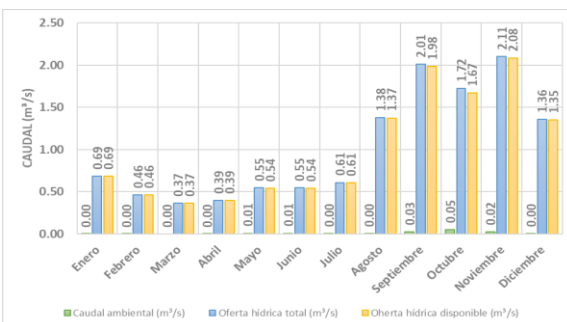
Fuente: ANLA, 2024

Figura 33. Caudales promedio anuales río Palomino desde el río Mapurito hasta el río Ranchería (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 35. Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Palomino desde el río Mapurito hasta el río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024

Río Ranchería (Arroyo Mamón - Arroyo La Quebrada)

La subcuenca del río Ranchería localizada desde la afluencia del Arroyo Mamón hasta el Arroyo La Quebrada cuenta con un punto de la estrategia de monitoreo que corresponde a



Río 119. Este tramo del río Ranchería acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de $7.38 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 37), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta $2.67 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 38), destacando que el comportamiento hidrológico del río Ranchería es bimodal lo que establece caudales altos en los meses de abril, mayo y junio para el primer semestre del año y octubre, noviembre y diciembre para el segundo semestre del año, en contraste los caudales bajos se presentan en el primer trimestre del año y entre julio y septiembre para el segundo semestre del año. Asimismo, cabe destacar que el río Ranchería presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio al igual que la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, sin embargo, es de resaltar que el río Ranchería y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámica del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000). Por otra parte, es de destacar que el río Ranchería en tramo mencionado presenta eventos de caudales altos en promedio de $47.47 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 36) que normalmente se presentan en los periodos de caudales altos mencionados con anterioridad, siendo estos periodos los de mayor riesgo por inundación.

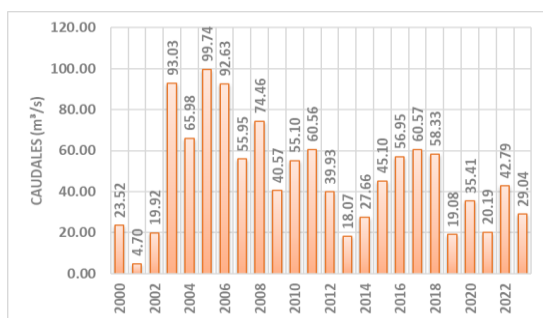
Acorde a la OHD del río Ranchería en el tramo mencionado, se resalta que la mayor oferta se da en entre los meses de octubre a diciembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $10.48 \text{ m}^3/\text{s}$ y los meses abril, mayo y junio oscila la OHD entre 5.81 y $8.74 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de enero, febrero y marzo igual a 3.45 , 3.45 y $4.45 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del río Ranchería es de $1.15 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 39 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Ranchería puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $53.84 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $99.13 \text{ m}^3/\text{s}$ y $105.99 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $1.46 \text{ m}^3/\text{s}$ y en periodos de retorno mayores relacionados con periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Ranchería en el tramo comprendido entre el Arroyo Mamón al Arroyo La Quebrada, se destaca que este cuerpo de agua no cuenta con permisos de captación de agua superficial, sin embargo, en caso de requerirse algún uso del recurso hídrico superficial se deberá contar con un uso eficiente del agua mediante un PUEAA.

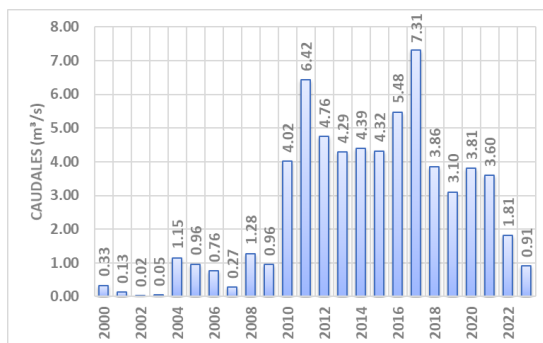


Figura 36. Caudales máximos anuales río Ranchería desde el Arroyo Mamón hasta Arroyo La Quebrada (2000 – 2023)



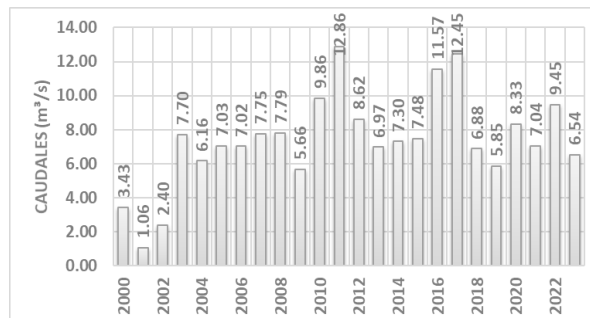
Fuente: ANLA, 2024

Figura 38. Caudales mínimos anuales río Ranchería desde el Arroyo Mamón hasta Arroyo La Quebrada (2000 – 2023)



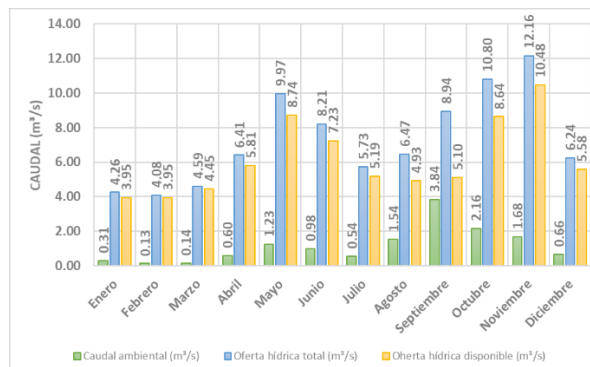
Fuente: ANLA, 2024

Figura 37. Caudales promedio anuales río Ranchería desde el Arroyo Mamón hasta Arroyo La Quebrada (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 39. Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Ranchería desde el Arroyo Mamón hasta Arroyo La Quebrada



Fuente: ANLA, 2024

Río Ranchería (Arroyo Pozo Hondo - Arroyo Grande)

La subcuenca del río Ranchería localizada desde la afluencia del Arroyo Pozo Hondo hasta el Arroyo Grande cuenta con puntos de la estrategia de monitoreo que corresponde a Río 113, Río 113A y Río 114. Este tramo del río Ranchería acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios de 14.62 m³/s (ver Figura 41), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta 4.92 m³/s (ver Figura 42), destacando que el comportamiento hidrológico del río Ranchería es bimodal lo que establece caudales altos en los meses de abril, mayo y junio para el primer semestre del año y septiembre, octubre y noviembre para el segundo semestre del año, en contraste los caudales bajos se presentan en el primer trimestre del año y entre julio y agosto para el segundo semestre del año. Asimismo, cabe destacar que el río Ranchería presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio al igual que la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, sin embargo, es de resaltar que el río Ranchería y en general el caribe Colombiano, no solo

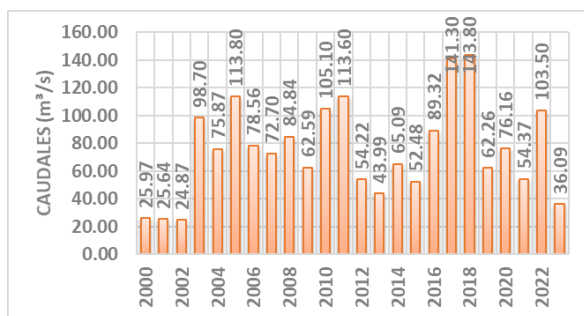
está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámica del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000). Por otra parte, es de destacar que el río Ranchería en tramo mencionado presenta eventos de caudales altos en promedio de $75.20 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 40) que normalmente se presentan en los periodos de caudales altos mencionados con anterioridad, siendo estos periodos los de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del río Ranchería en el tramo mencionado, se resalta que la mayor oferta se da en entre los meses de septiembre a noviembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $21.67 \text{ m}^3/\text{s}$ y los meses mayo, junio y julio oscila la OHD entre 8.20 y $14.47 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de enero, febrero y marzo igual a 7.11 , 5.97 y $6.14 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del río Ranchería en este tramo es de $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 43 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Ranchería puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $79.38 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $159.18 \text{ m}^3/\text{s}$ y $174.18 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ y en periodos de retorno mayores relacionados con periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

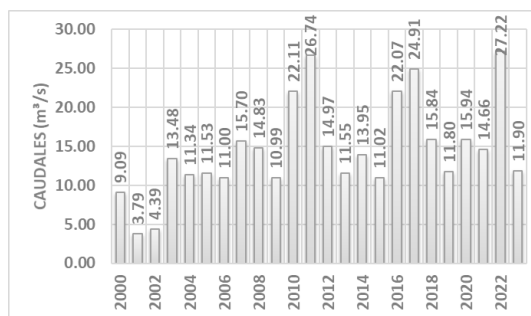
Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Ranchería en el tramo comprendido entre el Arroyo Pozo Hondo hasta el Arroyo Grande se cuenta con tres (3) concesiones de agua que suman 730 l/s o $0.730 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que indica que no hay presión sobre el recurso hídrico superficial en este tramo, no obstante, para años asociados a fenómenos del Niño o sequia se deberá contar con los monitoreos de caudales durante de la captación para establecer si hay necesidad de limitar la misma, teniendo en cuenta que en los años 2001, 2002 y 2003, presentaron OHD inferiores a los caudales concesionados (ver Figura 43)

Figura 40. Caudales máximos anuales río Ranchería desde el Arroyo Pozo Hondo hasta Arroyo Grande (2000 – 2023)



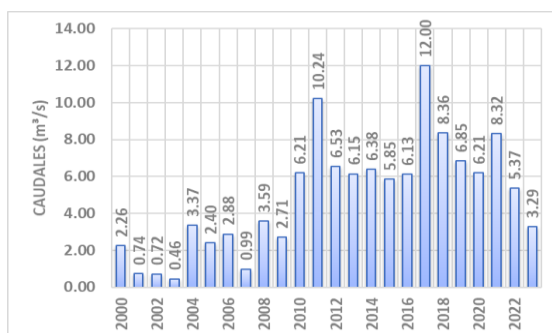
Fuente: ANLA, 2024

Figura 41. Caudales promedio anuales río Ranchería desde Arroyo Pozo Hondo hasta Arroyo Grande (2000 – 2023)



