



Autoridad Nacional  
de Licencias Ambientales



# **INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES: ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA – VSM**

*Aplicación de la Fase IV: análisis de  
información año 2024*

# **OCTUBRE 2025**

Irene Vélez Torres  
**Director General**

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

Oscar Alexander Varila Quroga  
**Coordinador**  
**Grupo de Regionalización  
y Centro de Monitoreo**

Luisa Fernanda Valencia Casas  
**Líder de**  
**Implementación Regional**

Yady Melissa Triana Parra  
Jineth Sayri Castañeda Quijano  
**Profesionales**  
**Componente Hídrico Subterráneo**



## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	5
1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....	6
1.1 Condición de Lugar.....	6
1.2 Condición de Tiempo.....	7
1.3 Condición de Modo .....	8
2 ANALISIS REGIONAL DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO .....	10
2.1 Información Analizada .....	10
2.2 Resultados.....	10
2.2.1 Nivel Estático .....	11
2.2.2 Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) .....	14
2.2.3 pH .....	16
2.2.4 Oxígeno Disuelto.....	17
2.2.5 Dureza Total .....	18
2.2.6 Nitratos y Nitritos.....	21
2.2.7 Diagramas de Piper.....	22
2.2.8 Diagramas de Stiff .....	28
2.2.9 Diagramas de Gibbs.....	34
2.2.10 Diagramas de Mifflin.....	40
2.2.11 Metales y metaloides.....	42
2.2.12 Parámetros microbiológicos.....	48
3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
3.1 CONCLUSIONES .....	52
3.2 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA.....	55
4 BIBLIOGRAFIA .....	57
5 ANEXOS.....	58
5.1 Anexo I.....	58
5.2 Anexo II.....	60







## INTRODUCCIÓN

La estrategia de monitoreo regional del componente hídrico subterráneo de la cuenca del Valle Superior del Magdalena 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 espaciotemporal sistemático de los resultados de monitoreo, los factores de alteración que se puedan presentar en el componente hidrogeológico. 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 los proyectos de competencia de la ANLA.

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

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

- Fase I: Selección de proyectos y formulación de las condiciones de tiempo, modo y lugar en la región seleccionada.
- Fase II: Participación en los procesos de evaluación o seguimiento de los proyectos seleccionados y que serán implementados en la estrategia.
- Fase III: Adopción de los requerimientos de la estrategia mediante acto administrativo.
- Fase IV: Remisión periódica de monitoreos estandarizados en la estrategia regional.

Como antecedentes para la formulación de la estrategia regional, es importante mencionar dos (2) aspectos:

En primer lugar, los proyectos que hacen parte de la estrategia están dentro del área regionalizada del reporte de alertas “*Reporte de Alertas de las Subzonas Hidrográficas Cuenca Alta del río Magdalena*” cuyo propósito consistió en identificar posibles impactos acumulativos y determinantes de sensibilidad ambiental regional que permitieran orientar el licenciamiento ambiental en la región. Si bien en el área existen diferentes tipos de proyectos, obras y actividades, en lo que respecta a la competencia de la ANLA, se cuenta con una importante presencia de proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos.





En segundo lugar, en pro de ejercer una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo, la ANLA en el año 2020 diseñó la estrategia de monitoreo de la cuenca del Valle Superior del Magdalena – VSM, en el cual se involucraron cinco (5) proyectos de hidrocarburos presentes en la región y se establecieron las condiciones de modo, tiempo y lugar.

En los años 2023 y 2024, el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la SIPTA realizó el análisis e interpretación de los datos reportados por las empresas de hidrocarburos para los años hidrológicos 2022 y 2023 respectivamente, el último de estos documentos, que recopila la información de los dos años hidrológicos se denomina “Estrategia de monitoreo regional de agua subterránea en la cuenca del Valle Superior del Magdalena – VSM, Análisis regional – Segundo año de monitoreo, Marzo 2024” y se encuentra publicado en la página web de la entidad.

Finalmente, en el presente documento se incluye la interpretación y análisis multitemporal de los datos in-situ, fisicoquímicos y microbiológicos reportados en las campañas de monitoreo llevadas a cabo en el año 2024, dando continuidad a los análisis regionales realizados en los años 2023 y 2024.

# 1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

## 1.1 Condición de Lugar

La estrategia de monitoreo regional actualmente está conformada por cuatro (4) proyectos, todos pertenecientes al sector de hidrocarburos, tal como se describe en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Proyectos de hidrocarburos que integran la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del VSM.**

Proyecto	Expediente	Empresa	Resolución que impone la estrategia
Campo La Hocha	LAM3028	HOCOL SA	Resolución 01835 del 17/11/2020 Fecha ejecutoria: 09/12/2020 Modificada por la resolución 1516 del 18 de julio de 2024
Área de producción Huila Norte (o de Neiva)	LAM2307	ECOPETROL SA	Resolución 1673 del 22/09/2021 ajustado vía seguimiento Resolución 2816 del 04 de diciembre de 2023
Campo de producción Yaguará	LAM0989		Resolución 2526 del 19/10/2022

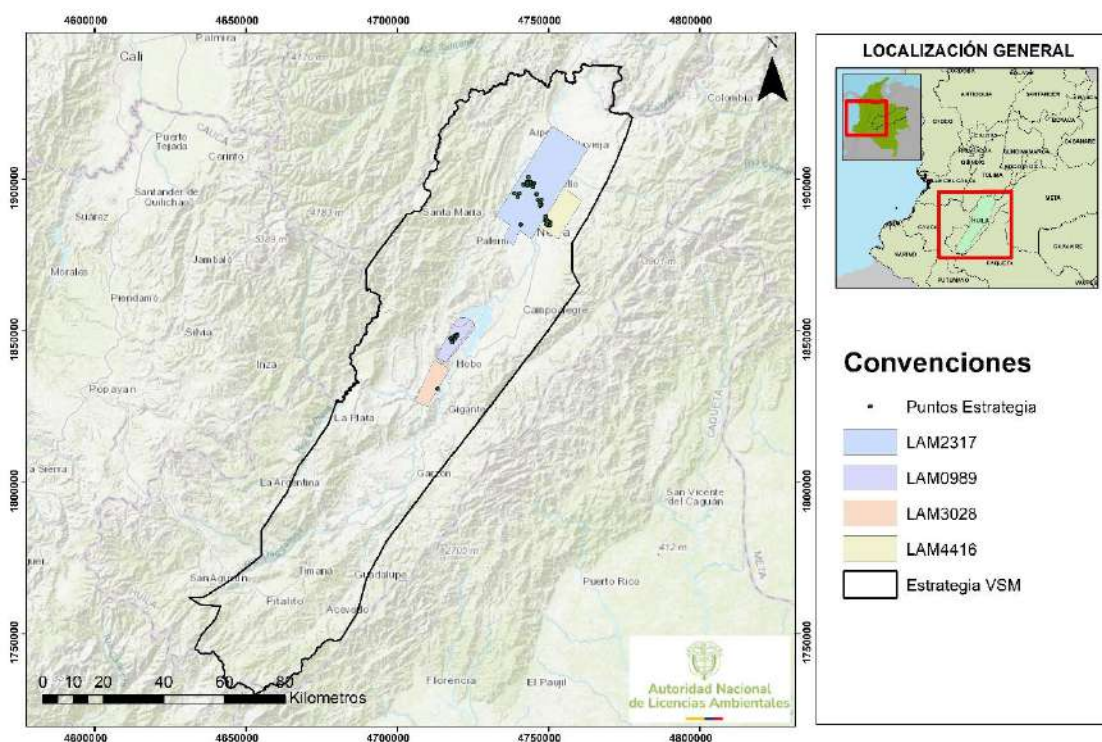


Proyecto	Expediente	Empresa	Resolución que impone la estrategia
Campo Tello la Jagua	LAM4416		Resolución 2437 del 23/10/2023 - ajustado mediante RR Resolución 924 del 20 de mayo de 2024

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

Actualmente la estrategia de monitoreo regional está conformada oficialmente por 71 puntos de agua subterránea, cuya localización dentro del área delimitada para la estrategia se puede observar en la **Figura 1**.

**Figura 1 Localización de los puntos de monitoreo de la estrategia VSM – condición de lugar**



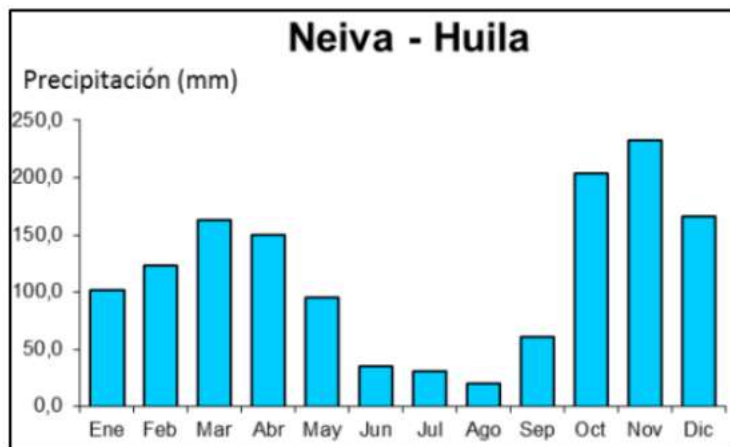
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

## 1.2 Condición de Tiempo

La frecuencia de monitoreo fue definida con base en los meses correspondientes a los períodos de máximas precipitaciones, transición y mínimas precipitaciones del año hidrológico, con el fin de identificar las tendencias en la calidad y disponibilidad del agua subterránea bajo estos tres escenarios.

Para conocer la distribución de la precipitación media mensual multianual de la cuenca de interés, se analizan los registros presentados por la estación climatológica ubicada en la ciudad de Neiva, en el departamento del Huila (Ver **Figura 2**).

**Figura 2 Comportamiento de la precipitación media mensual multianual en la estación Neiva - Huila**



Fuente: Atlas Climatológico de Colombia – IDEAM, 2016.

Considerando lo anterior, se establecieron las siguientes frecuencias de monitoreo detalladas en la **Tabla 2**.

**Tabla 2. Periodicidad de los monitoreos de la estrategia de monitoreo – condición de tiempo**

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

	Monitoreo en época seca
	Monitoreo en época de lluvia
	Monitoreo en época de transición

Fuente: ANLA, 2025.

### 1.3 Condición 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 (Ver **Tabla 3**) para la estrategia de monitoreo del Valle Superior del Magdalena – VSM:

**Tabla 3. Parámetros de monitoreo para cuerpos receptores de vertimiento – condición de modo**

Tipo de parámetro	Parámetros
Físicos	Caudal, temperatura, conductividad eléctrica, nivel estático y nivel dinámico
Químicos:	Hidrocarburos totales, Grasas y aceites, Fenoles.
Compuestos de nitrógeno	Nitritos, Nitratos, Nitrógeno amoniacal
Metales y metaloides	Bario, Cadmio, Plomo, Hierro, Mercurio, Níquel, Cobre, Zinc, Cromo, Arsénico, Selenio, Aluminio.
Microbiológicos	Coliformes fecales, Coliformes Totales y E.Coli
Iones	Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Sulfato, Cloruros, Carbonato, Bicarbonato,

**Fuente:** Documento de formulación Estrategia de Monitoreo de las Aguas Subterráneas en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena – VSM, año 2020.

Ahora bien, con el objeto de asegurar la calidad de los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio, se debe evaluar el porcentaje de error del balance iónico para cada muestra de agua subterránea, determinando de esta forma el nivel de confiabilidad de los valores de concentración reportados. 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 deberá ser calculado mediante la siguiente expresión:

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

Para la presente estrategia de monitoreo regional, solo se valorarán como aceptables las muestras de agua subterránea que cumplan con los criterios presentados en la **Tabla 4**.

**Tabla 4. 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, 2017<sup>1</sup>

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



Para el caso del Expediente LAM0989, el error máximo aceptable será del 15%. Las anteriores condiciones fueron establecidas en los actos administrativos que acogieron la estrategia.

## **2 ANALISIS REGIONAL DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO**

### **2.1 Información Analizada**

Una vez revisada la información entregada a esta Autoridad en cumplimiento de las obligaciones establecidas en el marco de la estrategia de monitoreo regional, se identificó que los proyectos de hidrocarburos denominados Campo La Hocha – LAM3028, Área de Producción Huila Norte (o de Neiva) – LAM2307, Campo de Producción Yaguará – LAM0989 y Campo Tello La Jagua – LAM4416 han entregado los resultados de las campañas de monitoreo correspondientes a los años 2022, 2023 y 2024.

El detalle de los radicados por expediente, fechas de entrega y campañas a las que corresponden, se puede encontrar en el Anexo I de este documento. A fecha de corte para la revisión y compilación de los datos empleados en los análisis fue el 01 de julio del año 2025. Es importante aclarar que, como se mencionó previamente, el análisis presentado en este documento se centra en los datos reportados en el año 2024, realizando su comparación con los datos de los años 2022 y 2023.

### **2.2 Resultados**

A continuación, se presenta un análisis de los datos que han sido reportados en el marco de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del Valle Superior del Magdalena – VSM, con el fin de verificar las condiciones de calidad y disponibilidad de dicho recurso a escala regional. El tratamiento de los datos se hace respecto a la temporada climática a la que corresponden y a la formación geológica captada.

Adicionalmente, es importante aclarar que aunque en la actualidad, y en el marco nacional colombiano, no hay una norma de calidad del agua subterránea, para algunos parámetros se realiza la comparación con la normatividad vigente para los usos señalados en los artículos 2.2.3.3.9.3 (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4 (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) del Decreto 1076 de 2015 y el Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 (Características físicas y químicas del agua para consumo humano), debido a que estos usos están autorizados en varios de los puntos de agua monitoreados; así mismo, teniendo



presente el Artículo 2.2.3.3.4 del Decreto 1076 de 2015, el cual cita lo siguiente: “*ARTÍCULO 2.2.3.3.4. 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 corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia.*”.

Por otro lado, es importante mencionar que, para la realización de los diagramas hidroquímicos de Piper, Stiff, Gibbs y Mifflin se emplearon solamente las muestras de agua subterránea que cumplieron con el criterio del error analítico, el cual fue establecido para cada uno de los proyectos en la resolución que impuso las condiciones de la estrategia regional. Como se señaló anteriormente, en el caso de la presente estrategia, el error aceptable para cada muestra de agua depende de la suma de aniones en unidades de meq/L.

Para los años 2022 y 2023 se descartaron un gran número de muestras que no cumplieron con el criterio establecido para cada proyecto; para la temporada de transición solamente se consideraron el 34% de los muestreos, y para las temporadas seca y húmeda este porcentaje correspondió con el 42 y 18% respectivamente.

Por su parte, para el año 2024 se llevaron a cabo 144 muestreos, de los cuales se descartaron 40 (el 28 % de los datos), empleándose un total de 104 muestras de agua subterránea para la construcción de los diagramas.

En consecuencia, el análisis y la justificación del exceder el valor máximo de error analítico permitido será objeto de requerimiento en los respectivos seguimientos ambientales de los proyectos involucrados, de tal manera que en las siguientes campañas se pueda contar con un registro continuo de los puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia, además de tener datos de calidad que sean representativos de las condiciones fisicoquímicas del recurso.

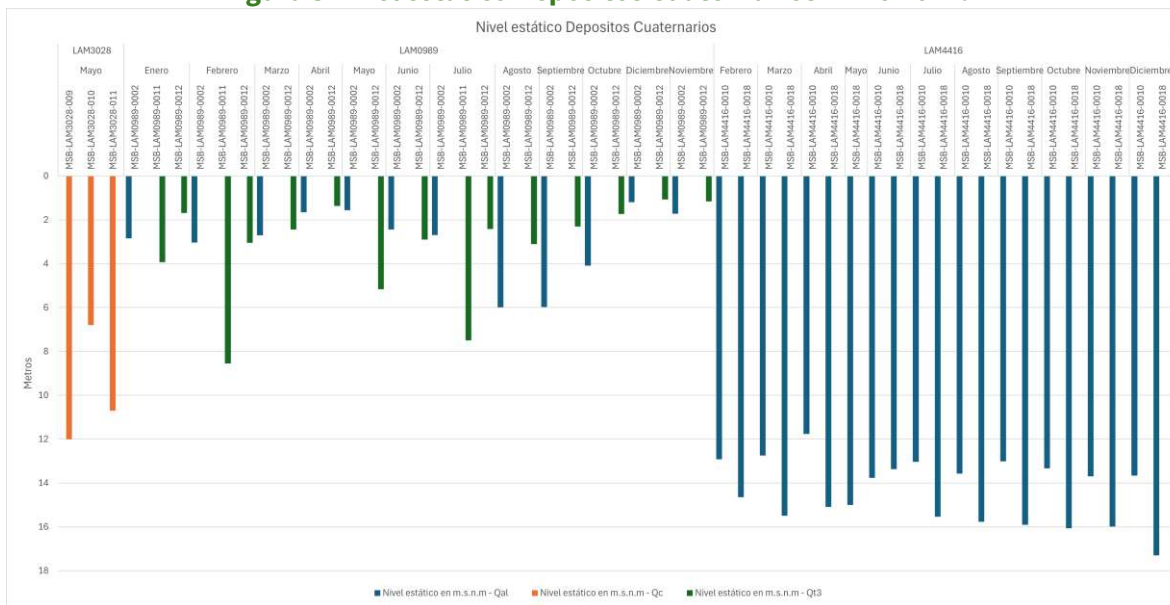
### 2.2.1 Nivel Estático

Con el fin de identificar posibles alteraciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el área de la estrategia de monitoreo de la cuenca del Valle Superior del Magdalena - VSM, 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. Dentro de la información analizada se incluyen monitoreos de nivel estático de los cuatro expedientes que reportan información para el año 2024, el análisis se realizó para las formaciones geológicas presentes en el área de la estrategia y se muestra a continuación.

