

Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las subzonas hidrográficas Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco - AVRGM

Análisis regional - Segundo año de monitoreo

OCTUBRE 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
Líder
Análisis Regional

Jineth Sayri Castañeda Quijano
Sonia Marcela Pacheco Higuera
Angela Patricia Poveda Corredor
Edgar Andrés Ramírez Manrique
Yady Melissa Triana Parra
Luisa Fernanda Valencia Casas
Profesionales
Componente Hidrogeológico

Contenido

1. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA EN EL ÁREA DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	4
1.1 Formación Une	4
1.2 Formación Gacheta	5
1.3 Formación Guadalupe	5
1.4 Formación Barco - Los Cuervos	5
1.5 Formación Mirador	5
1.6 Formación Carbonera	5
1.7 Formación León	7
1.8 Formación Caja (Formación Guayabo)	7
1.9 Depósitos Cuaternarios	7
2. ANTECEDENTES DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	0
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	0
3.1 Condiciones de Lugar	1
3.2 Condiciones de Modo	20
3.3 Condiciones de Tiempo	21
4. INFORMACIÓN ENTREGADA POR LOS PROYECTOS EN CUMPLIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL	22
5. ESTADO DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO	43
5.1 Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT)	45
5.2 Oxígeno Disuelto	43
5.3 Nivel Estático	43
5.3.1 Formación Caja	45
5.4 pH	48
5.5 Dureza total	49
5.6 Nitratos y nitritos	50
5.7 Diagramas de Piper	51
5.7.2 Temporada seca	52
5.7.3 Temporada húmeda	52
5.7.3 Temporada de transición	52
5.8 Diagramas de Stiff	46
5.8.1 Formación Caja	46

5.8.2 Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep)	48
5.9 Diagramas de Gibbs	49
5.10 Diagramas de Mifflin	43
5.11 Metales y metaloides	45
5.11.1 Aluminio, hierro y manganeso	46
5.11.2 Bario, cobre y zinc	48
5.11.3 Níquel y plomo	49
5.12 Parámetros asociados al desarrollo de actividades relacionadas con hidrocarburos	49
5.13 Parámetros microbiológicos	50
6. CONCLUSIONES	43
ANEXO I	46

1. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA EN EL ÁREA DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

Dado el tamaño del área de la estrategia (16.144,7 Km²), el número de planchas en escala 1:100.000 que abarca y la amplia extensión de afloramiento de las unidades geológicas, para el presente análisis se tomó como referencia cartográfica (gráfica) el Mapa Geológico de Colombia publicado por el Servicio Geológico en el año 2021.

En dicho mapa, se evidencia que en el área de interés afloran las siguientes unidades “Qe: Depósitos Eólicos (Dunas), Q-al: Depósitos Aluviales y de Llanuras Aluviales, Qt: Terrazas Aluviales y N2-Sc: Conglomerados y arenitas poco consolidados con matriz ferruginosa y arcillosa (...)”; esta última unidad corresponde en la cartografía a mayor escala (1:100.000) con la Formación Caja o Formación Guayabo según el léxico petrolero.

La descripción de las unidades geológicas se toma de los documentos “Integración de la Cartografía Geológica de los Llanos Orientales: Departamento del Meta y Sector Suroccidental del departamento de Casanare Planchas 248, 249, 250, 251, 252, 267, 268, 269, 270 y 271 (Escala 1:100.000)” publicado por el Servicio Geológico Colombiano -SGC (2010) e “Cuenca Llanos Orientales - Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos” publicado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH (2012); de igual manera se toma en cuenta el Estudio de Impacto Ambiental -EIA para el Área de Desarrollo – AD Golondrina (Expediente LAV0060-00-2023).

En las unidades descritas a continuación, también se incluyen las que son de relevancia en la industria petrolera pero no aflorantes en el área de la estrategia, como lo son las formaciones Une, Gacheta, Guadalupe, Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera y León.

1.1 Formación Une

El SGC (2010) a partir de información obtenida de corazones de pozos localizados en el área de estudio, describe la Formación Une conformada por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones lodosas hacia el techo; materiales depositados en la transición de ambientes fluviales (hacia la base) a ambientes de bahías o estuarios (hacia el tope).

Por su parte, la ANH (2012) presenta a la Formación Une conformada por areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y de limolitas carbonosas; para el Departamento del Meta reportan un espesor de 50 a 350 pies y mencionan que Une es productora de aceite en el sector de los campos Apiay – Suria.

1.2 Formación Gacheta

Según ANH (2012), se constituye por una sucesión de lutitas, con presencia de areniscas, contenido variable de glauconita y esporádicamente delgados niveles calcáreos; en los pozos Chichimene-1, Vanguardia-1, Cumaral-1 y Medina-1, reportan espesores mayores a 600 pies. Adicionalmente, describen a esta unidad como la principal roca generadora en la cuenca de los llanos orientales y productora en varios campos.

1.3 Formación Guadalupe

Se constituye de areniscas cuarzosas, areniscas fosfáticas, niveles de lodolitas, con delgadas intercalaciones de lutitas y esporádicas pequeñas capas de carbón; el espesor máximo detectado en la cuenca en el pozo Coral -1 es de 600 pies. (Tomado de ANH (2012) y SGC (2010). En la columna estratigráfica generalizada de la cuenca de los llanos orientales (ANH, 2012) presentan a la Formación Guadalupe como unidad reservorio.

1.4 Formación Barco - Los Cuervos

La ANH (2012) menciona que la Formación Barco se compone de areniscas masivas, pobremente clasificadas en la base; suprayacidas por lutitas con intercalaciones locales de esporádicas capas delgadas de carbón y delgadas intercalaciones de areniscas en la Formación Los Cuervos. Según el SGC (2010) el límite entre las dos unidades se da por el cambio de un intervalo predominantemente arenoso a uno principalmente lodoso. En la columna estratigráfica generalizada de la cuenca de los llanos orientales (ANH, 2012) presentan a la Formación Barco como unidad reservorio.

1.5 Formación Mirador

Se conforma por conglomerados y areniscas con delgadas intercalaciones lodosas, hacia el techo lodolitas y “shales” (SGC, 2010). Según ANH (2012), esta unidad es el reservorio más importante de la cuenca y alcanza espesores hasta de 950 pies observado en el pozo Floreña – 1. En el Campo de Explotación de Hidrocarburos Ocelote – Guarrojo – LAM4221 es una de las unidades productoras.

1.6 Formación Carbonera

Teniendo en cuenta que la Formación Carbonera es la principal unidad productora de hidrocarburos y receptora de aguas de producción en los proyectos que se encuentran integrados en la estrategia de monitoreo (ver tabla 1), se toma la descripción de manera literal como lo presenta la ANH (2012):

En área sur de la cuenca, la Formación Carbonera y base de la secuencia terciaria ha sido dividida por ECOPETROL en nueve unidades operacionales, que de base a techo se denominan:

Unidad T2 (Areniscas Basales de Carbonera), que en otras partes de la cuenca Llanos Orientales es denominada Formación Mirador. Entre aproximadamente la Unidad C8 y la Unidad C1 de la nomenclatura de Elf Aquitaine para la Formación Carbonera del sector del Casanare, la secuencia se hace bastante arenosa en el sector del Meta, por lo que estas unidades son difíciles de correlacionar, por lo tanto, ECOPETROL usa las unidades operacionales: Lutita E4, Unidad T1, Lutita E3, Conjunto C2, Areniscas de Carbonera, Conjunto C1, Lutita E (Unidad C2) y Areniscas Superiores de Carbonera (Unidad C1).

(...)

Unidad C8 (Unidad E4): Esta Unidad, presenta un espesor variable, desde 50 pies en el borde oriental de la cuenca hasta más de 400 pies a lo largo del frente de montaña.

Unidad C7 (Unidad T1): se compone de areniscas de grano fino a medio, a veces conglomerático, separadas por niveles de arcillolita. Pueden alcanzar 250 a 280 pies de espesor en la parte central de la cuenca.

Unidad C6 (Lutita E3): El máximo espesor de esta unidad arcillosa se encuentra en el sector de Cumaral-1, con 600 pies. Hacia el Este se reduce rápidamente, hasta tener un promedio de 100 a 150 pies en la zona central de la cuenca.

Unidad C5: está compuesta por alternancia de niveles de arcillolita y de arenisca, poco consolidada, de tamaño de grano, predominante medio, a veces grueso; en ocasiones ligeramente calcáreas, con glauconita. Su espesor total varía desde 50 hasta 300 pies.

Unidad C4: Está compuesta por una alternancia rápida de capas de areniscas, limolitas y lutitas, presenta un espesor comprendido entre 150 y 300 pies en la parte central de la cuenca.

Unidad C3: Está compuesta por alternancia de niveles de arenisca fina a gruesa y algunos pies de limolitas y arcillolitas; a veces con niveles carbonosos en la secuencia localizada en la parte central de la cuenca.

Unidad C2 (Lutita E): después de la Formación León, es el sello mejor desarrollado, y el de mayor extensión hacia el Este. Está compuesta casi exclusivamente por lutitas grises y algunas limolitas con un espesor de 100 a 200 pies en la parte media de la cuenca, aumentando rápidamente hacia el borde suroccidental, donde alcanza más de 900 pies (pozo Medina-1).

Unidad C1 (Areniscas Superiores de Carbonera): es la última de las secuencias arenosas de la Formación Carbonera y se encuentra sellada por las lutitas de la Formación León. Está compuesta por una alternancia de cuerpos arenosos, separados por niveles delgados de limolitas oscuras y lutitas grises.

1.7 Formación León

Conformada por capas gruesas de lutitas, según ANH (2012) constituye el sello regional de la cuenca. Los espesores máximos observados oscilan entre 2.500 pies y 1.980 pies. En estudios de Impacto Ambiental allegados por los licenciarios mencionan que se compone por capas gruesas de lutitas con numerosos niveles de concreciones de arcillolita ferruginosa, oolitas ferruginosas y restos de plantas y secuencia de lutitas, blandas a fílsiles, glauconíticas, con concreciones calcáreas (ferruginosas), algunas capas de arenisca limolita, trazas de piritita y presencia de niveles carbonosos.

1.8 Formación Caja (Formación Guayabo)

De acuerdo con el SGC (2010) se constituye a la base por arcillolitas y limolitas con esporádicas intercalaciones de areniscas arcillosas de grano fino a medio y conglomerados de hasta 1m de espesor. Presenta una alternancia de arcillolitas, limolitas y conglomerados de cantos de cuarzo, areniscas y chert cementados en una matriz arenosa. El espesor total alcanza los 2500m. ~~Auto~~ Los afloramientos del centro sur del departamento del Meta corresponden a niveles del tope de la Formación Caja, la cual se denomina en la industria petrolera con la Formación Guayabo Superior.

Esta unidad regionalmente se caracteriza por constituir acuíferos de porosidad intergranular que son captados en sus primeros metros por las comunidades y a mayores profundidades por la industria petrolera principalmente; es por tal razón, que la Formación Caja es la unidad de análisis priorizada en la estrategia de monitoreo del recurso hídrico subterráneo de las subzonas hidrográficas Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco – AVRGM, esto con el fin de identificar posibles afectaciones sobre el agua subterránea que se puedan generar a causa de la operación de los proyectos licenciados por ANLA en la región. En la red de monitoreo de la estrategia se le hace seguimiento a la calidad y dinámica del agua subterránea proveniente de la Formación Caja a través 31 puntos de agua.

1.9 Depósitos Cuaternarios

En el área de la estrategia de monitoreo se identifican tres tipos de Depósitos Cuaternarios, eólicos y/o dunas (Q-e), aluviales (Q-al) y terrazas (Q-t), El Servicio Geológico (2010) los describe así:

Las Terrazas Aluviales (Q-t) se conforman por niveles de arenas gravosas; la fracción arena es de cuarzo de grano medio a grueso, mal seleccionadas; y la fracción de gravas corresponde con guijarros de cuarzoarenitas de grano fino a grueso mal seleccionadas con matriz limo arcillosa.

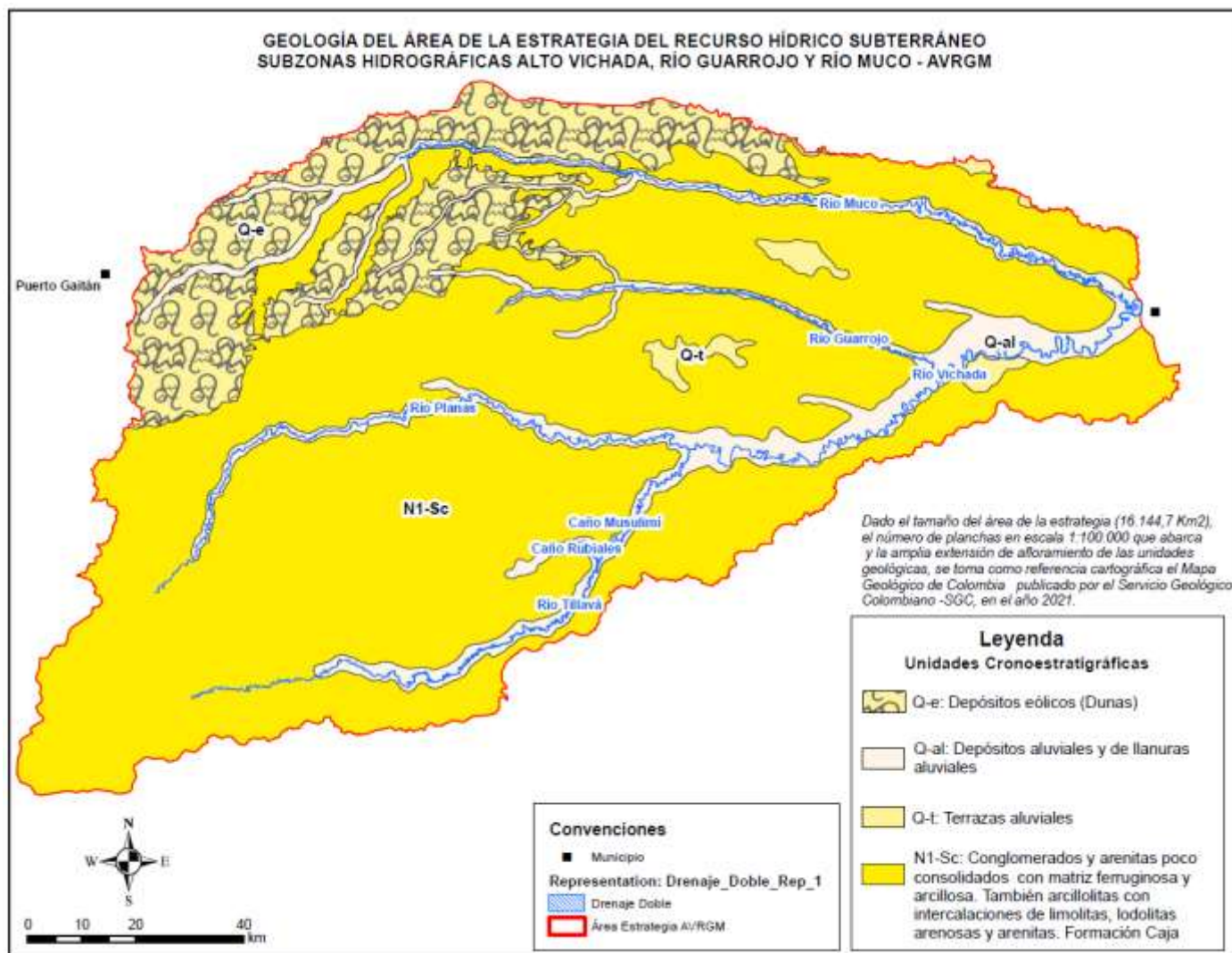
En general los Depósitos Aluviales se conforman por gravas arenosas en proporción 60/40% aproximadamente; la fracción gruesa se conforma por guijarros de cuarzo lechoso, líticos

sedimentarios y costra de hierro; la fracción arena es de grano medio a grueso subredondeado a subangular conformada por cuarzo, líticos y moscovita.

Los Depósitos Eólicos son los de mayor extensión de afloramiento en el área de la estrategia, de acuerdo con algunos EIA's se componen de arenas de grano medio a fino y limo. En esta unidad se tienen cuatro (4) puntos de captación de agua subterránea integrados a la red regional de monitoreo.

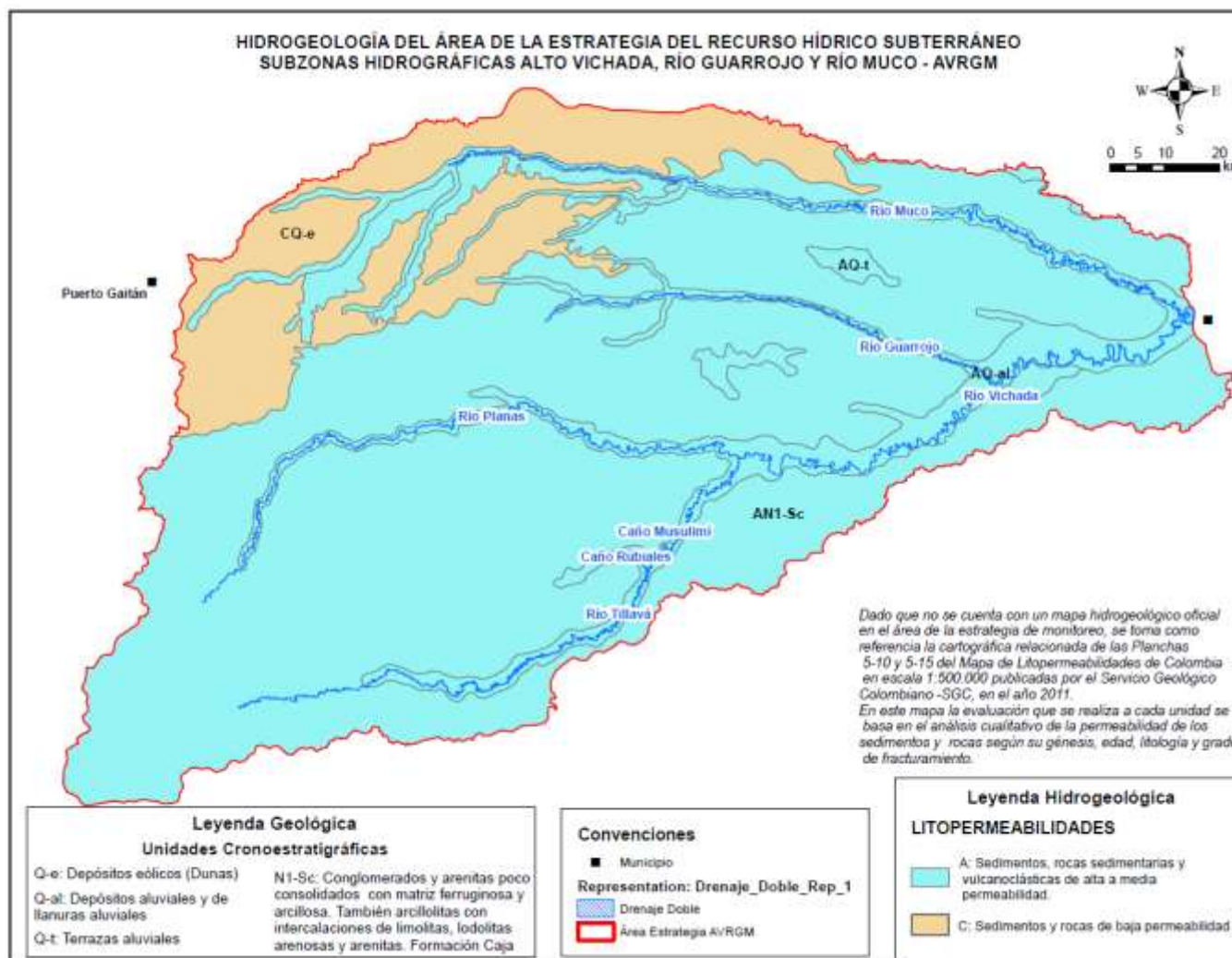


Ilustración 1. Mapa geológico estrategia de monitoreo de agua subterránea AVRGM



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024, tomado del SGC (2020)

Ilustración 2. Mapa hidrogeológico estrategia de monitoreo de agua subterránea VSM

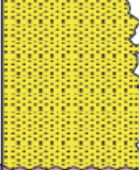




Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Adicionalmente, en la **Ilustración 3** se observa una columna estratigráfica generalizada de la cuenca de los Llanos Orientales, en la cual se presentan las unidades geológicas según su función en la industria petrolera, ya sea como productora, receptora o sello.

Ilustración 3. Columna generalizada de la cuenca de la cuenca de los Llanos Orientales

PERIODO	LITOESTRATIGRAFÍA	LITOLOGÍA	SISTEMA PETROLÍFERO	
			ELEMENTOS	PROCESOS TRAMPAS MIGRACIÓN
NEÓGENO	Fm. NECESIDAD			
	Fm. GUAYABO			
	Fm. LEÓN		S	
PALEÓGENO	Fm. CARBONERA	C1		TRANSCURRENCIA
		C2	S	
		C3	R	FALLA ANTITÉTICA
		C4		
		C5	R	
		C6		INVERSIÓN
		C7	R	
		C8	S	FALLA DE ALTO ÁNGULO
	Fm. MIRADOR		R	
	Fm. LOS CUERVOS			
CRETÁCICO	Fm. BARCO		R	
	Fm. GUADALUPE		R	
	Fm. GACHETA		S S	
	Fm. UNE		R	
JURÁSICO	BASAMENTO			

Fuente: ANH, 2012

En la siguiente tabla se resume la información relacionada con la actividad de inyección de los proyectos que se encuentran reportando información en el marco de la estrategia regional, correspondiente con lo reportado a corte del año 2023.

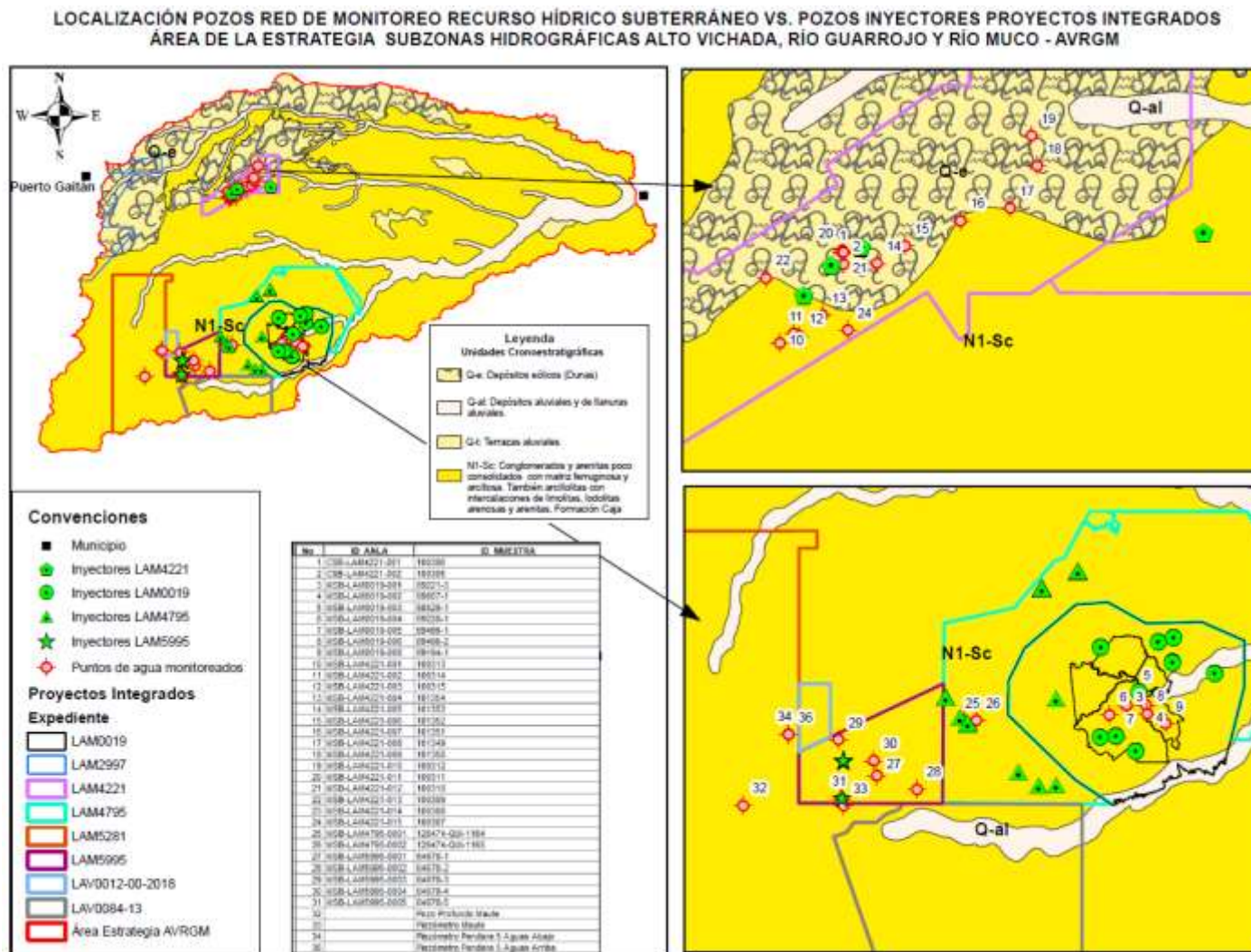
Tabla 1. Resumen de actividad de inyección por proyecto

EXPEDIENTE	NOMBRE PROYECTO	FORMACIÓN GEOLÓGICA PRODUCTORA	FORMACIÓN GEOLÓGICA RECEPTORA	FORMACIÓN SELLO	No. POZOS INYECTORES
LAM4221	Campo de Explotación de Hidrocarburos Ocelote - Guarrojo	Carbonera y Mirador	Carbonera (C1, C3, C5, C7), Mirador, Guadalupe, Paleozoica	León y Carbonera (C2, C4, C6)	5
LAM0019	Explotación de Hidrocarburos en el Campo Rubiales	Carbonera	Carbonera (C1, Arenas intermedias, Arenas basales)	León y Carbonera (C2, C4, C6)	59
LAM4795	Área de Explotación de Hidrocarburos Quifa	Carbonera	Carbonera (C1, Unidad intermedia, Areniscas basales)	León y Carbonera (C2)	29
LAM5281	Proyecto de Perforación Exploratoria - Bloque CPO-13	Carbonera	Carbonera (C1, C3, C5, C7)	León	0
LAM5995	Campo de producción Mago	Carbonera	Carbonera (Arenas basales)	León	12

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Por último, en la **Ilustración 4** se presenta la relación espacial entre los puntos de agua subterránea que están siendo monitoreados en el marco de la estrategia regional y los pozos de inyección de los proyectos que llevan a cabo esta actividad. En la figura se evidencia que algunos de los puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia se localizan en las áreas de influencia de los pozos inyectores, así las cosas, el análisis de calidad debe realizarse teniendo en cuenta la susceptibilidad de afectación por parte de la actividad de reinyección.