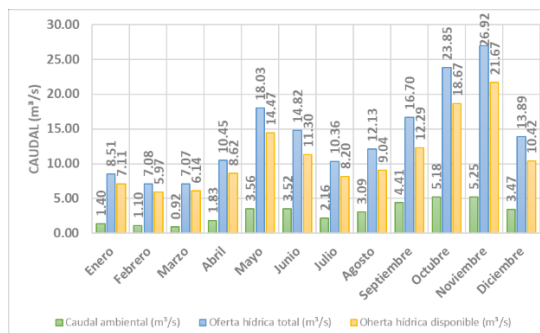
Fuente: ANLA, 2024

Figura 42 Caudales mínimos anuales río Ranchería
Arroyo Pozo Hondo hasta Arroyo Grande (2000 –
2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 43 Oferta hídrica total, disponible mensual
y caudal ambiental río Ranchería desde el Arroyo
Pozo Hondo hasta Arroyo Grande



Fuente: ANLA, 2024

Río Ranchería (Arroyo Grande - Río Cerrejón)

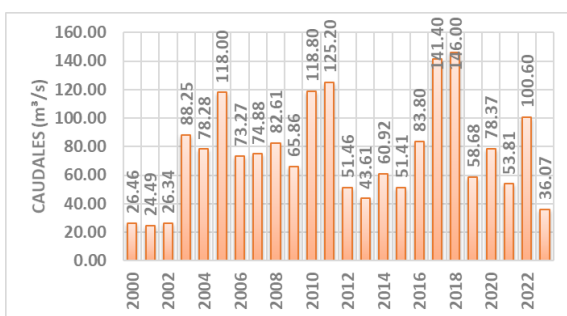
La subcuenca del río Ranchería localizada desde la afluencia del Arroyo Grande hasta el río Cerrejón cuenta con puntos de la estrategia de monitoreo que corresponde a Río 115 y Río 102. Este tramo del río Ranchería acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios a nivel multianual de 15.35 m³/s (ver Figura 45), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta 5.11 m³/s (ver Figura 46), destacando que el comportamiento hidrológico del río Ranchería es bimodal lo que establece caudales altos en los meses de abril, mayo y junio para el primer semestre del año y septiembre, octubre y noviembre para el segundo semestre del año, en contraste los caudales bajos se presentan en el primer trimestre del año y entre julio y agosto para el segundo semestre del año. Asimismo, cabe destacar que el río Ranchería presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio al igual que la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, sin embargo, es de resaltar que el río Ranchería y en general el Caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámicas del Atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000). Por otra parte, es de destacar que el río Ranchería en tramo mencionado presenta eventos de caudales altos en promedio de 75.36 m³/s (ver Figura 44) que normalmente se presentan en los periodos de caudales altos mencionados con anterioridad, siendo estos periodos los de mayor riesgo por inundación.

Acorde a la OHD del río Ranchería en el tramo mencionado, se resalta que la mayor oferta se da en entre los meses de septiembre a noviembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan 22.82 m³/s y los meses mayo, junio y julio oscila la OHD entre 8.31 y 15.02 m³/s. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de enero, febrero y marzo igual a 7.55, 6.33 y 6.48 m³/s respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del río Ranchería en este tramo es de 3.24 m³/s, sin embargo, en la Figura 47 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Ranchería puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $78.31 \text{ m}^3/\text{s}$ y asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años estas pueden alcanzar valores de $171.61 \text{ m}^3/\text{s}$ y $191.77 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $3.61 \text{ m}^3/\text{s}$ y en periodos de retorno mayores relacionados con periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.084 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

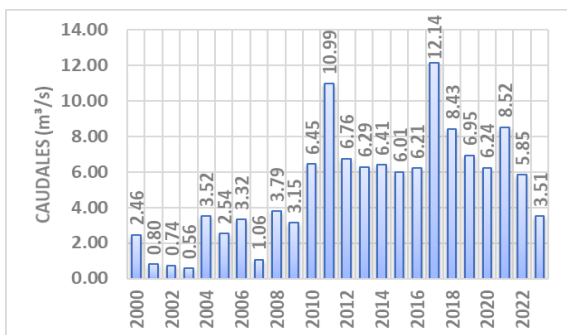
Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Ranchería en el tramo comprendido entre el Arroyo Grande hasta río Cerrejón se cuenta con una (1) concesión de agua que suman 15 l/s o $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que indica que no hay presión sobre el recurso hídrico superficial en este tramo, por consiguiente, es recomendable mantener una gestión adecuada del recurso hídrico mediante la implementación de PUEAA.

Figura 44. Caudales máximos anuales río Ranchería desde el Arroyo Grande hasta río Cerrejón (2000 – 2023)



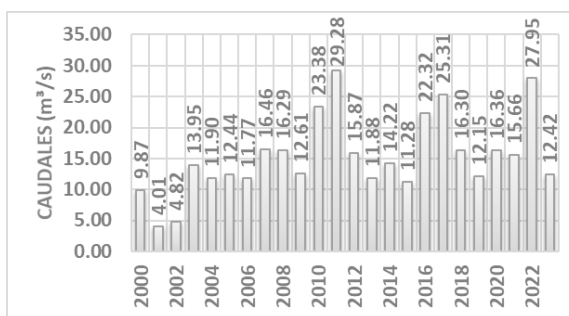
Fuente: ANLA, 2024

Figura 46. Caudales mínimos anuales río Ranchería desde el Arroyo Grande hasta río Cerrejón (2000 – 2023)



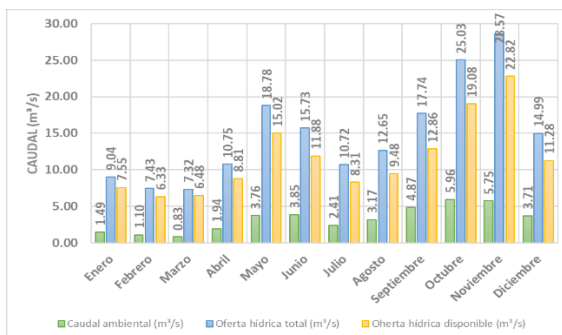
Fuente: ANLA, 2024

Figura 45. Caudales promedio anuales río Ranchería desde el Arroyo Grande hasta río Cerrejón (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 47 Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Ranchería desde el Arroyo Grande hasta río Cerrejón



Fuente: ANLA, 2024



Río Ranchería (Río Cerrejón - Arroyo Aguas Blancas)

La subcuenca del río Ranchería localizada desde la afluencia del río Cerrejón hasta el Arroyo Aguas Blancas cuenta con un punto de la estrategia de monitoreo que corresponde a Río 103. Este tramo del río Ranchería acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios a nivel multianual de $16.24 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 49), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta $5.303 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 50), destacando que el comportamiento hidrológico del río Ranchería es bimodal lo que establece caudales altos en los meses de abril, mayo y junio para el primer semestre del año y septiembre, octubre y noviembre para el segundo semestre del año, en contraste los caudales bajos se presentan en el primer trimestre del año y entre julio y agosto para el segundo semestre del año. Asimismo, cabe destacar que el río Ranchería presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática destacando que acorde al ONI los años 2010, y 2011 presentaron caudales por encima del promedio al igual que la triple niña de los años 2020, 2021 y 2022, sin embargo, es de resaltar que el río Ranchería y en general el caribe Colombiano, no solo está influenciado por los fenómenos de variabilidad climática, sino, también por las dinámica del atlántico norte y sur (Bocanegra et al., 2000). Por otra parte, el río Ranchería en el tramo mencionado presenta eventos de caudales altos en promedio de $75.36 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 48) que normalmente se presentan en los periodos de caudales altos mencionados con anterioridad, siendo estos periodos los de mayor riesgo por inundación.

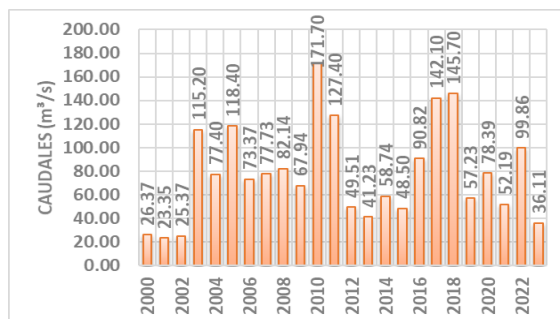
Acorde a la OHD del río Ranchería en el tramo mencionado, se resalta que la mayor oferta se da entre los meses de septiembre a noviembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $24.76 \text{ m}^3/\text{s}$ y los meses mayo, junio y julio oscila la OHD entre 8.83 y $15.28 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de enero, febrero y marzo igual a 7.84 , 6.84 y $6.45 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del río Ranchería en este tramo es de $3.41 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 51 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Ranchería puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $80.39 \text{ m}^3/\text{s}$ y para periodos de retorno de 50 y 100 años pueden alcanzar valores de $194.60 \text{ m}^3/\text{s}$ y $221.02 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $3.93 \text{ m}^3/\text{s}$ y en periodos de retorno mayores relacionados con periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.418 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.0 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Ranchería en el tramo comprendido entre el río Cerrejón y el Arroyo Aguas Blancas se cuenta con una (1) concesión de agua de 120 l/s o $0.120 \text{ m}^3/\text{s}$ del expediente LAM1094, lo que indica que no hay presión sobre el recurso hídrico superficial en este tramo, por consiguiente, es recomendable realizar una gestión adecuada del recurso hídrico mediante la implementación de PUEAA.

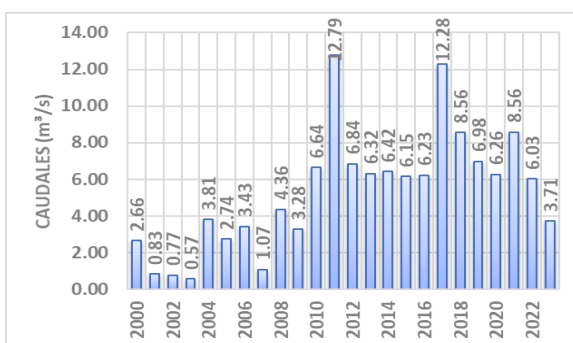


Figura 48 Caudales máximos anuales río Ranchería desde el río Cerrejón hasta el Arroyo Aguas Blancas (2000 – 2023)



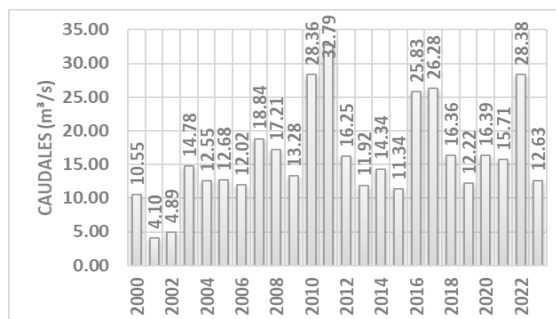
Fuente: ANLA, 2024

Figura 50. Caudales mínimos anuales río Ranchería desde el río Cerrejón hasta el Arroyo Aguas Blancas (2000 – 2023)