En la **Figura 3**, se presenta el comportamiento del nivel estático en los depósitos Cuaternarios. Se puede observar que, para el expediente LAM3028 sólo se presentan mediciones de un mes, con niveles entre 6 y 11 metros, en el Depósito cuaternario Coluvial,

no obstante, la escasez de datos no permite un análisis detallado del comportamiento de esta unidad, y por tanto se sugiere requerir al licenciatarario el cumplimiento de los reportes en la temporalidad definida en la estrategia de monitoreo.

**Figura 3 Nivel estático Depósitos Cuaternarios – Año 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

El comportamiento de los Depósitos aluviales (Qal) y Terrazas Pumíticas (Qt3), muestran niveles que oscilan entre 1 y 7 metros, sin fluctuaciones significativas, mostrando estabilidad general del nivel de agua en estas unidades en los meses de enero a julio en los puntos asociados al expediente LAM0989.

Finalmente, en los puntos asociados al expediente LAM4416, se observa que los niveles en la unidad depósito aluvial (Qal), son más profundos, con mediciones entre 10 y 17 metros, presentando un comportamiento estable para los meses de febrero a diciembre.

En la **Figura 4**, se muestra el comportamiento del nivel estático para la Formación Neiva (Ngn) unidad Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn), en los puntos asociados al expediente LAM2307.

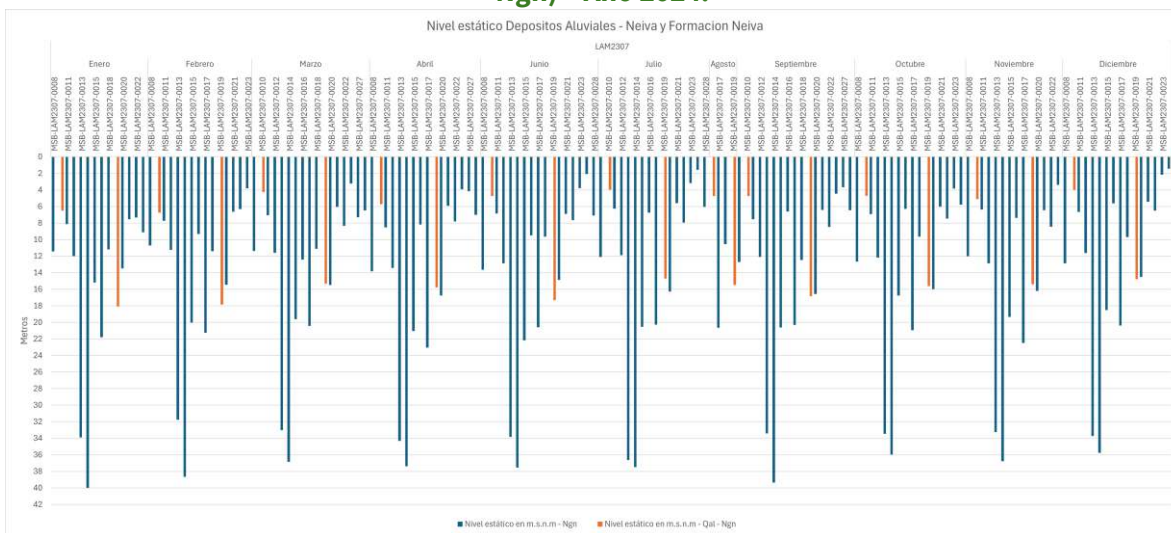
En la gráfica se observa la variabilidad de cada uno de los puntos monitoreados de manera mensual, se puede identificar una clara tendencia en los niveles de la unidad Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn), identificados con las barras naranjas, entre 4 y 12 metros, comportamiento consistente durante todos los meses del año, en los puntos asociados a dicha unidad.

La Formación Neiva (Ngn), presenta niveles más profundos, de hasta 40 metros, comportamiento típico en este tipo de unidades consolidadas, el punto MSB-LAM2307-0013, reporta los niveles más profundos, mientras que los puntos MSB-LAM2317-0022, MSB-



LAM2317-0023 y MSB-LAM2317-0027, reportan los niveles más someros para esta formación, con profundidades entre 2 a 6 metros, es importante resaltar que el comportamiento es uniforme durante todo el año hidrológico.

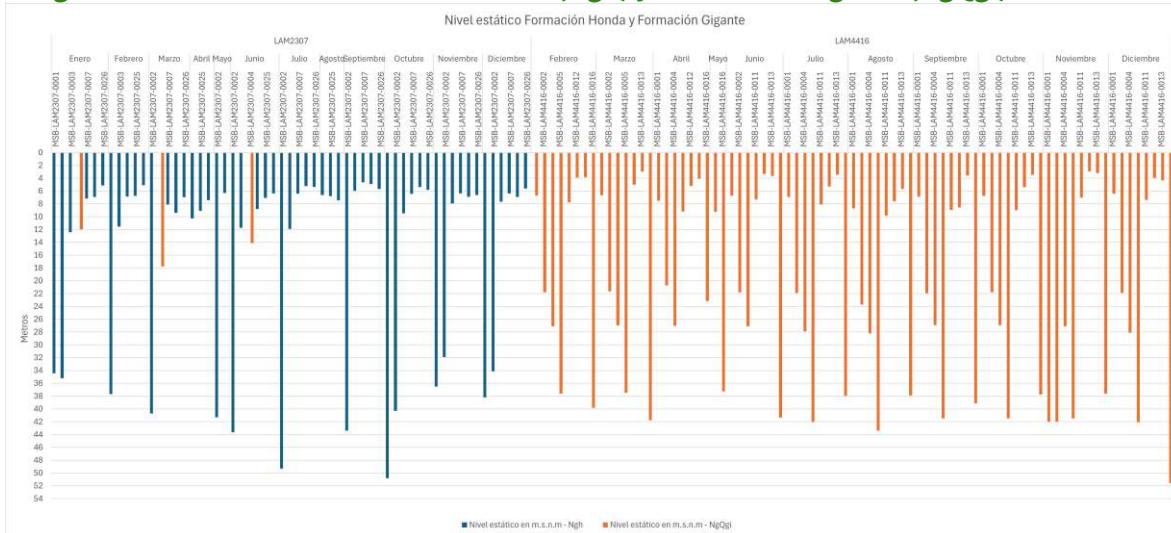
**Figura 4 Nivel estático Formación Neiva (Ngn) y Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal - Ngn) – Año 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

En la Figura 5, se muestra el comportamiento del nivel estático en las Formaciones Honda (Ngh) y Gigante (NgQgi), que reportan monitoreo en los expedientes LAM2307 y LAM4416.

**Figura 5 Nivel estático Formación Honda (Ngh) y Formación Gigante (NgQgi) – Año 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

La Formación Honda (Ngh), muestra una amplia variabilidad con profundidades entre 5 y 50 metros, no obstante, los datos fluctúan de manera consistente mes a mes, específicamente en los puntos asociados al expediente LAM4416, dicha variabilidad puede estar asociada a



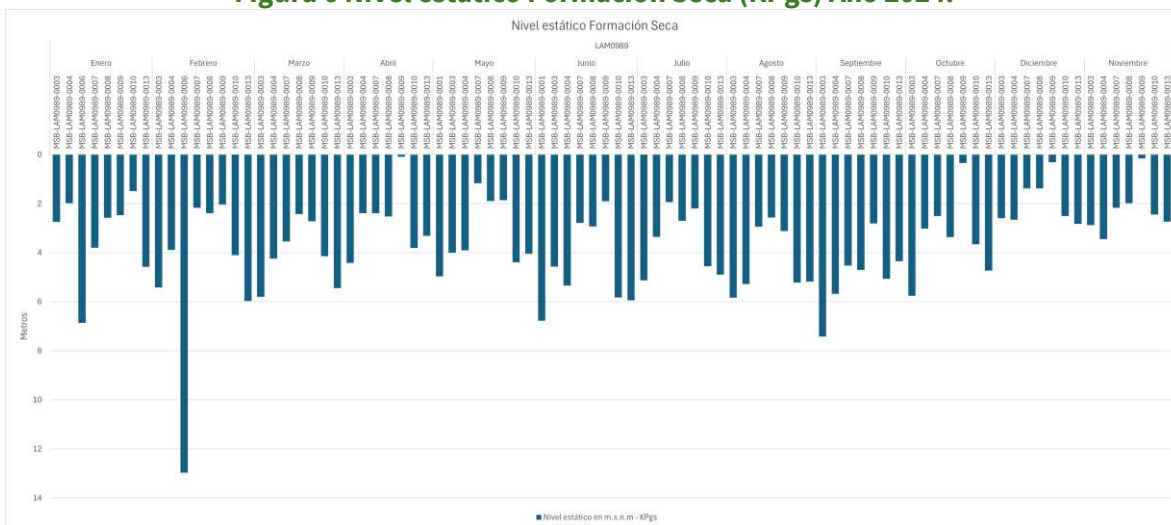


los cambios faciales que se presentan en la Formación Honda, sin embargo, se recomienda verificar de manera detallada dichas fluctuaciones en el seguimiento específico de cada uno de los expedientes.

La Formación Gigante (KgQgi), presenta niveles estáticos profundos, entre 25 y 50 metros, con una menor variabilidad a lo largo del año hidrológico.

En la **Figura 6**, se muestra el comportamiento del nivel estático en la formación Seca (KPgs) que presenta reporte para puntos asociados al expediente LAM0989.

**Figura 6 Nivel estático Formación Seca (KPgs) Año 2024.**



**Fuente:** Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

La Formación Seca (KPgs), presenta niveles entre 2 y 13 metros, se observan fluctuaciones representativas en los pozos MSB-LAM0989-003, MSB-LAM0989-006 y MSB-LAM0089-007, en las que se resalta el nivel de 13 m en el mes de febrero del punto MSB-LAM0089-006, reporte asociado a una posible sobreexplotación o errores en la medición, por lo que se debe analizar de manera detallada el comportamiento de este punto en el seguimiento específico.

Se puede identificar que entre julio y septiembre se presenta una profundización de los niveles, lo que puede estar asociado a temporadas de mayor demanda, o la disminución de los niveles de la unidad asociados a la temporada seca, mientras que, en diciembre, los niveles se recuperan después de la temporada de lluvias.

## 2.2.2 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





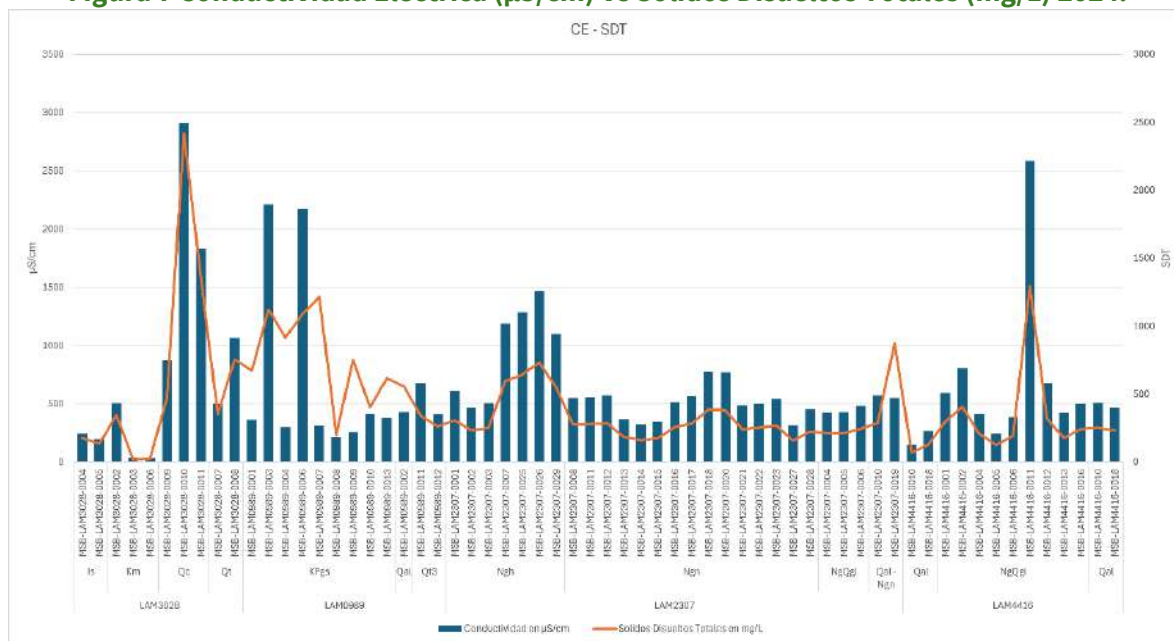
las aguas naturales, tales como bicarbonatos, carbonatos, cloruros, calcio, sulfatos y otros iones como silicatos y demás.

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).

Tiendo 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, a continuación, se realiza un análisis de los máximos anuales con el fin de verificar el comportamiento de estos parámetros en el área de la estrategia para el año 2024.

En la **Figura 7**, se muestra el comportamiento de la de Conductividad Eléctrica (CE) versus Sólidos Disueltos Totales (SDT), teniendo en cuenta las unidades geológicas y los expedientes analizados.

**Figura 7 Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Vs Solidos Disueltos Totales (mg/L) 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

Se puede observar que la relación entre CE y SDT, se mantiene en todos los puntos reportados, así mismo se observan valores promedio típicos de aguas dulces y de baja mineralización, no obstante se pueden identificar varios picos que deben ser analizados a





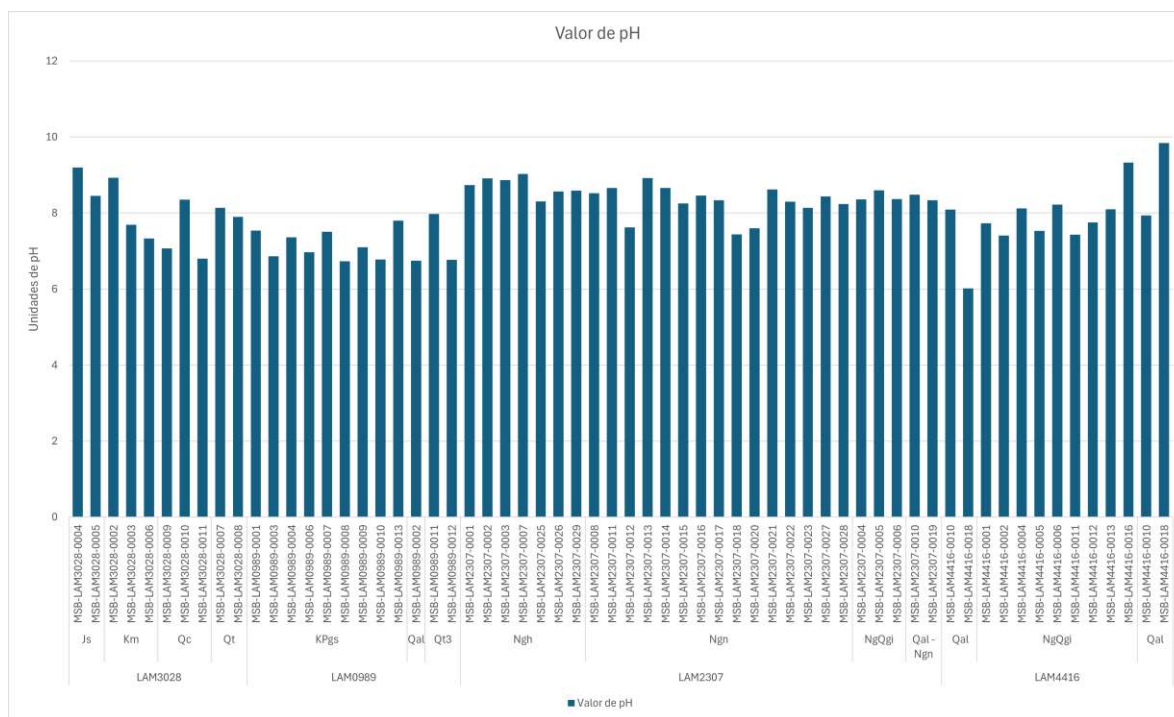
detalle en los seguimientos específicos y se describen a continuación: El punto MSB-LAM3028-0010, presenta CE del orden de 2900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y SDT de 2500 mg/L, indicado procesos de mineralización, en el expediente LAM0989 los puntos MSB-LAM0989-0006 y MSB-LAM0989-0007, presentan valores de conductividad eléctrica superiores a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sobre pasando el promedio regional, finalmente en el expediente LAM4416 el punto MSB-LAM4416-0010, presenta CE del orden de 2200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y SDT de 2000 mg/L, indicado posibles procesos de mineralización en esta zona.