Ilustración 4. Localización pozos inyectores vs puntos de agua subterránea monitoreados en la estrategia



2. ANTECEDENTES DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

En el año 2020, la SIPTA publicó el “*Reporte de Alertas Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM)*”, en el cual se presenta un análisis sobre el estado de los recursos naturales y se relacionan aspectos sobre su sensibilidad en relación con los impactos que se generan en el desarrollo de las actividades objeto de licenciamiento ambiental. En relación con el recurso hídrico subterráneo, se realizó un análisis sobre el estado de la línea base a partir de la información obtenida en los Informes de Cumplimiento Ambiental - ICA allegados por los licenciarios de los proyectos allí localizados.

Como resultado del análisis, en el reporte se realizaron algunas recomendaciones asociadas con el licenciamiento ambiental donde se resalta la necesidad de “*Estandarizar los parámetros y frecuencias de monitoreo en los puntos que se conforman las redes de monitoreo de aguas subterráneas de los proyectos de E&P de hidrocarburos*” y de “*mejorar el conocimiento hidrogeológico de la región*” lo cual se direcciona, entre otras cosas, hacia la importancia de establecer estrategias orientadas a la obtención de datos sobre la calidad y dinámica del agua subterránea que sean fiables y representativos del estado del recurso en la zona.

En primera instancia, teniendo en cuenta dichas recomendaciones y considerando la ubicación estratégica de algunos proyectos sobre la cuenca del río Tillavá, ubicada al sur de la subzona hidrográfica del Alto Vichada, la ANLA implementó la estandarización de parámetros y frecuencias en los proyectos de hidrocarburos que operan en dicha cuenca. Posteriormente, la estrategia fue ampliada a la totalidad del área abarcada por las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM), integrando en total diez (10) proyectos, de tal manera que sea posible capturar datos que permitan realizar análisis con enfoque regional sobre los impactos acumulativos generados por el sector de hidrocarburos sobre el agua subterránea.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

La estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM) establece la estandarización de parámetros y frecuencias para el monitoreo regional de la calidad y cantidad del agua subterránea. Dicha estandarización a escala regional permitirá reconocer, mediante el análisis espacio temporal sistemático de los resultados de monitoreo, los

factores de alteración que se puedan presentar en el componente hidrogeológico, asociados a las actividades de competencia de la ANLA desarrolladas sobre la cuenca. Esto ofrece a la Autoridad Ambiental un sustento técnico esencial para determinar si existe o no la acumulación de impactos sobre el recurso hídrico subterráneo en la región y la eventual necesidad de imponer nuevas restricciones ambientales que se consideren pertinentes.

A la fecha, las condiciones de tiempo, modo y lugar de la estrategia han sido implementadas en nueve (9) de los diez (10) proyectos que la conforman, todos pertenecientes al sector de hidrocarburos y correspondientes con los siguientes expedientes:

- LAM2997: Área de desarrollo Caracara- Campo Peguita.
- LAM4221: Campo de explotación de hidrocarburos Ocelote - Guarrojo.
- LAV0012-00-2018: Licencia ambiental campo de producción Cumanday.
- LAM0019: Desarrollo del campo de petróleo crudo pesado Rubiales.
- LAM4795: Área de explotación de hidrocarburos QUIFA.
- LAM5281: Proyecto de Perforación Exploratoria - Bloque CPO-13.
- LAM5995: Campo de producción Mago.
- LAV0084-13: Área de Perforación Exploratoria CPO13B.
- LAM2965: Línea de conducción de hidrocarburos Campo Rubiales – CPF Cusiana

Estos nueve (9) proyectos son responsables de la red de monitoreo regional que hasta el momento está oficialmente compuesta por 64 puntos de agua subterránea, distribuidos en 33 pozos y 31 piezómetros. No obstante, en la actualidad solamente cinco (5) proyectos se encuentran reportando información en el marco de la estrategia, en consecuencia, para el análisis del presente documento únicamente se tiene información de 35 puntos de agua subterránea.

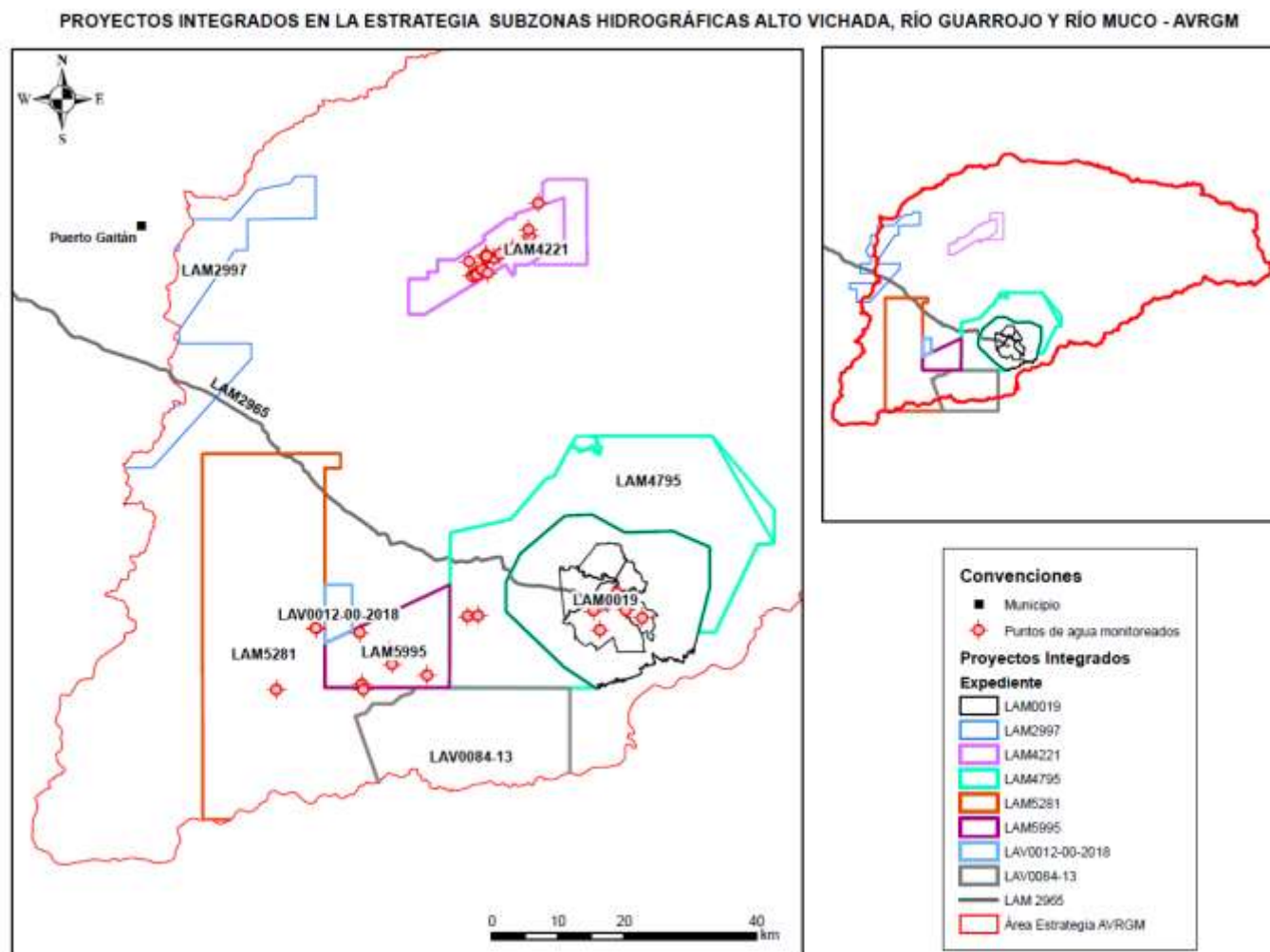
A continuación, se presentan las condiciones de lugar, modo y tiempo de la estrategia de monitoreo:

3.1 Condiciones de Lugar

En la **Ilustración 5** y la **Tabla 2** se presenta la distribución y características de cada uno de los puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM):



Ilustración 5. Localización de los proyectos y puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM)



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Tabla 2. Puntos de agua subterránea que actualmente integran la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM)

	Expediente	Proyecto	Tipo de punto	ID licenciario	ID ANLA	Este (Único Nacional)	Norte (Único Nacional)
1	LAM2997	ÁREA DE DESARROLLO CARACARA- CAMPO PEGUITA	Pozo	Pozo Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0001	5.107.673	2.024.130
2			Pozo	Pozo Estación Caracara Sur B	MSB-LAM2997-0002	5.115.250	2.013.874
3			Pozo	Pozo Estación Toro Sentado	MSB-LAM2997-0003	5.124.395	2.037.205
4			Piezómetro	Piezómetro 1 Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0004	5.107.851	2.024.603
5			Piezómetro	Piezómetro 2 Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0005	5.107.919	2.024.600
6			Piezómetro	Piezómetro 3 Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0006	5.107.916	2.024.498
7			Piezómetro	Piezómetro 4 Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0007	5.107.824	2.024.550
8			Piezómetro	Piezómetro Kiosko Estación Jaguar	MSB-LAM2997-0008	5.107.633	2.024.084
9	LAM4221	CAMPO DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS OCELOTE - GUARROJO	Piezómetro	PZM 01	MSB-LAM4221-001	5.492.806	2.032.752
10			Piezómetro	PZM 02	MSB-LAM4221-002	5.493.709	2.034.192
11			Piezómetro	PZM 03	MSB-LAM4221-003	5.491.131	2.032.323
12			Piezómetro	PZM 04	MSB-LAM4221-004	5.489.242	2.031.460
13			Piezómetro	PZM 05	MSB-LAM4221-005	5.488.300	2.030.866
14			Piezómetro	PZM 06	MSB-LAM4221-006	5.486.463	2.029.116
15			Piezómetro	PZM 07	MSB-LAM4221-007	5.485.685	2.028.398
16			Piezómetro	PZM 08	MSB-LAM4221-008	5.485.498	2.028.496
17			Piezómetro	PZM 09	MSB-LAM4221-009	5.485.018	2.028.150
18			Piezómetro	PZM 10	MSB-LAM4221-010	5.493.505	2.035.200
19			Piezómetro	PZM 11	MSB-LAM4221-011	5.487.121	2.031.314
20			Piezómetro	PZM 12	MSB-LAM4221-012	5.487.150	2.031.225
21			Pozo	PZP 106	MSB-LAM4221-013	5.484.552	2.030.362
22			Pozo	PZP114	MSB-LAM4221-014	5.494.980	2.039.300
23			Pozo	PZP116	MSB-LAM4221-015	5.487.324	2.028.603
24			Pozo	OCL-AA1	CSB-LAM4221-001	5.487.134	2.031.215
25			Pozo	OCL-AA2	CSB-LAM4221-002	5.487.170	2.030.848
26	LAV0012-00-2018	LICENCIA AMBIENTAL CAMPO DE PRODUCCIÓN CUMANDAY	Pozo	PP01	CSB-LAV0012-00-2018-0001	5.465.302	1.979.573
27			Pozo	PP02	CSB-LAV0012-00-2018-0002	5.466.265	1.977.389



	Expediente	Proyecto	Tipo de punto	ID licenciario	ID ANLA	Este (Único Nacional)	Norte (Único Nacional)
28			Pozo	PP03	CSB-LAV0012-00-2018-0003	5.463.968	1.973.937
29	LAM0019	DESARROLLO DEL CAMPO DE PETROLEO CRUDO PESADO RUBIALES	Pozo	Batería 1	MSB-LAM0019-001	5.506.178	1.978.371
30			Pozo	Campamento Arrayanes	MSB-LAM0019-002	5.508.758	1.978.415
31			Pozo	PASUB CPF1	MSB-LAM0019-003	5.507.044	1.980.329
32			Pozo	PASUB3 RB27	MSB-LAM0019-004	5.503.591	1.977.521
33			Pozo	PASUB 4 PAD 4	MSB-LAM0019-005	5.504.560	1.974.583
34			Pozo	PASUB 5 RB47	MSB-LAM0019-006	5.508.512	1.977.677
35			Pozo	PASUB CPF2	MSB-LAM0019-007	5.505.696	1.977.654
36			Pozo	PASUB6 MI LLANURA	MSB-LAM0019-008	5.510.941	1.976.573
37			Piezómetro	Piezómetro 1 CPF1	MSB-LAM0019-009	5.173.498	1.979.479
38			Piezómetro	Piezómetro 2 CPF1	MSB-LAM0019-010	5.173.932	1.979.546
39			Piezómetro	Piezómetro 3 CPF1	MSB-LAM0019-011	5.173.236	1.979.067
40			Piezómetro	Piezómetro 4 CPF1	MSB-LAM0019-012	5.173.779	1.978.977
41			Piezómetro	Piezómetro 5 CPF1	MSB-LAM0019-013	5.173.455	1.978.946
42			Piezómetro	Piezómetro 6 CPF 2	MSB-LAM0019-014	5.172.382	1.975.830
43			Piezómetro	Piezómetro 7 CPF2	MSB-LAM0019-015	5.172.056	1.975.439
44			Piezómetro	Piezómetro 8 CPF 2	MSB-LAM0019-016	5.171.978	1.975.833
45			Piezómetro	Piezómetro 1 RB34	MSB-LAM0019-017	5.173.921	1.973.859
46			Piezómetro	Piezómetro 2 RB34	MSB-LAM0019-018	5.173.866	1.973.923
47			Piezómetro	Piezómetro 3 RB34	MSB-LAM0019-019	5.173.736	1.973.951
48	LAM4795	ÁREA DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS QUIFA	Pozo	PASUB 1	MSB-LAM4795-0001	5.151.053	1.975.548
49			Pozo	PASUB 2	MSB-LAM4795-0002	5.152.690	1.975.596
50			Pozo	PASUB 3 BAT 4	MSB-LAM4795-0003	5.162.900	1.978.126
51			Pozo	PASUB 1B QF	MSB-LAM4795-0004	5.152.205	1.975.848
52			Pozo	PASUB 4 CAMP-QUIFA	MSB-LAM4795-0005	5.152.501	1.975.694
53			Pozo	PASUB 5 CMA-SUR	MSB-LAM4795-0006	5.158.031	1.969.255
54	LAM5281	PROYECTO DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA BLOQUE CPO-13	Pozo	Pozo Maute	Sin codificar	5.122.233	1.964.473
55			Piezómetro	Piezómetro Maute	Sin codificar	5.135.327	1.964.441
56			Piezómetro	Piezómetro Pendare 5 Aguas Abajo	Sin codificar	5.128.128	1.973.766
57			Piezómetro	Piezómetro Pendare 5 Aguas Arriba	Sin codificar	5.128.193	1.973.708
58	LAM5995		Pozo	P1 Mito - 1	Sin codificar	4.806.664	1.968.407



	Expediente	Proyecto	Tipo de punto	ID licenciario	ID ANLA	Este (Único Nacional)	Norte (Único Nacional)
59		Campo de producción Mago	Pozo	P2 Mito - 2	Sin codificar	4.811.909	1.966.673
60			Pozo	P3	Sin codificar	4.801.715	1.973.134
61			Pozo	P4 EP-1	Sin codificar	4.806.225	1.970.394
62			Pozo	P5	Sin codificar	4.802.068	1.965.479
63	LAV0084-13	Área de Perforación Exploratoria CPO13B	Pozo	Tillavá sur	Sin codificar	5.145.764	1.961.367
64			Pozo	Tillavá Este	Sin codificar	5.151.107	1.964.485
65	LAM2965	Línea de Conducción de Hidrocarburos Campo Rubiales – CPF Cusiana	Pozo	Pozo profundo Rubiales	MSB-LAM2965-0002	5.171.608	1.976.421
66			Piezómetro	Piezómetro 1	MSB-LAM2965-0006	5.171.595	1.976.421
67			Piezómetro	Piezómetro 2	MSB-LAM2965-0007	5.171.606	1.976.426
68			Piezómetro	Piezómetro 3	MSB-LAM2965-0008	5.171.620	1.976.413

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Como se mencionó anteriormente, en la actualidad 35 puntos de agua subterránea reportan información en el marco de la estrategia regional, los cuales se encuentran captando las unidades geológicas de la Formación Caja o Formación Guayabo (N2-Sc) y los Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep), con 31 y 4 puntos respectivamente.

3.2 Condiciones de Modo

Los parámetros incluidos en una red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas deben contemplar aspectos físicos, químicos y microbiológicos, enfocándose además en determinar los posibles contaminantes que pueden generarse por el tipo de actividad desarrollada. Teniendo en cuenta lo anterior, y que la actividad objeto de monitoreo es la exploración y explotación de hidrocarburos y sus actividades conexas, se definieron los siguientes parámetros para la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM):

- **Parámetros in situ:** caudal, nivel estático, nivel dinámico, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y potencial redox (Eh).
- **Propiedades químicas:** Sólido Disueltos Totales (SDT), dureza, sodio, potasio, magnesio, calcio, hierro, aluminio, sulfatos, cloruros, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc.
- **Parámetros asociados a la actividad de hidrocarburos:** hidrocarburos totales de petróleo (TPH), fenoles y BTEX.
- **Microbiológicos:** coliformes totales, coliformes termotolerantes (fecales) y E. Coli.

Con el fin de que todos los resultados de las muestras se puedan analizar confiablemente bajo un criterio regional, éstas deben ser objeto del cálculo del porcentaje de error del balance iónico, para así cuantificar el error analítico y determinar el nivel de confiabilidad de los valores de concentración reportados, los resultados de dicho cálculo deben ser presentados junto con los reportes de laboratorio. De acuerdo con el principio de electroneutralidad del agua, la suma de los aniones ha de ser igual a la suma de cationes (expresados en meq/L); sin embargo, siempre existe cierto porcentaje de error, el cual se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$(\%) \text{ diferencia} = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \times 100$$

A la luz de lo anterior, sólo se valorarán como aceptables las muestras de agua subterránea que cumplan con algunos de los siguientes criterios:

1. **Sumatoria de aniones:** se analiza el error dependiendo de los valores descritos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Criterio para la aceptación del balance iónico de acuerdo con la sumatoria de aniones

Suma de Aniones (meq/l)	Diferencia aceptable
0 – 3.0	± 0.2 meq/l
3.0 – 10.0	± 2%
10.0 - 800	5%

Fuente Standard Methods – Cap 1030E Checking Analyses, 2017¹

2. Según conductividad eléctrica: se considerarán las muestras que presenten un error analítico acorde con los valores máximos que se presentan en la siguiente tabla:

Conductividad eléctrica (µS/cm)	5	20	50	200	+200
	0	0	0	0	0
Error admisible máximo (%)	3	10	8	4	4
	0				

Fuente: Custodio y Llamas, 1983

3. Según porcentaje máximo: se debe calcular y presentar el valor del error del balance iónico para cada una de las muestras y el error máximo aceptable es de ±15%.

Las anteriores condiciones fueron establecidas en los diferentes actos administrativos que acogieron las obligaciones de la estrategia para cada proyecto.

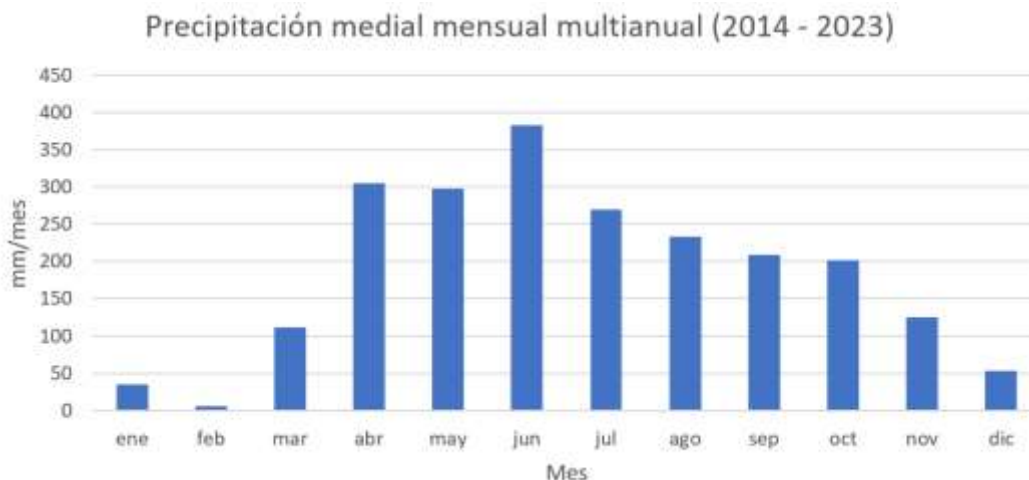
3.3 Condiciones de Tiempo

La variación estacional de los periodos de lluvias y periodos secos no solamente influye en la posición del nivel freático, sino que eventualmente genera cambios físicos y químicos naturales en el agua subterránea. La fluctuación del nivel freático puede contribuir a que ocurra movilización y solubilización de sustancias de origen antrópico presentes en la zona vadosa o franja de infiltración, alterando de este modo las características físicas y químicas del recurso hídrico subterráneo. Asimismo, los cambios estacionales de la precipitación modifican el volumen de agua almacenado en las unidades acuíferas, lo cual altera las concentraciones de las sustancias químicas diluidas en el agua subterránea. Por tal motivo, es adecuado que la frecuencia de monitoreo se defina a partir de los meses de máximas y mínimas precipitaciones en el año hidrológico, además de considerar un periodo de transición.

Para conocer la distribución de la precipitación media mensual multianual de la cuenca de interés, se analizaron los registros presentados por la estación climatológica ubicada en el municipio de Puerto Gaitán, en el departamento del Meta (ver **Ilustración 6**), tomando como referencia el promedio mensual para el periodo comprendido entre los años 2014 y 2023.

¹ Standard Methods for the examination of water and wastewater. 23rd edition, 2017.

Ilustración 6. Comportamiento de la precipitación media mensual multianual en la estación Puerto Gaitán



Fuente: Información descargada del portal del IDEAM, 2024

Considerando lo anterior, se establecieron las siguientes frecuencias de monitoreo:

- Campaña 1: mes de enero - época seca.
- Campaña 2: mes de junio - época de lluvia.
- Campaña 3: mes de noviembre - periodo de transición.

4. INFORMACIÓN ENTREGADA POR LOS PROYECTOS EN CUMPLIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

En el marco del desarrollo de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM), a continuación, se presenta un análisis de los datos que han sido reportados por los proyectos vinculados a la estrategia, considerando parámetros de calidad y disponibilidad del agua subterránea, con el fin de verificar las condiciones de dicho recurso a escala regional.