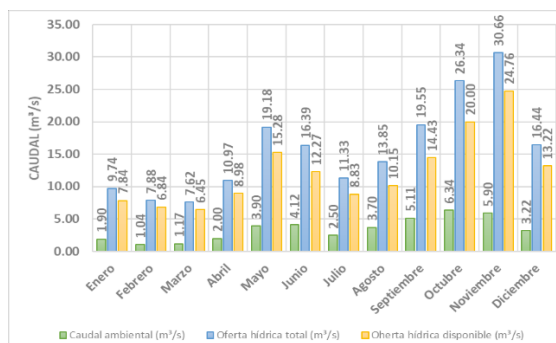
Fuente: ANLA, 2024

Figura 49 Caudales promedio anuales río Ranchería desde el río Cerrejón hasta el Arroyo Aguas Blancas (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 51 Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Ranchería desde el río Cerrejón hasta el Arroyo Aguas Blancas



Fuente: ANLA, 2024

Río Ranchería (Arroyo Aguas Blancas - Arroyo Tabaco)

La subcuenca del río Ranchería localizada desde la afluencia del Arroyo Aguas Blancas hasta el Arroyo Tabaco cuenta con un punto de la estrategia de monitoreo que corresponde a Río 106. Este tramo del río Ranchería acorde con el ejercicio de modelación presenta caudales promedios a nivel multianual de 17.04 m³/s (ver Figura 53), sin embargo, durante periodos de estiaje pueden descender en promedio hasta 5.57 m³/s (ver Figura 54), destacando que el comportamiento hidrológico del río Ranchería es bimodal lo que establece caudales altos en los meses de abril, mayo y junio para el primer semestre del año y septiembre, octubre y noviembre para el segundo semestre del año, en contraste los caudales bajos se presentan en el primer trimestre del año y entre julio y agosto para el segundo semestre del año. Asimismo, cabe destacar que el río Ranchería presenta una correlación con los fenómenos de variabilidad climática donde se resalta que acorde al ONI el año 2011 y 2021 presentaron caudales por encima del promedio. Por otra parte, el río Ranchería en el tramo mencionado



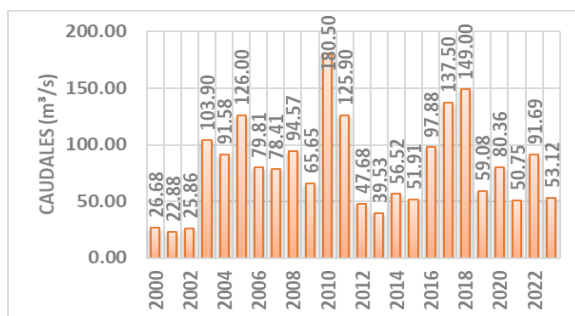
presenta eventos de caudales máximos a nivel multianual en promedio de $80.70 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 52) que normalmente se presentan en los periodos de caudales altos mencionados con anterioridad.

Acorde a la OHD del río Ranchería en el tramo mencionado, se resalta que la mayor oferta se da entre los meses de septiembre a noviembre, siendo la más alta en el mes de noviembre con valores que alcanzan $26.52 \text{ m}^3/\text{s}$ y los meses mayo, junio y julio oscila la OHD entre 8.97 y $15.69 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, la OHD más baja se da en los meses de enero, febrero y marzo igual a 8.42 , 7.21 y $6.77 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Finalmente, acorde a la estimación de caudales ambientales mensuales se destaca que en promedio el caudal ambiental del río Ranchería en este tramo es de $3.53 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en la Figura 55 se muestran los mismos a nivel mensual.

Referente a eventos extremos el río Ranchería en el tramo correspondiente puede presentar crecientes frecuentes asociadas a periodos de retorno de 2 años de $83.69 \text{ m}^3/\text{s}$ y para periodos de retorno de 50 y 100 años pueden alcanzar valores de $188.67 \text{ m}^3/\text{s}$ y $211.60 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, eventos mínimos frecuentes asociados a periodos de retorno de 2 años presentan caudales de $4.72 \text{ m}^3/\text{s}$ y en periodos de retorno mayores relacionados con periodos de retorno de 15 y 20 años, los caudales pueden ser de $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.095 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

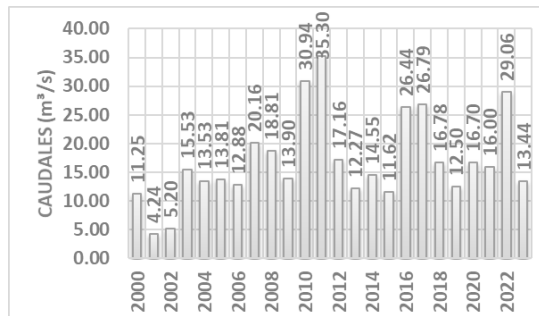
Finalmente, acorde con los permisos de captación que tiene el río Ranchería en el tramo comprendido entre el Arroyo Aguas Blancas y el Arroyo Tabaco cuenta con una (6) concesión de agua que suman 1640 l/s o $1.64 \text{ m}^3/\text{s}$ del expediente LAM1094, lo que indica que no hay presión sobre el recurso hídrico superficial en este tramo, no obstante, para años asociados a fenómenos del Niño o sequía se deberá contar con los monitoreos de caudales antes y después de la captación para establecer si hay necesidad de limitar la misma, teniendo en cuenta que en los años 2001, 2002, 2003 y 2007, presentaron caudales inferiores a los caudales concesionados (ver Figura 55)

Figura 52. Caudales máximos anuales río Ranchería desde el Arroyo Aguas Blancas hasta el Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



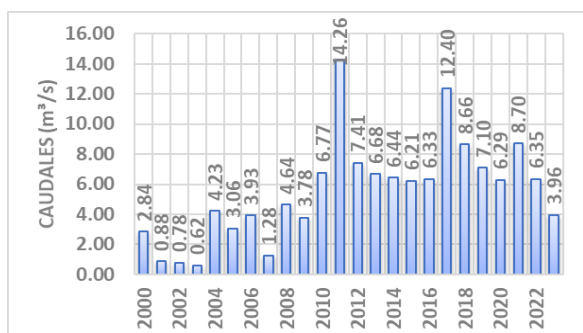
Fuente: ANLA, 2024

Figura 53. Caudales promedio anuales río Ranchería desde el Arroyo Aguas Blancas hasta el Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



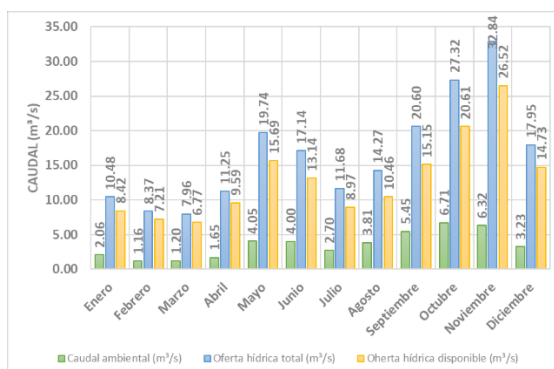
Fuente: ANLA, 2024

Figura 54 Caudales mínimos anuales río Ranchería desde el Arroyo Aguas Blancas hasta el Arroyo Tabaco (2000 – 2023)



Fuente: ANLA, 2024

Figura 55 Oferta hídrica total, disponible mensual y caudal ambiental río Ranchería el Arroyo Aguas Blancas hasta el Arroyo Tabaco



Fuente: ANLA, 2024

Modelación de calidad de agua

La modelación de la calidad de agua para la cuenca del Río Ranchería tiene como fin la evaluación del estado actual y la influencia del proyecto LAM1094 en el cuerpo de agua. Se evaluarán el comportamiento de la calidad bajo la influencia de las temporadas climáticas seca y de alta precipitación para los escenarios con descargas y sin descargas de aguas residuales por parte del proyecto. Este modelo es realizado en el software HEC-RAS 6.3.1 con información proporcionada por los informes de cumplimiento ambiental- ICA de los años 2021 al 2023 reportada por el proyecto y los documentos oficiales (POMCAS).

Insumos modelación numérica de la calidad del agua

Para las modelaciones y diagnóstico de las subzonas del Río Ranchería se usó como insumo:

- Información climatológica: Se consultó la información de reanálisis diaria de los parámetros de Temperatura a 2 m de altura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento para el año 2022, proporcionada por el modelo de asimilación GMAO MERRA-2 de la Nasa, GEOS 5.12.4 y la National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Reanalysis Derived.
- Información de los vertimientos en la zona – puntos de vertimiento: Para la información la información de los vertimientos se toma la base de datos de la ANLA para el año 2022 y 2023 del proyecto LAM1094, donde se encuentra información de ubicación, caudal, frecuencia, parámetros fisicoquímicos y descripción general, entre otros.
- Información de campañas: se incorporó información geométrica, hidro climatológica y las condiciones de contorno de los parámetros de temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sulfato, demanda biológica de oxígeno, nitritos,

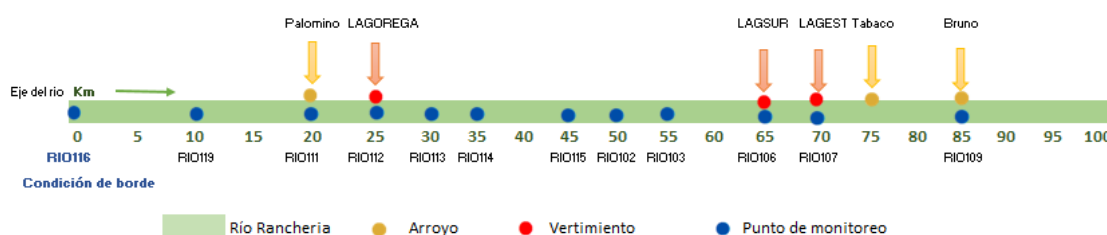
nitratos, fosforo total, coliformes fecales, hierro, sodio, solidos disueltos, calcio, magnesio, potasio y solidos suspendidos totales, esta información fue obtenida en las campañas de monitoreo realizadas para el control ambiental de los proyectos.

- Información hidráulica: con base en los caudales proporcionados por la modelación hidrológica (ver sección 1.3.1. Modelación Hidrológica) para las temporadas climáticas en condiciones secas (marzo) y húmedas (noviembre) se realiza la modelación hidráulica mediante el software HEC-RAS, este modelo se centra en una longitud de 100 Km con 21 secciones transversales para un total de 20 tramos de 5 km de longitud, para más información del modelo hidráulico consultar el [Anexo 2. Modelo Hidráulico](#).