Es importante tener en cuenta la influencia de la litología en los puntos con concentraciones altas, sobre todo los que se encuentran captando de la Formación Gigante como el punto MSB-LAM4416-0010. El punto MSB-LAM3028-0010 con excedencias en el expediente LAM3028, se encuentra captando de los Depósitos Coluviales, por lo que es importante definir la influencia de los aportes antrópicos en los valores reportados, finalmente, los puntos con concentraciones aumentadas en el expediente LAM0989, se encuentran captando de la Formación Seca, cuya influencia puede ser asociadas a aportes antrópicos.

### 2.2.3 pH

En la **Figura 8**, se muestra el comportamiento del pH en los puntos reportado para el año hidrológico.

**Figura 8 Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Vs Solidos Disueltos Totales (mg/L) 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025



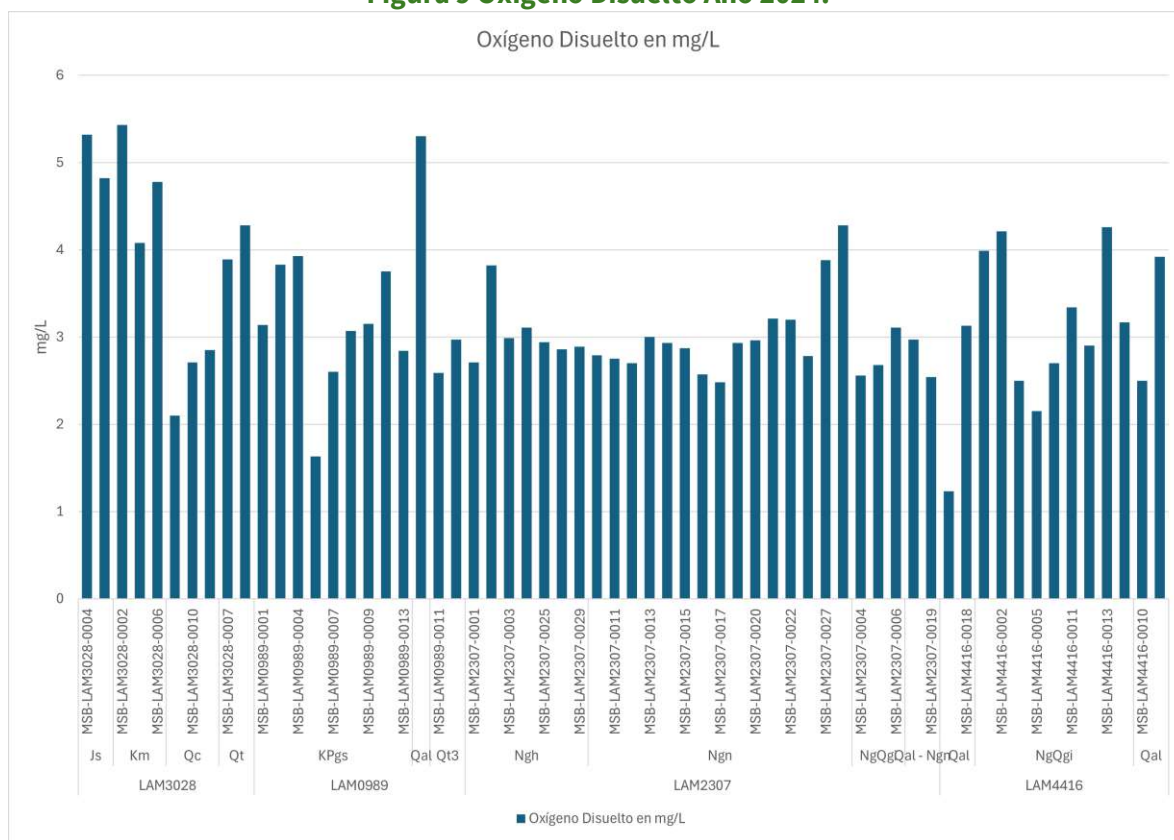
En el área de la estrategia, para los expedientes que reportan información, el pH, se encuentra entre 6 y 9 unidades, en un rango de ligeramente ácido a alcalino, con valores promedio de 8 unidades, típico de aguas subterráneas no contaminadas.

Se resalta el reporte de valores anómalos, para el expediente LAM4416 y LAM3028, en los puntos MSB-LAM4416-0018 con 9.5 unidades valor por encima del promedio regional y el punto MSB-LAM3028-0011 con 6 unidades de valor por debajo del promedio regional, por lo que requieren un análisis detallado en los seguimientos específicos, a fin de determinar la influencia de las actividades del proyecto en los datos.

### 2.2.4 Oxígeno Disuelto

En la **Figura 9**, se muestra el comportamiento del Oxígeno Disuelto en los puntos reportado para el año hidrológico.

**Figura 9 Oxígeno Disuelto Año 2024.**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

El promedio general del parámetro Oxígeno Disuelto esta entre 3 y 4 mg/L, indicando aguas con moderados aportes de materia orgánica, en general las unidades someras, asociadas a los depósitos cuaternarios, presentan mayores concentraciones de Oxígeno disuelto, asociadas a procesos de infiltración y flujos locales, mientras que las unidades profundas



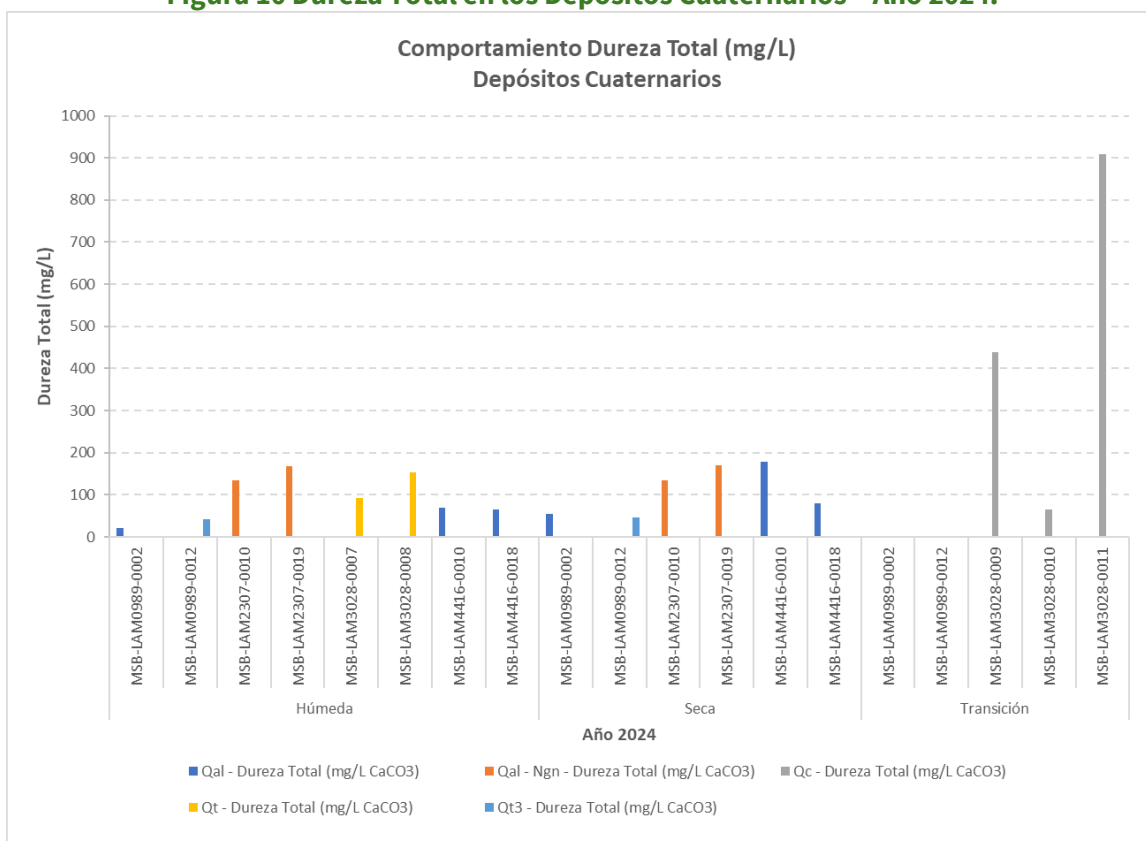


KPgs, NgQgi, presentan concentraciones menores, asociadas a flujos intermedios y mayores tiempos de residencia del agua subterránea.

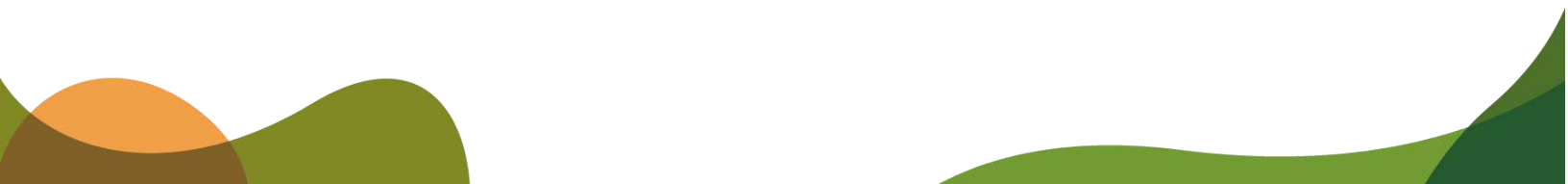
### 2.2.5 Dureza Total

Como se observa en la **Figura 10**, las concentraciones de Dureza Total en las muestras correspondientes a los Depósitos Aluviales (Qal), Terrazas Aluviales (Qt), Depósitos Aluviales - Formación Neiva (Qal-Ngn), Terrazas Pumíticas (Qt3) y Depósitos Coluviales (Qc), analizadas durante el año 2024 en las tres (3) épocas climáticas monitoreadas, en general presentan valores por debajo de 300 mg/L, límite máximo establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007, el cual corresponde a las *características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana*. Se exceptúan los puntos MSB-LAM3028-0010 (Piezómetro A-02) y MSB-LAM3028-0011 (Piezómetro A-03), los cuales reportaron valores de 439 mg/L y 908 mg/L, respectivamente, para el periodo de transición. Sin embargo, teniendo en cuenta que estos valores elevados no se presentan de manera consistente en las demás épocas climáticas monitoreadas, se interpreta que corresponden a variaciones asociadas a la dinámica estacional del sistema hidrogeológico. En este sentido, se recomienda continuar con el monitoreo de la dureza total a fin de evaluar su comportamiento temporal y confirmar si dichas concentraciones corresponden a eventos puntuales o a tendencias persistentes.

**Figura 10 Dureza Total en los Depósitos Cuaternarios – Año 2024.**



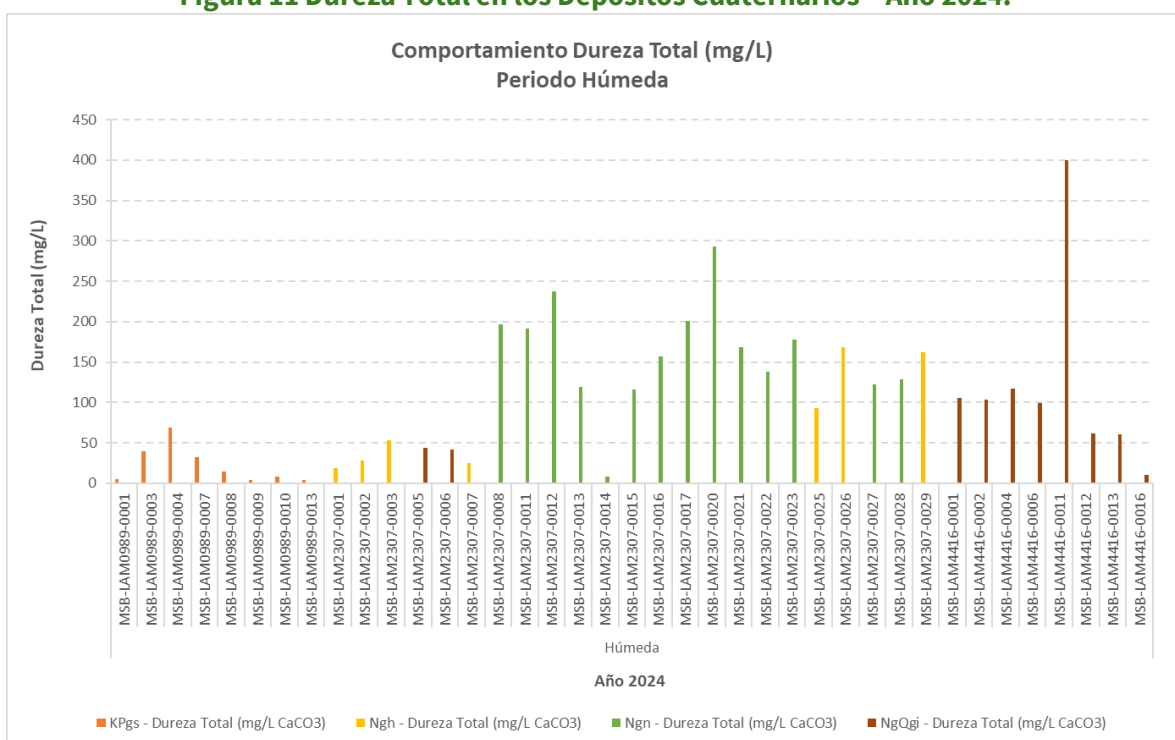
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025





En cuanto a las Formaciones Terciarias (Formaciones Seca, Honda, Gigante y Neiva) que conforman el área de monitoreo, para las tres (3) temporadas climáticas evaluadas (**Figura 11, 12 y 13**), se identificaron dos (2) muestras (MSB-LAM0989-0003 y MSB-LAM4416-0011) que captan agua subterránea de la Formación Seca (KPgs) y la Formación Gigante (NgQgi), respectivamente, durante las épocas húmeda y seca. En estos puntos, el agua se clasifica como muy dura, posiblemente debido a un mayor tiempo de residencia en el medio geológico durante dichos periodos, lo que favorece la disolución de minerales y, en consecuencia, una mayor concentración de sales en el agua. Es importante mencionar que el punto MSB-LAM0989-0003 (Piezómetro 9), durante el monitoreo realizado en el año hidrológico 2023, presentó aguas clasificadas entre moderadamente duras y muy duras.

**Figura 11 Dureza Total en los Depósitos Cuaternarios – Año 2024.**

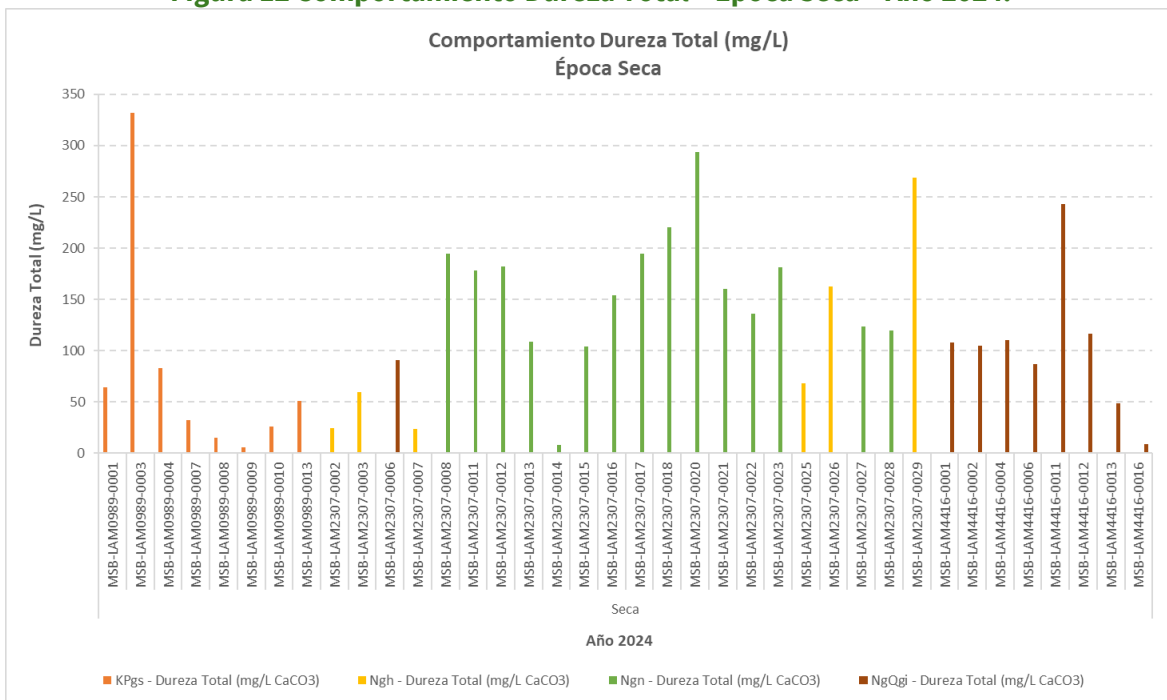


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025.