En respuesta a las obligaciones impuestas en el marco de la estrategia de monitoreo regional, esta Autoridad Ambiental evidenció que se ha remitido la información presentada en la **Tabla 4**.



Tabla 4. Información reportada en el marco de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM)

Expediente	Nombre del proyecto	Licenciario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Mes/ Año
LAM4221	Campo de explotación de hidrocarburos Ocelote-Guarrojo	HOCOL S.A.	Resolución 01189 del 07/07/2021	2022060479-1-000 del 31 de marzo de 2022	Septiembre 2021 (in situ)
					Diciembre 2021 (in situ y laboratorio)
				2023067460-1-000 del 30 de marzo de 2023	Enero 2022 (in situ y laboratorio)
					Junio 2022 (in situ y laboratorio)
					Diciembre 2022 (in situ y laboratorio)
				20246200327652 del 22 de marzo de 2024	Enero a diciembre 2023 (in situ)
					Enero -Julio -noviembre 2023 (laboratorio)
LAM0019	Campo de petróleo crudo pesado Rubiales	ECOPETROL S. A	Resolución 1717 del 30/08/2019 Resolución 1973 del 05/09/2023	2021133759-1-000 del 30 de junio de 2021	Enero a diciembre 2020 (in situ y laboratorio)
				2022181254-1-000 del 23 de agosto de 2022	Enero a diciembre 2021 (in situ y laboratorio)
				2022085548-1-000 del 4 de mayo de 2022	Enero 2022 (in situ y laboratorio)
				2022104677-1-000 del 26 de mayo de 2022	Febrero 2022 (in situ y laboratorio)
				2022134405-1-000 del 30 de junio de 2022	Marzo 2022 (in situ y laboratorio)
				2022162620-1-000 del 2 de agosto de 2022	Abril 2022 (in situ y laboratorio)
				20236200297422 del 30 de junio de 2023	Mayo 2022 (in situ y laboratorio)
				2022216809-1-000 del 29 de septiembre de 2022	Junio 2022 (in situ y laboratorio)
				2022238793-1-000 del 25 de octubre de 2022	Julio 2022 (in situ y laboratorio)
				2022268714-1-000 del 29 de noviembre de 2022	Agosto 2022 (in situ y laboratorio)
				2022292809-1-000 del 27 de diciembre de 2022	Septiembre 2022 (in situ y laboratorio)
				2023009678-1-000 del 17 de enero de 2023	Octubre 2022 (in situ y laboratorio)
				2023036533-1-000 del 24 de febrero de 2023	Noviembre 2022 (in situ y laboratorio)
				2023056594-1-000 del 21 de marzo de 2023	Diciembre 2022 (in situ y laboratorio)
				20236200029012 del 24 de abril de 2023	Enero 2023 (in situ y laboratorio)
				20236200141242 del 24 de mayo de 2023	Febrero 2023 (in situ y laboratorio)
				20236200356422 del 17 de julio de 2023	Marzo 2023 (in situ y laboratorio)
				20236200417932 del 31 de julio de 2023	Abril 2023 (in situ y laboratorio)
				20236200536882 del 29 de agosto de 2023	Mayo 2023 (in situ y laboratorio)
				20246200730262 del 28 de junio de 2024	Junio 2023 (in situ y laboratorio)



Expediente	Nombre del proyecto	Licenciario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Mes/ Año
				20236200807992 del 31 de octubre de 2023	Julio 2023 (in situ y laboratorio)
				20246200730262 del 28 de junio de 2024	Agosto 2023 (in situ y laboratorio)
				20236201034482 del 22 de diciembre de 2023	Septiembre 2023 (in situ y laboratorio)
				20246200097742 del 26 de enero de 2024	Octubre 2023 (in situ y laboratorio)
				20246200255342 del 7 de marzo de 2024	Noviembre 2023 (in situ y laboratorio)
				20246200336532 del 26 de marzo de 2024	Diciembre 2023 (in situ y laboratorio)
LAM4795	Área de Explotación de Hidrocarburos Quifa	FRONTERA ENERGY COLOMBIA	Resolución 00453 del 17/03/2020 Resolución 1342 de 10 de agosto de 2020 Resolución 1885 de 25 de agosto de 2023	2022151265-1-000 del 21 de julio de 2022	Marzo 2021 (in situ y laboratorio)
					Junio 2021 (in situ y laboratorio)
					Agosto 2021 (in situ)
					Septiembre 2021 (in situ)
					Octubre 2021 (in situ)
					Noviembre 2021 (in situ y laboratorio)
					Diciembre 2021 (laboratorio)
				2022189894-1-000 del 31 de agosto de 2022	Enero 2022 (in situ y laboratorio)
					Febrero a mayo 2022 (in situ)
				2023003897-1-000 del 10 de enero de 2023	Junio 2022 (in situ y laboratorio)
				2023039896-1-000 de 28 de febrero de 2023	Julio a octubre 2022 (in situ)
				20236200376482 del 21 de julio de 2023	Diciembre 2022 (in situ)
				20236200553202 del 31 de agosto de 2023	Enero y junio 2023 (in situ y laboratorio)
					Febrero a Mayo 2023 (in situ)
LAM5995	Campo de producción Mago	ECOPETROL S.A	Resolución 00486 del 20/03/2020	20246200225952 del 29 de febrero de 2024	Julio a Octubre 2023 (in situ)
					Noviembre 2023 (in situ y laboratorio)
					Diciembre 2023 (in situ)
				2020209931-1-000 de 27 de noviembre de 2020	Agosto 2020 (laboratorio)
				2021033848-1-000 de 26 de febrero de 2021	Noviembre 2020 (laboratorio)
				2021157760-1-000 del 29 de julio de 2021	Enero a diciembre 2020 (in situ)
				2021079289-1-000 del 26 de abril de 2021	Enero 2021 (laboratorio)
				2021206879-1-000 del 24 de septiembre de 2021	Junio 2021 (laboratorio)
				2022034331-1-000 de 28 de febrero de 2022	Noviembre 2021 (laboratorio)
				2022162968-1-000 del 2 de agosto de 2022	Enero a diciembre 2021 (in situ)
				2022073240-1-000 de 19 de abril de 2022	Enero 2022 (laboratorio)
				2022217455-1-000 del 30 de septiembre de 2022	Junio 2022 (laboratorio)



Expediente	Nombre del proyecto	Licenciario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Mes/ Año
				2023039988-1-000 del 28 de febrero de 2023	Noviembre 2022 (laboratorio)
				20236200172312 del 31 de mayo de 2023	Enero a diciembre 2022 (in situ)
				20236200055462 del 28 de abril de 2023	Enero 2023 (laboratorio)
				20246200853032 del 29 de julio de 2024	Enero a mayo 2023 (in situ)
				20236200634512 del 19 de septiembre de 2023	Junio 2023 (laboratorio)
				20246200221062 del 28 de febrero de 2024	Noviembre 2023 (laboratorio)
				20246200853032 del 29 de julio de 2024	Junio a diciembre 2023 (in situ)
LAV0084-13	Área de Perforación Exploratoria CPO13B	TECPETROL COLOMBIA S.A.S.	Resolución 01346 del 10 de agosto de 2020	Proyecto inactivo desde el año 2018, los pozos incluidos en la estrategia regional están inactivos.	
LAV0012-00-2018	Campo de producción Cumanday	ECOPETROL S.A	Resolución 00676 del 13/04/2021	Ecopetrol S.A hasta la vigencia 2023 no ha realizado la perforación ni aprovechamiento de pozos captadores de agua subterránea, por tanto, la obligación aún no aplica.	
LAM5281	Área de Perforación Exploratoria Bloque CPO-13	TECPETROL COLOMBIA S.A.S.	Resolución 00593 del 02/04/2020	20246200780592 del 10 de julio de 2024	Húmeda 2022
					Húmeda 2023
					Seca 2023
					Abril a junio 2023
				20246200226472 del 29 de febrero de 2024	Julio a diciembre 2023

Fuente: ANLA, 2024

Para la realización de los diagramas hidrogeológicos se emplearon las muestras de agua subterránea que presentan el porcentaje de error analítico adecuado, el cual fue establecido en las condiciones de modo de la estrategia de monitoreo regional y especificado para cada proyecto en el respectivo acto administrativo. Dicho porcentaje fue verificado por parte del Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo, de lo cual es importante destacar que, de 86 muestras entregadas por los proyectos, siete (7) muestras no están acorde con los criterios establecidos, lo cual equivale a un 16,01% de los monitoreos reportados.

Es importante resaltar que el porcentaje aceptable para el criterio de error analítico en el presente periodo de análisis presenta un incremento representativo en comparación con las muestras analizadas del primer año de monitoreo, realizado en el año 2023, donde solo el 30.1% estaban de acuerdo con el criterio establecido. La información detallada, para cada uno de los expedientes, punto de monitoreo y muestra, se presentan en el **Anexo I**.

En la **Tabla 5** se presentan los datos de las siete (7) muestras que no fueron consideradas, donde se observa que para el Expediente LAM0019, cuatro (4) muestras no están acorde con los criterios establecidos.

Tabla 5. Muestras reportadas con porcentaje de error analítico superior al establecido en la estrategia de monitoreo

EXPEDIENTE	ID_ANLA	ID_MUESTRA	FECHA	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	%Error
LAM0019	MSB-LAM0019-005	64639-1	14/01/2023	60.0	50.40
LAM0019	MSB-LAM0019-001	66449-4	12/06/2023	113.0	24.32
LAM0019	MSB-LAM0019-004	68490-3	1/11/2023	126.0	14.15
LAM0019	MSB-LAM0019-002	69007-1	30/11/2023	94.0	18.92
LAM4221	CSB-LAM4221-001	LA-K-23-0207-32-106	30/06/2023	14.0	39.11
LAM5281	Pozo Profundo Maute	No reporta	3/07/2023	298.5	13.02
LAM5995	MSB-LAM5995-0002	68842-2	24/11/2023	260.0	17.42

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Así las cosas, se evidencia que cuatro (4) de los proyectos vinculados a la estrategia presentan resultados analíticos obtenidos en laboratorio con porcentajes de error analítico que superan los criterios de aceptación establecidos. Si bien ha mejorado este porcentaje

Para de los proyectos y laboratorios, se considera necesario continuar incrementando los criterios de calidad empleados por los laboratorios en la toma, transporte y análisis de las muestras.

5. ESTADO DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Con base en la información generada en el marco del monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo, a continuación, se presentan los análisis de tendencias de los parámetros de interés respecto a las condiciones de calidad y disponibilidad del agua subterránea.

Es necesario mencionar que en este informe de análisis regional de momento no se cuenta con información de la totalidad de los proyectos que integran la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM). Continuamente se está evaluando la implementación de la estrategia en nuevos proyectos, con el fin de contar con más información, que permita realizar análisis multitemporales con resultados ajustados a las condiciones más próximas a la realidad del medio a partir de los cuales se identifique la presencia o no de impactos ambientales sobre el recurso hídrico.

La información contenida en el presente informe es analizada con base en la entrada en vigor de las obligaciones establecidas en el marco de la estrategia, las cuales permiten efectuar un análisis comparativo que se complementará a lo largo del tiempo, a medida que se vayan integrando nuevos proyectos y se reporten un mayor número de campañas de monitoreo.

Así las cosas, los datos empleados en este documento corresponden con los monitoreos reportados para el año 2023, teniendo en cuenta que la información de años anteriores ya fue analizada en la primera versión del documento de análisis regional para la presente estrategia, sin embargo, en los parámetros que se evidencian concentraciones elevadas, se hará la respectiva verificación con relación a los resultados obtenidos previamente.

Adicionalmente, es importante mencionar que para algunos parámetros se realiza la comparación con la normatividad vigente para los usos señalados en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 y el Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007, debido a que estos usos están autorizados en varios de los puntos de agua monitoreados; lo anterior, teniendo en cuenta que los permisos otorgados no están restringidos a un solo uso, y por lo tanto se debe considerar lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.3.4 del Decreto 1076 de 2015: *“ARTÍCULO 2.2.3.3.3.4. Criterios de Calidad para usos múltiples. En aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderá a los valores más restrictivos de cada referencia”*.

Por último, es importante mencionar que, para algunos parámetros, se incluyeron monitoreos de aguas de producción que son dispuestas mediante inyección, los proyectos Campo de producción Mago (LAM5995), Explotación de Hidrocarburos en el Campo Rubiales (LAM0019) y Área de Explotación de Hidrocarburos Quifa (LAM4795). Con el fin de verificar si se está actividad está incidiendo de alguna manera en los acuíferos someros.

5.1 Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT)

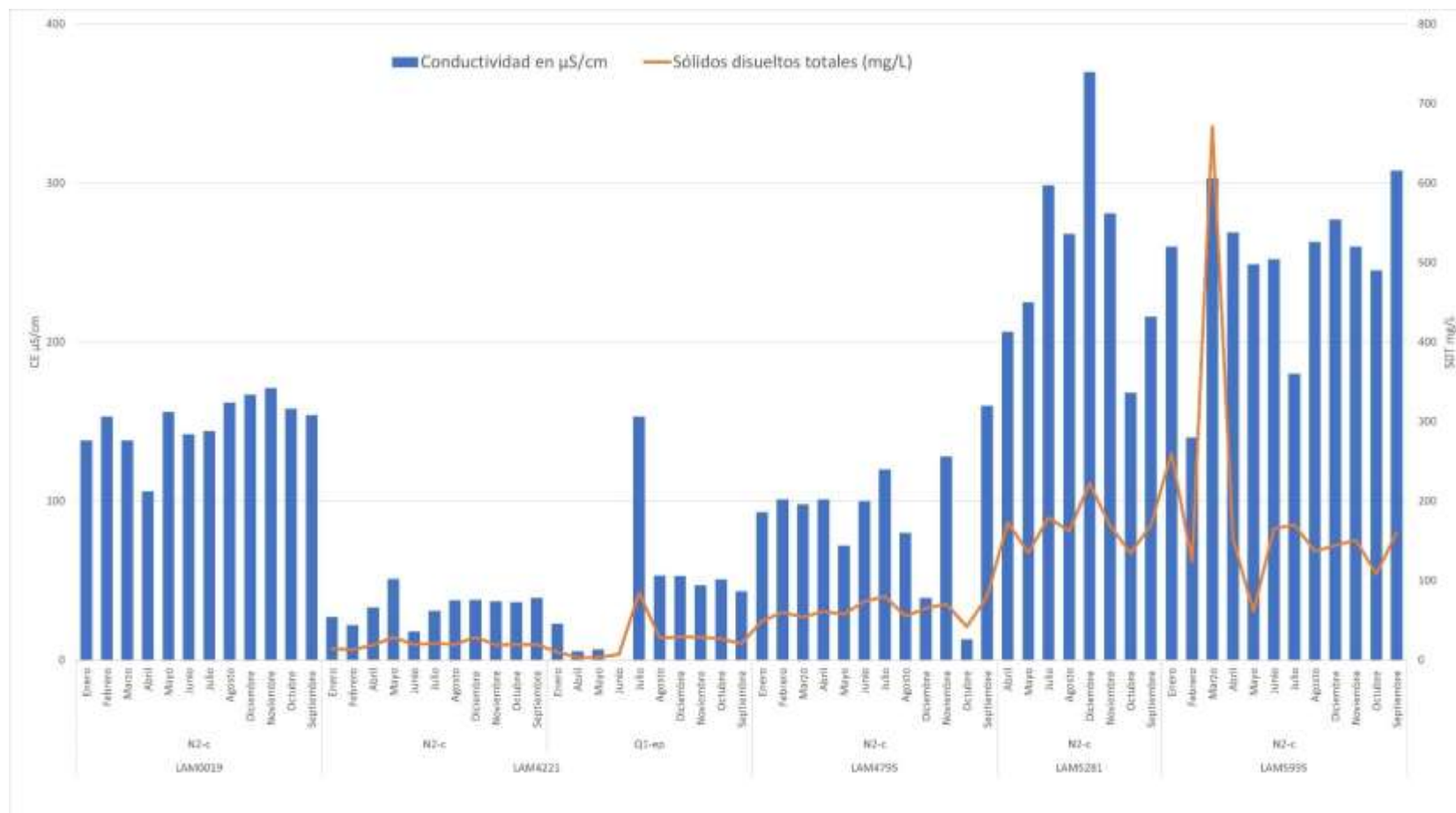
La Conductividad Eléctrica (CE) es la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica y su valor es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales, tales como bicarbonatos, carbonatos, cloruros, calcio, sulfatos y otros iones como silicatos y demás.

Bibliográficamente, para el agua dulce se ha establecido un límite máximo de Conductividad Eléctrica (CE) de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según Custodio & Llamas (1983), y para el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) el límite máximo es de 1000 mg/l según la clasificación de Freeze y Cherry (1979). De acuerdo con Custodio & Llamas (1983) se ha establecido un factor de conversión de aproximadamente 0,5 entre estos dos parámetros, es decir que $2 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ ppm o mg/l}$, lo cual significa que los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) son cercanos a la mitad de los valores de Conductividad Eléctrica (CE).

Teniendo en cuenta que en el marco de las obligaciones de la estrategia de monitoreo regional la medición de los parámetros de Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) se solicita una frecuencia mensual, con los valores cuantificados de estos parámetros se elaboraron gráficas comparativas, agrupando los datos de acuerdo con la unidad geológica que es captada por cada uno de los puntos, con el fin contrastar los resultados conseguidos y diferenciar comportamientos a lo largo del año analizado.



Ilustración 7. Conductividad eléctrica (CE) y Sólidos disueltos totales (SDT)



Fuente: ANLA, 2024

En la Ilustración 7 se observa, que en el área de estudio la concentración de sólidos disueltos totales a nivel regional, es inferior a 800 mg/L, lo que indica que el agua subterránea monitoreada en las unidades geológicas analizadas corresponde a aguas dulces según la clasificación de Freeze y Cherry (1979), que establece como límite máximo 1000 mg/L.

Respecto a la Formación Caja (N2-c) y los Depósitos Cuaternarios (Q1-ep) se observa que los valores de Conductividad eléctrica (CE), presentan tendencia similar a lo largo del año para los expedientes LAM0019, LAM4221 y LAM4795, con concentraciones inferiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, confirmando la presencia de aguas subterráneas dulces.

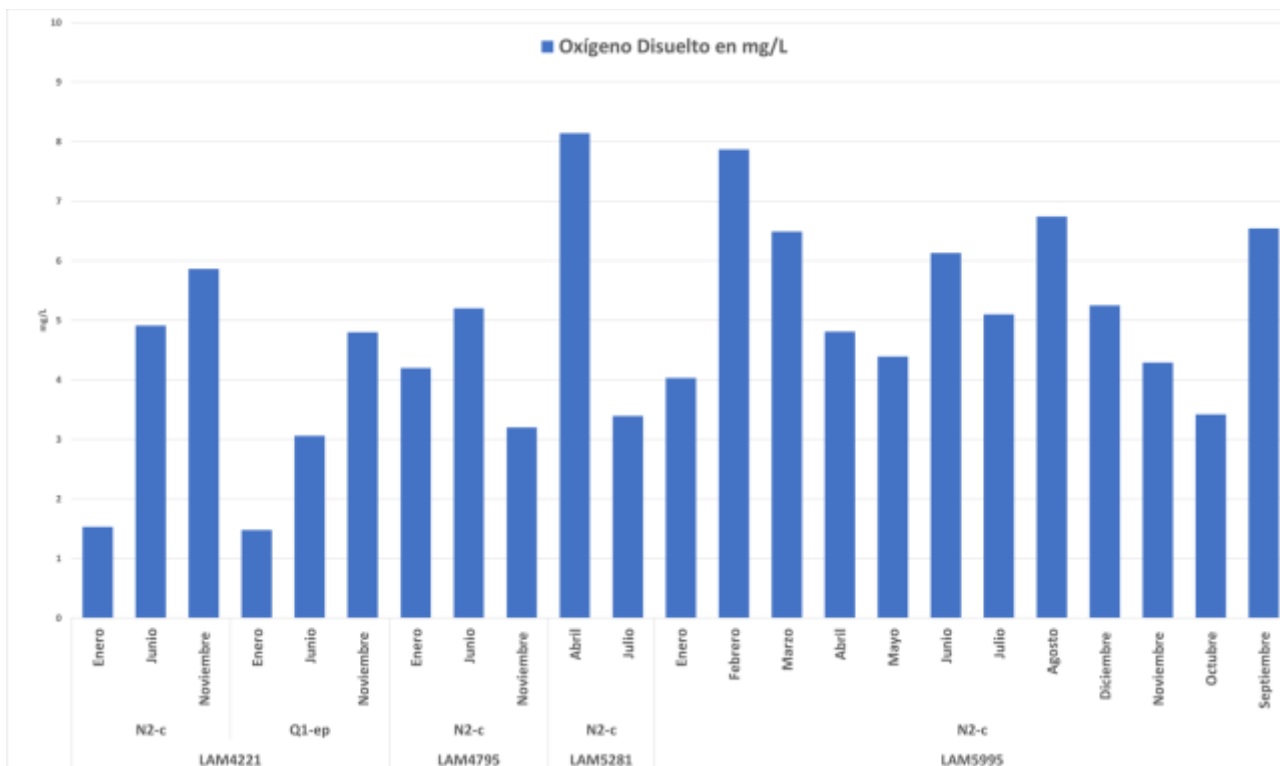
Para los expedientes LAM5281 y LAM5995 la concentración de la Conductividad eléctrica y Sólidos disueltos totales, presenta un aumento, respecto a promedio regional, si bien no se presentan valores que indiquen un aumento en la salinidad del agua subterránea si se observa una tendencia al aumento, específicamente en los puntos Pozo Maute del expediente LAM5281 y los puntos MSB-LAM5995-005 Y MSB-LAM5995-003, así mismo, estos puntos asociados al expediente LAM5995 han presentado concentraciones altas frente al promedio regional desde el año 2022, como quedó consignado en el documento ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LAS SUBZONAS HIDROGRÁFICAS ALTO VICHADA, RÍO GUARROJO Y RÍO MUCO de septiembre de 2023, dichas concentraciones no se asocian a cambios en la calidad del agua, no obstante pueden estar asociadas a una tendencia, que debe ser evaluada en los seguimientos específicos para verificar posibles cambios relacionados con la actividad.

5.2 Oxígeno Disuelto

Para la Formación Depósitos Eólicos de Planicie Q1-ep y Formación Caja N2-c, las concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo del año 2023, (Ilustración 8), se observa que las concentraciones se mantienen por debajo de los 5 mg/L, lo que indican que se encuentran dentro del rango normal para agua subterránea según Custodio & Llamas (1983): *“La mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm”*. Es decir que, el agua de los acuíferos captados por los puntos de agua monitoreados corresponde con ambientes reductores indiferentes a la variabilidad climática y la unidad geológica en la cual se encuentre almacenada.

No obstante, para Formación Caja N2-c, se presentan valores máximos superiores a 7 mg/L, específicamente en las muestras del Pozo Maute del expediente LAM5281 y MSB-LAM5995-005, temporada humedad y transición respectivamente, concentraciones que pueden estar asociadas a los procesos de recarga y tránsito en esta formación.

Ilustración 8. Oxígeno Disuelto año 2023



Fuente: ANLA, 2024

5.3 Nivel Estático

Con el fin de identificar posibles variaciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el área de la estrategia de monitoreo de las subzonas hidrográficas Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco – AVRGM, así como ofrecer un mayor entendimiento frente a la variación de los niveles del agua subterránea a lo largo del año hidrológico, se compilan los datos de los niveles estáticos medidos en los puntos de agua subterránea que integran la estrategia. Así pues, se tienen en cuenta monitoreos de nivel estático de los expedientes LAM0019, LAM4221, LAM4795 y LAM5995, con registros del año 2022 y 2023.

A continuación, se presenta el comportamiento mensual de la profundidad de los niveles estáticos medidos en la Formación Caja. Cabe destacar que no se identificaron reportes de monitoreo de los niveles estáticos en los puntos de agua subterránea correspondientes a los Depósitos Cuaternarios, por lo tanto, es necesario realizar los requerimientos respectivos en el marco de los seguimientos ambientales, de tal manera que los licenciarios cumplan con el monitoreo mensual del parámetro in situ: nivel estático.

5.3.1 Formación Caja

Según lo observado en la **Ilustración 9**, los niveles estáticos de la Formación Caja muestran una tendencia general entre 20 y 65 m de profundidad. De igual manera, para la mayoría de los puntos se evidencia que a lo largo del año hidrológico hay una leve variación en los niveles producto del comportamiento de la precipitación en la zona de estudio.

El punto MSB-LAM5995-0005 mostró en 2023 un comportamiento diferente al observado en esta unidad geológica, registrándose la mayor profundidad del nivel freático durante la época húmeda (junio), con una disminución de 27.28 m en comparación con el mes de mayo de 2023.