Modelo conceptual de la calidad del agua

El modelo de calidad de agua para el Río Ranchería se realizó para un tramo de 100 Km comprendidos desde el municipio de Fonseca hasta 10 Km aguas abajo del casco urbano del municipio de Albania, teniendo en cuenta la información de calidad de agua para los años 2022 como base para calibración y 2023 como calibración. Se tomaron como base 12 estaciones de monitoreo dentro del cauce principal del rio, estos puntos sirvieron de condición de frontera y puntos de observación para calibración de las variables de calidad en cada tramo de análisis. Además, se consideró 3 puntos de vertimientos de aguas mineras directos al rio, los cuales se encuentran activos, además de los aportes de los arroyos Palomino, Cerrejón, Tabaco y Bruno, A continuación, se muestra en la figura 57 el modelo conceptual para el Río Ranchería. En la figura 58 y la tabla 19, se identifica la ubicación y características de las estaciones de monitoreo.

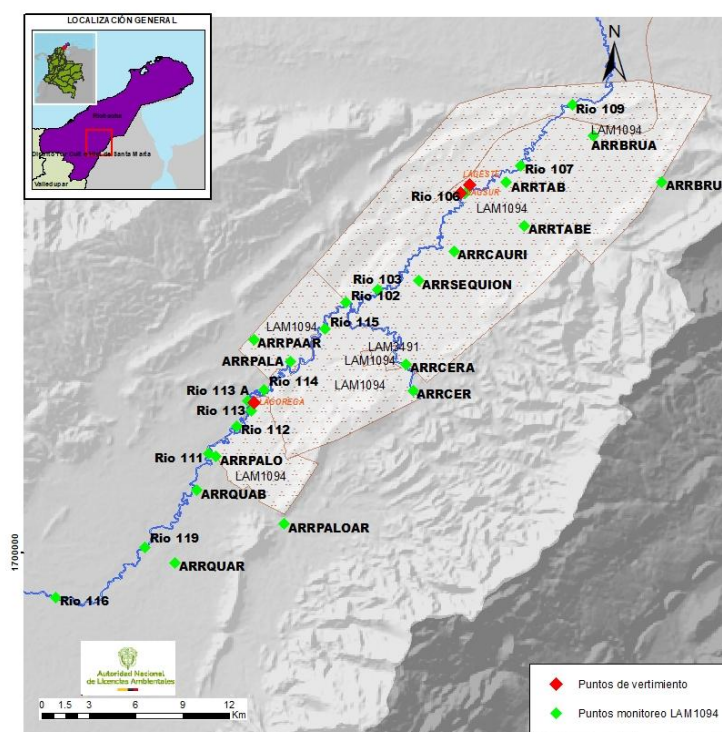
Figura 56 Modelo conceptual cuenca Río Ranchería.



Fuente: ANLA, 2024



Figura 57 . Ubicación de las estaciones de calidad de agua Río Ranchería



Fuente: ANLA, 2024

Tabla 19. Descripción geográfica de las estaciones de calidad Ríos Ranchería.

ID punto	Ubicación	Cota (msnm)	Coordenadas - Magna Origen Nacional	
RIO116	Fonseca (Condición de Borde)	179	5015651	2762209
RIO119	Puente Guajiro	152	5021394	2765391
RIO111	Palomino (Después de la desembocadura)	132	5025758	2771854
RIO112	Bocatoma Oreganal	128	5027299	2773132
LAGOREGA	Laguna Oreganal	128	5028057	2774485
RIO113	Sarahita	127	5028061	2773844
RIO114	Bocatoma CDC	124	5031483	2777419
RIO115	Puente Arturo	113	5032603	2779372
RIO102	Cerritos	110	5033896	2780733
RIO103	Guamito	108	5035967	2781429
RIO106	Batea	97	5041951	2787962
LAGSUR	Laguna Sur	97	5041690	2787969
LAGESTE	Laguna Este	96	5042272	2788478
RIO107	Albania	89	5045153	2789334
RIO109	Cuestecita	86	5048752	2793534

Fuente: ANLA, 2024





Escenarios de modelación

La identificación del comportamiento de la calidad de agua del Río Ranchería se realiza por medio del software HEC-RAS 6.3.1. en un flujo en régimen permanente y preferencial en la dimensión longitudinal (1D). El tramo de estudio comprende 100 km que se encuentra a la altura del municipio de Fonseca hasta 10 Km aguas abajo del casco urbano del municipio de Albania, este tramo cuenta con un total de 38 secciones transversales localizadas en los sitios que representaban cambios morfométricos y pendiente, con un espaciamiento de aproximadamente 5 km entre cada una de las secciones. Vale la pena resaltar que las actividades operativas del expediente LAM1094 no se generan vertimientos de aguas mineras de manera continua, sino que son producto de la alta pluviosidad, que al superar la cota de rebose de las lagunas de sedimentación generan la descarga, por lo que las temporadas climáticas toman una gran relevancia para este análisis.

Por lo tanto, se establecieron los siguientes casos de estudio con el fin de identificar el comportamiento del río a diversos escenarios:

Caso 1: Caudal medio mensual del río para la temporada seca en el mes de marzo y concentraciones medidas para el año 2023, no incluye los vertimientos para el periodo de análisis.

Caso 2: Caudal medio mensual del río para la temporada seca en el mes de marzo y concentraciones medidas para el año 2023, incluyendo los vertimientos actuales de las tres lagunas de sedimentación sobre la cuenca

Caso 3: Caudal medio mensual del río para la temporada húmeda en el mes de noviembre y concentraciones medidas para el año 2023, no incluye los vertimientos para el periodo de análisis.

Caso 4: Caudal medio mensual del río para la temporada húmeda en el mes de noviembre y concentraciones medidas para el año 2023, incluyendo los vertimientos actuales de las tres lagunas de sedimentación sobre la cuenca

Contexto actual de la calidad del agua del río Ranchería

Para el desarrollo de este modelo se hace uso de la información proporcionados por los ICAS No. 17 y No.18 LAM1094. En cuanto al oxígeno disuelto presenta un promedio de 6.6 mg/l para el año 2022 y de 6.9 mg/L para el año 2023, clasificando la calidad del agua como aceptable superando los valores mínimos de 4 mg/l que permiten la preservación de flora y fauna según el decreto 1076 de 2015. La DBO promedio se encuentra por debajo de 3.1 mg/L, por lo que no sobrepasa los valores permisibles para los objetivos de calidad dados por la resolución 1319 de 2016, clasificándose con una calidad con presencia de materia orgánica biodegradable bajos de acuerdo con Posada, Mojica, Pino, & Bustamante, 2013.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales los valores promedios están en 137.2 mg/L para el año 2022 y 131.1 mg/L para el año de 2023 lo que indica un alto nivel de estos sólidos en





el agua, estando por encima de los objetivos de calidad para el Río Ranchería de 15 mg/L para preservación de fauna y flora. Adicionalmente, la concentración de sólidos disueltos cuenta con valores medios de 36,7 mg/L para el 2022 y 26,4 mg/L para el 2023, llegando a concentraciones máximas de sobre 400 mg/L de sólidos disueltos para los dos años de análisis. La conductividad cuenta con concentraciones promedio sobre los 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo este valor una variación por iones disueltos según (Tarradellas, 2006), que se encuentra por encima del nivel de referencia de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los nitratos en términos generales presentan valores en el rango de 0.02 a 1.36 mg/l. Por otro lado, para nitrógeno total se tienen concentraciones medias de 4.41 mg/L para el 2022 y de 3 mg/L para el 2022, sin embargo, para el año 2023 se presentaron valores sobre los 12 mg/L en el mes de junio. Adicionalmente, el fósforo total presentan niveles de 0.27 y 0.37 mg/L para los años 2022 y 2023 respectivamente, lo cual indica niveles de eutrofización según el Método de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico de la comunidad europea (OECD) (Chapra, 2008).

Los sulfatos presentan valores promedio de 26.8 mg/L y 34.9 mg/L para los años 2022 y 2023 respectivamente, sin embargo, se tiene registros con valores sobre los 50 mg/L. Por su parte los cloruros presentan concentraciones medias de 36.7 mg/L para el año 2022 y 26.4 mg/L para el año 2023, aunque para el mes de diciembre del año 2022 se presentó niveles superiores de a 100 mg/L de Cloruros.

En cuanto a los coliformes totales presentan valores entre medios sobre de 2024 NMP/100ml para el año 2022 y de 1824 para el año 2023, lo que no es recomendable para consumo humano directo de la fuente, sin embargo, se encuentra en los valores aceptables para uso agrícola según el decreto 1076.

Calibración y validación de la calidad del agua

La calibración del modelo se realiza por medio de los valores medios mensuales de los diferentes parámetros fisicoquímicos para el año 2022 del ICA 17 del expediente LAM1094, este año corresponde al periodo con mayor cantidad de información en los diferentes puntos de monitoreo, en cuanto a la validación se hace uso de la información del año 2023 proporcionada por el ICA 18 del mismo expediente, en la siguiente tabla se presentan las condiciones de borde perteneciente a la estación de monitoreo RIO116.

Tabla 20. Caracterización fisicoquímica del Río Ranchería, condiciones de borde inicio tramo.

Parámetro	2022	2023
Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$	103.9	86.7
Cloruros en mg/L	4.8	6.9
Sólidos Disueltos en mg/L	98.4	79.0
Sulfatos en mg/L	5.9	4.9





Parámetro	2022	2023
Calcio en mg/L	5.6	5.6
pH	7.9	7.4
Hierro en mg/L	0.6	0.6
Coliformes Totales en NMP/100ml	2729	1465
Nitratos en mg/L	0.13	0.19
Ortofosfatos en mg/L	0.15	0.11
Oxígeno Disuelto en mg/L	6.5	7.1
Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	2.0	2.0
Sólidos suspendidos totales en mg/L	32.9	9.2
Temperatura en °C	25.5	25.8

Fuente: ANLA, 2024.

Se realizan 300 corridas para diferentes combinaciones de parámetros del modelo de calidad (constantes de velocidad, coeficientes de reaeración, etc.) de HEC RAS, los resultados de estas simulaciones se encuentran en el [Anexo 3. Calibración y Validación](#). Se establecieron como función objetivos la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el coeficiente de variación de la raíz del error cuadrático medio (RMSCV) y Porcentaje de sesgo (PBIAS). La raíz del error cuadrático medio (RMSE) es una forma de cuantificar la diferencia entre los valores simulados y los valores observados, este indicador calcula el error entre el valor modelado y real, midiendo la capacidad de predicción del modelo para representar la realidad (Kannel, et al, 2007). El coeficiente de variación RMSCV corresponde a la normalización del RMSE con respecto a la media de los datos. En cuanto a PBIAS, mide la tendencia de los valores simulados a ser mayores o menores respecto al valor real, sido los valores negativos un sesgo de sobreestimación y los valores positivos una subestimación. A continuación, se presentan los valores de referencia de estas métricas de desempeño.

Tabla 21. Métricas de desempeño.