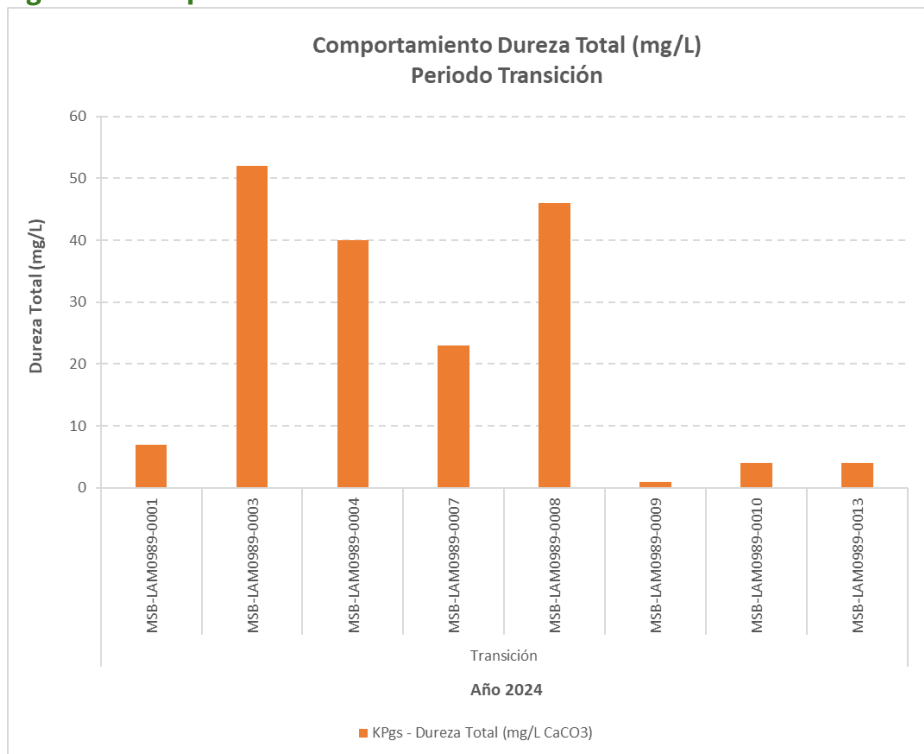


Figura 12 Comportamiento Dureza Total – Época Seca – Año 2024.



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

Figura 13 Comportamiento Dureza Total – Periodo Transición – Año 2024.



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

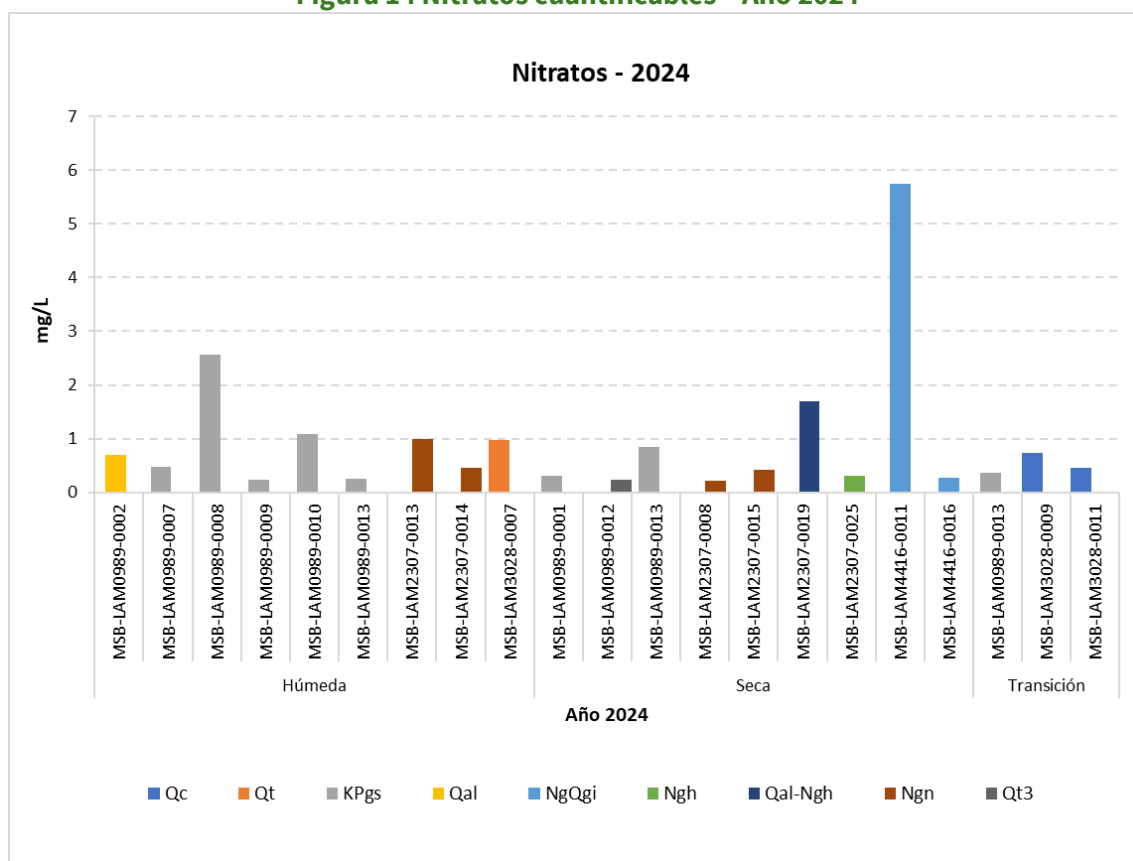




## 2.2.6 Nitratos y Nitritos

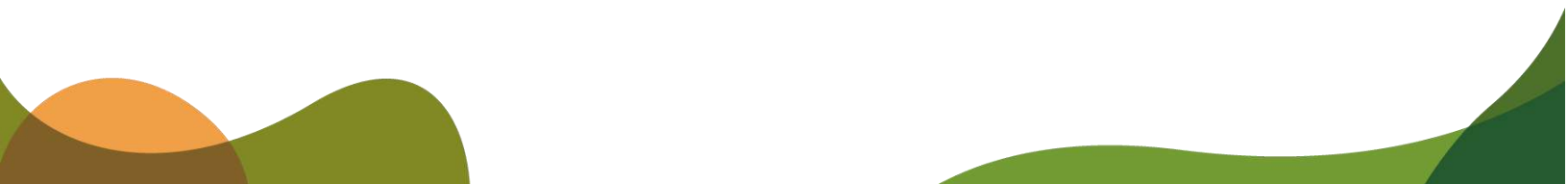
Respecto a la medición de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), el análisis evidencia que la totalidad de las muestras de agua subterránea tomadas durante el año 2024, independientemente del tipo de punto o del acuífero captado, no presentan concentraciones que sobrepasen los límites admisibles establecidos en el artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 (10 mg/L). No obstante, se identificaron 21 muestras con valores superiores al límite de cuantificación establecido por los métodos analíticos empleados por el laboratorio (<0.21 mg/L). El valor más alto registrado en el año 2024 corresponde al punto MSB-LAM4416-0011 (PT-2 Sencillo, ubicado dentro de la batería Tello T34), donde se cuantificó una concentración de nitratos de 5.75 mg/L durante la época seca (Figura 14). Sin embargo, no se evidencia un comportamiento reiterado, por lo que posiblemente se trate de una condición local y temporal.

**Figura 14 Nitratos cuantificables - Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

En relación con los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), durante el año 2024 se reportaron valores inferiores al límite de cuantificación en la totalidad de las muestras incluidas en la estrategia de monitoreo. Este comportamiento es consistente con lo observado en los monitoreos



realizados durante el año 2023. Por ende, a nivel regional, los niveles de carga orgánica son bajos y no generan alteraciones en las condiciones de calidad del agua subterránea.

Con base en lo anterior, no se evidencia la presencia apreciable de nitritos y nitratos en el agua subterránea a nivel regional; por tanto, no se identifican situaciones asociadas a las condiciones litológicas ni a la degradación de materia orgánica que influyan de manera significativa en la calidad del recurso hídrico subterráneo.

### 2.2.7 Diagramas de Piper

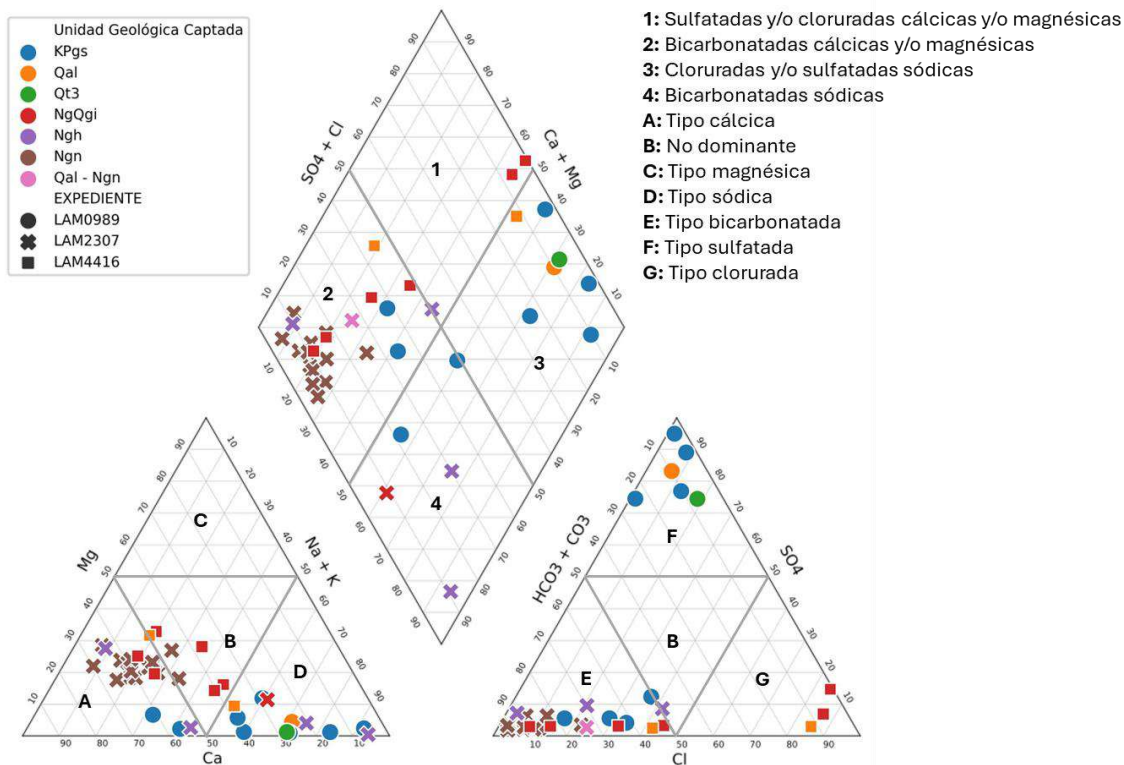
Mediante los diagramas de Piper se muestran las proporciones relativas de aniones y cationes en el agua subterránea, permitiendo identificar las facies hidroquímicas, es decir el tipo de agua de acuerdo con los iones presentes, y su evolución en el caso de contar con datos de diferentes temporadas climáticas, 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, realizadas en las diferentes temporadas climáticas establecidas en el marco de la estrategia y llevadas a cabo por las empresas de hidrocarburos en el año 2024. Las muestras de agua fueron agrupadas de acuerdo con la unidad geológica captada. Cabe aclarar que para algunos casos se tienen puntos con mezclas de agua, es decir que se abastecen de niveles acuíferos de distintas formaciones geológicas, lo que implica que la caracterización química o el tipo de agua identificado no representa un único acuífero. Las agrupaciones realizadas fueron las siguientes:

- Depósitos Aluviales (Qal)
- Depósitos Coluviales (Qc)
- Terrazas Pumíticas (Qt3)
- Formación Gigante (NgQgi)
- Formación Neiva (Ngn)
- Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn)
- Grupo Honda (Ngh)
- Formación Seca (KPgs)
- Formación Saldaña (Js)
- Formación Monserrate (Km)

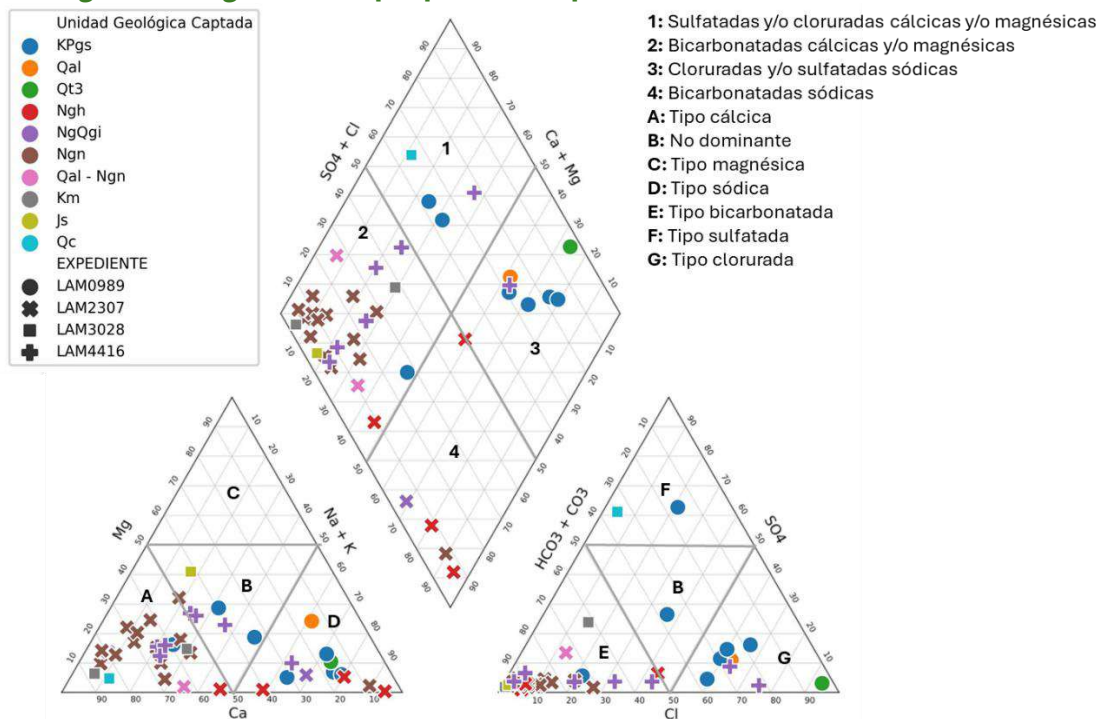
Con el fin de sintetizar el análisis, primero se muestran los diagramas de Piper por cada temporada climática (**Figura 15 a 17**), y posteriormente, en la **Tabla 5** se describen las composiciones hidrogeoquímicas predominantes del agua subterránea a partir de los monitoreos realizados en el año 2024, haciendo una discusión por cada una de las unidades geológicas analizadas y comparando los resultados con los obtenidos en los años 2022 y 2023.