Los pozos MSB-LAM4759-0001 y MSB-LAM4795-0002 presentan un comportamiento diferente en comparación con el patrón general de esta unidad, observándose una disminución en el nivel del agua subterránea. Los valores de niveles estáticos registrados van de 98 a 123 metros entre los meses de abril a junio y diciembre de 2023, y de 99 a 113 metros durante los meses de enero a mayo de 2023. En el año 2023 se observa una disminución de hasta 81 m en la profundidad del nivel estático; sin embargo, en 2024 no se reportaron dichos valores para los meses de junio a diciembre.

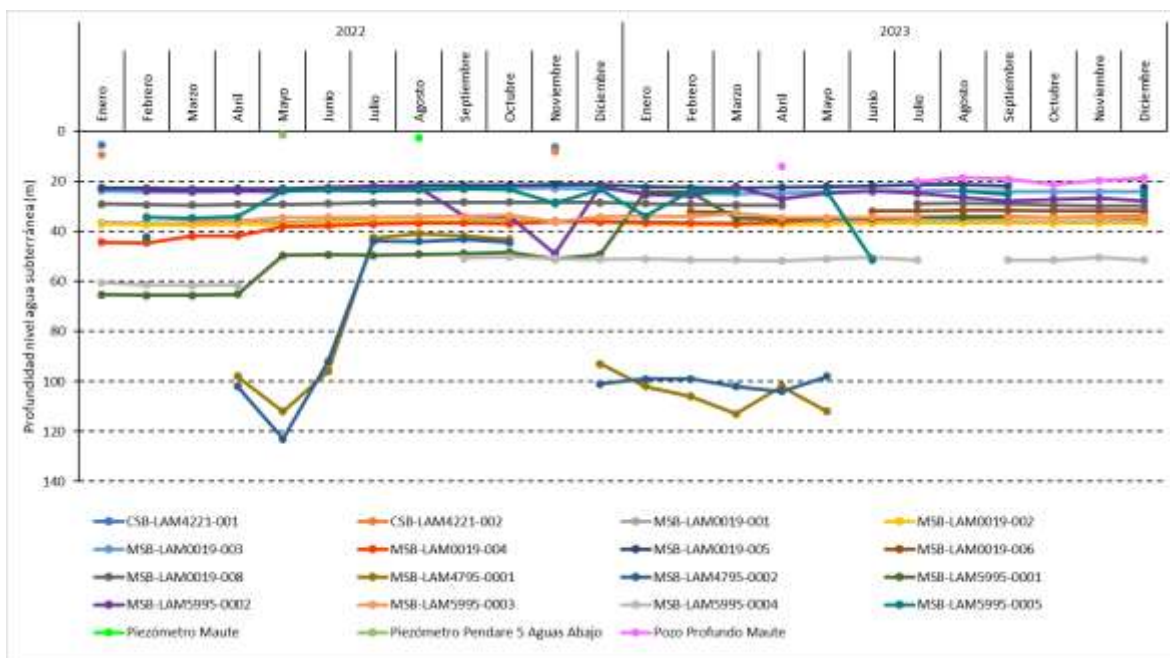
Con base en lo anterior, surgen dos posibilidades en cuanto al origen de dichos comportamientos:

- Las anomalías en los valores para los puntos MSB-LAM4759-0001 y MSB-LAM4795-0002 se deben a que no se está dejando recuperar el nivel estático al momento de la medición.
- Se están truncando los valores reportados para nivel estático y nivel freático.

En tanto no hay forma de estar seguros de cuál puede ser el origen de dichas variaciones, se requiere que la Sociedad titular del expediente LAM4795 (al cual pertenecen los dos puntos hidrológicos en cuestión), aclare las causas de tal comportamiento y que, dado el caso, se garantice la recuperación del nivel estático para su medición.



Ilustración 9. Profundidad niveles estáticos Formación Caja por punto de muestreo (metros)



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Como se observa en la Ilustración 9 y la Tabla 6, en el año 2023 solo siete (7) puntos de agua subterránea reportaron niveles estáticos con una frecuencia de monitoreo mensual. Es importante destacar que contar con el monitoreo de los niveles estáticos durante un año hidrológico permite identificar tendencias a largo plazo, evaluar cambios en el balance hídrico y detectar tempranamente impactos antrópicos, apoyando así la gestión del recurso hídrico subterráneo en la cuenca de análisis. Por lo tanto, en el marco del seguimiento ambiental de los proyectos que forman parte de la estrategia de monitoreo, será necesario revisar que se efectúen dichas mediciones y en caso de no reportarse, realizar el respectivo requerimiento.

Tabla 6. Monitoreos de nivel estático reportados en el año 2023 en los puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo SZH-AVRGM

Punto	Monitoreos Nivel Estático 2023
CSB-LAM4221-0001	0
CSB-LAM4221-0002	0
MSB-LAM0019-001	12
MSB-LAM0019-002	12
MSB-LAM0019-003	12
MSB-LAM0019-004	12
MSB-LAM0019-005	10

Punto	Monitoreos Nivel Estático 2023
MSB-LAM0019-006	9
MSB-LAM0019-008	10
MSB-LAM4795-0001	5
MSB-LAM4795-0002	5
MSB-LAM5995-0001	12
MSB-LAM5995-0002	12
MSB-LAM5995-0003	12
MSB-LAM5995-0004	11
MSB-LAM5995-0005	8
Piezómetro Maute	0
Piezómetro Pendare 5 Aguas Abajo	0
Pozo Profundo Maute	7

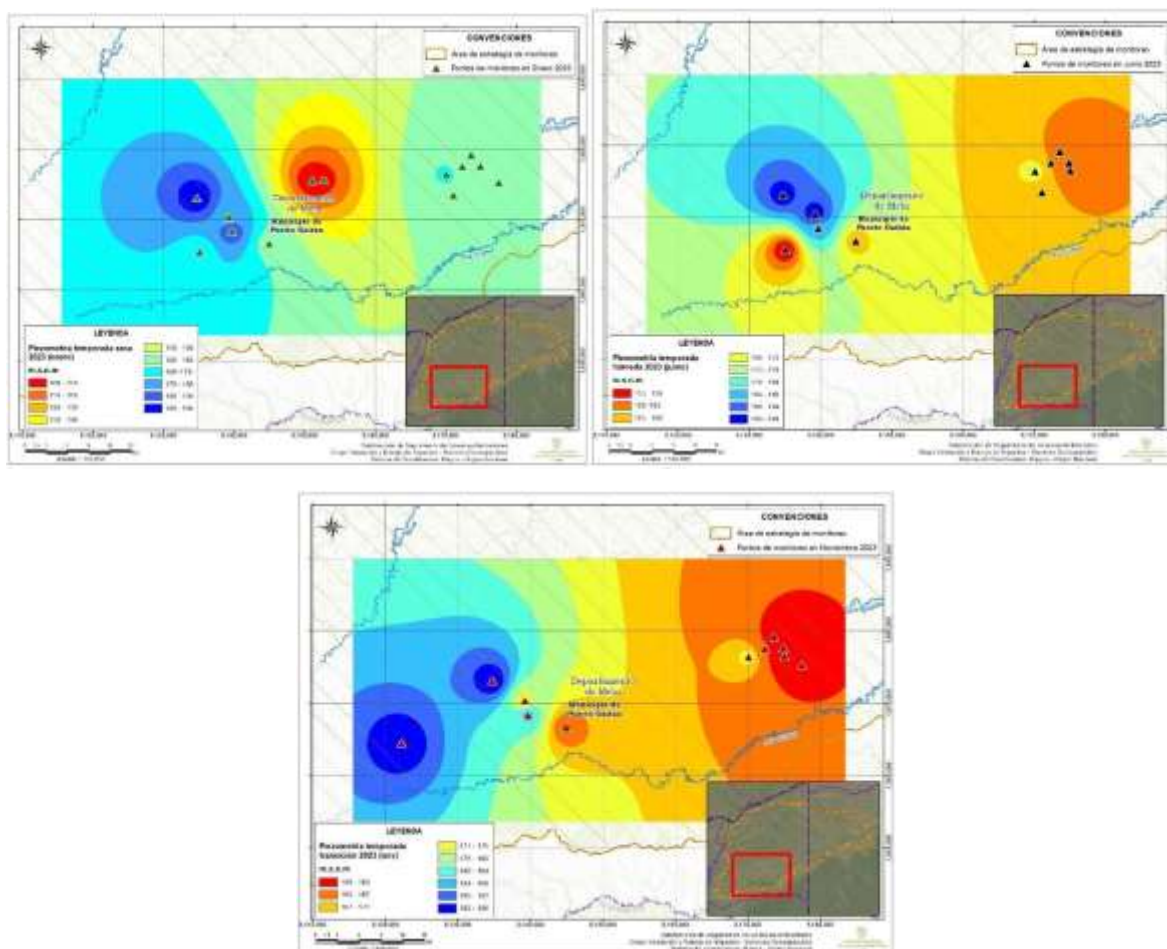
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Finalmente, la unidad geológica Depósitos Cuaternarios no reporta monitoreos de niveles estáticos durante los años hidrológicos 2021, 2022 y 2023. Por lo tanto, se recomienda, en el marco del seguimiento ambiental revisar la entrega de los monitoreos de manera adecuada y en caso de identificar aspectos relacionados con la calidad de los datos se debe realizar el respectivo requerimiento, de tal manera que los licenciarios cumplan con las condiciones de tiempo y modo de la estrategia de monitoreo regional.

Además de lo anterior, se determinó la profundidad y distribución espacial de la superficie piezométrica del acuífero asociado a la Formación Caja que conforma el área de estudio y que cuentan con información completa para este ejercicio, por medio de la técnica de interpolación de Kriging Ordinario, por el cual se pueden estimar los valores de una variable en lugares no caracterizados, utilizando la información proporcionada por la muestra.

En virtud de lo anterior, se identificó la superficie piezométrica a partir de los registros de niveles piezométricos medidos en las campañas de monitoreo realizadas en el año 2023, específicamente para la Formación Caja. Teniendo en cuenta que el área de la estrategia es extensa, el marco de análisis se define hacia el sur, donde se localizan los proyectos que hacen parte de esta red de monitoreo y, por consiguiente, los puntos de muestreo. Si bien el análisis no define el comportamiento del área total de la estrategia, si permite contar con una aproximación al comportamiento de la piezometría y el flujo del agua subterránea en la zona donde se concentran los proyectos licenciados.

Ilustración 10. Piezometría – Acuífero Formación Caja, época seca (izquierda), época de lluvia (derecha) y época de transición (inferior)



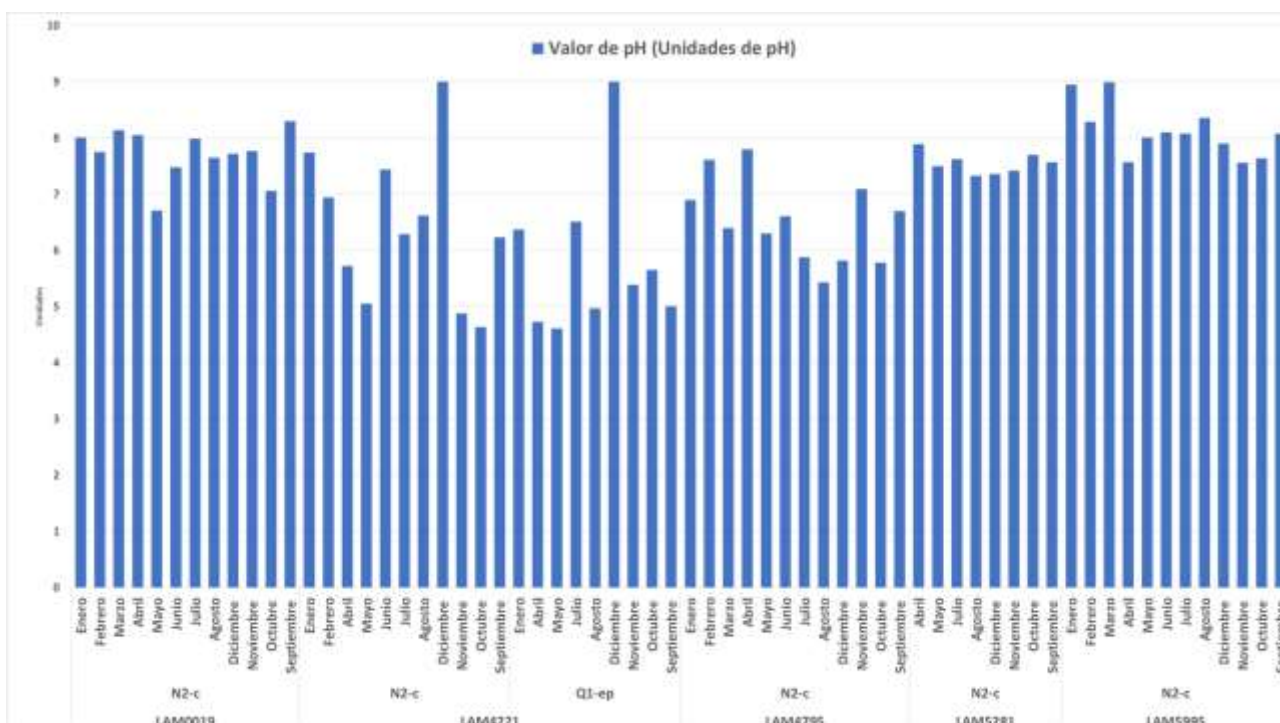
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

En la **Ilustración 10** se observa que, en la Formación Caja, la superficie piezométrica se profundiza en dirección Occidente-Oriente, independientemente de la época climática. La superficie piezométrica varía entre los 153 y 199 m.s.n.m., mostrando un leve ascenso durante la temporada de lluvias en comparación con la época seca. Este comportamiento está relacionado, como se detallará en otros apartados de este documento, con la influencia de las precipitaciones sobre los acuíferos del área de estudio y la recarga directa por infiltración.

5.4 pH

Para la Formación Caja, el pH muestra unidades entre 5 y 9, en el 62% de los datos reportados, indicando agua neutra ligeramente alcalina, que no muestra posibles variaciones por las actividades desarrolladas en la zona. Para los depósitos cuaternarios el pH presenta rangos entre 4 y 5 unidades correspondiendo al 38 % de los datos analizados, indicando aguas ácidas, lo que puede estar asociado a los aportes por infiltración directa en las zonas superficiales de este depósito.

Ilustración 11. pH Año 2023



Fuente: ANLA., 2024

5.5 Dureza total

La dureza del agua hace referencia a la concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

En el primer análisis regional realizado en la vigencia 2023, a partir de los datos reportados en el marco de la estrategia, se evidenció que en todas las muestras que reportaron el parámetro de dureza total, el valor cuantificado fue inferior a 70 mg/l, es decir que estaba por debajo del valor máximo estipulado en el Artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007

“características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana”, que establece una concentración máxima de 300 mg/l.

Este mismo comportamiento se mantiene en los datos analizados en el presente documento, el cual integra los monitoreos del año 2023, evidenciándose que en el 32% de los muestreos los valores de dureza total están por debajo del límite de cuantificación y en ningún caso se supera una concentración de 93 mg/l. Por lo tanto, es posible concluir que las aguas subterráneas procedentes de los acuíferos analizados tienen una composición predominantemente silicatada, lo que da lugar a aguas blandas, con cantidades bajas de sales de calcio y magnesio.

5.6 Nitratos y nitritos

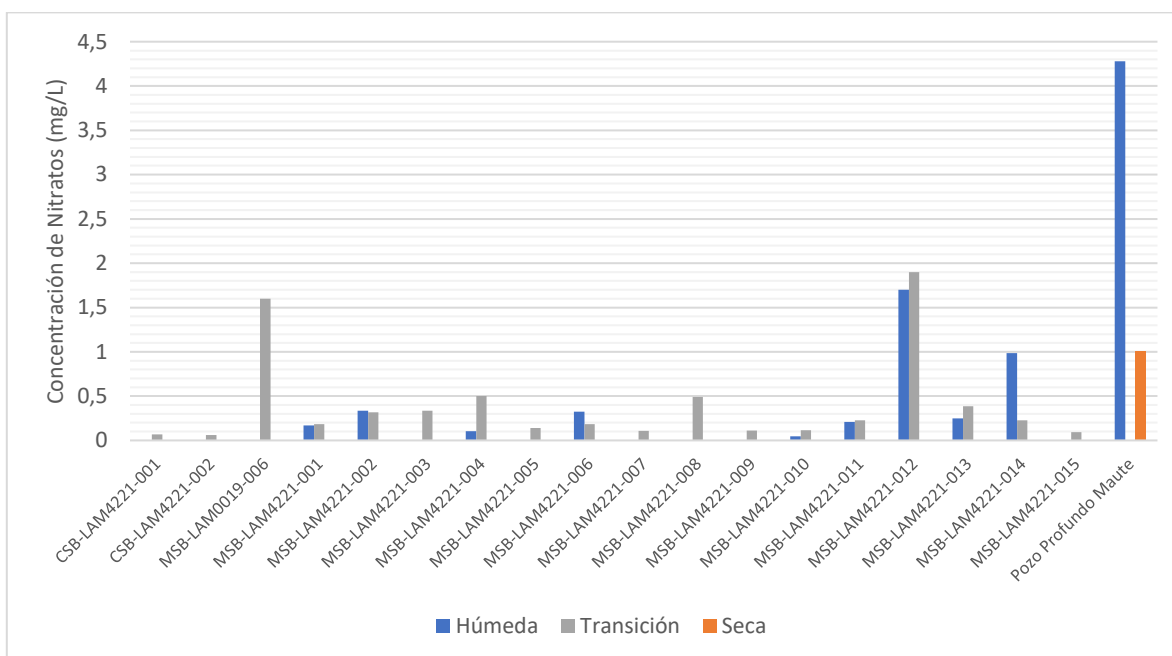
En el agua subterránea el nitrógeno puede aparecer en forma de amoníaco (NH_3), amonio (NH_4) y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en nitritos (NO_2) y finalmente en nitratos (NO_3) que es la forma más usual y estable (De Miguel, 1999).

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contenga, lo que ocurre raramente, o bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede de 10 mg/L.

A partir de los datos reportados en los monitoreos, se identificó que las concentraciones de nitritos no superan los límites de detección en ninguno de los puntos que reportan dicho parámetro. Por su parte, los nitratos evidencian concentraciones detectables que se encuentran entre los 0,047 mg/L y los 4,28 mg/L, siendo el valor máximo identificado en el punto Pozo Profundo Maute, asociado al proyecto con expediente LAM5281. Sin embargo, es de resaltar que ninguno de los valores reportados para este parámetro supera los considerados en la Resolución 2115 de 2007, que establece límites de calidad para agua de consumo humano, en donde se indica una concentración de 10 mg/L como la máxima para dicho uso del recurso.

Así mismo, tal y como se puede apreciar en la gráfica a continuación presentada, se evidencian mayores concentraciones de nitratos en las épocas de mayor precipitación (épocas húmeda y transición), considerando que en la época seca no se reportan concentraciones detectables. Ahora bien, no se observa una tendencia clara en el comportamiento de este parámetro durante las temporadas de lluvias y de transición en el área de análisis, pues los datos reportados varían sustancialmente en cada una de las épocas.

Ilustración 12. Concentraciones de nitratos reportada en el año 2023



Fuente: ANLA, 2024

Con base en lo anterior, y considerando los resultados obtenidos en relación con los parámetros microbiológicos reportados, no se evidencian procesos de nitrificación relevantes que sugieran el desarrollo de ciclos de descomposición de materia orgánica; que estén directamente relacionados con las actividades por los proyectos analizados, sin embargo es importante tener en cuenta que en la zona se presentan actividades agrícolas de gran extensión, que puedan estar generando estas concentraciones aumentadas, debido sus actividades propias así como a agentes externos usados para asegurar su conservación.

5.7 Diagramas de Piper

Mediante los diagramas de Piper se muestran las proporciones relativas de aniones y cationes en el agua subterránea, permitiendo identificar las facies hidroquímicas, es decir el

tipo de agua de acuerdo con los iones presentes, y su evolución en el caso de contar con datos de diferentes temporadas climáticas, tal como es el caso de la presente estrategia.

A continuación, se presenta un diagrama de Piper por cada una de las campañas de monitoreo (**Ilustración 13 e Ilustración 14**), las cuales fueron realizadas en temporadas climáticas diferentes (época húmeda, transición y seca), de acuerdo con las condiciones de tiempo planteadas en la estrategia y llevadas a cabo por las empresas en el año 2023. Las muestras de agua fueron organizadas de acuerdo con la unidad geológica captada, realizando las siguientes agrupaciones:

- Depósitos Eólicos de Planicie
- Formación Caja

Con el fin de sintetizar el análisis, primero se muestran los diagramas de Piper por cada temporada climática, y posteriormente, en la Tabla 6 se describen las composiciones hidrogeoquímicas del agua subterránea en cada punto de monitoreo.

5.7.2 Temporada seca

Para la temporada seca se consideraron los monitoreos realizados en enero de 2023, observándose las siguientes características:

- Durante esta temporada climática se tienen monitoreos del recurso hídrico subterráneo en la Formación Caja y los Depósitos Eólicos de Planicie.
- Durante la temporada seca, la Formación Caja fue monitoreada con 27 muestras, en las cuales no se observa una tendencia clara en la composición hidroquímica, ya que presentan aguas con facies hidrogeoquímicas sulfatadas y/o cloruradas sódicas. En menor proporción (5 muestras), se identificaron facies bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.
- Los Depósitos Eólicos de Planicie en la temporada seca cuentan con el monitoreo de una (1) muestra (MSB-LAM4221-001), observándose que el agua subterránea mantiene una clasificación hidrogeoquímica de tipo clorurada sódica.

5.7.3 Temporada húmeda

Respecto a la temporada húmeda, se cuenta con los monitoreos realizados en junio de 2023, identificándose las siguientes características:

- El agua subterránea de la Formación Caja durante la temporada húmeda del año hidrológico 2023 no presentó una clasificación hidroquímica marcada, pues se observaron aguas de tipo clorurada y sulfatada cálcica y sódica, como también composiciones de tipo bicarbonatadas cálcicas y sódicas.

- El agua subterránea de los Depósitos Eólicos de Planicie en la temporada seca cuenta con el monitoreo de una (1) muestra (MSB-LAM4221-001), observándose que el agua subterránea mantiene una clasificación hidrogeoquímica de tipo sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.

5.7.3 Temporada de transición

Respecto a la temporada de transición, se cuenta con los monitoreos realizados en noviembre de 2023, identificándose las siguientes características:

- El agua subterránea de la Formación Caja durante el periodo de transición del año hidrológico 2023 no presentó una clasificación hidroquímica marcada, pues se observaron aguas de tipo clorurada y sulfatada cálcica y sódica, como también composiciones de tipo bicarbonatadas cálcicas y sódicas. Sin embargo, durante esta temporada climática se evidencia en las muestras analizadas un predominio del anión bicarbonato y del catión sodio.
- Durante el periodo de transición 2023, se analizaron cuatro (4) muestras en los Depósitos Eólicos de Planicie, que indican una composición hidroquímica predominantemente bicarbonatada cálcica. Este resultado es coherente y esperado en niveles más someros, donde los recorridos y tiempos de almacenamiento del agua subterránea son más cortos.

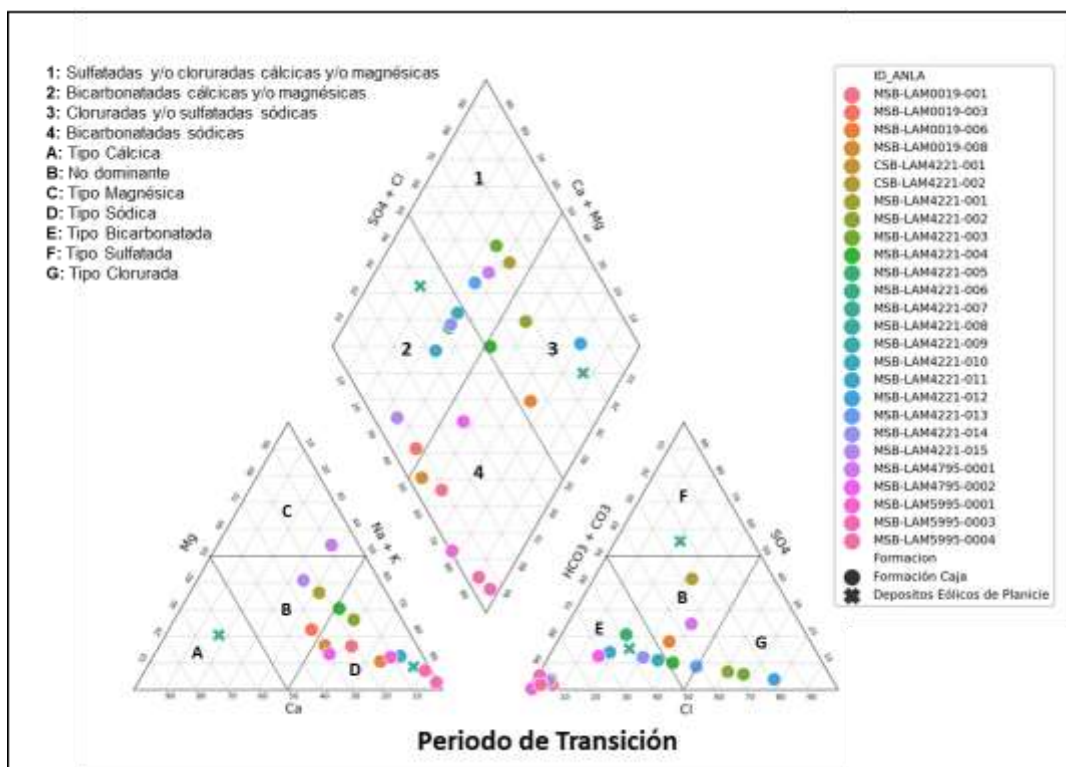
Una vez analizados en conjunto los diagramas de Piper para todas las campañas de monitoreo realizadas, es posible establecer algunas generalidades y conclusiones sobre la composición hidroquímica del agua subterránea en las subzonas hidrográficas AVRGM, las cuales se presentan a continuación y se resumen en la Tabla 6.