Rendimiento	RMSCV	PBIAS
Muy bueno	0 – 0.10	0-10%
Bueno	0.10 - 0.20	10-15%
Aceptable	0.20 - 0.35	15 -25 %
Inadecuado	> 0.35	>25 %

Fuente: ANLA, 2024, con base en (Gupta et al., 1999; Moriasi et al., 2007; Kannel et al., 2007; Tapia et al., 2016)

De acuerdo con los resultados de calibración, las métricas de desempeño RMSCV y PBIAS para las variables de oxígeno disuelto, DBO, Temperatura, cloruros, sulfatos y pH presentan un ajuste clasificado como muy bueno, este comportamiento también se repite para la fase de validación del modelo. En cuanto a las métricas de evaluación para los parámetros de solidos disueltos, hierro y magnesio presentan un ajuste bueno. Por otro lado, las variables con desempeño aceptable se encuentra la conductividad y el calcio. Por otro último, la variable coliforme totales y nitratos presenta un ajuste inadecuado para la fase de



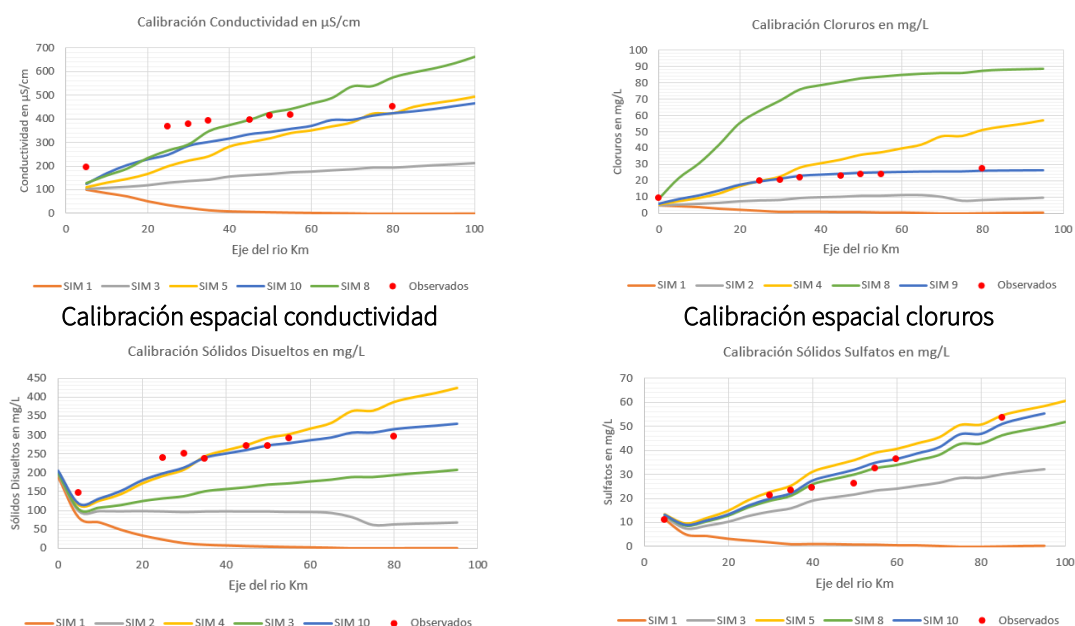
calibración, sin embargo, sus métricas de desempeño para la fase de validación mejoran hasta llegar a una categoría aceptable esto gracias a una menor variabilidad con respecto a la media de los valores para el año 2023 con respecto set de datos para el año de validación 2022. A continuación, se presentan los resultados de las métricas de desempeño de calibración y validación, junto con la visualización de los resultados espaciales para la fase de calibración.

Tabla 22. Métricas de desempeño calibración y validación caudales medios.

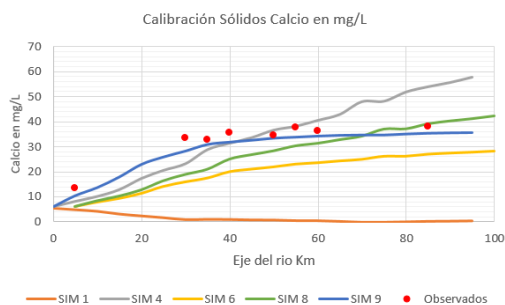
Parámetro	2022-Calibración			2023-Validación		
	PBIAS	RECM	RMSCV	PBIAS	RECM	RMSCV
Conductividad	2.97	78.05	0.21	-7.4	80.3	0.19
Cloruros	1.59	1.22	0.06	-0.3	3.0	0.01
Sólidos Disueltos	5.03	33.68	0.13	-2.6	39.4	0.09
Sulfatos	5.52	2.72	0.10	-1.2	9.3	0.02
Calcio Total	13.94	10.20	0.31	-4.5	1.9	0.06
Valor de pH	0.17	0.1	0.01	-1.58	0.38	0.05
Hierro Total	-12.57	0.38	0.14	11.0	1.1	0.3
C. Totales	13.75	1010.17	0.43	24.54	476.48	0.34
Nitratos	22.77	0.17	0.34	20.66	0.21	0.34
Ortofosfato	12.40	0.09	0.23	24.1	0.2	0.30
Oxígeno Disuelto	0.42	0.16	0.02	10.97	0.91	0.13
DBO	2.09	0.06	0.03	29.3	0.1	0.20
Sólidos Suspendidos	15.55	31.26	0.31	24.5	34.5	0.3
Temperatura del Agua	-2.41	0.92	0.03	-0.2	1.9	0.02

Fuente: ANLA, 2024.

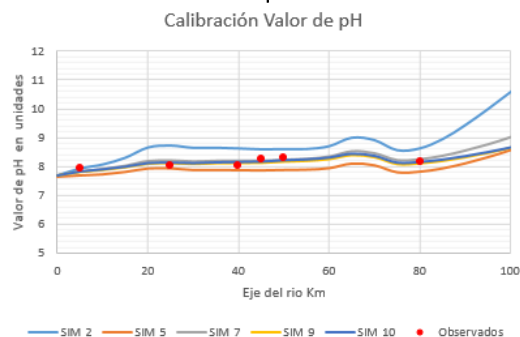
Figura 58 Resultados espaciales de la calibración del modelo río Ranchería.



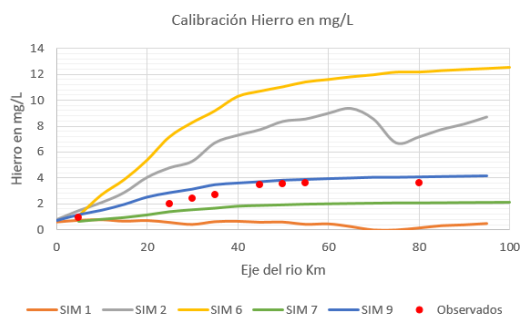
Calibración espacial solidos disueltos



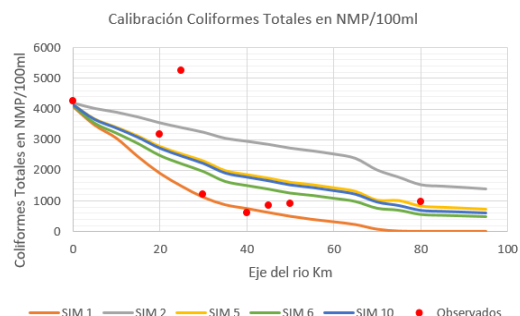
Calibración espacial sulfatos



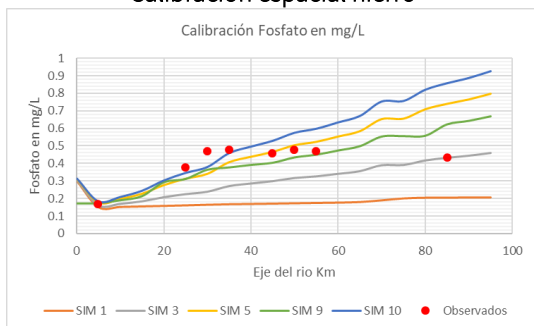
Calibración espacial calcio



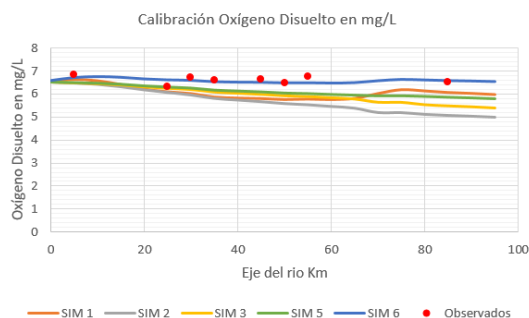
Calibración espacial pH



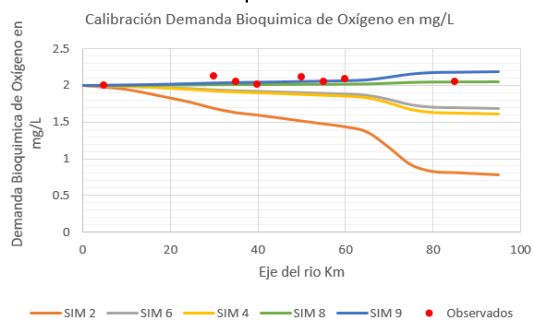
Calibración espacial hierro



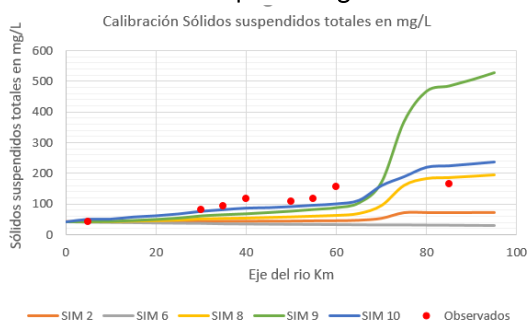
H. Calibración espacial coliformes totales



Calibración espacial ortofosfatos



J. Calibración espacial oxígeno disuelto



K. Calibración espacial demanda bioquímica de oxígeno

L. Calibración espacial solidos suspendidos totales

Fuente: ANLA, 2024.

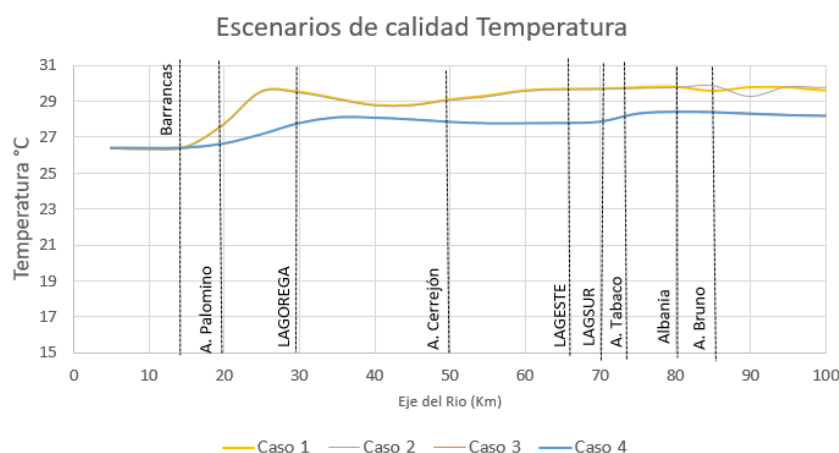
Las gráficas y tablas completas se encuentran en el [Anexo 3. Calibración y Validación](#).