**Figura 15 Diagrama de Piper para la temporada seca – Monitoreo año 2024**



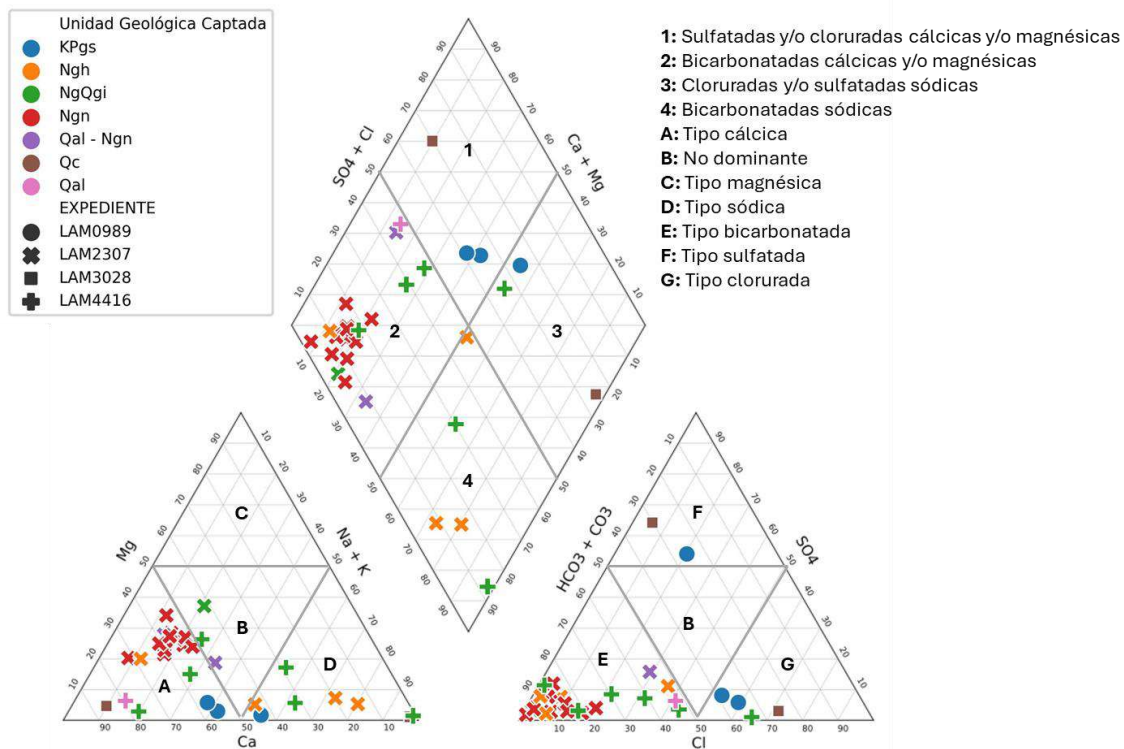
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

**Figura 16 Diagrama de Piper para la temporada húmeda – Monitoreo año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

**Figura 17 Diagrama de Piper para la temporada de transición – Monitoreo año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025



**Tabla 5. Resumen de la composición hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de la estrategia, descrita de acuerdo con la unidad geológica captada, año 2024**

Temporada	Meses	Unidad geológica captada									
		Qal	Qc	Qt3	Qal - Ngn	NgQgi	Ngn	Ngh	Js	Km	KPgs
		2024	2024	2024	2024	2024	2024	2024	2024	2024	2024
Transición	Mayo	Bicarbonatada Cálcida	Sulfatada Cálcida		Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida y Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida y Bicarbonatada sódica			Clorurada cálcica y Sulfatada sódica
Seca	Agosto	Bicarbonatada Cálcida y Clorurada sódicas		Sulfatadas sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida y Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida			Clorurada cálcica y Sulfatada sódica
Húmeda	Noviembre	Clorurada sódicas	Sulfatada Cálcida	Sulfatadas sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida y Cloruradas y/o sulfatadas sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida y Bicarbonatada sódicas	Bicarbonatada Cálcida	Bicarbonatada Cálcida	Clorurada sódica y Sulfatada sódica

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025



Una vez se analizan los diagramas de Piper para las campañas de monitoreo realizadas en el año 2024, y se comparan los resultados con las campañas de los años 2022 y 2023, se pueden establecer algunas generalidades y conclusiones respecto a la composición hidroquímica del agua subterránea en el VSM, las cuales se resumen a continuación:

- El agua subterránea de los Depósitos Aluviales (Qal) a lo largo de los años hidrológicos 2022, 2023 y 2024 no presentó una clasificación hidroquímica marcada, pues para todas las campañas de monitoreo se registraron composiciones variadas, si bien se observa un predominio de aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas, como es de esperarse en estos niveles más someros y zonas de recarga, donde los recorridos y tiempos de almacenamiento del agua subterránea son menores, también se registraron composiciones de tipo cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas.
- En cuanto a la unidad cuaternaria Terrazas Pumíticas (Qt3), se identificaron aguas de tipo sulfatadas sódicas durante las temporadas seca y húmeda del año 2024, comportamiento que también fue observado en los años 2022 y 2023. Esta recurrencia sugiere procesos de intercambio iónico o una mayor evolución hidroquímica en el sistema acuífero.
- Para el año 2024, la mezcla de aguas provenientes de los Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn) presenta una composición hidrogeoquímica de tipo bicarbonatada cálcica, comportamiento que se mantiene de manera consistente con lo observado en los años 2022 y 2023.
- Para la Formación Gigante (NgQgi), durante el análisis del año 2024 se observa una predominancia del anión bicarbonato y del catión calcio, clasificando estas aguas, desde el punto de vista hidrogeoquímico, como de tipo bicarbonatada cálcica. No obstante, se identifican algunas muestras con características de aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas, lo que sugiere la presencia de aguas más profundas o antiguas, con mayor tiempo de residencia en el acuífero.
- Durante los monitoreos realizados en el año 2024, la Formación Neiva (Ngn) presentó una predominancia de aguas de tipo bicarbonatada cálcica. No obstante, durante la época húmeda se identificó una (1) muestra de agua subterránea con características de tipo bicarbonatada sódica. Este comportamiento es consistente con lo observado en los años 2022 y 2023.
- Durante los monitoreos realizados en los años 2022 y 2023, las aguas subterráneas asociadas al Grupo Honda (Ngh) presentaron una predominancia de aguas de tipo bicarbonatada sódica. Este comportamiento se mantuvo durante los monitoreos del año 2024, en los cuales, adicionalmente, se identificaron algunas muestras con características de aguas bicarbonatadas cálcicas.
- La Formación Seca (KPgs) no presenta una tendencia claramente definida en cuanto a la clasificación y composición hidroquímica de las aguas subterráneas. Se observa una predominancia del catión sodio, mientras que el anión dominante varía entre

sulfato y cloruro. En consecuencia, la clasificación hidroquímica corresponde principalmente a aguas cloruradas cálcicas y sulfatadas sódicas, lo que indica procesos de evolución geoquímica o mineralización. Este comportamiento es consistente con lo observado durante los monitoreos de los años 2022 y 2023.

- En cuanto a la Formación Saldaña (Js), solo se realizaron monitoreos durante la época húmeda del año 2024, en los cuales se identificaron aguas de tipo bicarbonatada cálcica. Este comportamiento sugiere que esta unidad actúa como zona de recarga local o que presenta mezcla con aguas subterráneas de origen reciente.
- Para el año 2024, la Formación Monserrate (Km) solo fue monitoreada durante la época húmeda, registrándose aguas subterráneas de tipo bicarbonatada cálcica.

En conclusión, a nivel general se pueden establecer cuatro (4) aspectos principales en relación con la composición hidroquímica del agua subterránea en el área de la estrategia:

- En la mayoría de los casos, la composición hidroquímica del agua subterránea de los Depósitos Cuaternarios (Qal y Qc) 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 del agua del agua lluvia. 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 dentro del presente documento en las descripciones de cada parámetro, además de ser verificado de manera específica en los seguimientos ambientales correspondientes.
- En cuanto al agua subterránea que circula en las Terrazas Pumíticas (Qt3), esta presenta una composición de tipo sulfatada sódica, posiblemente como resultado de la disolución de minerales volcánicos presentes en el medio y de procesos de evolución hidroquímica.
- La mezcla de agua productos de los Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn) es posible evidenciar que la composición del agua subterránea está mayormente influenciada por los aportes de los niveles más someros, pues hidroquímicamente son aguas de recorridos y tiempo de almacenamiento cortos.
- La composición hidroquímica del agua subterránea en la Formación Neiva (Ngn), Saldaña (Js), Monserrate (km) y el Grupo Honda, (Ngh) permite establecer que en estas unidades prevalecen flujos subterráneos locales o de recorrido corto, asociados

a procesos de recarga incipiente. La presencia predominante de aguas bicarbonatadas cálcicas y sódicas sugiere una evolución hidroquímica limitada, aunque con indicios de procesos de intercambio iónico y mezcla en algunos sectores, lo que podría estar vinculado a condiciones locales de heterogeneidad litológica de estas unidades.

- La Formación Gigante (NgQgi) presenta, en su mayoría, aguas de tipo bicarbonatada cálcica, lo cual es característico de zonas de recarga o de tránsito corto, influenciadas por procesos de disolución de minerales carbonatados, típicos de sistemas de flujo locales o intermedios. No obstante, también se identifican muestras con un claro predominio del catión sodio, que corresponden a aguas de tipo bicarbonatada sódica. Este tipo hidroquímico refleja una mayor evolución química asociada a procesos de intercambio iónico y a tiempos de residencia más prolongados, lo que sugiere trayectorias de flujo subterráneo más largas o de tipo intermedio.

### 2.2.8 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, permiten visualizar diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, además, simultáneamente permiten dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

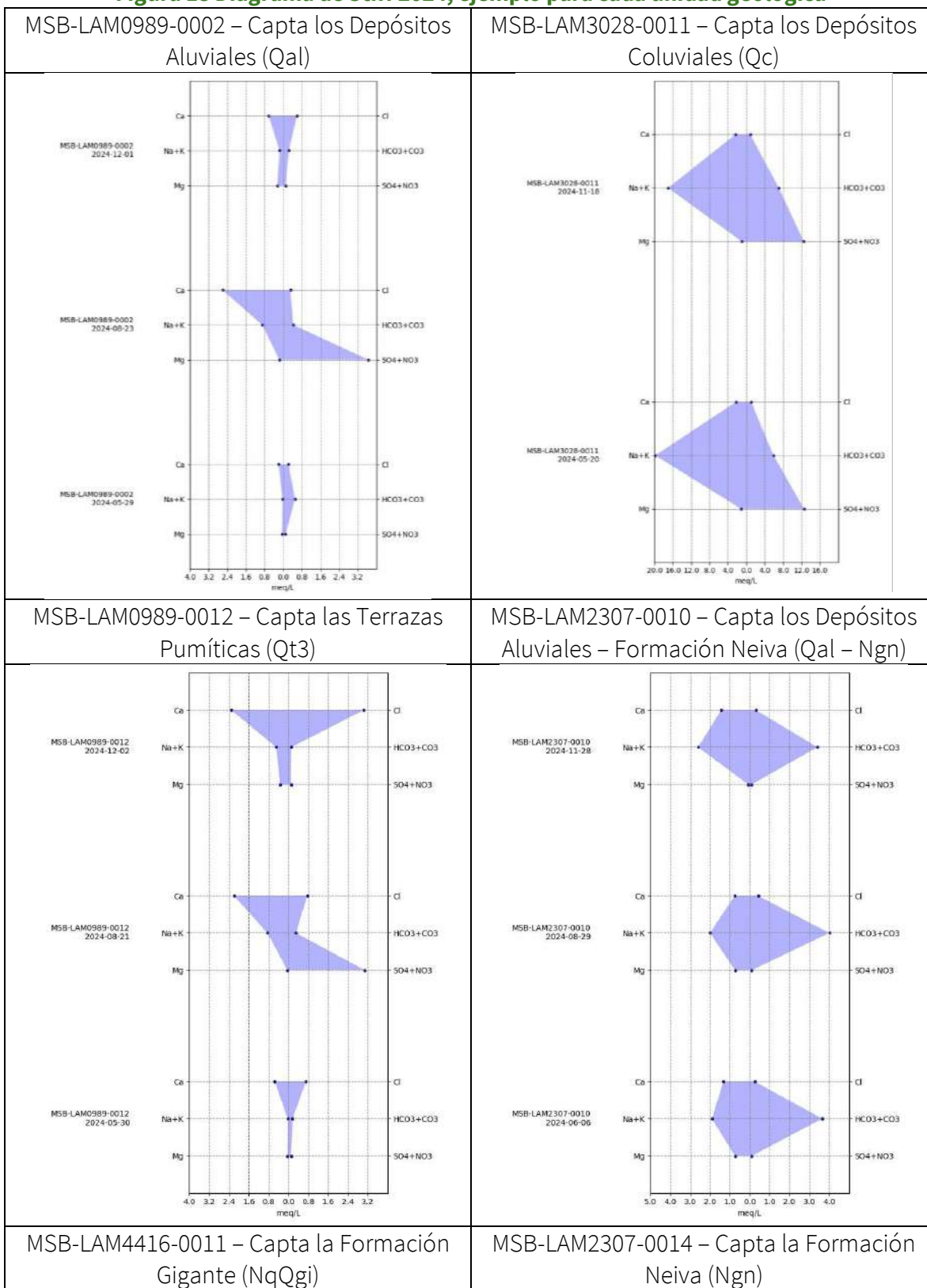
A continuación, para cada una de las unidades geológicas consideradas, se presenta el análisis de los diagramas de Stiff, los cuales fueron realizados directamente por parte del Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la ANLA.

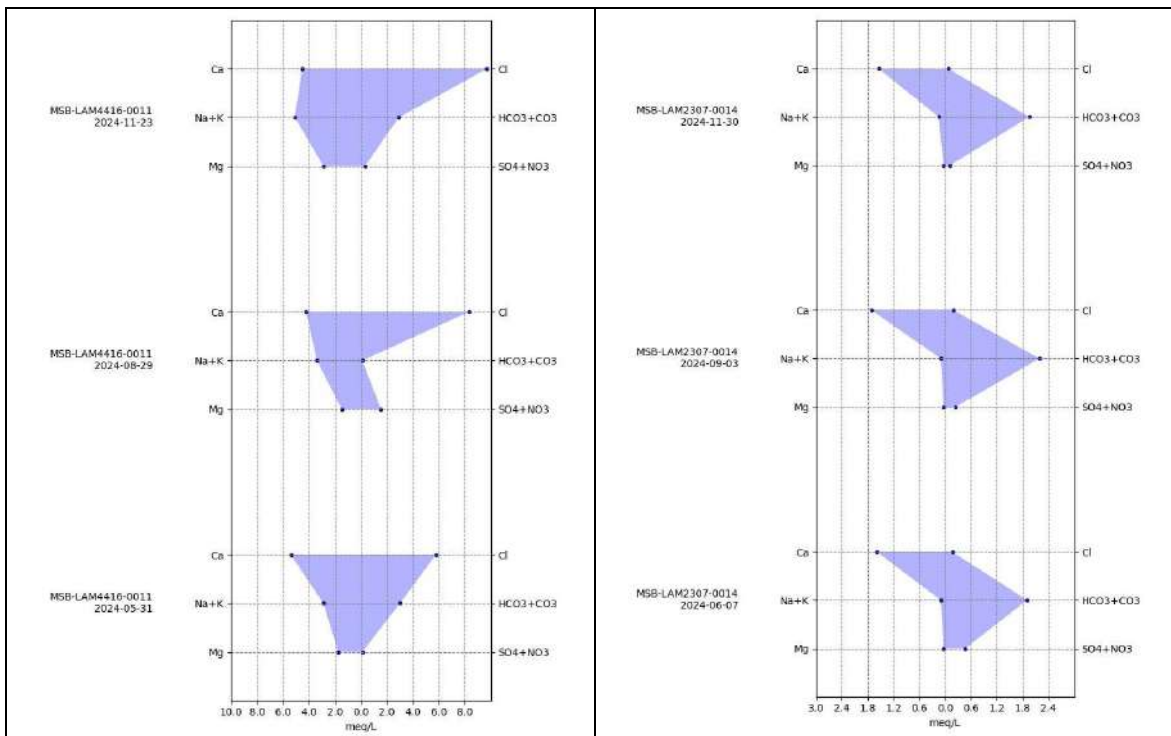
Si bien el análisis se realiza en el presente numeral, los diagramas agrupados por unidad geológica captada se encuentran en el Anexo II.