- La composición hidroquímica del agua subterránea en la Formación Caja durante las temporadas climáticas seca y húmeda de 2023 presentan un comportamiento similar. En las muestras tomadas en el proyecto LAM4221 predominan los iones sodio y cloruros, mientras que en las muestras de los proyectos LAM0019 y LAM5995 predominan los iones bicarbonato y sodio. Esta circunstancia será resuelta y aclarada con más información mediante los próximos análisis regionales de monitoreo.
- En la mayoría de los casos, la composición hidroquímica del agua subterránea de los Depósitos Eólicos de Planicie permite establecer que se trata de flujos de agua con recorridos y tiempos de almacenamiento cortos, como es de esperarse en estos niveles más someros, los cuales están directamente influenciados por la infiltración directa de la precipitación. No obstante, también se registraron composiciones en

donde predominan los iones cloruros y sulfatos, los cuales pueden indicar ya sea tiempos de recorrido mayores y por ende un mayor tiempo de residencia del agua dentro de los niveles acuíferos, o alguna afectación por actividades antrópicas en superficie, condición que se puede verificar a través de los análisis de tendencia de otros parámetros, como conductividad, pH, metales y metaloides, que indiquen valores superiores a los identificados en la línea base o que estén por encima del promedio regional, lo cual se analiza en el numeral 5.11 del presente documento y se verifica de manera específica en los seguimientos ambientales correspondientes.



Ilustración 14. Diagramas de Piper por cada temporada climática – Época Transición



Fuente: ANLA., 2024

Tabla 7. Resumen de la composición hidroquímica del agua subterránea en el área de la estrategia, descrita de acuerdo con la unidad geológica captada y temporalidad de monitoreo

Punto	Unidad Geológica Captada	Temporada Climática		
		Seca (enero 2023)	Húmeda (junio 2023)	Transición (noviembre 2023)
MSB-LAM0019-001	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	No cumplió % Error Analítico	Bicarbonatadas sódicas
MSB-LAM0019-002	Formación Caja	Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	No cumplió % Error Analítico
MSB-LAM0019-003	Formación Caja	Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM0019-004	Formación Caja	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada sódica	No cumplió % Error Analítico
MSB-LAM0019-005	Formación Caja	No cumplió % Error Analítico	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	-
MSB-LAM0019-006	Formación Caja	Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas
MSB-LAM0019-008	Formación Caja	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Bicarbonatadas sódicas
CSB-LAM4221-001	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	No cumplió % Error Analítico	Bicarbonatada sódica

Punto	Unidad Geológica Captada	Temporada Climática		
		Seca (enero 2023)	Húmeda (junio 2023)	Transición (noviembre 2023)
CSB-LAM4221-002	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas
MSB-LAM4221-001	Depósitos Eólicos de Planicie	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas
MSB-LAM4221-002	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas
MSB-LAM4221-003	Formación Caja	-	-	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas
MSB-LAM4221-004	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-005	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Cloruradas cálcicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-006	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-007	Depósitos Eólicos de Planicie	-	-	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-008	Depósitos Eólicos de Planicie	-	-	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-009	Depósitos Eólicos de Planicie	-	-	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-010	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-011	Formación Caja	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-012	Formación Caja	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Cloruradas y/o sulfatadas sódicas
MSB-LAM4221-013	Formación Caja	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4221-014	Formación Caja	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica

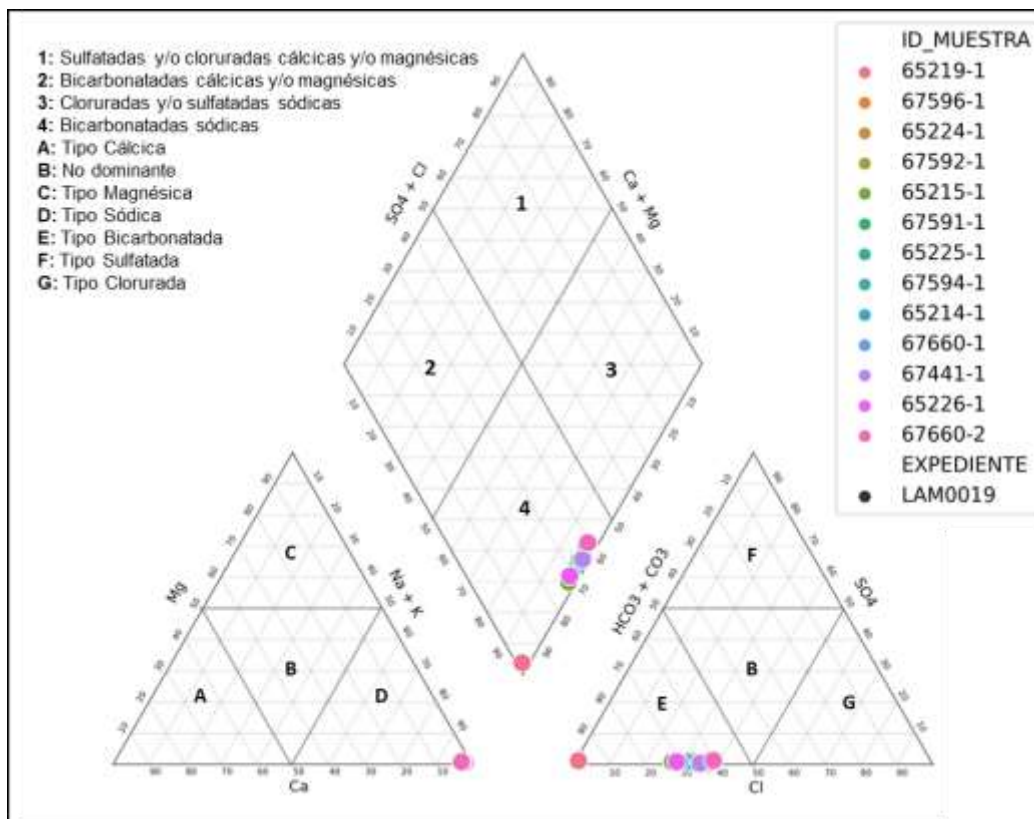
Punto	Unidad Geológica Captada	Temporada Climática		
		Seca (enero 2023)	Húmeda (junio 2023)	Transición (noviembre 2023)
MSB-LAM4221-015	Formación Caja	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica
MSB-LAM4795-0001	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas	Sulfatadas y/o Cloruradas cálcicas y/o magnésicas
MSB-LAM4795-0002	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas
MSB-LAM5995-0001	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas
MSB-LAM5995-0002	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas	-
MSB-LAM5995-0003	Formación Caja	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésica	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas
MSB-LAM5995-0004	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas sódicas
MSB-LAM5995-0005	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas	No cumplió % Error Analítico
Pozo Profundo Maute	Formación Caja	Bicarbonatadas sódicas	No cumplió % Error Analítico	-

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Adicionalmente, se presenta el diagrama de Piper para las aguas de inyección, basado en los monitoreos reportados durante el 2023. Es importante destacar que el único expediente que ha reportado estos monitoreos es el LAM0019, con un total de 13 muestras de agua de inyección.

De acuerdo con la **Ilustración 15**, en la totalidad de las muestras analizadas la composición hidroquímica está dominada por el ion bicarbonato (HCO_3^-) como el anión principal y el ion sodio (Na^+) como el catión predominante. Por lo tanto, la clasificación hidrogeoquímica de estas aguas son bicarbonatadas sódicas, tendencia que deberá corroborarse mediante un análisis multitemporal de las aguas de inyección en las subzonas hidrográficas AVRGM. En este sentido, se requiere el reporte de los monitoreos de aguas de inyección de todos los proyectos que realicen esta actividad.

Ilustración 15. Diagramas de Piper para las aguas de inyección



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

5.8 Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff son una representación gráfica de la composición de los iones mayoritarios en una muestra de agua subterránea, por lo tanto, permite visualizar diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, además, simultáneamente permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

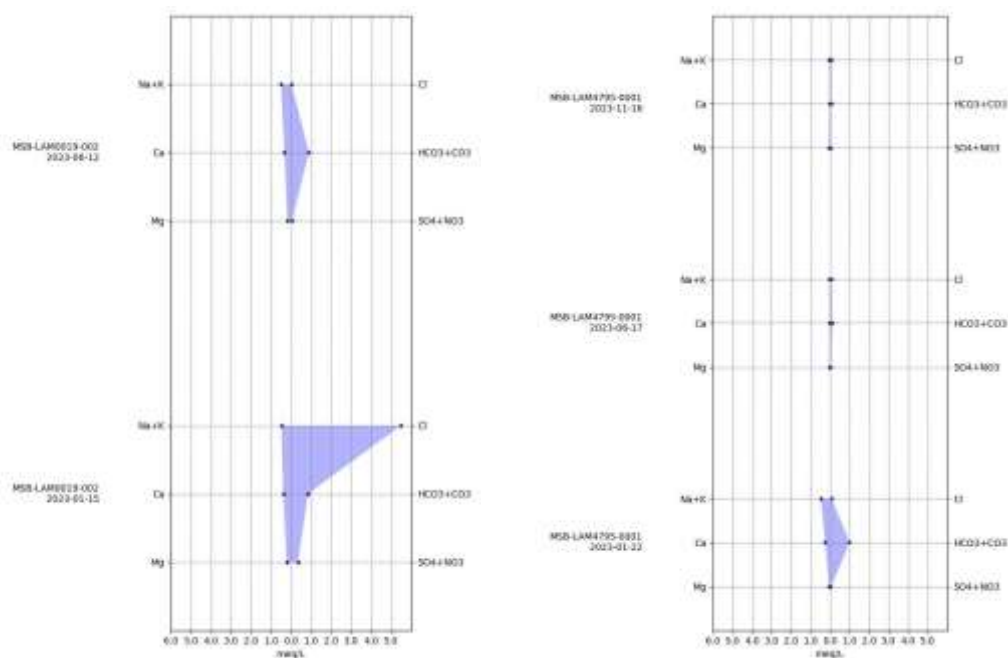
A continuación, se presentan los diagramas de Stiff por cada una de las unidades geológicas captadas y analizadas en el presente informe:

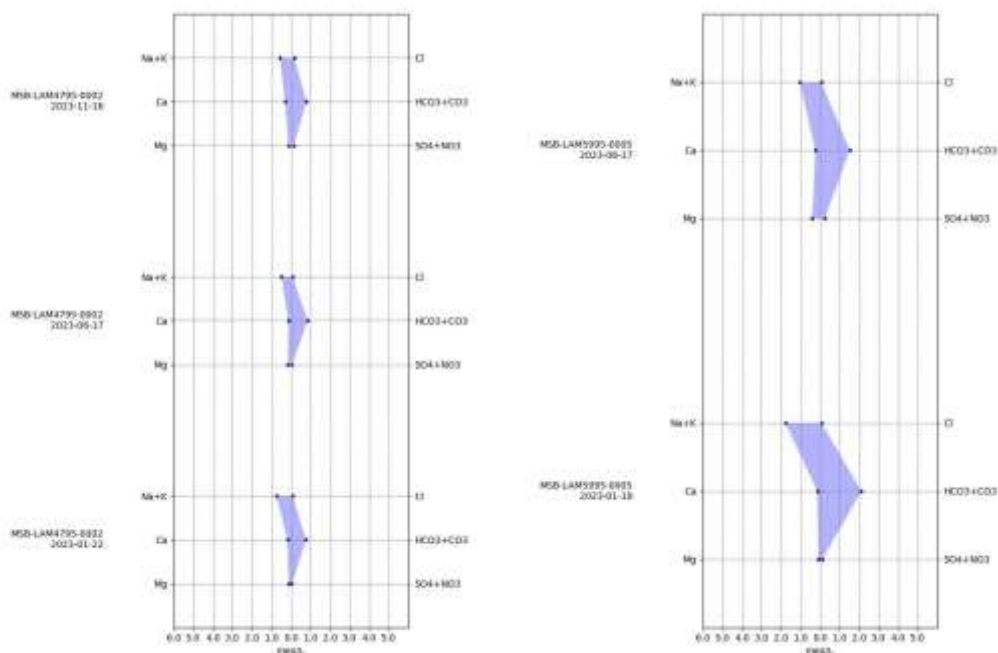
5.8.1 Formación Caja

A partir de las concentraciones de los iones mayoritarios de los puntos de monitoreo que se localizan sobre esta formación se evidencia una baja mineralización en la mayoría de los puntos, donde predominan aguas tipo bicarbonatada-sódica, las cuales para algunos

puntos de monitoreo presentan mineralizaciones más altas en relación con la media; en segunda medida se identifican aguas tipo clorurada-sódica, con muy bajas mineralizaciones. En relación con la variabilidad en el comportamiento de las aguas por temporada climática, solo se identifican cambios en la clasificación de los tipos de agua en el punto de monitoreo MSB-LAM0019-002, la cual pasa de bicarbonatada-sódica en temporada de lluvias (junio) a clorurada-sódica en temporada seca (enero). Por otro lado, en la mayoría de los puntos se observan aumentos en la concentración de minerales para la temporada seca, en comparación con la temporada húmeda y de transición, lo cual indica una influencia por las lluvias, que generan disolución de la concentración de minerales en el agua. En la **Ilustración 16** se presentan algunos diagramas representativos del comportamiento de la formación.

Ilustración 16. Diagramas de Stiff - Formación Caja (N2-c)





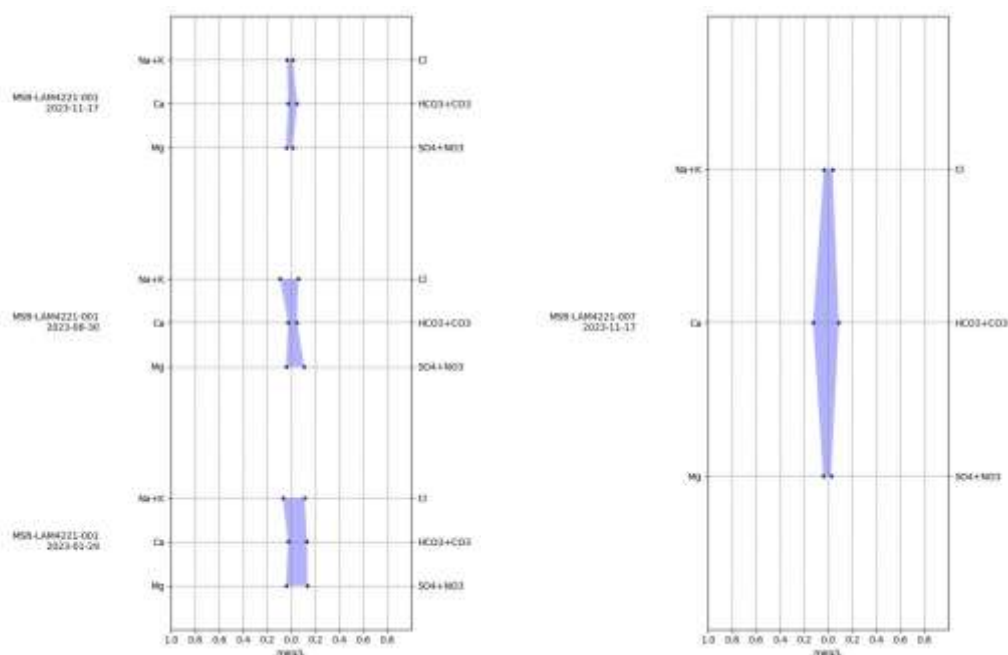
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

5.8.2 Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep)

A partir de las concentraciones de los iones mayoritarios para los cuatro puntos de agua que se localizan en estos depósitos, se evidencian aguas con mineralización muy baja (por lo que la escala de las gráficas se ajustan para que se puede observar con mayor claridad el comportamiento del gráfico); las cuales son bicarbonatadas-cálcica para el punto de monitoreo MSB-LAM4221-007, clorurada-sódica para el punto MSB-LAM4221-009, y sulfatada-sódica para los puntos MSB-LAM4221-001 y MSB-LAM4221-008. Por lo anterior, no se identifica un tipo de agua predominante que pueda caracterizar la formación.

En relación con la variabilidad en el comportamiento de las aguas por temporada climática, solo el punto de monitoreo MSB-LAM4221-001 cuenta con muestras en las tres temporadas, donde se observa para las épocas seca (enero) y de lluvias (junio) una mineralización un poco más alta en relación con la época de transición (noviembre). De igual forma, para estas dos temporadas se identifican aguas sulfatadas-sódicas, mientras que para la temporada de transición se observan aguas bicarbonatadas-magnésicas. Lo anterior, indica que las velocidades del flujo en la zona donde se localiza el punto de monitoreo podrían ser más bajas, por lo que los efectos de disolución de minerales por la precipitación a través de los procesos de infiltración, no se ven reflejados de forma inmediata. En la **Ilustración 17** se presentan algunos diagramas representativos del comportamiento de la formación.

Ilustración 17. Diagramas de Stiff - Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep).

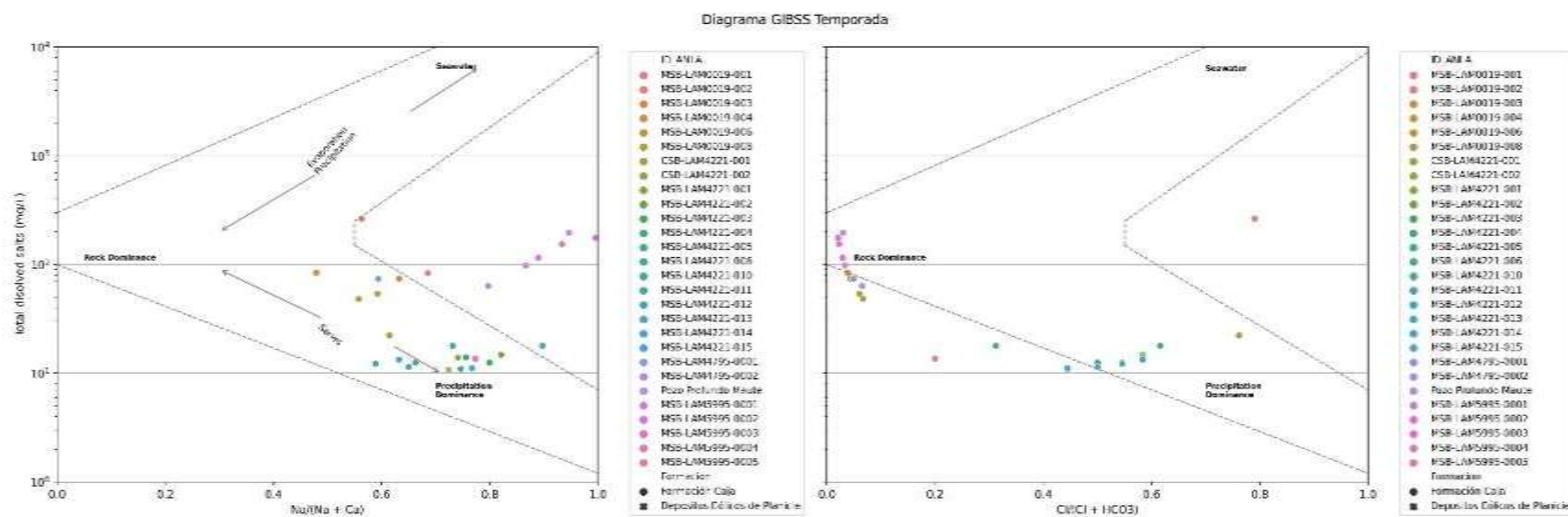


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

5.9 Diagramas de Gibbs

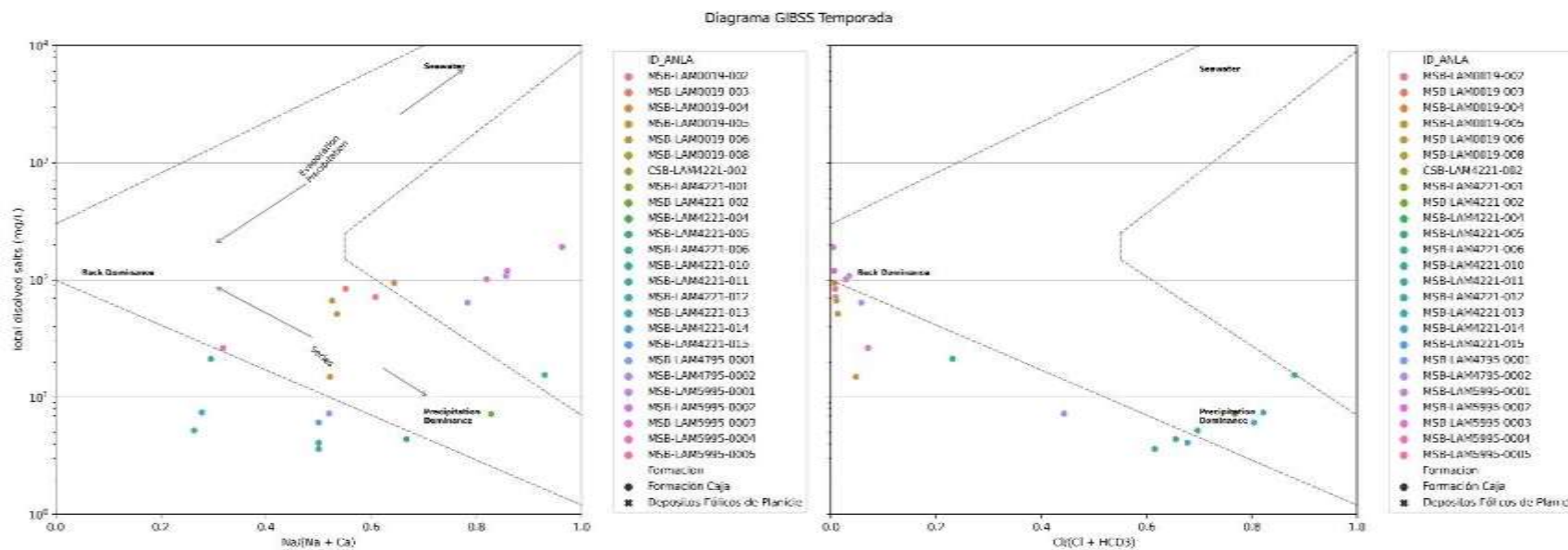
A partir de los datos de iones mayoritarios, se graficaron las relaciones interparamétricas que indican la proporción de los iones Na^+ y Cl^- como indicadores de la concentración de sales en los puntos de agua, a fin de establecer los procesos geoquímicos predominantes que inciden en la calidad del agua subterránea. Con base en lo anterior, se generaron los diagramas de Gibbs que a continuación se presentan, diferenciando la representación de los datos según el régimen de precipitación de las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco – AVRGM (época seca, época de lluvia y temporada de transición), obteniendo lo siguiente:

Ilustración 18. Diagrama de Gibbs para época seca



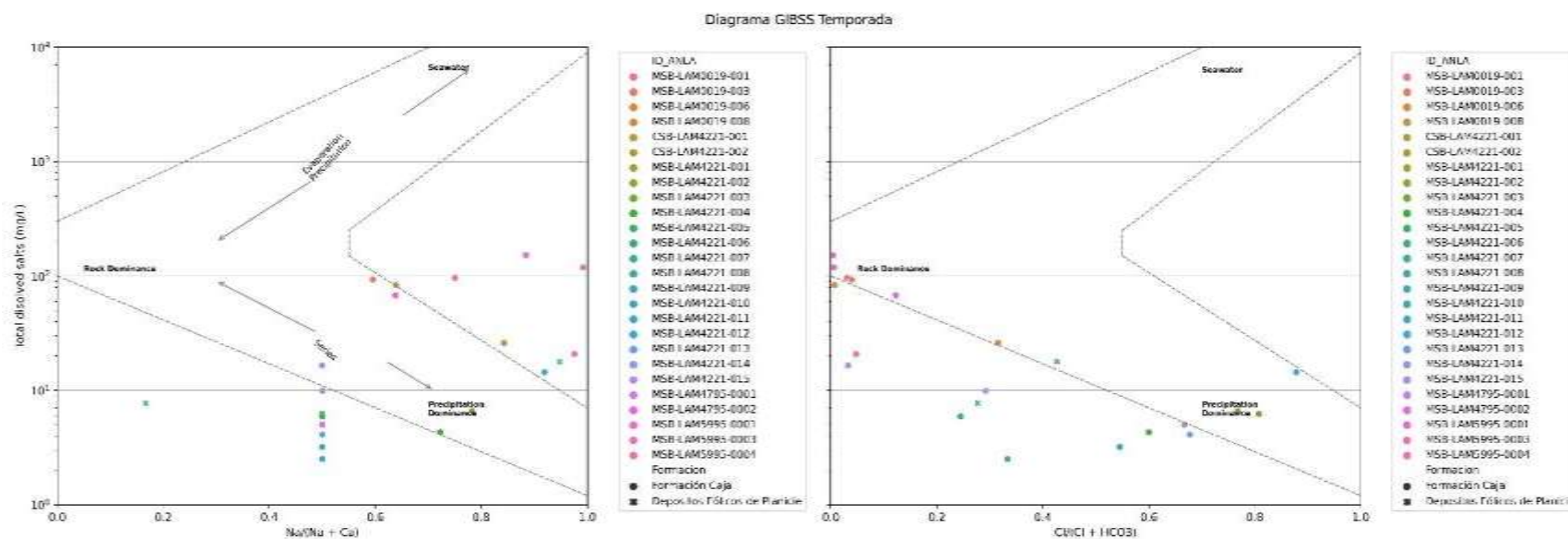
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Ilustración 19. Diagrama de Gibbs para época de lluvia



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Ilustración 20. Diagrama de Gibbs para temporada de transición



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

De acuerdo con lo representado en los diagramas, de manera general se evidencia que, independientemente de la época climática, el comportamiento de la concentración de cationes (gráficas de la izquierda) en el agua subterránea de la zona se ve principalmente influenciado por procesos de precipitación, más que por la composición geoquímica de las rocas que conforman las unidades hidrogeológicas, situación que es similar tanto para la Formación Caja (N2-c) como para los Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep). Esta característica es coherente con los valores de dureza total registrados en los puntos de la estrategia, a partir de los cuales se identificó que el agua subterránea de la zona corresponde con aguas blandas, con cantidades bajas de sales de calcio y magnesio.