Evaluación de escenarios de calidad del agua del Río Ranchería

La temperatura modelada presenta valores en el rango de 26.4 a 30.1°C, el comportamiento de la temperatura para los casos 1 y 2 cuenta con un aumento de 3.1 °C desde el kilómetro 15 a la altura del municipio de Barrancas, este comportamiento es debido a degradación de materia orgánica proveniente de las aguas residuales domésticas. El escenario para la temporada climática húmeda no cuenta con diferencias significativas como se evidencia en la figura 55. Por otra parte, la temperatura del agua para los escenarios el caso 1 (temporada seca sin presencia de vertimiento) cuenta con una temperatura media de 29 °C, El caso 2 (temporada seca con vertimiento) tiene un aumento de 0.13 % con respecto al caso anterior, a continuación, se muestra los resultados de modelación para los escenarios de calidad de temperatura.

Figura 59 Escenario de calidad temperatura



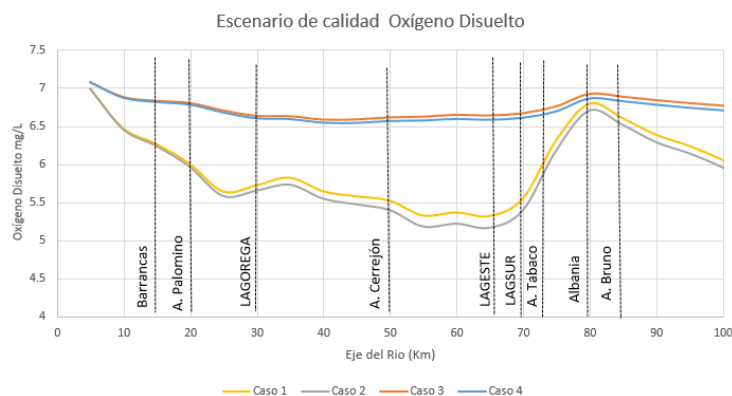
Fuente: ANLA, 2024.

El oxígeno disuelto presenta un comportamiento decreciente a lo largo del tramo con valores promedio entre 5.9 y 6.7 mg/l, donde las concentraciones más altas se presentan en la cuenca alta del tramo de análisis, esta disminución de la concentración es debido a la descargas de vertimiento domésticos e industriales, además de recibir aportes difusos por parte de las actividades económicas de la zona que al aumentar las cargas orgánicas y nutrientes disminuyen las concentración de oxígeno disuelto hasta llegar a valores de 5.2 mg/L, por otra parte, se presenta aumento de las contracciones de oxígeno en temporada húmeda de 12.5 % con respecto a temporada seca, esto gracias el aumento de los niveles de caudal y disminución de las temperaturas en el agua que permiten una mejor aireación y mayor retención de gases. Para este caso de análisis el oxígeno disuelto cumple lo dispuesto en los objetivos de calidad trazados para el río Ranchería teniendo valores sobre 4 mg/L.





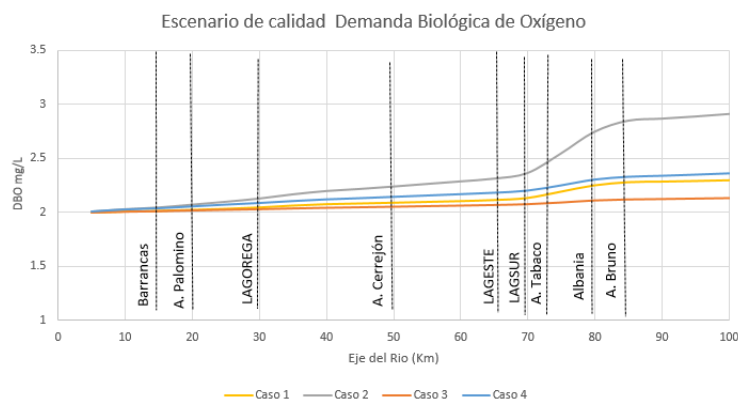
Figura 60 Escenario de calidad oxígeno disuelto.



Fuente: ANLA, 2024.

La DBO5 es un parámetro que indica la presencia de materia orgánica biodegradable, este contaminante cuenta con una concentración promedio de 2.2 mg/L, donde el escenario con mayor concentración se presenta para el escenario de temporada seca y húmeda con vertimiento llegando a tener concentraciones pico en el Kilómetro 70 de 3.4 y 3 mg/L respectivamente, estos escenarios con vertimiento tienen un aumento de 17.9% de la concentración con respecto a sus contrapartes sin vertimientos. Es importante mencionar que, estas concentraciones no sobrepasan los niveles máximos permisibles de la resolución 1319 de 2016 para la preservación de flora y fauna el cuerpo de agua de 8 mg/L.

Figura 61 Escenario de Demanda Biológica de oxígeno.



Fuente: ANLA, 2024

Los sólidos suspendidos comprenden las partículas con diámetro superiores a 0,45 micras (arena, limos, materia orgánica, etc.), de acuerdo con los resultados de modelación los sólidos suspendidos poseen un comportamiento ascendente, con concentraciones





promedio para los casos 1 y 3 sin vertimientos de 145 mg/L en temporada seca y 26.9 mg/L en temporada húmeda, teniendo un aumento para los escenarios con vertimiento de 16% en el caso 4 y 140 % para el caso 2. Por otra parte, se evidencia un crecimiento del 52% de las concentraciones entre los kilómetros 65 y 85, gracias a los aportes de las lagunas de sedimentación Este y Sur, junto con los Arrollo Tabaco y Bruno, los cuales aportan concentraciones promedio de 1154.7 mg/L, 5379.5 mg/L, 952 mg/L y 689 mg/L respectivamente. Vale la pena resaltar que para todos los escenarios se sobrepasa los niveles máximos permisibles para los usos recreativo primario, agrícola y preservación de fauna y flora de la resolución 1319 de 2016.

Figura 62 Escenario de Demanda Biológica de oxígeno.



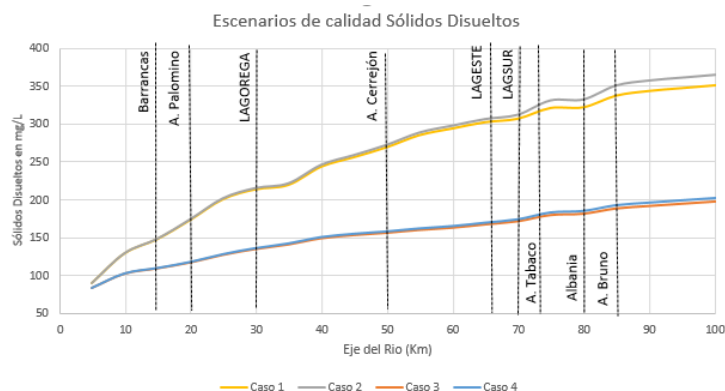
Fuente: ANLA, 2024

Los sólidos disueltos se encuentran compuestos por sales, metales, minerales, junto con y cualquier otro compuesto orgánico en el agua. Este parámetro tiene un comportamiento con una tendencia ascendente en el tramo de análisis con valores promedio de 261.4 mg/L para el caso 1, 267 mg/L para el caso 2, 156 mg/L para el caso 3 y 158 mg/L para el caso 4, presentando un aumento de 40% de las concentraciones en temporada seca con respecto a temporada húmeda. Por otra parte, se cuenta con un ligero aumento de las concentraciones en el kilómetro 70 como se muestra en la siguiente gráfica, presentando un comportamiento similar a la conductividad eléctrica y las concentraciones de calcio, magnesio, cloruros y sulfatos.





Figura 63 Escenario de Sólidos disueltos.



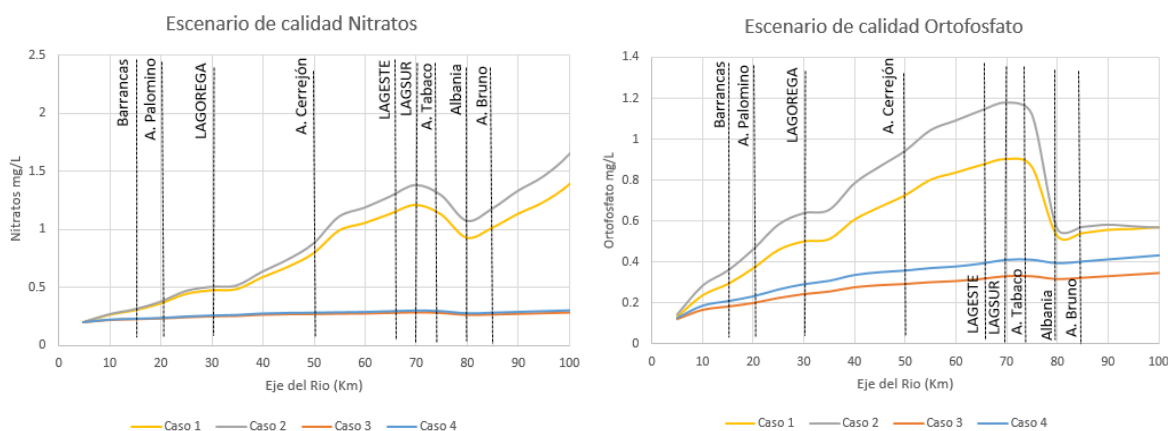
Fuente: ANLA, 2024

Los nitratos presentan concentraciones con valores promedio de 0.83 mg/L para el caso 1, 0.94 mg/L para el caso 2, 0.26 mg/L para el caso 3 y 0.27 mg/L para el caso 4. Por otra parte, los ortofosfatos cuentan con valores promedio en el caso 1 de 0.58 mg/L, 0.7 mg/L para el caso 2, 0.28 mg/L para el caso 3 y 0.34 mg/L para el caso 4. Estos parámetros cuentan con un aumento de los valores en casos con vertimientos de 8.3% nitratos y 20% para ortofosfatos con respecto a los escenarios sin vertimiento.

El comportamiento ascendente de estos dos nutrientes es debidos a la descargas de nutrientes por parte de la actividad económica agraria como son los cultivos de café, plátano, cacao, malanga, yuca, aguacate y producción de bovinos, porcinos y caprino (CORPOGUAJIRA, 2011), las cuales se aumentan sus concentraciones en épocas de caudales bajos, aumentando un 70% para los nitratos y 52% para ortofosfatos, En cuatro a su comportamiento los casos 3 y 4 (escenarios en temporada húmeda) es estable con un ligero aumento a lo largo del río, sin embargo, los casos 1 y 2 (escenarios en temporada seca) tienen un gran aumento de las concentraciones presentando picos influenciados por los aportes de Arroyo Palomino, Cerrejón junto con las lagunas de sedimentación Laguna Este y Laguna Sur, el aumento de estos parámetros tienen una relación inversa con el oxígeno disuelto, donde la oxidación de compuestos nitrogenados y fosforados reducen las concentraciones de oxígeno en el agua llegando a niveles de 5.2 mg/L como se puede evidenciar en la figura 56 y 60. Aunque, para el tramo de análisis no se presenta la excedencia del límite permisible para el objetivo de calidad de 10 mg/L de nitratos.