A continuación, a manera de ejemplo se incluyen diagramas de Stiff representativos de cada unidad geológica:



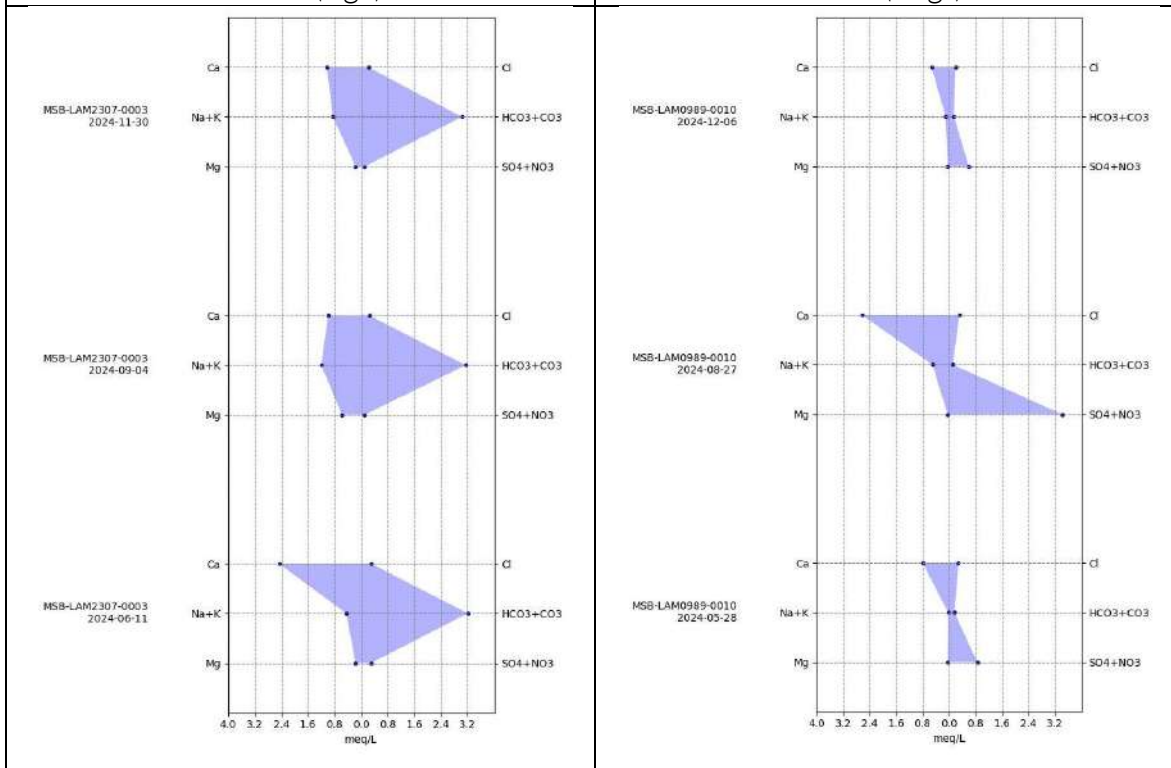
**Figura 18 Diagrama de Stiff 2024, ejemplo para cada unidad geológica**





MSB-LAM2307-0003 – Capta el Grupo Honda (Ngh)

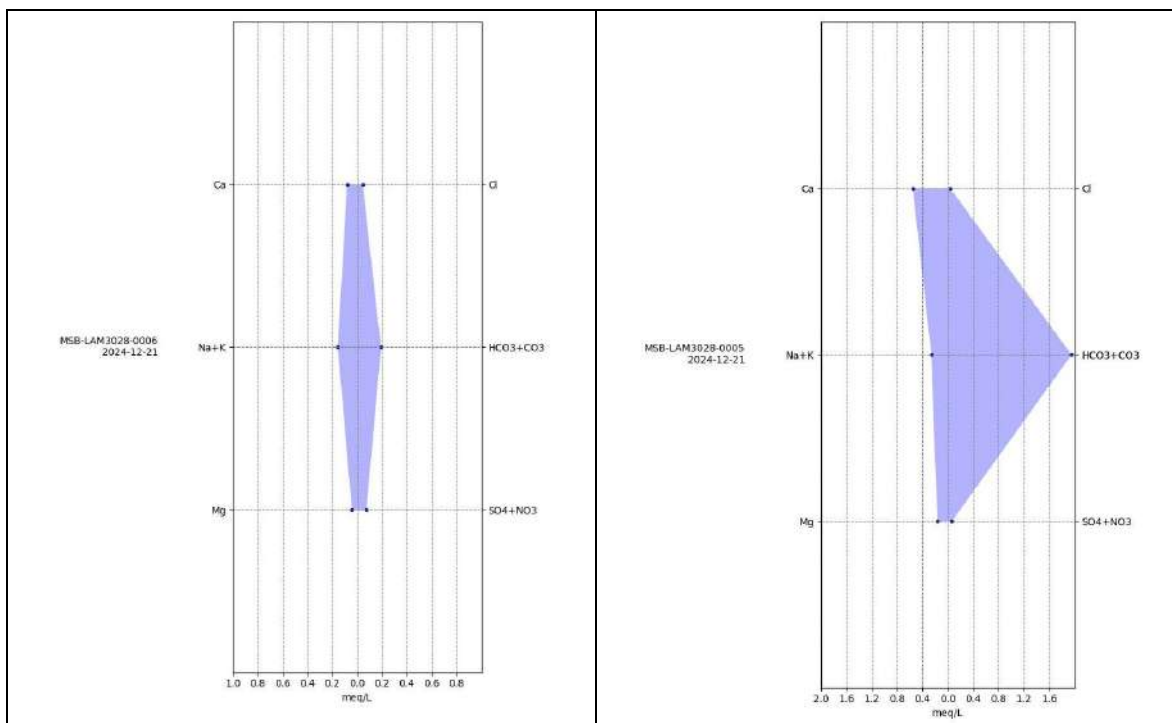
MSB-LAM0989-0010 – Capta la Formación Seca (KPGs)



MSB-LAM3028-0006 – Capta la Formación Monserrate (km)

MSB-LAM3028-0005 – Capta la Formación Saldaña (Js)





Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

### 2.2.8.1 Depósitos Aluviales (Qal)

Al igual que lo evidenciado en los diagramas de Piper, en estos depósitos se determinaron composiciones hidroquímicas variadas; sin embargo, predomina el tipo de agua bicarbonatada cálcica, especialmente durante el periodo de transición. Aunque se identifican algunas muestras con características cloruradas y sulfatadas, en la mayoría de los casos los grados de mineralización son bajos, lo cual es consistente con la naturaleza somera de estas unidades, influenciadas por infiltración directa de la precipitación, flujos subterráneos de corto recorrido y tiempos de residencia reducidos.

No obstante, tal como se observó durante los monitoreos del año 2023, para el año 2024, particularmente en la época seca, se identificaron puntos con un incremento marcado en las concentraciones de los cationes sodio y potasio, así como de los aniones sulfato y nitrato. Este comportamiento podría estar asociado a procesos de intercambio iónico, mayor tiempo de residencia subterránea o influencia de fuentes antrópicas o naturales. Durante la época húmeda se evidenció una tendencia parcial de retorno a las condiciones iniciales, aunque con una mineralización general más baja, posiblemente atribuible a procesos de dilución por recarga reciente.

### 2.2.8.2 Depósitos coluviales (Qc)

Los Depósitos coluviales (Qc) cuentan con monitoreos para la época húmeda y el periodo de transición durante el 2024. La composición hidroquímica evidencia una marcada variabilidad estacional en la composición del agua subterránea. Durante la época húmeda



(mayo de 2024), predominan aguas de tipo sódico-sulfatado o clorurado, con mayores niveles de mineralización, lo que sugiere una influencia de procesos de recarga rápida, y posiblemente aportes antrópicos. En contraste, en la época seca (noviembre de 2024), se observa una transición hacia aguas de tipo bicarbonatado cálcico, con concentraciones más bajas de solutos, lo que indica una posible dilución del sistema y un retorno parcial a condiciones hidroquímicas menos evolucionadas. Estos cambios sugieren la presencia de flujos subterráneos locales, con tiempos de residencia variables e influencia de condiciones hidroclimáticas, así como de la heterogeneidad litológica propia de los materiales coluviales.

#### *2.2.8.3 Terrazas Pumíticas (Qt3)*

La evolución hidroquímica del punto de monitoreo en las Terrazas Pumíticas (Qt3) muestra una progresiva mineralización del agua subterránea desde la época húmeda hacia la seca. En el periodo de transición, el agua presenta baja mineralización y características típicas de recarga reciente. Para la época seca, se evidencian procesos de intercambio iónico y aumento de sulfatos y nitratos, posiblemente asociados a mayor tiempo de residencia o influencia de fuentes externas. Finalmente, en época húmeda, se alcanza un perfil más clorurado-cálcico, indicativo de una mayor evolución hidroquímica. Este comportamiento es consistente con condiciones someras y heterogéneas propias de las terrazas, y con flujos locales sensibles a la estacionalidad y a la actividad superficial.

#### *2.2.8.4 Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal - Ngn)*

Los diagramas de Stiff para los puntos que captan la mezcla de aguas de la Depósito Aluviales – Formación Neiva (Qal-Ngn), evidencian una composición hidroquímica dominada por cationes calcio, sodio y magnesio, así como por aniones bicarbonato y cloruro. Estos resultados reflejan características propias de aguas subterráneas que han interactuado con materiales de distinta procedencia litológica. En ambos puntos, se observa una evolución progresiva de la mineralización a lo largo de las tres campañas de monitoreo de 2024, con una tendencia general al incremento de la concentración de los principales iones, particularmente hacia la época húmeda. Esta variación es coherente con procesos de mezcla entre aguas infiltradas desde depósitos aluviales recientes (de menor mineralización y menor tiempo de residencia) y aguas más evolucionadas provenientes de la Formación Neiva (Ngn), caracterizada por una mayor complejidad litológica y posible influencia de procesos de intercambio iónico. La presencia simultánea de características típicas de ambos tipos de unidades geológicas sugiere que los pozos captan aguas correspondientes a zonas de interacción o transición entre sistemas de flujo local (aluviales) y sistemas de mayor residencia.

#### *2.2.8.5 Formación Gigante (NgQgi)*

A partir del análisis de los diagramas de Stiff correspondientes a los años 2022, 2023 y 2024, para los puntos que monitorean las aguas subterráneas de la Formación Gigante (NgQgi), se identifican patrones hidroquímicos caracterizados por una composición dominante de tipo

bicarbonatada cálcica, con variaciones en la mezcla de cationes y aniones a lo largo del periodo evaluado.

Durante la época seca (agosto de 2024), se observa un aumento relativo en las concentraciones de cationes sodio y potasio, así como de aniones sulfatos y cloruros, lo cual puede estar relacionado con procesos de intercambio iónico, mayor tiempo de residencia y/o influencia antrópica o natural. En la época húmeda (noviembre de 2024), las muestras tienden a presentar composiciones más diluidas y concentraciones menores, coherentes con el efecto de la recarga reciente por precipitación. Estas características reflejan la influencia de flujos subterráneos locales o intermedios, en un medio litológico heterogéneo.

#### *2.2.8.6 Formación Neiva (Ngn)*

Los diagramas de Stiff correspondientes a los puntos que monitorean la Formación Neiva (Ngn) en el área de la estrategia de monitoreo regional evidencian una notable consistencia en la composición hidroquímica de las aguas subterráneas durante el año 2024. En la mayoría de los sitios evaluados predomina una facies bicarbonatada cálcica, caracterizada por una alta proporción de calcio y bicarbonato, típica de aguas frescas influenciadas principalmente por recarga de precipitación. La estabilidad observada en la forma y tamaño de los polígonos indica que el sistema acuífero mantiene condiciones hidroquímicas estables. Las ligeras variaciones detectadas son menores y responden a cambios estacionales o naturales del ciclo hidrológico, lo que sugiere una adecuada protección y un régimen de recarga sostenido en la región analizada.

#### *2.2.8.7 Grupo Honda (Ngh)*

Los diagramas de Stiff para los puntos de monitoreo asociados al Grupo Honda reflejan una notable consistencia en la composición hidroquímica a lo largo del año 2024, predominando la facies bicarbonatada cálcica, atribuible a recarga directa por precipitación. Al comparar con las concentraciones de 2023, destaca el caso del punto MSB-LAM2307-0007, que en ese año presentó concentraciones de iones muy elevadas y un alto grado de mineralización, mientras que en 2024 no se observaron estas altas concentraciones. En este contexto, se recomienda continuar con el monitoreo hidroquímico a fin de evaluar el comportamiento temporal de la unidad acuífera del Grupo Honda.

#### *2.2.8.8 Formación Seca (KPgs)*

Los diagramas de Stiff de las muestras que captan la Formación Seca (KPgs) evidencian una facies hidroquímica predominante de tipo bicarbonatada cálcica, típica de aguas subterráneas recientes asociadas a recarga meteórica. Al igual que en los monitoreos realizados durante los años 2022 y 2023, durante el periodo de transición la unidad presenta aguas subterráneas con baja mineralización. Sin embargo, durante la temporada seca se observa un aumento en el grado de mineralización en todos los puntos de monitoreo, especialmente en el punto MSB-LAM0989-0003.



Este comportamiento evidenciado en la totalidad de los puntos que monitorean la Formación Seca (KPgs) se asocia a procesos naturales de recarga y descarga del acuífero, siendo la concentración de sales un fenómeno habitual durante la temporada seca por la menor dilución y mayor residencia del agua subterránea.

#### *2.2.8.9 Formación Saldaña (Js)*

Para las aguas que conforman la Formación Saldaña (Js) la composición hidroquímica a lo largo de los años 2023 y 2024 no ha presentado variaciones, siendo de tipo bicarbonatada cálcica con bajo grado de mineralización.

#### *2.2.8.10 Formación Monserrate (km)*

La Formación Monserrate (km) cuenta con tres (3) muestras para la temporada húmeda, las cuales muestran una composición hidroquímica bicarbonatada cálcica de baja a moderada mineralización.

### **2.2.9 Diagramas de Gibbs**

Con las concentraciones medidas de los iones mayoritarios se establecieron relaciones interparamétricas que indican la proporción de los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  como indicadores de la concentración de sales en los puntos de agua monitoreados, esto, con el fin de establecer procesos geoquímicos predominantes que influyen en la calidad del agua subterránea. Para ello, se generó el diagrama de Gibbs expuesto en las **Figura 19, 20 y 21**, el cual incluye los monitoreos realizados en el año 2024, agrupando los datos de acuerdo con la unidad geológica captada y las temporadas climáticas consideradas (seca, húmeda y transición).

A partir de la interpretación de los diagramas de Gibbs, se observa a nivel general que, en las tres temporadas climáticas, independiente de la unidad geológica, presencia de los iones analizados proviene principalmente del proceso de interacción agua – roca, siendo este proceso el que prevalece en la química del agua.

Es importante indicar que no se observan cambios significativos al comparar los años analizados 2022, 2023 y 2024.

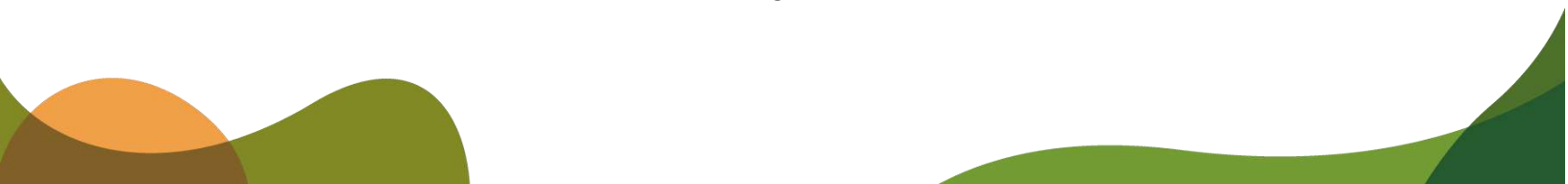
Sin embargo, si los datos son analizados de acuerdo con la unidad captada, es posible observar algunas agrupaciones que permiten deducir ciertos procesos en el comportamiento del agua subterránea dentro de cada formación geológica:

- Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc, Qt3): para el año 2024, al igual que para los años 2022 y 2023, es posible identificar dos (2) procesos ocurrentes en la dinámica del agua subterránea. En primer lugar, está el proceso de interacción agua-roca, que es el dominante, y en segundo lugar está el proceso de infiltración directa de la precipitación, con mínima influencia de evaporación y salinización.





- Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal- Ngn): la mezcla de aguas entre los depósitos aluviales (Qal) y la Formación Neiva (Ngn) genera aguas subterráneas de baja a moderada mineralización, controlada principalmente por la interacción agua-roca, con predominio de facies bicarbonatadas cálcicas y sin evidencia de procesos significativos de evaporación.
- Formación Neiva (Ngn): para los años analizados, en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es la interacción agua-roca. Los puntos que monitorean esta unidad muestran bajos a moderados valores de sólidos disueltos totales (TDS) y relaciones iónicas relativamente bajas. Este comportamiento indica que la química del agua subterránea está controlada en su mayor parte por procesos de meteorización y disolución de minerales de la matriz rocosa, típico de ambientes de recarga y limitada influencia de evaporación.
- Formación Gigante (NgQgi): para los años analizados, las muestras que captan esta formación se concentran predominantemente en la zona de dominancia de interacción agua - roca. No obstante, presentan en algunos casos una dispersión hacia valores de sólidos disueltos totales (TDS) un poco más elevados, lo que puede interpretarse como resultado de una mayor residencia del agua en el acuífero o una interacción más prolongada con materiales geológicos más solubles.
- Grupo Honda (Ngh): para los años analizados, las aguas subterráneas del Grupo Honda presentan valores similares a los observados en las Formaciones Neiva y Gigante. La mayoría de las muestras se sitúan en el campo de dominancia de interacción roca - agua en el diagrama de Gibbs, aunque en el caso del Grupo Honda se observa una mayor dispersión en los valores de sólidos disueltos totales (TDS). Esto sugiere que algunos puntos de monitoreo de esta unidad pueden experimentar una evolución hidroquímica ligeramente superior, posiblemente asociada a tiempos de residencia más prolongados o a una litología con mayor potencial de disolución de sales. Sin embargo, no se evidencia una tendencia marcada hacia los campos de evaporación o precipitación, lo que confirma la preponderancia de la disolución de minerales como proceso geoquímico dominante.
- Formación Saldaña (Js): para los años analizados, las muestras asociadas a la Formación Saldaña se agrupan de manera consistente en el campo de dominancia de interacción agua - roca en el diagrama de Gibbs, es decir, presentan valores bajos a moderados de sólidos disueltos totales (TDS) y relaciones iónicas bajas. Esto indica que la composición química de las aguas subterráneas está principalmente controlada por la disolución de minerales presentes en la matriz rocosa, sin influencia significativa de evaporación ni de salinización.
- Formación Seca (KPgs): Para el año 2024, las aguas subterráneas de la Formación Seca se caracterizan principalmente por una composición controlada por la interacción agua-roca, con predominio de facies bicarbonatada cálcica y baja a moderada mineralización. Sin embargo, existe evidencia de mayor sensibilidad a la





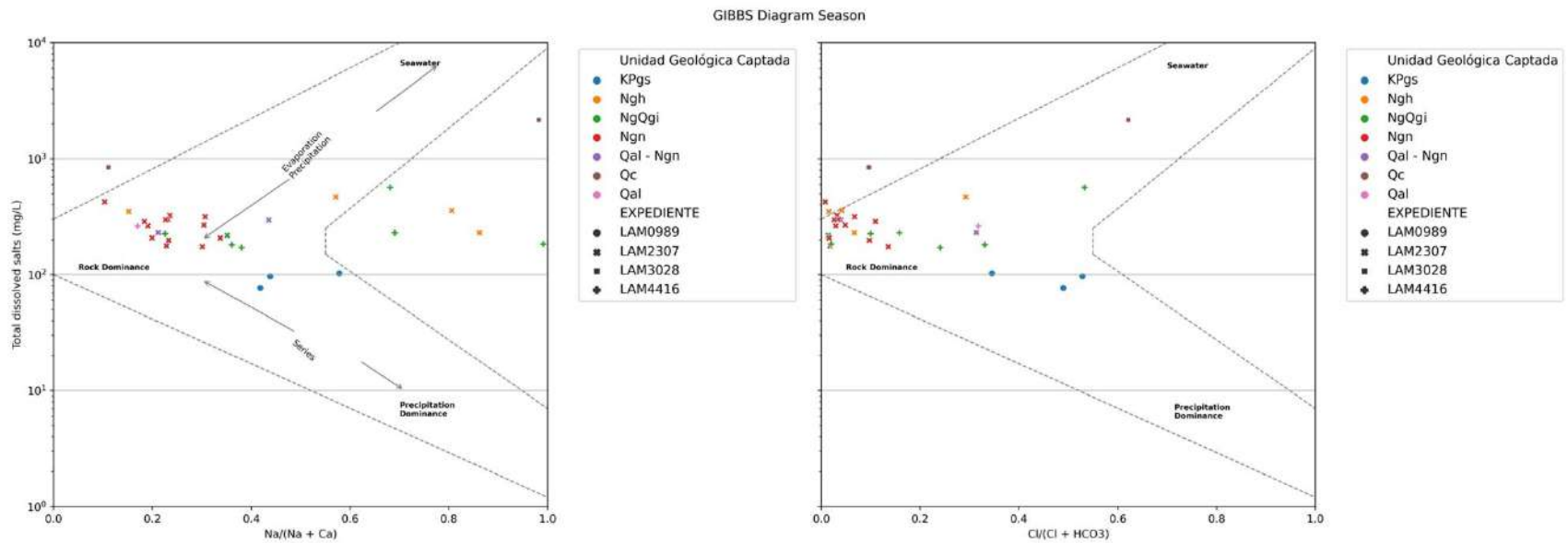
concentración de sales durante la temporada seca, lo que puede llevar puntualmente a incrementos de TDS y acercamientos al dominio de evaporación.

- Formación Monserrate (km): Para el año 2024, Las muestras de agua subterránea atribuibles a la Formación Monserrate (Km) se agrupan principalmente en el campo de dominancia de la interacción agua - roca dentro del diagrama de Gibbs. Esto evidencia que el principal proceso que controla la composición hidroquímica es la disolución y meteorización de minerales presentes en la roca matriz.





Figura 19 Diagrama de Gibbs campaña transición – Monitoreo año 2024

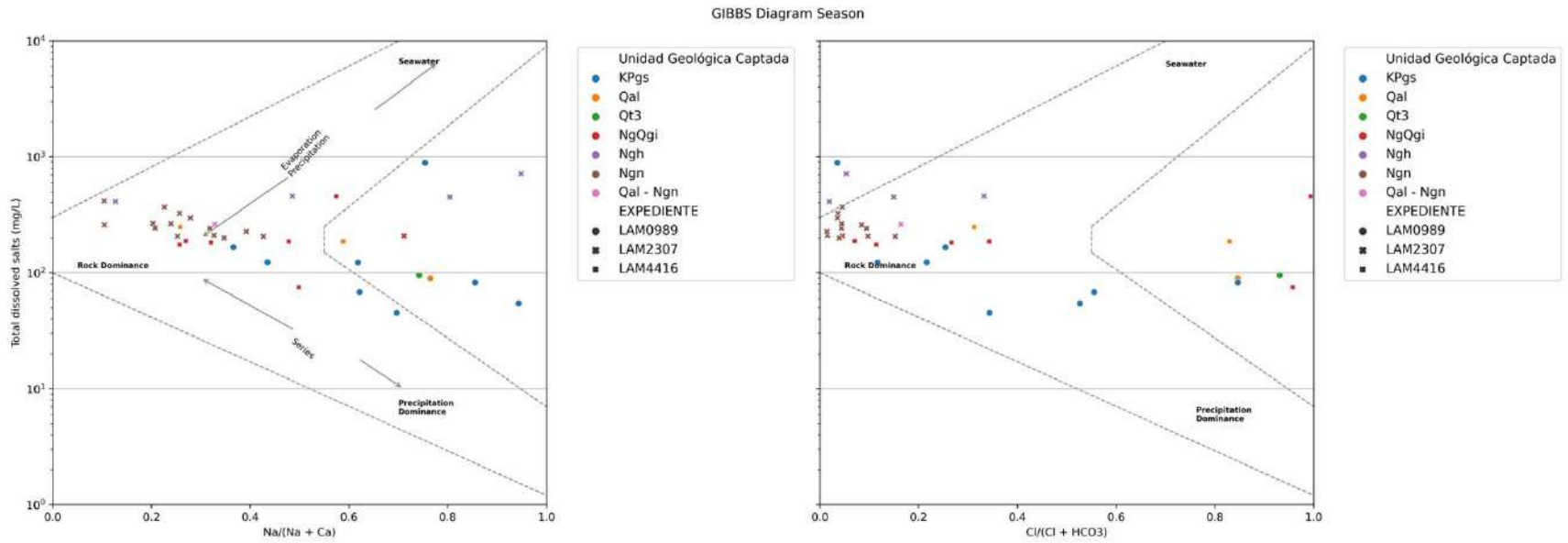


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025





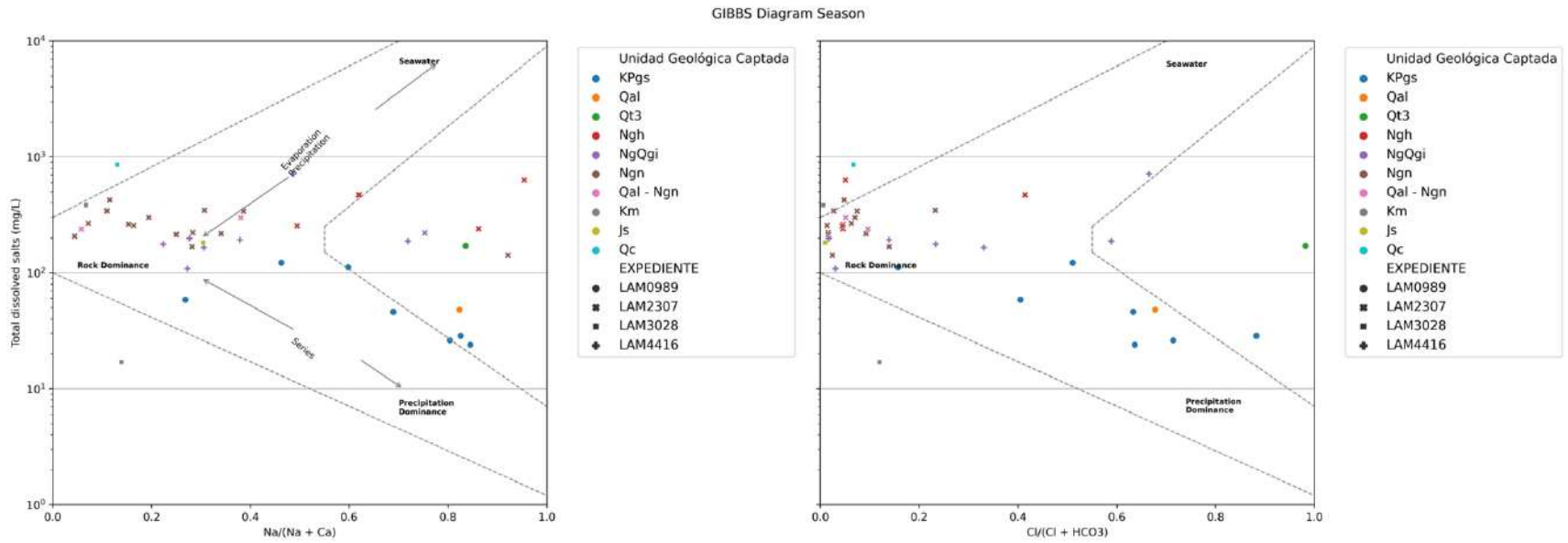
**Figura 20 Diagrama de Gibbs campaña seca – Monitoreo año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025



**Figura 21 Diagrama de Gibbs campaña húmeda – Monitoreo año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

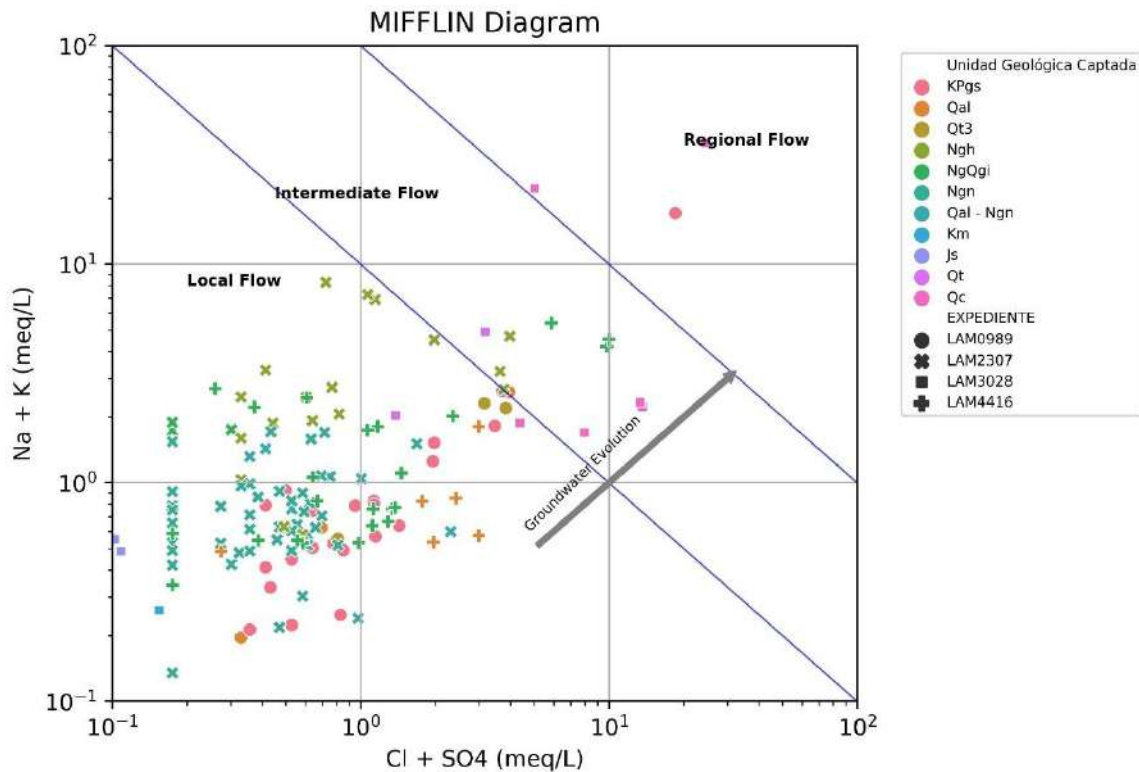
### 2.2.10 Diagramas de Mifflin

Este diagrama proporciona información sobre la evolución del agua subterránea con base a la creciente concentración de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  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 descarga.

En el presente informe se presenta el diagrama de Mifflin correspondiente a los monitoreos realizados en el año 2024, en el cual los datos son agrupados de acuerdo con la unidad geológica captada y las temporadas climáticas consideradas (transición, seca y húmeda), tal como se observa en la **Figura 22**.

Posteriormente, se realiza un análisis para cada una de las unidades geológicas consideradas, haciendo además la comparación con los comportamientos evidenciados para los años 2022 y 2023.

**Figura 22 Diagrama de Mifflin – Monitoreos año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

- **Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc y Qt3):** Para el año 2024, al igual que en los años 2022 y 2023, los puntos de agua subterránea localizados sobre los Depósitos Cuaternarios captan en su mayoría flujos locales en las tres temporadas climáticas, producto de la recarga directa por infiltración de la precipitación. Sin embargo, varios puntos



evidencian flujos intermedios e incluso regionales, siendo estos últimos principalmente asociados a los Depósitos Coluviales (Qc), donde se identificó puntualmente un aumento en la concentración de algunos iones como cloruros, nitratos y metales. Este comportamiento también fue corroborado mediante los diagramas de Piper y Stiff. En este sentido, se recomienda continuar con el monitoreo hidroquímico con el fin de evaluar la evolución temporal de los patrones de flujo, caracterizar el comportamiento hidrogeoquímico de las unidades acuíferas y determinar si los incrementos observados corresponden a variaciones puntuales asociadas a condiciones hidrológicas específicas o a cambios persistentes en el sistema.

- **Depósitos Aluviales – Formación Neiva (Qal – Ngn):** En esta mezcla de aguas, para los años analizados, la mayoría de los puntos se posiciona predominantemente en la zona de flujo local, caracterizándose por bajas concentraciones de iones. Sin embargo, durante la temporada seca, las muestras presentan una mayor dispersión hacia la zona de flujo intermedio. Esto evidencia que la recarga por precipitación es el factor clave en la dinámica del agua subterránea, presentando una tendencia estacional hacia una mayor mineralización en épocas secas.
- **Formación Seca (KPgs):** Las muestras de esta unidad se ubican principalmente en la zona de flujo local y, en menor medida, en la de flujo intermedio, predominando aguas frescas y de baja mineralización. Sin embargo, durante la temporada seca se observa una mayor dispersión de los puntos hacia las zonas de flujo intermedio e incluso regional. Este comportamiento coincide con el incremento de la mineralización en dicho periodo, especialmente en el punto MSB-LAM0989-0003, y refleja probablemente la concentración de sales asociada a una menor recarga y un mayor tiempo de tránsito subterráneo.
- **Formación Neiva (Ngn), Formación Gigante (NgQgi) y Grupo Honda (Ngh):** Durante los años analizados, los puntos que monitorean estas unidades se ubican en la temporada húmeda principalmente en las zonas de flujo local e intermedio, presentando aguas de baja a moderada mineralización y dominadas por la recarga de precipitación. Sin embargo, en la temporada seca se observa un desplazamiento de las muestras hacia la zona de flujo intermedio, lo que refleja una evolución hidroquímica asociada a un mayor tiempo de residencia y a una interacción más prolongada con el sustrato rocoso.
- **Formación Saldaña (Js) y Formación Monserrate (Km):** Estas unidades se monitorean únicamente durante la temporada húmeda, periodo en el cual las muestras se ubican en la zona de flujo local. Esto indica la presencia de aguas jóvenes, poco mineralizadas y principalmente influenciadas por la recarga directa a partir de la precipitación.





### 2.2.11 Metales y metaloides

En las tres (3) temporadas monitoreadas, los metales arsénicos, bario, berilo, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, litio, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio y vanadio no presentaron concentraciones superiores al Límite de Cuantificación del Método (LCM).