Por su parte, si bien las relaciones aniónicas (gráficas de la derecha) en el agua subterránea también se ven influenciadas por procesos de precipitación, adicionalmente se observa una afectación por procesos de interacción agua – roca, es decir que el contenido aniónico del agua subterránea está influenciado por la composición de la roca almacenadora.

Por otra parte, no se observa una influencia directa entre el régimen de precipitación de la zona y las relaciones de cationes y aniones, dado que al observar la dispersión de los datos en el eje que representa las concentraciones de sólidos disueltos totales (eje Y) no se evidencia un aumento o disminución marcado en este parámetro en función de las diferentes temporadas climáticas representadas en los gráficos.

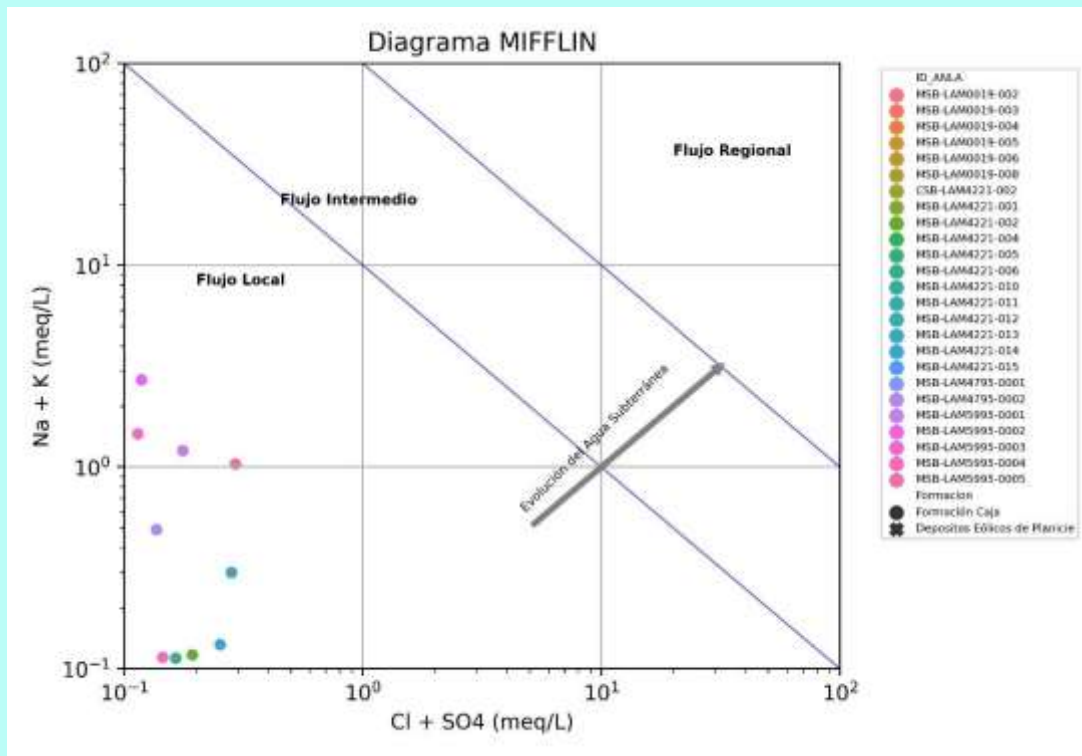
5.10 Diagramas de Mifflin

Este diagrama proporciona información sobre la evolución del agua subterránea con base a la creciente concentración de los iones Na^+ , K^+ , Cl^- y SO_4^{2-} a lo largo del flujo. El gráfico se subdivide en 3 secciones, determinando puntos de flujo local, intermedio y regional, siendo este último el más evolucionado y ligado a zonas de recarga.

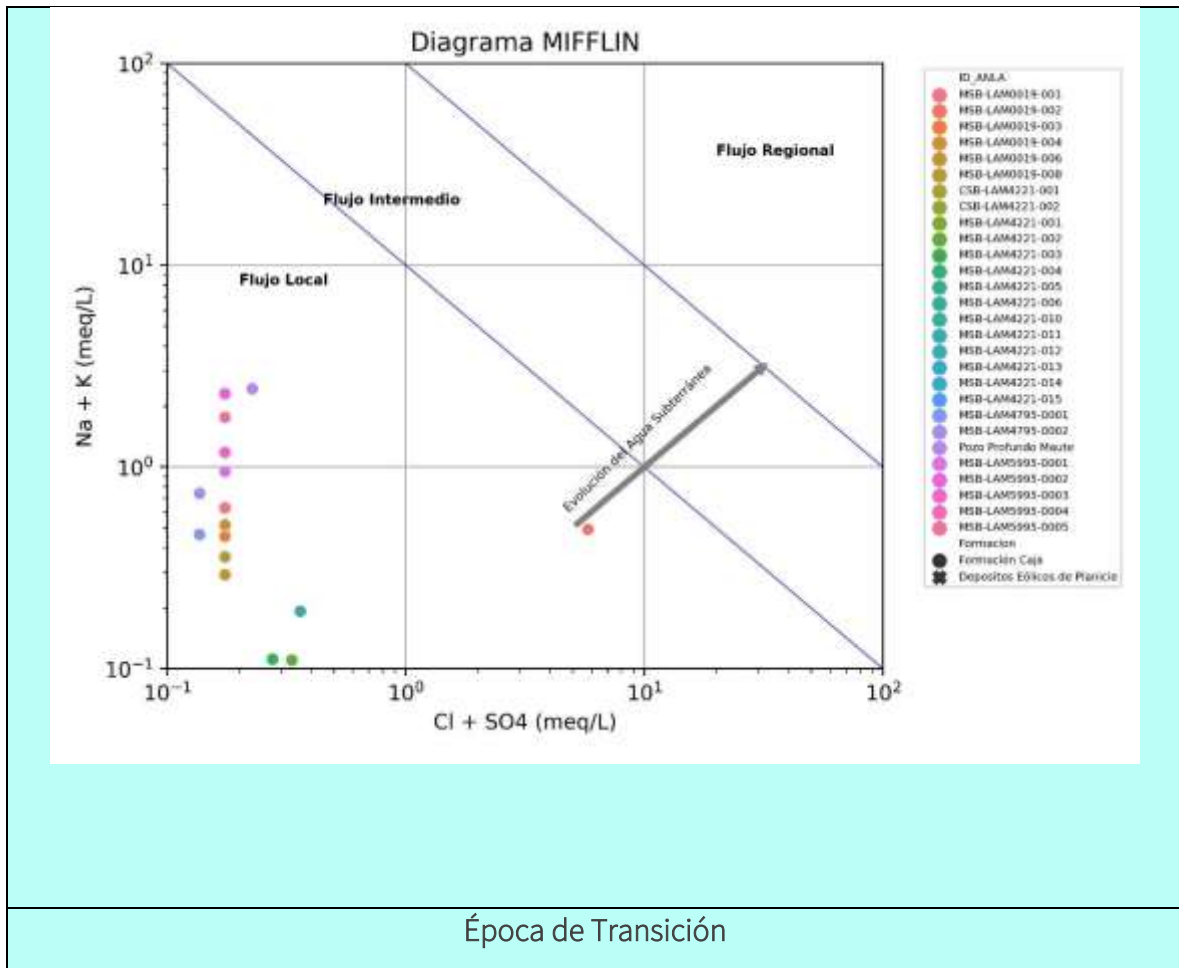
Como se observa en los siguientes gráficos, el tipo de flujo identificado en las tres temporadas climáticas analizadas es local, correspondiendo esto con bajas mineralizaciones de las aguas muestreadas, producto de tiempos de residencia y tránsito cortos, con recargas provenientes todo el año posiblemente de la infiltración directa de la precipitación en las amplias áreas de afloramiento tanto de la Formación Caja como de los Depósitos Eólicos.

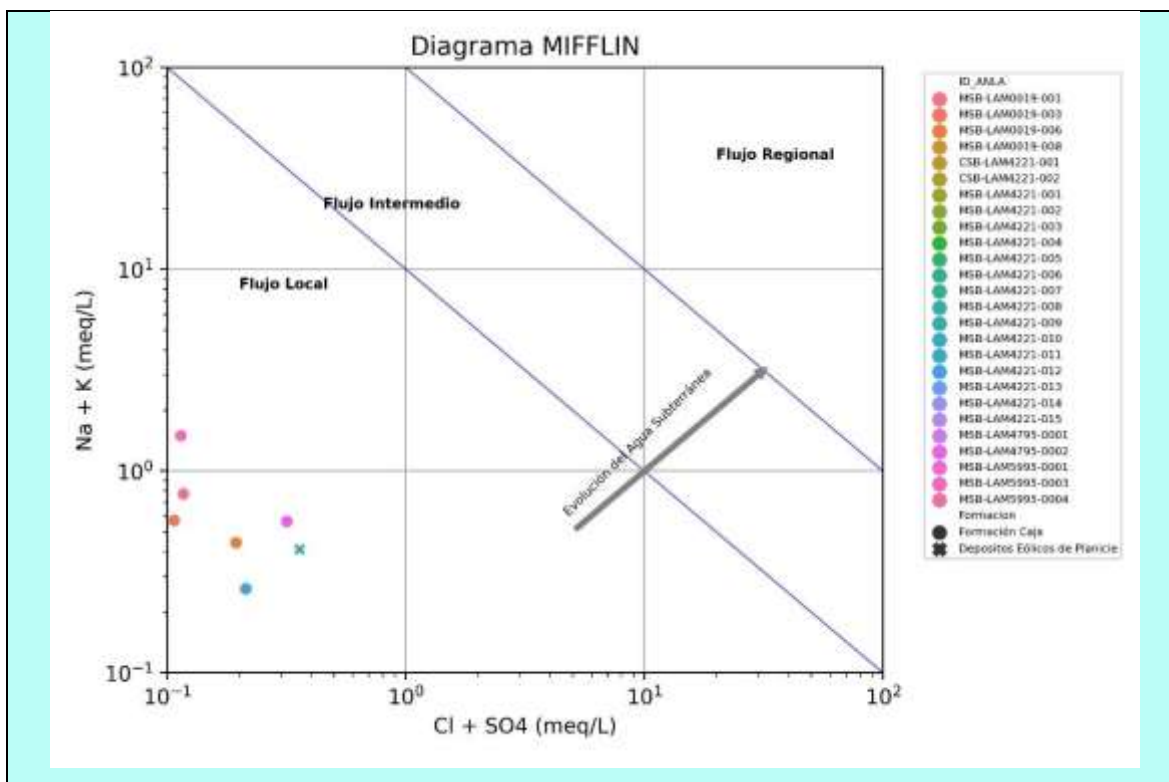
Ilustración 21. Diagramas de Mifflin

Época húmeda



Época Seca





Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

5.11 Metales y metaloides

En este numeral se analizará el comportamiento, según la época climática (temporada seca y lluvias) para el año 2023, de las concentraciones de los metales y metaloides monitoreados: aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, hierro, mercurio, níquel, plata, plomo, manganeso, selenio y zinc, esto, considerando la posible incidencia de dichos elementos en el agua subterránea a causa de las actividades de inyección que predominan en el área de análisis.

Los datos que arrojaron los análisis de estos elementos en los monitoreos son comparados con los límites de calidad de agua establecidos en el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 2115 de 2007, los cuales son utilizados como referencia en relación con la presencia de dichos metales y metaloides en el agua subterránea.

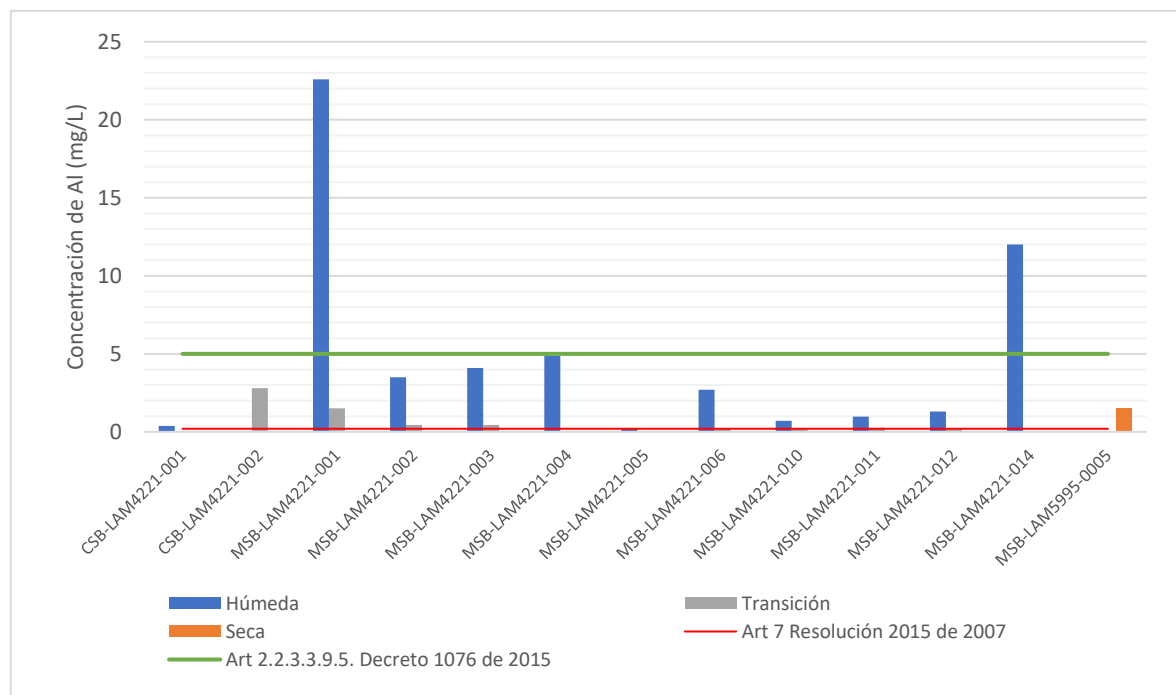
A continuación, se presentan los parámetros que arrojaron resultados cuantificables, con un análisis regional. El comportamiento individual de cada punto de agua monitoreado será descrito en el informe de seguimiento correspondiente al proyecto responsable del mismo.

5.11.1 Aluminio, hierro y manganeso

En los datos presentados se identificaron concentraciones detectables de aluminio, hierro y manganeso que superaron los valores comparativos establecidos en el artículo 2.2.3.3.9.5

del Decreto 1076 de 2015 y en la Resolución 2115 de 2007 utilizados como criterios de calidad para uso agrícola y consumo humano, respectivamente. Respecto al aluminio, se pudo determinar que 12 de las 13 muestras que reportan datos superiores a los límites de detección, también superan el valor de 0,2 mg/L establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 y 2 de ellas los 5 mg/L que indica el artículo 2.2.3.3.9.5. del Decreto 1076 de 2015, reportando una concentración máxima registrada de 22,6 mg/L en el punto MSB-LAM4221-001 (época húmeda), tal y como lo evidencia la siguiente gráfica.

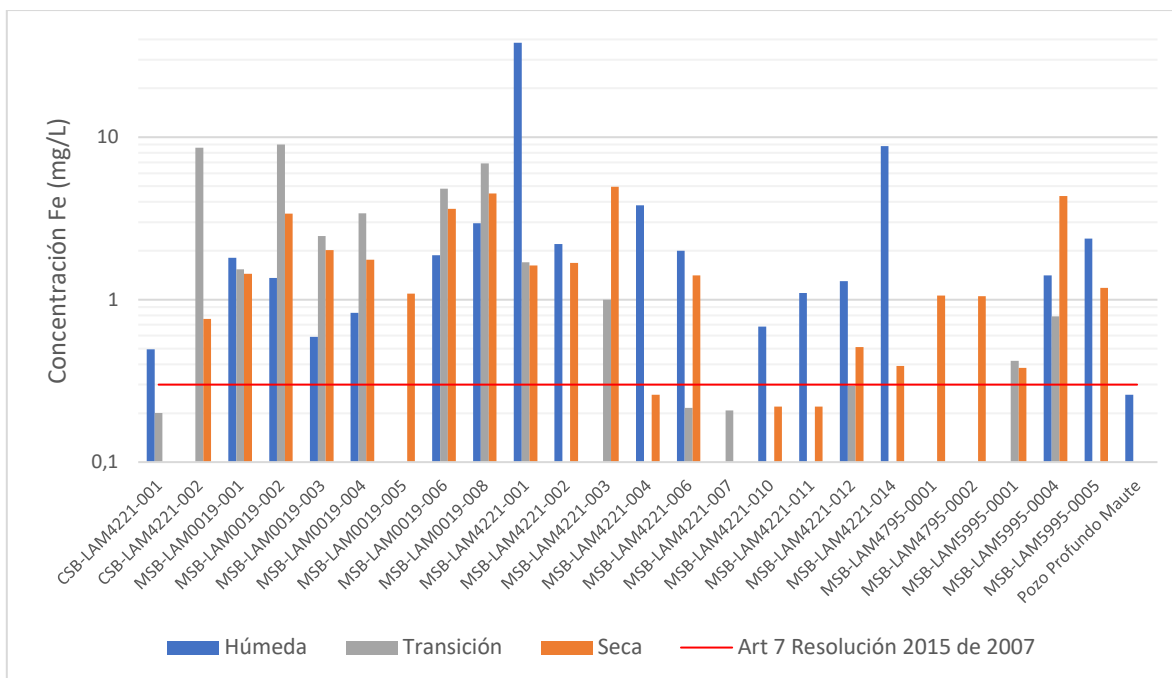
Ilustración 22. Concentraciones de aluminio reportadas en 2023



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Por otro lado, se identificó la presencia de hierro en 25 puntos de la red de monitoreo regional, en 23 de ellos se presentaron concentraciones mayores a 0,3 mg/L, valor establecido en artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007, siendo el máximo registrado en el punto MSB-LAM4221-001 con una concentración de 38,1 mg/L (época húmeda). En el gráfico presentado a continuación, se puede apreciar que no hay una tendencia clara en el comportamiento de este elemento respecto al régimen de precipitación del área del de análisis, pues existe una variación marcada en los valores medidos en cada una de las épocas y en cada uno de los puntos.

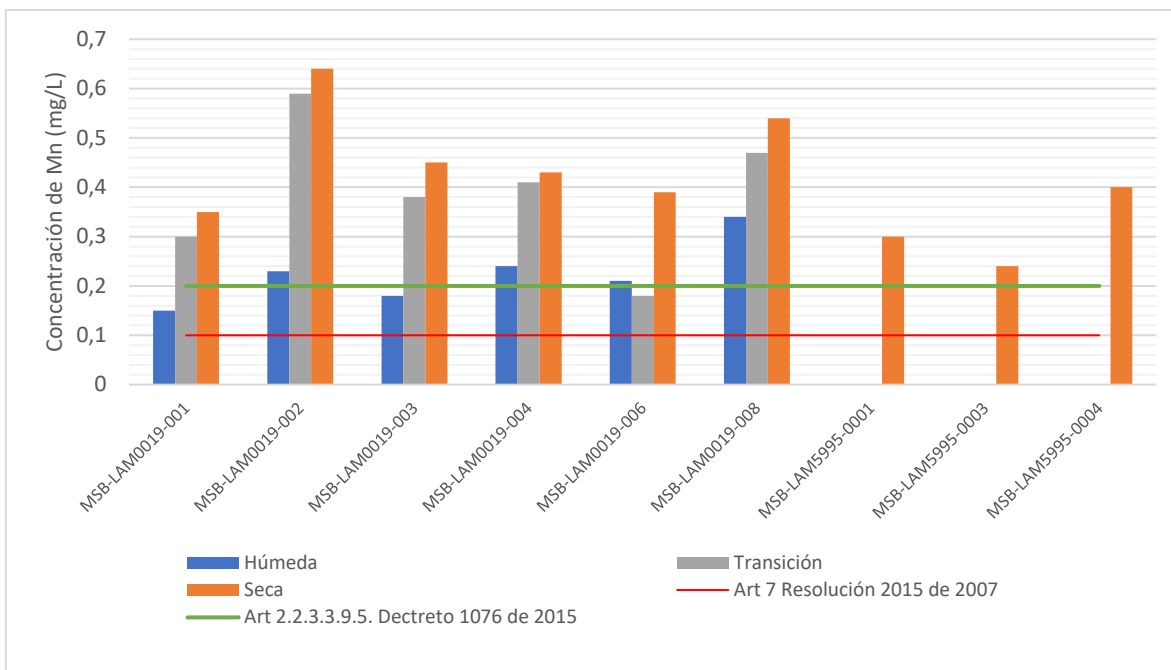
Ilustración 23. Concentraciones de hierro reportadas en 2023



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

A su vez, el manganeso fue detectado en 9 puntos, en todos ellos superando los valores de referencia establecidos en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 y el artículo 2.2.3.3.9.5. del Decreto 1076 de 2015 (0,1 mg/L y 0,2 mg/L, respectivamente), reportando valores máximos de 0,64 mg/L en el punto MSB-LAM0019-002 (época seca). Para este elemento, se identifica que existe una predominancia en concentración en la época seca respecto a las demás épocas climáticas, teniendo en cuenta que allí se registran los valores más altos en la mayoría de puntos, tal y como se identifica en la siguiente tabla, lo que significa un aumento de concentración debido una disminución de la cantidad de agua en el acuífero, situación que sugiere la presencia natural de este elemento en las rocas que componen el acuífero y su migración al agua subterránea a través de procesos de meteorización de estas.

Ilustración 24. Concentraciones de manganeso reportadas en 2023



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

5.11.2 Bario, cobre y zinc

Para el caso del bario, se reportaron concentraciones superiores a los límites de detección en 10 puntos, de los cuales uno de ellos superó el valor comparativo establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 (punto MSB-LAM4221-001, época húmeda), sin embargo, esta concentración disminuye en la época de transición hasta los 0,027 mg/L; no se registran valores detectables para la época seca. Respecto a las concentraciones obtenidas para cobre y zinc, las máximas registradas en los monitoreos reportados no superan los valores comparativos tal y como se indica en la siguiente tabla.