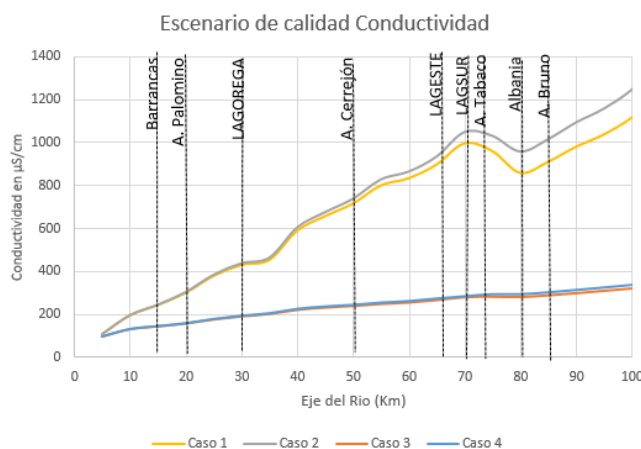
Figura 64 Escenario de calidad nitratos y ortofosfatos.



Fuente: ANLA, 2024

La conductividad eléctrica cuenta con valores promedio entre 698 a 236 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para los casos 1 y 3 (sin vertimientos), es importante mencionar que de acuerdo con la información proporcionada por los informes de cumplimiento ambiental del expediente LAM1039, la conductividad promedio de las aguas subterráneas cuenta también con valores elevados de conductividad eléctrica con promedio de 625 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para los casos 4 y 2 (con vertimiento) su promedio se encuentra en el rango de 243 a 746 $\mu\text{S}/\text{cm}$ teniendo un aumento de 5 % con respecto a los escenarios sin vertimiento. Es importante mencionar que la conductividad cuenta con un comportamiento ascendente en todo el tramo de análisis, superando la concentración de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dado por los objetivos de calidad para la preservación de flora y fauna para el Río Ranchería.

Figura 65 Escenario de calidad conductividad eléctrica.



Fuente: ANLA, 2024



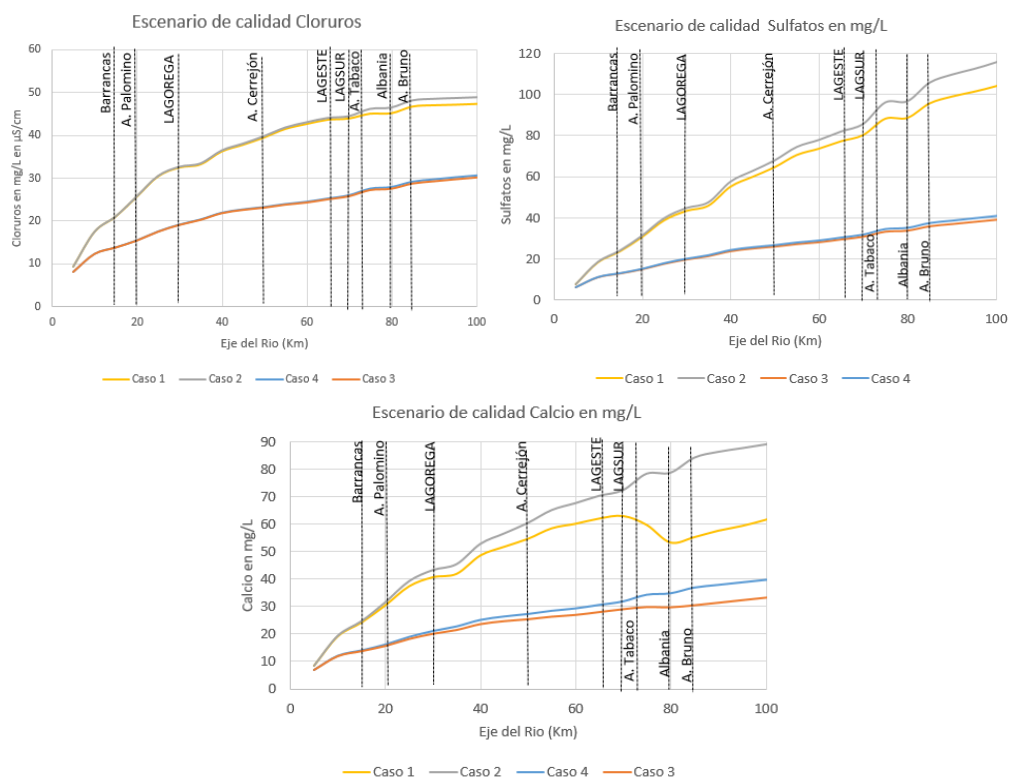
El cloruro en el agua se encuentra relacionada con la presencia de sales como el cloruro de potasio y cloruro de sodio, de acuerdo con la modelación de calidad de agua el tramo de análisis presenta un aumento constante de las concentraciones de cloruros con una media para los casos sin vertimientos de 22.5 mg/L para temporada húmeda de 37.2 mg/L para temporada seca. Con relación al aumento de concentración para los escenarios con vertimiento, la temporada seca se tiene un aumento de 1.7 % con relación al escenario sin vertimiento, registrando un valor máximo de 49 mg/L de Cloruros, en cuanto a la temporada húmeda se tiene un aumento de 1 % llegando a una concentración pico de 31 mg/L. El aumento de concentraciones por parte del aporte de vertimientos industriales no se sobrepasa el límite recomendado para la vida acuática dado por la Agencia de protección ambiental de Los Estados Unidos de 230 mg/L (EPA, 2015).

Los sulfatos cuentan con una concentración promedio para el caso 1 de 65.4 mg/L, caso 2 con 70.4 mg/L, caso 3 con 26.18 mg/L y caso 4 de 26.9 mg/L, teniendo un aumento de las concentraciones con vertimientos de 7.6% en temporada seca y de 3% en temporada húmeda. Por otro lado, el calcio cuenta con valores promedio de 48 mg/L para el caso 1, 59.6 mg/L para el caso 2, 24.4 mg/L para el caso 3 y para el caso 4 27.4 mg/L, teniendo un incremento de 24% en temporada seca y 12% en temporada húmeda de los valores en los escenarios con vertimiento como se puede evidenciar en la siguiente figura.

El aumento constante de las concentraciones de conductividad eléctrica Cloruros, sulfatos y calcio se relacionan con la presencia de formaciones rocosas bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcicos sódicas, cloruradas sódicas y baritas (sulfato de bario) (INGEOMINAS, 2002; ANLA, 2020), lo que provoca un incremento del contenido de sales disueltas en el agua, como se puede evidenciar en la siguiente figura. Por otro lado, estos parámetros tienen un aumento en las concentraciones como respuesta al vertimiento de la laguna de sedimentación Laguna sur y aportes del Arroyo Tabaco, teniendo su mayor concentración a la altura del kilómetro 75 en especial para la temporada seca, lo que puede tener un mayor impacto sobre la calidad de agua.



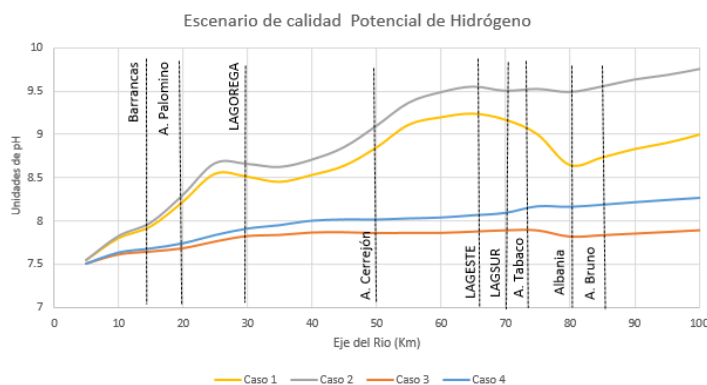
Figura 66 Escenario de calidad cloruros, sulfatos y calcio.



Fuente: ANLA, 2024

El pH es una medida indicativa de la acidez o la alcalinidad del agua, la cual para el tramo de análisis se encuentra en el rango de 7.8 a 8 para la temporada húmeda y 8.6 a 9 en temporada seca, para el caso 1 y 2 sobre el kilómetro 25 se tiene valores por encima de 8.5, superando los límites máximos permisibles para los objetivos de calidad del Río Rancherías, El comportamiento del pH tiene una relación con las concentraciones de calcio como se evidencia en la figura 62 y 63, las cuales aumentan la alcalinidad llegando a valores medios de 133 mg/L CaCO_3 y máximos de 286 mg/L CaCO_3 (ver tabla 14) clasificando estas aguas como una alcalinidad media alta y por consiguiente aumentando el pH a niveles superiores a 8.5, el crecimiento progresivo del pH puede tener consecuencias respiración de la vida acuática (Boyd, 2019), además de ser un factor influyente en el tratamiento convencional para el agua para consumo humano.

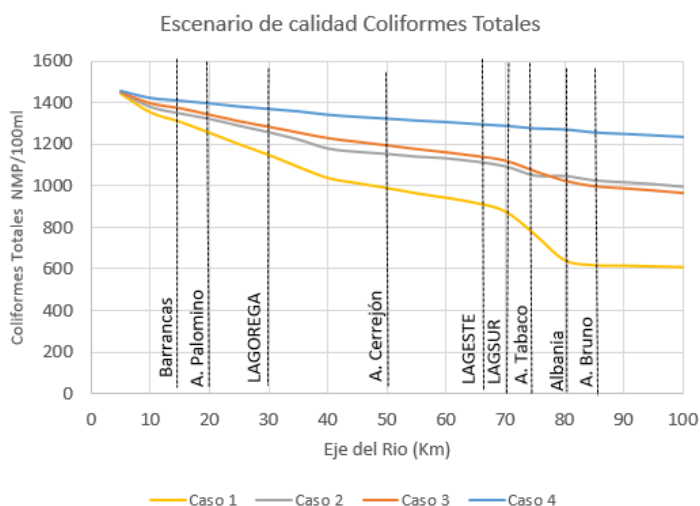
Figura 67 Escenario de potencial de hidrógeno.



Fuente: ANLA, 2024

Los coliformes fecales totales indican la presencia de bacterias, las cuales causan enfermedades gastrointestinales. Este parámetro presenta un comportamiento decreciente a lo largo del tramo de estudio teniendo sus principales aportes por parte de la población de Barrancas. Sin embargo, aguas abajo su cantidad disminuye especialmente para los casos sin vertimiento con valores promedio de 953.3 NMP/100ml en temporada seca y 1174.05 NMP/100ml temporada húmeda. Los escenarios con vertimiento, se presenta un aumento del 12% en temporada húmeda y de 21% para la seca, cabe anotar que estos valores no sobrepasan el objetivo de calidad para la cuenca Rancherías para uso recreativo primario.

Figura 68 Escenario de calidad coliformes totales.



Fuente: ANLA, 2024



CONCLUSIONES

Para la estrategia se han propuesto diferentes puntos de monitoreo basados en la red existente, para este análisis se toman las estrategias anteriores y se unifica la información y se propone una nueva red unificada, tal como aparece en la

En cuanto al incumplimiento de los objetivos de calidad en cada uno de los cuerpos de agua analizados de los muestreos registrados del 2016 a 2023 se concluye que:

- En el arroyo Palomino se observa incumplimiento en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en coliformes totales, SST, sulfatos, pH y mínimos en los nitritos.
- En el arroyo Cerrejón se observa incumplimiento en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en ortofosfatos, coliformes totales, SST, sulfatos y nitritos.
- En el arroyo Cequión se observa incumplimiento en los parámetros: conductividad, y en valores máximos en, coliformes totales, SST y sulfatos.
- En el arroyo Caurina se observa incumplimiento en los parámetros: conductividad.
- En el arroyo Tabaco se observa incumplimiento en los parámetros: Conductividad, coliformes totales, sólidos suspendidos totales, sulfatos y pH.
- En el arroyo Bruno se observa incumplimiento en los parámetros: Conductividad, coliformes totales, nitritos, sólidos suspendidos totales, sulfatos y pH.

Finalmente, para el río Ranchería se observa incumplimiento en los parámetros: conductividad, coliformes totales, fecales SST, DBO, DQO, ortofosfatos, pH y oxígeno disuelto.

Espacialmente solo se observa de acuerdo con los datos un aumento en la conductividad para el río Ranchería que es el afluente que recibe todos los vertimientos tanto los industriales como las descargas de aguas residuales domésticas no tratadas hecho que se ve reflejado en las DBO, coliformes y nutrientes. El aumento de la conductividad, sulfatos y cloruros puede no solo deberse a las descargas sino a las condiciones propias del suelo y agua subterránea como se evidencia en los muestreos en los meses en los cuales no se realiza vertimientos (época seca). Los coliformes totales pueden provenir de las actividades de agricultura y disposición de residuos líquidos de la zona.

En términos generales, de los análisis estadísticos y tendencias (análisis temporal) de calidad de agua se puede concluir que los parámetros con tendencia incremental tanto en los arroyos como en el río Ranchería son la conductividad, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos, coliformes, grasas y aceites.





En cuanto al pH el incremento de los anteriores parámetros no incide de manera significativa en él, sin embargo, es de indicar que este parámetro en el río Ranchería y en el arroyo Bruno presenta una tendencia decreciente, indicando una acidificación de las aguas. Esta variación puede deberse a la presencia de otros metales pesados que reducen el pH, no obstante, es de mencionar que, en su mayoría, los parámetros asociados a metales pesados para todos los tramos analizados registraron concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada en su cuantificación. Esta acidificación también puede ser ocasionada por los suelos.

En cuanto al tema de los metales pesado si bien la mayoría se encuentra por debajo del límite de detección, es de mencionar que debido a que los sistemas de Lagunas, de donde provienen los vertimientos, actúan como reservorios también de los sedimentos que pueden contener concentraciones más altas de metales pesados, en comparación con la que se registra en el agua; además, es necesario considerar que los sedimentos pueden liberar metales al agua en condiciones de bajo pH y generar un efecto acumulativo por la interacción con otros parámetros como los sulfatos, que al estar en un medio acuoso forma ácido sulfúrico y produce acidificación del agua. Por tanto, se recomienda que se realice el monitoreo de metales pesados en la matriz de sedimentos.

En cuanto a la modelación de cantidad de agua se puede concluir que:

En la actualidad existen permisos de concesión de aguas vigentes en las cuencas de los Arroyos Tabaco y Bruno, de los cuales no se ha reportado su uso por parte de la sociedad (LAM1094) en más de tres (3) años, no obstante, caso de requerirse los caudales concesionados para el desarrollo de la actividad económica acorde a los resultados obtenidos del ejercicio de modelación hidrológica la oferta hídrica no sería suficiente para suplir la demanda hídrica a excepción de los periodos de caudales altos que se dan en los meses de octubre, noviembre y diciembre, destacando que estas subcuencas son las más vulnerables a un déficit hídrico y presentaron un IUA muy alto y crítico.

Los ríos Palomino, Cerrejón presentan índices de regulación hídrica (IRH) muy bajas y los Arroyos Tabaco y Bruno regulaciones bajas, lo que indica que en periodos de estiaje estos cuerpos de agua pueden llegar a obtener valores muy bajos o nulos de caudal, lo que limitaría cualquier uso y aprovechamiento del recurso hídrico superficial.

Referente al tramo del río Ranchería comprendido entre el Arroyo Aguas Blancas y Cuestecitas presenta condiciones de IUA de moderados a altos, debido a la cantidad de captaciones que se concentran sobre el río Ranchería pertenecientes al expediente LAM1094, las cuales suman caudales del orden de 2110 l/s, lo que convierte este tramo del río Ranchería en el más vulnerable a déficit hídrico.

Acorde a los resultados obtenidos de Evapotranspiración Real (ETR) y Potencial (ETP) para cada una de las subcuencas que hacen parte de los puntos de la presente estrategia, se





obtuvo un índice de aridez altamente deficitario, lo que indica que las subcuencas que comprenden el tramo del río Ranchería entre el Arroyo el Mamón y Cuestecitas, y los tributarios de este como los ríos Cerrejón, Palomino, Arroyo Tabaco, Bruno y en general toda la subzona hidrográfica presentan un desequilibrio entre la precipitación recibida y demanda hídrica atmosférica lo que la hace deficitaria de manera natural.

En cuanto a la modelación de calidad del agua se puede concluir que:

De acuerdo con la normatividad ambiental vigente y los objetivos de calidad para el río Rancherías de acuerdo con la resolución 1319 de 2016 los parámetros como coliformes fecales, conductividad eléctrica, pH y sólidos suspendidos totales no cumplen con las concentraciones exigidas en la norma, siendo los periodos secos las temporadas con mayores concentraciones y por consecuencia limitan el aprovechamiento del recurso hídrico en la región.

En cuanto a los coliformes totales la inadecuada disposición de las aguas domesticas como es el caso de las poblaciones aledañas y las actividades agropecuarias hacen que los valores de este contaminante aumenten a medida que el Río Ranchería recorre su camino, estas concentraciones altas impiden el uso del agua sin previo tratamiento, siendo un factor predominante en la salud pública de la región, por lo que es de vital importancia realizar un mejor manejo de las aguas residuales domesticas mediante la implementación de sistemas de tratamiento por parte de los centros poblados y mejorar la regulación de las entidades ambientales de la región.

Las condiciones del suelo y subsuelo juegan un papel predominante en las concentraciones de parámetros como son los cloruros, sulfatos y calcio, esto gracias a la presencia de formaciones geológicas de rocas cálcicas, cloruradas sódicas y baritas que aumentan las concentraciones al tener contacto con el agua, teniendo los valores altos en los casos sin vertimientos. por otra parte, los vertimientos industriales también generan un incremento adicional a las concentraciones de estos elementos principalmente a la altura de la Laguna de sedimentación Sur, Este y los aportes del arroyo Tabaco La presencia de estos elementos aumentan la conductividad eléctrica por la disolución de sales en las aguas, siendo parámetros aunque para el modelo no sobrepasan los límites para la vida acuática, esto causan una limitación para el uso del agua y tratamiento convencional para consumo humano.

La cuenca del río Ranchería registra un total de 20 permisos de vertimiento con un caudal acumulado de 553 l/s autorizados por la ANLA para el Río Ranchería, adicionalmente se cuenta con 18 permisos autorizado por CORPOGUAJIRA para el proyecto LAM1094. De los cuales 17 de los vertimientos son origen industrial y solamente 1 de doméstico, estas aguas residuales por parte del expediente LAM1094son vertidos a la cuenca de manera periódica en caso de tener rebose de las lagunas de sedimentación. De acuerdo con este contexto, para los casos modelados es evidente un deterioro de las condiciones de calidad del agua especialmente sobre el kilómetro 70 donde los aportes de residuales



directas de las Lagunas de sedimentación Este, Sur y el Arroyo Tabaco, los cuales al encontrarse en menos de 10 km reducen la capacidad de asimilación del río, provocando un pico de los parámetros fisicoquímicos. Especialmente para las temporadas secas, donde los caudales inferiores a 5 m³/s causan afectaciones a la disponibilidad del recurso hídrico con el aumento de las concentraciones de todos los parámetros. Siendo pertinente otorgar permisos vertimientos restringidos a épocas de caudales superiores a 8 m³/s. Respecto a lo anterior, es importante considerar que las conclusiones del modelo de calidad del agua parte de escenarios hipotéticos, como es el caso de efectuar vertimientos en condiciones de déficit hídrico, lo cual no ha efectuado por parte de los proyectos en la zona dado que esto ocurre solamente por rebose y acumulación, en situaciones específicas de caudales altos.



BIBLIOGRAFÍA

ANLA. (2020). Reporte análisis regional: Actualización del Reporte de Alertas de Análisis Regional de la Zona Hidrográfica Caribe – Guajira.

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., Van Griensven, A., & Van Liew, M. W. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.

Bocanegra, J. E. M., Edgar, J., & Caicedo, J. D. P. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 2, 7-21.

Boyd, C. E. (2019). *Water quality: An introduction*. Springer Nature.

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

Chiang, S. L., & Johnson, F. W. (1976). Low Flow Criteria for Diversions and Impoundments. *Journal of the Water Resources Planning and Management Division*, 102(2), 227-238. <https://doi.org/10.1061/JWRDDC.0000019>.

EPA. (2015). *National Recommended Water Quality Criteria*.

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135))

INGEOMINAS. (2002). *Mapa Geológico del departamento de la Guajira*.

Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S. R., & Pelletier, G. J. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *Ecological modelling*, 202(3-4), 503-517.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

Tapia, H. S., Gutiérrez, L. F., Aragón, J. A. G., Tejeda, S., & Rebollar, B. L. (2016). Modelación del curso alto del río Lerma (Carl), utilizando QUAL2KW, considerando la distribución y variación de nitrógeno amoniacal y nitrógeno como nitratos. *Aqua-LAC*, 8(1), 34-43.

Tarradellas, J. (2006). *Red de Calidad del Agua de los Ríos de Colombia*. Lausanne.



Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., & Fritz, S. (s. f.). M 2021 v200 (2022).