Concentraciones máximas de bario, cobre y zinc reportadas en 2023

Elemento	Concentración máxima reportada (mg/L)	Concentración promedio (mg/L)			Valores comparativos (mg/L)	
		Húmeda	Transición	Seca	Resolución 2115 de 2007	Decreto 1076 de 2015
Bario	0,074	0,0335	0,015	-	0,7 (artículo 5)	1 (artículo 2.2.3.3.9.4)
Cobre	0,126	0,065	0,018	-	1 (artículo 5)	0,2 (artículo 2.2.3.3.9.5)
Níquel	0,017	0,017	-	-	0,02 (artículo 5)	0,2 (artículo 2.2.3.3.9.5)
Zinc	0,13	0,026	0,087	0,097	3 (artículo 7)	2 (artículo 2.2.3.3.9.5)

- No se reportan concentraciones detectables.

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

5.11.3 Níquel y plomo

En los monitoreos reportados durante 2023, fueron reportadas concentraciones detectables de níquel y plomo únicamente en la época húmeda en los puntos MSB-LAM4221-001 y Pozo Profundo Maute (asociado al proyecto con expediente LAM5281), cuyas comparaciones con los valores de referencia indican que en dichos puntos el plomo es único elemento con concentraciones mayores a las establecidas en el artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007 (ver tabla a continuación).

Concentraciones de níquel y plomo reportadas en 2023

Elemento	Concentración (mg/L)		Valores comparativos (mg/L)	
	MSB-LAM4221-001	Pozo Profundo Maute	Resolución 2115 de 2007	Decreto 1076 de 2015
Níquel	-	0,017	0,02 (artículo 5)	0,2 (artículo 2.2.3.3.9.5)
Plomo	0,022	0,022	0,01 (artículo 5)	5 (artículo 2.2.3.3.9.5)

- No se reportan concentraciones detectables.

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Finalmente, para los elementos arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plata, y selenio no fueron registrados datos que superaran los respectivos límites de cuantificación en ninguno de los monitoreos reportados.

Así pues, respecto a los elementos anteriormente analizados, si bien se identifican en algunos casos concentraciones que superaron los valores comparativos, es necesario verificar en los seguimientos realizados en cada uno de los expedientes que implementan la estrategia de monitoreo los usos de agua en los puntos, tal que se establezca la pertinencia de requerir acciones que se orienten con el cumplimiento de dichos criterios de calidad.

Por otro lado, se identificó que en el punto MSB-LAM4221-001 se registran las concentraciones más altas de algunos de los metales y metaloides analizados (aluminio, hierro, bario y plomo), cuyos valores se alejan de la tendencia identificada a nivel regional para cada uno de ellos, situación que debe ser analizada en el seguimiento del proyecto con expediente LAM4221 a fin de que se determinen las causas que originan dicha situación.

5.12 Parámetros asociados al desarrollo de actividades relacionadas con hidrocarburos

Teniendo en cuenta que en el área donde se encuentra implementada la estrategia de monitoreo de agua subterránea unas de las actividades industriales con mayor predominancia son aquellas asociadas al sector petrolero, se consideró importante dentro de los parámetros de análisis en el recurso aquellos asociados a la presencia de

hidrocarburos, tales como los Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), fenoles, y algunos compuestos orgánicos volátiles como los BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos).

Para el año 2023, los resultados de los monitoreos realizados establecen que para ninguno de los parámetros asociados con hidrocarburos presentan concentraciones que superen los límites de detección en ninguno de los puntos y épocas climáticas monitoreadas, con lo cual, no se evidencian situaciones que sugieran la posible afectación de la calidad del recurso hídrico subterráneo por la presencia de dichas sustancias.

5.13 Parámetros microbiológicos

En la Ilustraciones 24 están representados los parámetros microbiológicos del agua subterránea, es decir los coliformes totales, coliformes termotolerantes (fecales) y la bacteria *Escherichia Coli* (*E. Coli*), se elaboraron gráficas de análisis para los tres parámetros, agrupando los datos de acuerdo con la unidad geológica que es captada por cada uno de los puntos, con el fin contrastar los resultados conseguidos y diferenciar comportamientos a lo largo de las diferentes temporadas climáticas.

Es importante mencionar que en las gráficas solamente se incluyeron los valores que fueron cuantificables mediante los análisis de laboratorio, excluyéndose todos aquellos reportes en donde no existía registro de estos parámetros dado que su concentración estaba por debajo del Límite de Cuantificación del Método (LCM) de medición.

Conforme a lo observado en la gráfica los parámetros microbiológicos Coliformes totales y termotolerantes no exceden los límites establecidos en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 correspondientes a 20000 NMP/100 ml y 2000 NMP/100 ml respectivamente. El parámetro *E. Coli*, presenta valores por encima de los 100 NMP/100 ml, en las muestras MSB-LAM4221-010 Y MSB-LAM4221-014, del expediente LAM4221, para la temporada húmeda, si bien no se presenta límite normativo para este parámetro las excedencias en estas muestras requieren especial análisis en los seguimientos para verificar posibles tendencias de aumento, teniendo en cuenta que los puntos que presentan dichas concentraciones están asociados al expediente LAM4221, se sugiere solicitar información detallada en el seguimiento específico, para verificar posibles interacciones de estos puntos con actividades antrópicas y limitar el uso sin tratamiento del recurso en esta zona.

Ilustración 25. Parámetros microbiológicos año 2023



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

6. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del segundo año de monitoreo de la estrategia de regional del recurso hídrico subterráneo en las Subzonas Hidrográficas del Alto Vichada, Río Guarrojo y Río Muco (SZH-AVRGM):

Aspectos por considerar en el marco de los seguimientos ambientales de los proyectos que hacen parte de la estrategia regional:

- ✓ El porcentaje de aceptación del criterio de error analítico de 83.99% en el presente periodo de análisis, muestra un incremento representativo en comparación con las muestras analizadas en el informe del primer año de monitoreo, realizado en el año 2023; donde solo el 30.1% eran aceptables. Lo que denota una mejora por parte de los proyectos y laboratorios en el cumplimiento de criterios de calidad para la toma, transporte y análisis de las muestras.
- ✓ Los Depósitos Eólicos de Planicie (Q1-ep) presentan una composición hidroquímica variable. En el punto de monitoreo MSB-LAM4221-007 se observa un tipo de agua bicarbonatada-cálcica; en el punto MSB-LAM4221-009, clorurada-sódica; y en los puntos MSB-LAM4221-001 y MSB-LAM4221-008, sulfatada-sódica, todas asociadas a bajas conductividades eléctricas. Debido a esta variabilidad, no se identifica un tipo de agua predominante que caracterice estos depósitos. Por lo tanto, se sugiere continuar con el monitoreo de las aguas subterráneas que conforman estos depósitos, con el fin de corroborar su comportamiento hidroquímico.
- ✓ De acuerdo con el diagrama de Piper, las aguas de la Formación Caja presentan una composición hidroquímica predominante de tipo bicarbonatada sódica, lo que sugiere una posible influencia de procesos de interacción agua-roca.
- ✓ Las concentraciones de conductividad eléctrica y Sólidos disueltos totales indican la presencia de aguas dulces de baja mineralización, no obstante, para las muestras de los puntos Pozo Maute del expediente LAM5281 y los puntos MSB-LAM5995-005 Y MSB-LAM5995-003 del expediente LAM5995, se observan concentraciones superiores a los máximos regionales, por lo que se sugiere verificar la información en los seguimientos específicos de estos expedientes.
- ✓ Los parámetros Oxígeno disuelto y pH, son típicos de aguas subterráneas y no presentan anomalías a nivel regional.
- ✓ De acuerdo con la periodicidad reportada por los expedientes LAM0019, LAM5281, LAM4221 y LAM4795, no se están generando los reportes en las frecuencias solicitadas para los parámetros in situ, que son de carácter mensual; de tal modo se recomienda verificar el reporte de la información de acuerdo con las obligaciones en los seguimientos específicos.

- ✓ La totalidad de los muestreos de agua de producción en las plantas de inyección corresponden a aguas altamente mineralizadas, de tipo bicarbonatada sódica, provenientes de formaciones profundas, con largos tiempos de residencia y alta concentración de sales disueltas.
- ✓ A partir del parámetro de dureza total es posible concluir que las aguas subterráneas procedentes de los acuíferos analizados tienen una composición predominantemente silicatada, lo que da lugar a aguas blandas, con cantidades bajas de sales de calcio y magnesio.
- ✓ A partir de lo interpretado en los diagramas de Gibbs es posible concluir que la concentración de cationes en el agua subterránea está principalmente influenciada por procesos de precipitación, y si bien la concentración de aniones también está influenciada por este proceso, de igual manera se observan aportes a partir de procesos de interacción agua – roca.
- ✓ De acuerdo con el diagrama Mifflin, el tipo de flujo identificado en las tres temporadas climáticas analizadas es local, correspondiendo esto con bajas mineralizaciones de las aguas muestreadas, producto de tiempos de residencia y tránsito cortos, con recargas provenientes todo el año posiblemente de la infiltración directa de la precipitación en las amplias áreas de afloramiento tanto de la Formación Caja como de los Depósitos Eólicos.
- ✓ Los parámetros microbiológicos analizados, no presentan excedencias a los límites normativos, sin embargo, se observan tendencias en aumento para el parámetro E. Coli, en las muestras MSB-LAM4221-010 Y MSB-LAM4221-014, del expediente LAM4221, por lo que se recomienda el seguimiento a este parámetro en esta zona.
- ✓ En relación con los metales pesados, se evidenció una predominancia generalizada de aluminio, hierro y manganeso cuya variación se ve ligada al comportamiento hidroclimático de la zona de estudio que sugiere una presencia natural de dichos elementos en las rocas, los cuales pueden migrar hacia el agua subterránea debido a posibles procesos de meteorización. No obstante, teniendo en cuenta que el punto MSB-LAM4221-001 registra las concentraciones más altas de algunos de los metales y metaloides analizados (aluminio, hierro, bario y plomo), cuyos valores se alejan de la tendencia identificada a nivel regional, se recomienda que en el seguimiento específico del expediente LAM4221 se generen requerimientos pertinentes que permitan determinar las causas de dicho comportamiento.
- ✓ Los parámetros asociados a hidrocarburos no registraron concentraciones detectables en ninguno de los puntos monitoreados, por ende, no se identifican situaciones que sugieran una posible afectación a la calidad del agua subterránea a causa de dichas sustancias.

- ✓ La información reportada por los expedientes LAM0019, LAM5281, LAM4221 y LAM4795, no se están generando los reportes en las frecuencias solicitadas para los parámetros fisicoquímicos; de tal modo se recomienda verificar el reporte de la información de acuerdo con las obligaciones en los seguimientos específicos.
- ✓ En la zona de la estrategia de monitoreo de las subzonas hidrográficas del Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco, se presentan actividades agrícolas de gran extensión que pueden estar relacionadas con la presencia de parámetros típicos de actividades agrícolas, por tanto, es importante seguir con los estudios multitemporales a fin de descartar o verificar la posible influencia antrópica en las concentraciones aumentadas analizadas.
- ✓ A partir de la información analizada en el presente documento, si bien se identificaron situaciones de orden local respecto a posibles alteraciones del agua subterránea, no se reconocieron indicios de la generación de posibles impactos acumulativos a nivel regional a la calidad y/o disponibilidad del recurso con ocasión de las actividades asociadas a la explotación de hidrocarburos que se llevan a cabo en el área donde se encuentra formulada la estrategia de monitoreo de las subzonas hidrográficas del Alto Vichada, río Guarrojo y río Muco;

ANEXO I

TABLA CUMPLIMIENTO DEL PORCENTAJE DE ERROR ANALITICO POR PUNTO DE
MONITOREO

ID ANLA	NÚMERO DE MUESTRAS QUE NO CUMPLE %ERROR	NÚMERO DE MUESTRAS QUE CUMPLEN %ERROR	MUESTRAS TOTALES	% DE CUMPLIMIENTO DE LA OBLIGACIÓN
LAM0019	4	16	20	78,57
MSB-LAM0019-001	1	2	3	66,67
64639-3		1	1	
66449-4	1		1	
68500-1		1	1	
MSB-LAM0019-002	1	2	3	66,67
64643-1		1	1	
66449-2		1	1	
69007-1	1		1	
MSB-LAM0019-003		3	3	100,00
64639-4		1	1	
66449-3		1	1	
68529-1		1	1	
MSB-LAM0019-004	1	2	3	66,67
64639-2		1	1	
66465-3		1	1	
68490-3	1		1	
MSB-LAM0019-005	1	1	2	50,00
64639-1	1		1	
66449-1		1	1	
MSB-LAM0019-006		3	3	100,00
64643-2		1	1	
66465-2		1	1	
68490-1		1	1	
MSB-LAM0019-008		3	3	100,00
64643-3		1	1	
66465-1		1	1	
68490-2		1	1	
LAM4221	1	43	44	98,04
CSB-LAM4221-001	1	2	3	66,67
100306		1	1	
LA-K-23-0207-32-106	1		1	
LA-K-23-0207-67-242		1	1	
CSB-LAM4221-002		3	3	100,00
100305		1	1	

ID ANLA	NÚMERO DE MUESTRAS QUE NO CUMPLE %ERROR	NÚMERO DE MUESTRAS QUE CUMPLEN %ERROR	MUESTRAS TOTALES	% DE CUMPLIMIENTO DE LA OBLIGACIÓN
LA-K-23-0207-32-107		1	1	
LA-K-23-0207-67-246		1	1	
MSB-LAM4221-001		3	3	100,00
100313		1	1	
LA-K-23-0207-32-102		1	1	
LA-K-23-0207-68-250		1	1	
MSB-LAM4221-002		3	3	100,00
100314		1	1	
LA-K-23-0207-31-98		1	1	
LA-K-23-0207-68-249		1	1	
MSB-LAM4221-003		2	2	100,00
100315		1	1	
LA-K-23-0207-68-248		1	1	
MSB-LAM4221-004		3	3	100,00
100316		1	1	
LA-K-23-0207-31-96		1	1	
LA-K-23-0207-68-247		1	1	
MSB-LAM4221-005		3	3	100,00
100317		1	1	
LA-K-23-0207-31-95		1	1	
LA-K-23-0207-69-255		1	1	
MSB-LAM4221-006		3	3	100,00
100318		1	1	
LA-K-23-0207-31-94		1	1	
LA-K-23-0207-69-254		1	1	
MSB-LAM4221-007		1	1	100,00
LA-K-23-0207-67-243		1	1	
MSB-LAM4221-008		1	1	100,00
LA-K-23-0207-67-244		1	1	

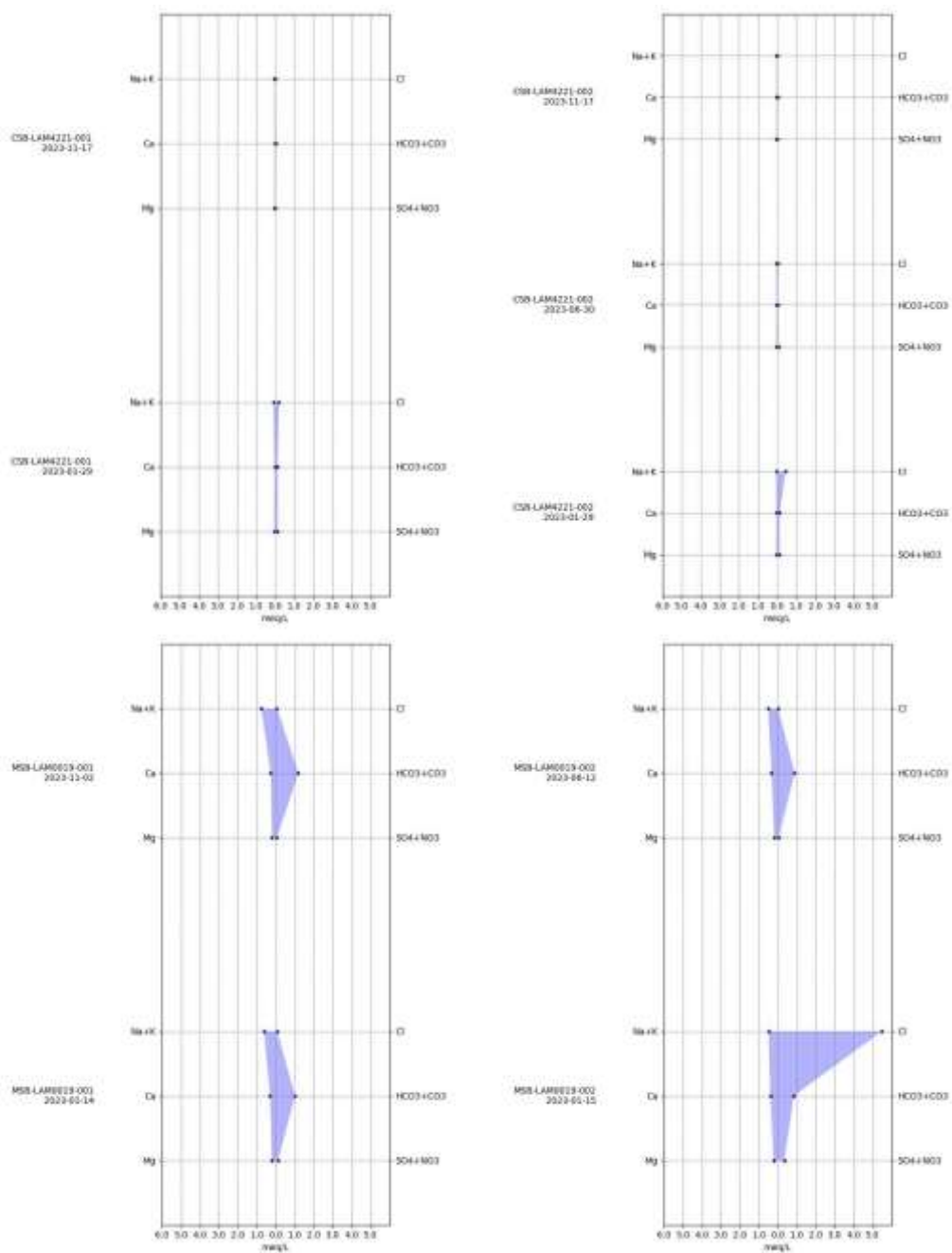
ID ANLA	NÚMERO DE MUESTRAS QUE NO CUMPLE %ERROR	NÚMERO DE MUESTRAS QUE CUMPLEN %ERROR	MUESTRAS TOTALES	% DE CUMPLIMIENTO DE LA OBLIGACIÓN
MSB-LAM4221-009		1	1	100,00
LA-K-23-0207-67-245		1	1	
MSB-LAM4221-010		3	3	100,00
100312		1	1	
LA-K-23-0207-31-99		1	1	
LA-K-23-0207-69-256		1	1	
MSB-LAM4221-011		3	3	100,00
100311		1	1	
LA-K-23-0207-32-103		1	1	
LA-K-23-0207-68-251		1	1	
MSB-LAM4221-012		3	3	100,00
100310		1	1	
LA-K-23-0207-32-104		1	1	
LA-K-23-0207-68-252		1	1	
MSB-LAM4221-013		3	3	100,00
100309		1	1	
LA-K-23-0207-32-105		1	1	
LA-K-23-0207-69-257		1	1	
MSB-LAM4221-014		3	3	100,00
100308		1	1	
LA-K-23-0207-31-100		1	1	
LA-K-23-0207-69-258		1	1	
MSB-LAM4221-015		3	3	100,00
100307		1	1	
LA-K-23-0207-31-101		1	1	
LA-K-23-0207-68-253		1	1	
LAM4795		6	6	100,00
MSB-LAM4795-0001		3	3	100,00
126474-QUI-1164		1	1	

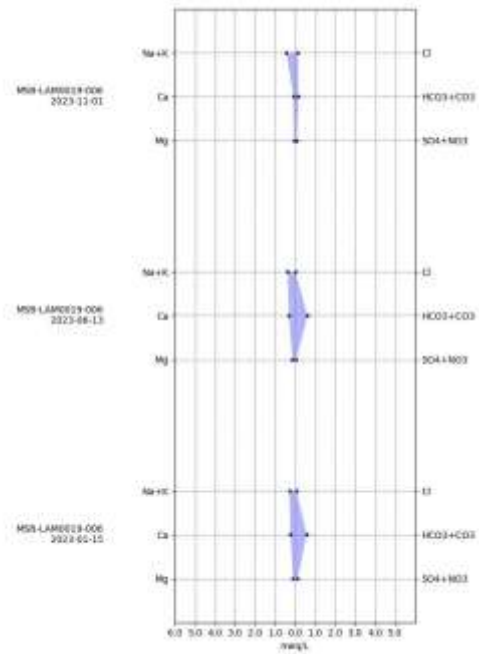
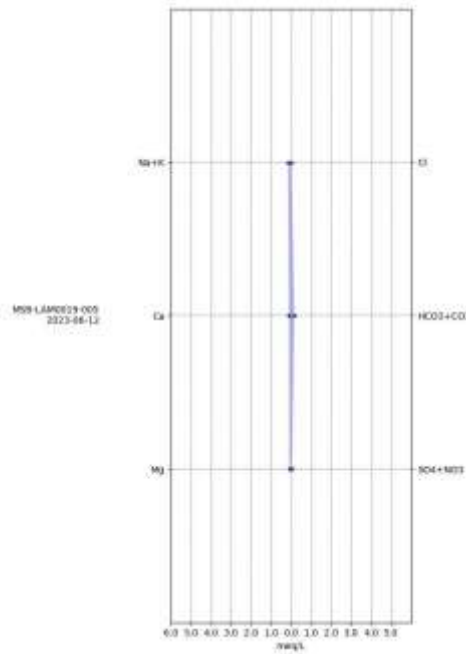
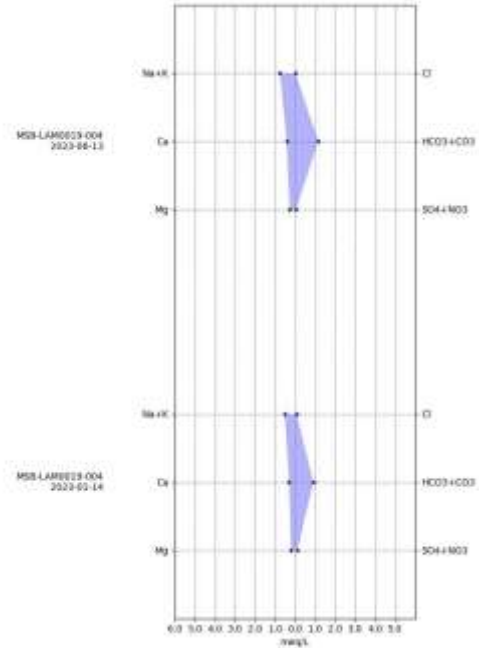
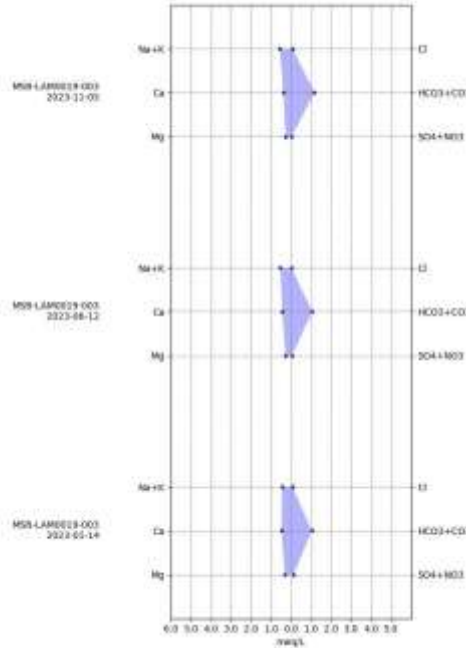
ID ANLA	NÚMERO DE MUESTRAS QUE NO CUMPLE %ERROR	NÚMERO DE MUESTRAS QUE CUMPLEN %ERROR	MUESTRAS TOTALES	% DE CUMPLIMIENTO DE LA OBLIGACIÓN
127215-QUI-1365		1	1	100,00
128177-QUI-1589		1	1	
MSB-LAM4795-0002		3	3	
126474-QUI-1165		1	1	
127215-QUI-1366		1	1	
128177-QUI-1590		1	1	
LAM5281	1	1	2	50,00
Pozo Profundo Maute	1	1	2	50,00
1		1	1	
3	1		1	
LAM5995	1	13	14	93,33
MSB-LAM5995-0001		3	3	100,00
64678-1		1	1	
66533-1		1	1	
68842-1		1	1	
MSB-LAM5995-0002	1	2	3	66,67
64678-2		1	1	
66533-2		1	1	
68842-2	1		1	
MSB-LAM5995-0003		3	3	100,00
64678-3		1	1	
66533-3		1	1	
68842-3		1	1	
MSB-LAM5995-0004		3	3	100,00
64678-4		1	1	
66533-4		1	1	
68842-4		1	1	
MSB-LAM5995-0005		2	2	
64678-5		1	1	
66533-5		1	1	
TOTAL GENERAL	7	79	86	83,99

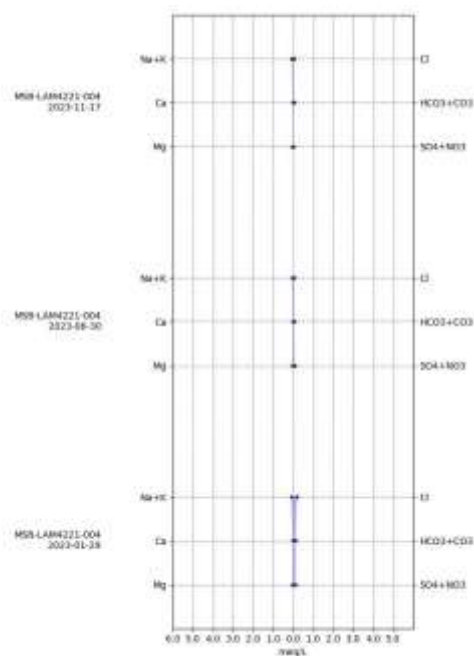
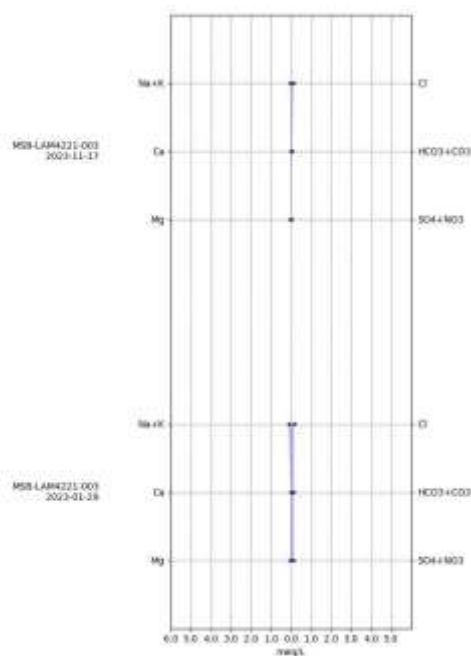
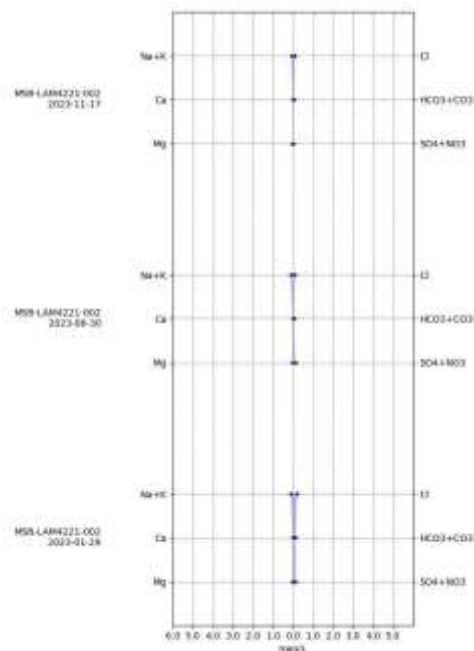
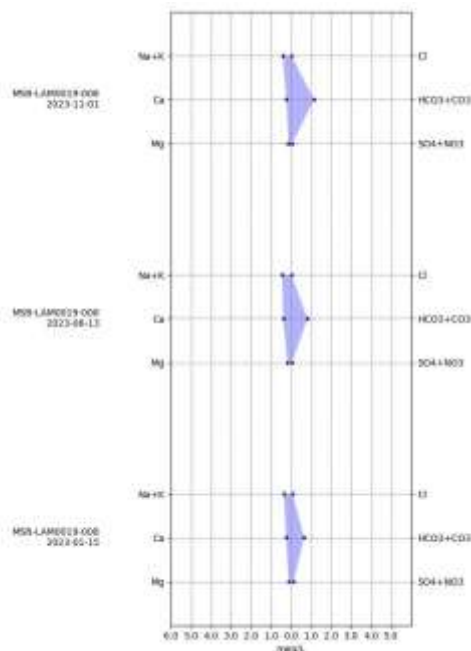
ANEXO II

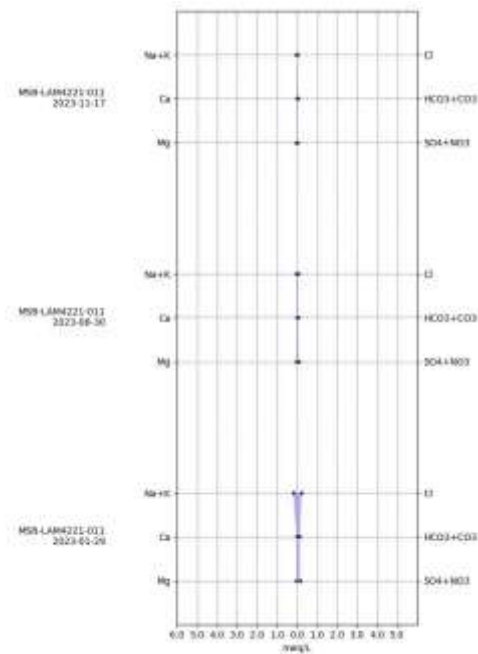
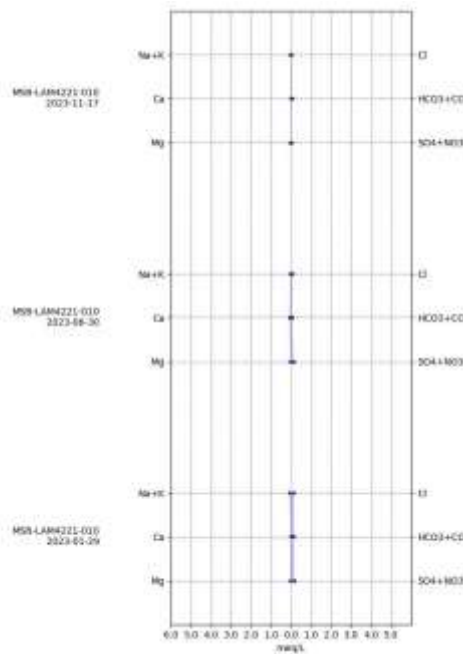
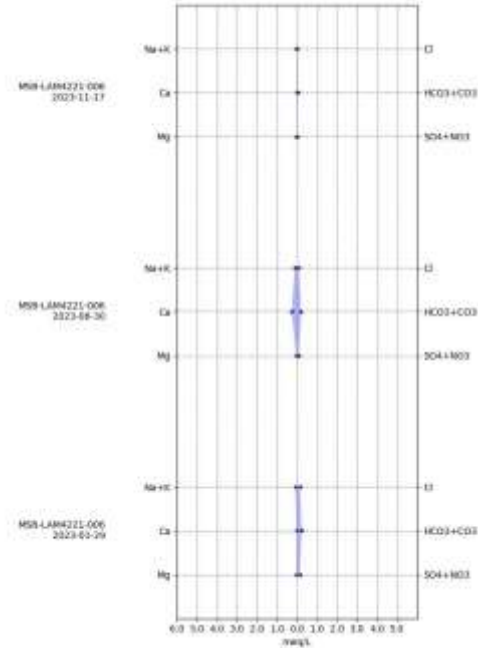
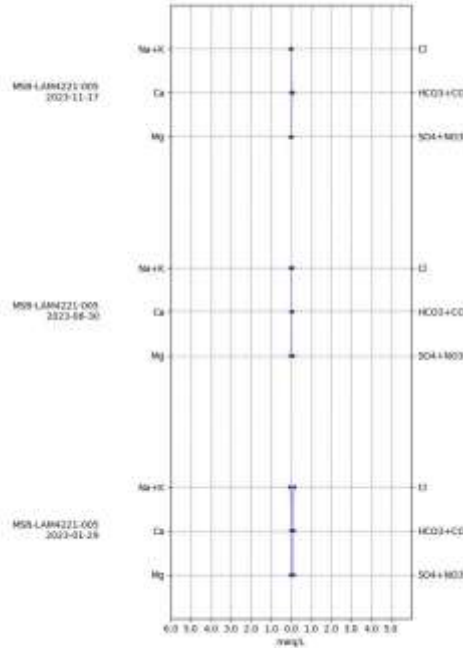
DIAGRAMAS DE STIFF

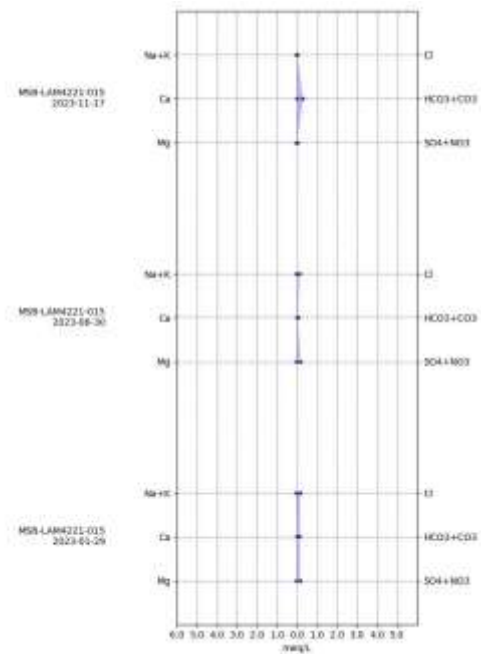
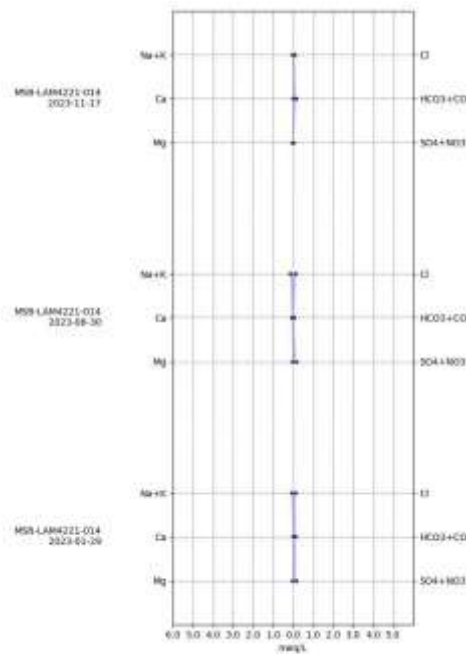
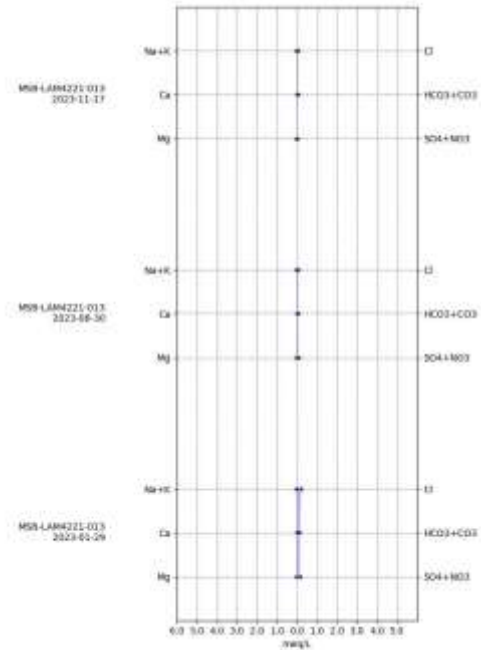
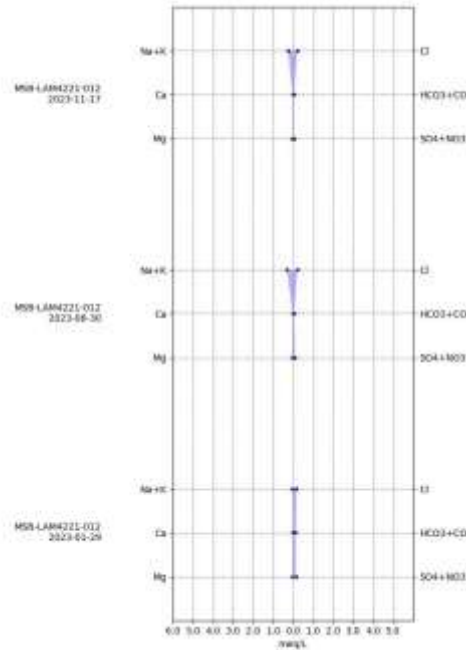
FORMACIÒN CAJA

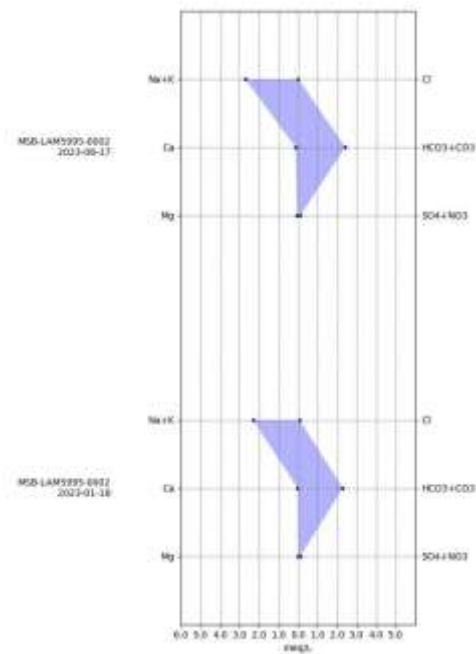
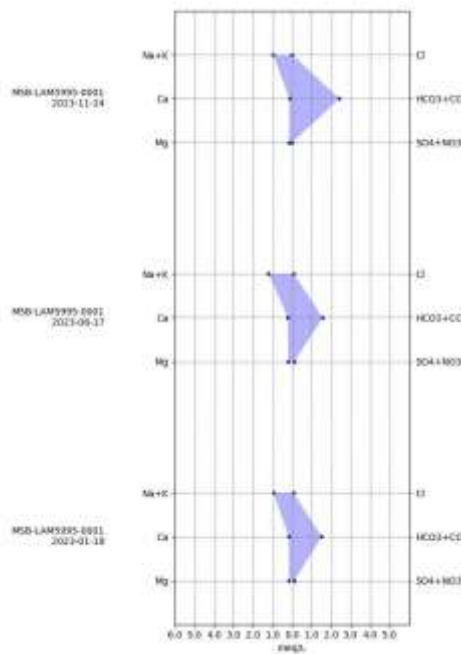
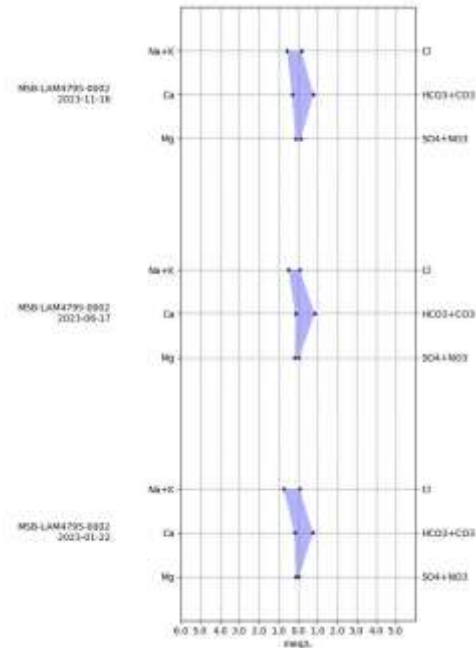
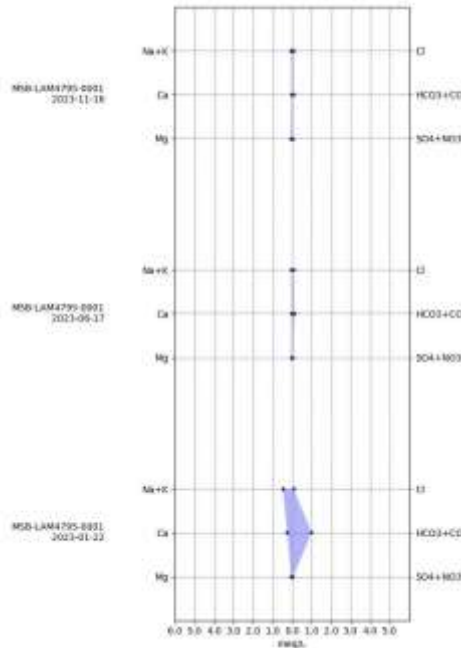


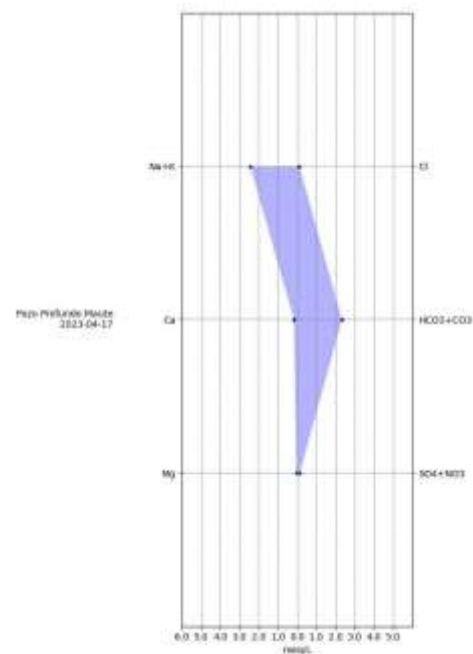
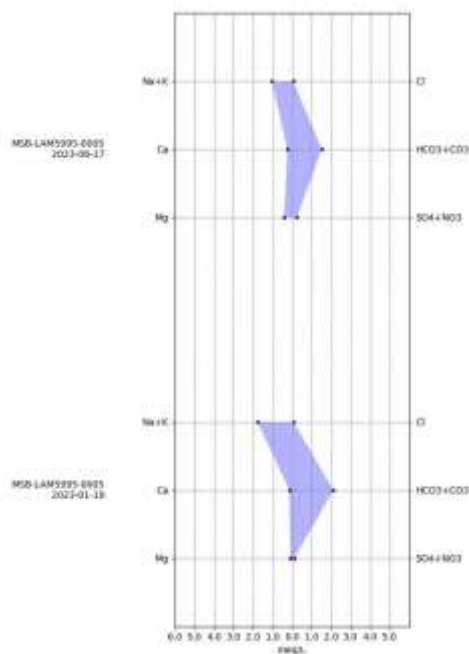
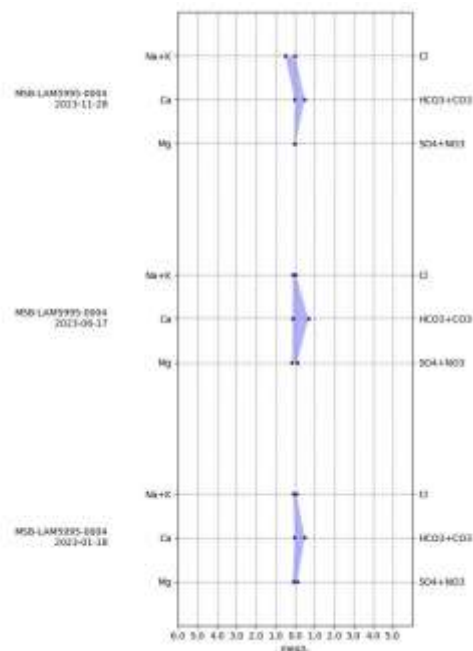
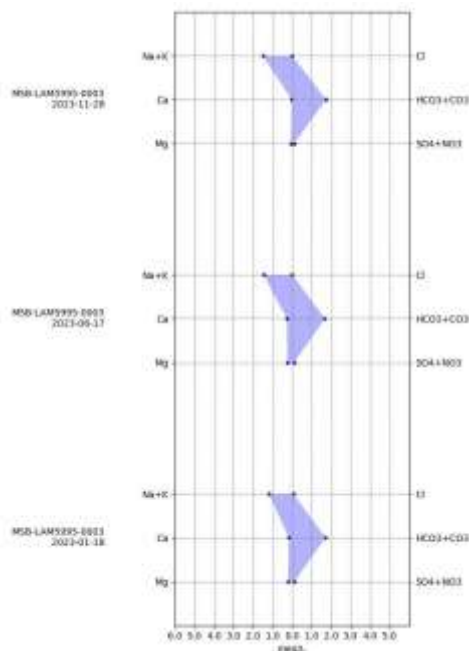




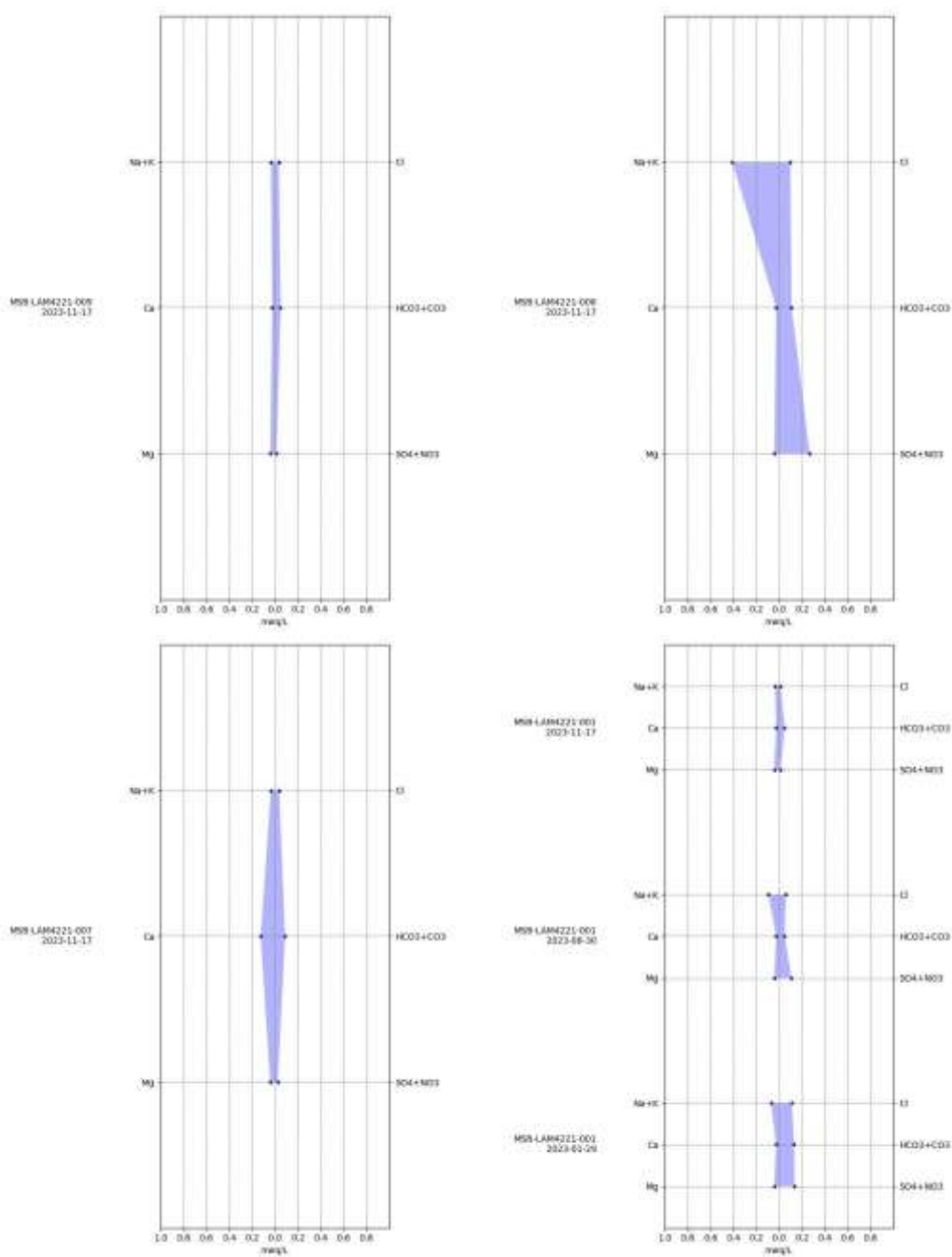








DEPÓSITOS EÓLICOS DE PLANICIE (Q1-ep)



ANEXO III

LISTADO DE ABREVIATURAS

LISTADO DE ABREVIATURAS

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

ANM: Agencia Nacional de Minería

CNR: Colombian Natural Resources

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería

MHC: Modelo Hidrogeológico Conceptual

MHCR: Modelo Hidrogeológico Conceptual Regional

PMAA: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos

SGC: Servicio Geológico Colombiano

SIPTA: Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales

ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos.

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

SGC: Servicio Geológico Colombiano.

SIPTA: Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales.

AVRGM: Alto Vichada Guarrojo Muco.