Respecto a los metales y metaloides de aluminio, hierro, manganeso y zinc, sí se detectaron concentraciones cuantificables, que serán descritos a continuación. Es importante mencionar que, aunque en la actualidad no hay una norma de calidad del agua subterránea, 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 al Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007, debido a que estos usos están autorizados en varios de los puntos de agua monitoreados; así mismo, teniendo de presente el Artículo 49 del Decreto 1594 de 1984: *“En los sitios en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso, corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia”*.

#### 2.2.11.1 Aluminio

Este metal fue identificado con concentraciones superiores a las establecidas en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 —características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana— en 27 puntos que integran la estrategia de monitoreo (**Figura 23**), correspondientes a los proyectos Campo de Producción Yaguará (expediente LAM0989), Área de Producción Huila Norte (expediente LAM2307) y Campo La Hocha (expediente LAM3028). Se destaca que, en los puntos MSB-LAM0989-0002 y MSB-LAM0989-0004, la presencia de aluminio se ha registrado de manera constante desde el año 2023. Por esta razón, esta Autoridad, en el marco del seguimiento ambiental, realizó el requerimiento de información sobre las posibles fuentes mediante el Numeral 9 del Artículo Tercero del Auto 11667 del 2 de diciembre de 2024; no obstante, a la fecha de corte documental del presente informe, no se ha recibido respuesta por parte de la Sociedad.

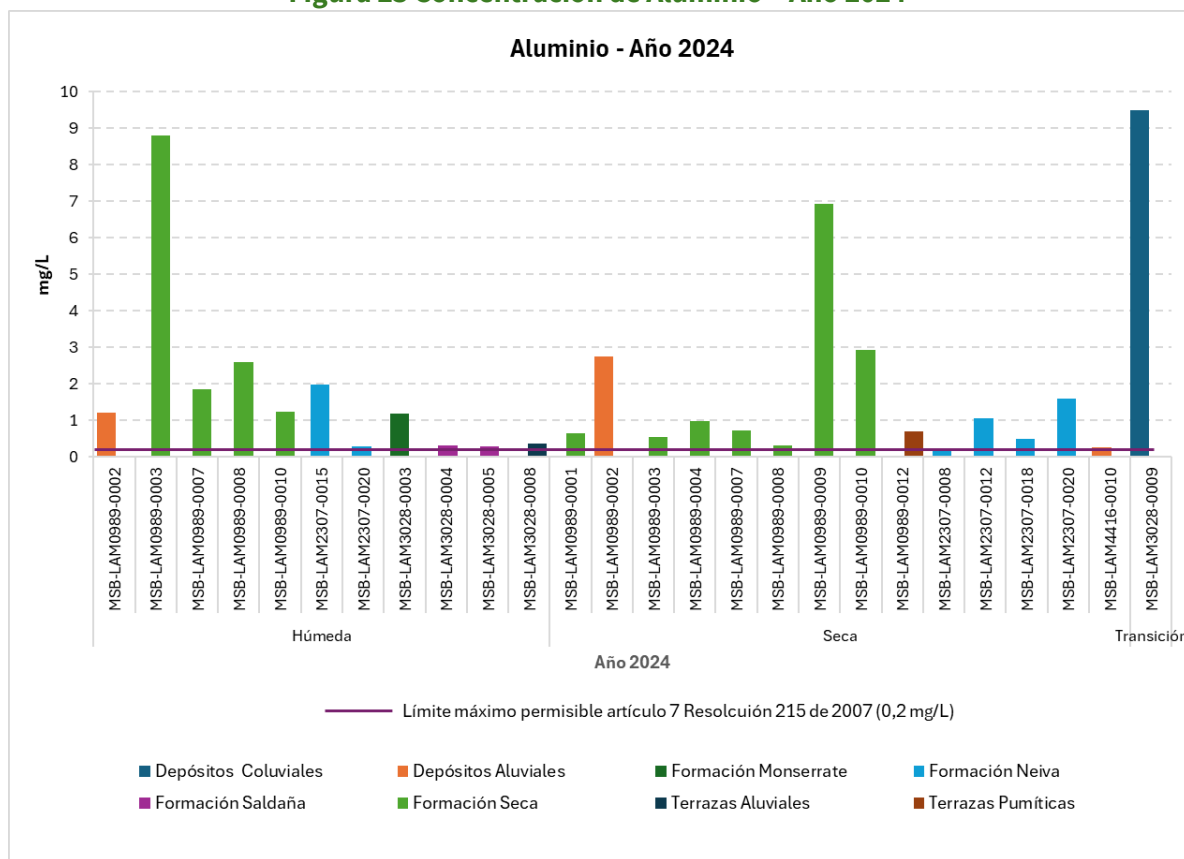
Asimismo, se resalta que la Formación Seca (KPgs) es la unidad geológica con el mayor número de puntos que presentan concentraciones por encima del límite permisible, comportamiento que persiste a lo largo de las tres temporadas de monitoreo. En contraste, los Depósitos Coluviales (Qc) presentaron una concentración aproximada de 9 mg/L únicamente durante la época de transición, en el punto MSB-LAM3028-0009.

En comparación con las concentraciones reportadas para este metal durante el monitoreo del año 2023, se evidencia un aumento en el número de puntos de monitoreo que presentan concentraciones superiores al valor máximo permisible establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 (0,2 mg/L). En el año 2023, se identificaron cuatro (4) puntos de muestreo con concentraciones que excedían dicho límite, correspondientes a los proyectos con expedientes LAM0989 y LAM2307. Para el año 2024, se reportaron un total de 27 puntos con concentraciones por encima del límite normativo, distribuidos en los cuatro (4)



proyectos que conforman la estrategia de monitoreo, durante las tres temporadas climáticas evaluadas.

**Figura 23 Concentración de Aluminio – Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

Finalmente, en el análisis de las concentraciones de aluminio correspondiente al año 2023, se incluyó como recomendación “*identificar mediante nuevos monitoreos si el valor reportado en el punto MSB-LAM0989-0011 representa las condiciones reales de concentración del metal en la zona o se debe a un error de medición*”. Una vez revisadas las concentraciones reportadas para este metal en la totalidad de los puntos monitoreados, se observa que dicho punto no presenta valores superiores al límite máximo permisible (0,2 mg/L) durante las tres temporadas de monitoreo realizadas en el año 2024. Por lo tanto, es posible que la concentración reportada en 2023 haya correspondido a un error de medición.

Con base en lo anterior, resulta fundamental dar continuidad al monitoreo de este metal en la totalidad de los puntos que integran la estrategia, con el fin de identificar la tendencia de sus concentraciones en el agua subterránea. Este seguimiento también permitirá determinar con mayor certeza si la presencia de aluminio responde a condiciones naturales del medio geológico o si está asociada a procesos químicos derivados de factores externos.



### 2.2.11.2 Hierro

Para el área de estudio se identificaron 45 puntos de agua subterránea con presencia de hierro en concentraciones superiores al límite de cuantificación (LCM), distribuidos en las diferentes unidades geológicas analizadas, tal como se observa en la **Tabla 6**.

**Tabla 6. Cantidad de puntos de agua subterránea con concentraciones de hierro superiores al LCM por unidad geológica.**

Unidad Geológica	No. de puntos
Depósitos Aluviales (Qal)	3
Depósitos Coluviales (Qc)	3
Formación Gigante (NgQgi)	9
Formación Monserrate (Km)	1
Formación Neiva (Ngn)	13
Formación Saldaña	2
Formación Seca	8
Grupo Honda (Ngh)	3
Terrazas Aluviales	2
Terrazas Pumíticas	1
<b>Total general</b>	<b>45</b>

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

Para estos puntos, se identificaron 85 mediciones con valores superiores al límite de cuantificación (LCM), distribuidas a lo largo de las tres temporadas climáticas del año 2024. Los valores más elevados se asociaron a los Depósitos Coluviales y en las Formaciones Saldaña, Seca y Neiva. En la mayoría de las captaciones evaluadas, la presencia de este metal fue recurrente en dos o más campañas de monitoreo realizadas tanto en 2023 como en 2024.

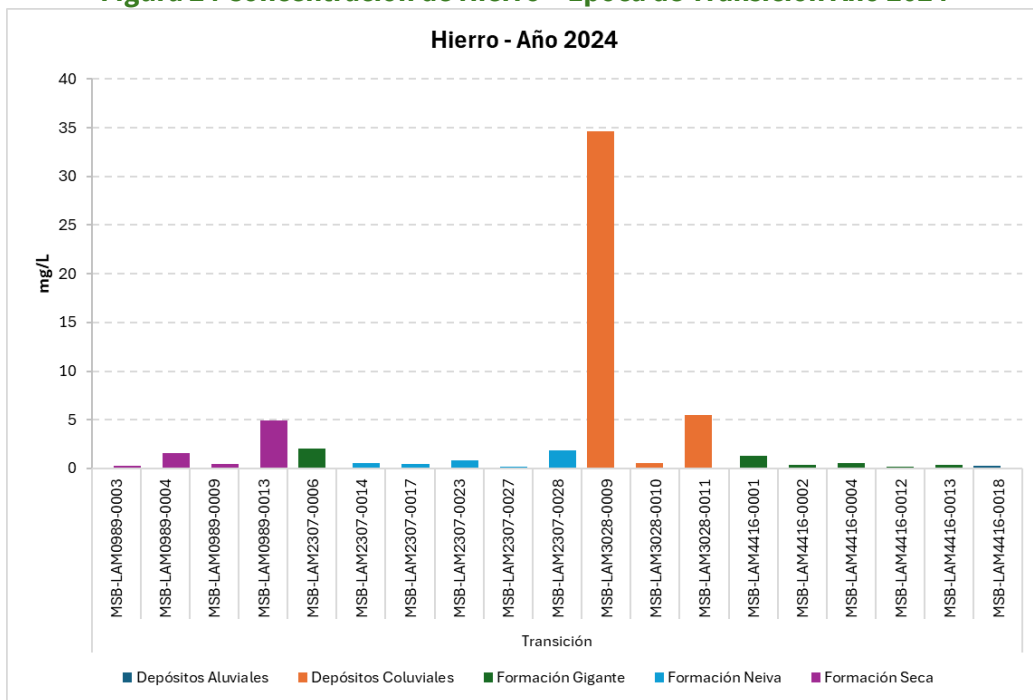
De acuerdo con las figuras siguientes, al comparar los resultados con el límite establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 (0,3 mg/L), correspondiente a “*características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana*”, se observa que, de las 144 mediciones realizadas, 68 presentan concentraciones superiores a dicho valor.

Adicionalmente, se corrobora lo identificado en el monitoreo del año 2023, al evidenciarse una tendencia al aumento en las concentraciones de hierro durante la temporada húmeda (noviembre), seguida por la temporada seca (agosto) (ver **Tabla 7**).



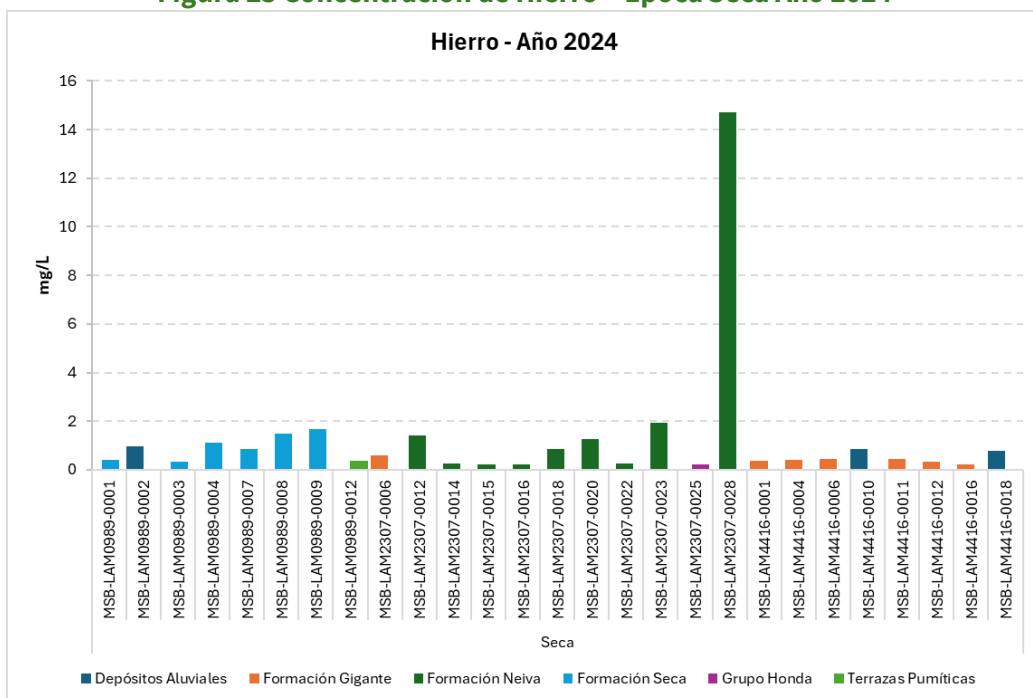


**Figura 24 Concentración de Hierro – Época de Transición Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

**Figura 25 Concentración de Hierro – Época Seca Año 2024**

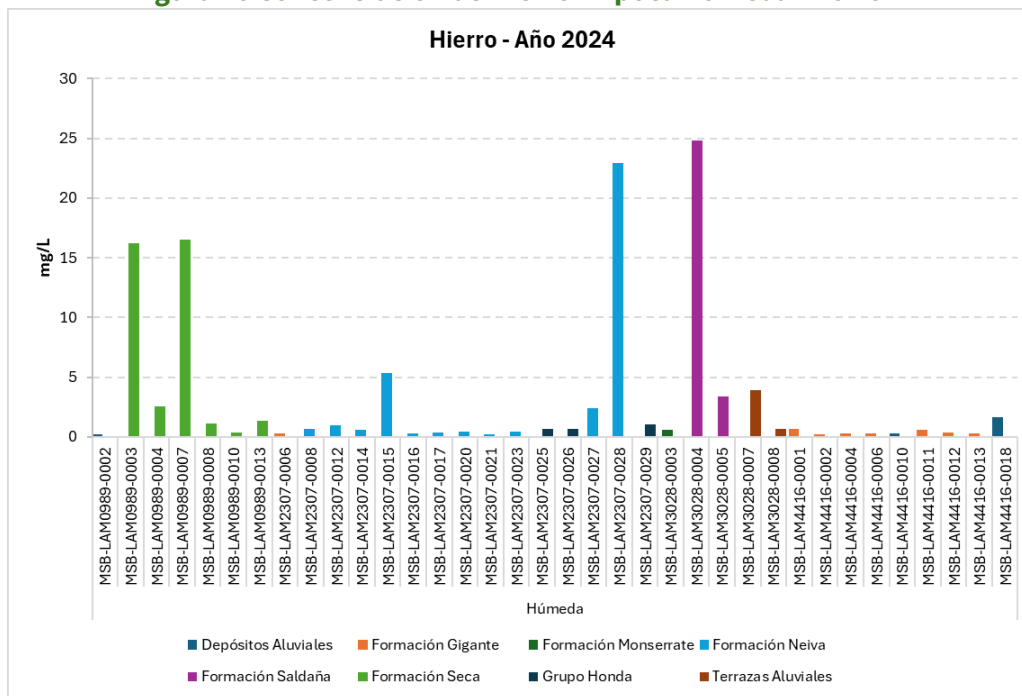


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025





**Figura 26 Concentración de Hierro – Época Húmeda Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

**Tabla 7. Numero de monitoreos de hierro para cada época climática comparados con los valores que se encuentran por encima del máximo permisible de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007**

Época climática	Número de monitoreos	Monitoreos mayores al límite permisible	% de monitoreos mayores al límite permisible
Húmeda	52	29	55,77
Seca	44	21	47,73
Transición	48	18	37,50
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>68</b>	<b>47,22.</b>

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

El comportamiento descrito puede obedecer directamente al régimen de lluvias de la zona, que favorece los procesos de infiltración, y a su vez, el arrastre de este metal al agua subterránea que puede estar asociado a la composición de las unidades geológicas. Sin embargo, se considera relevante analizar las concentraciones elevadas de hierro con el comportamiento histórico del parámetro, para confirmar si se trata de una condición natural del acuífero relacionado con la litología de las formaciones geológicas y las condiciones particulares de la zona o está directamente influenciado por actividades antrópicas.





### 2.2.11.3 Manganeseo

Este metal presenta concentraciones cuantificables en 16 muestras de agua, distribuidas en los Depósitos Aluviales (Qal), Terrazas Pumíticas (Qt3) y las Formaciones Gigante (NgQgi) y Seca (KPgs) (ver **Figura 27**). En su mayoría, el contenido de manganeseo excede el valor máximo admisible establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007, en más de una campaña de monitoreo desde años anteriores.

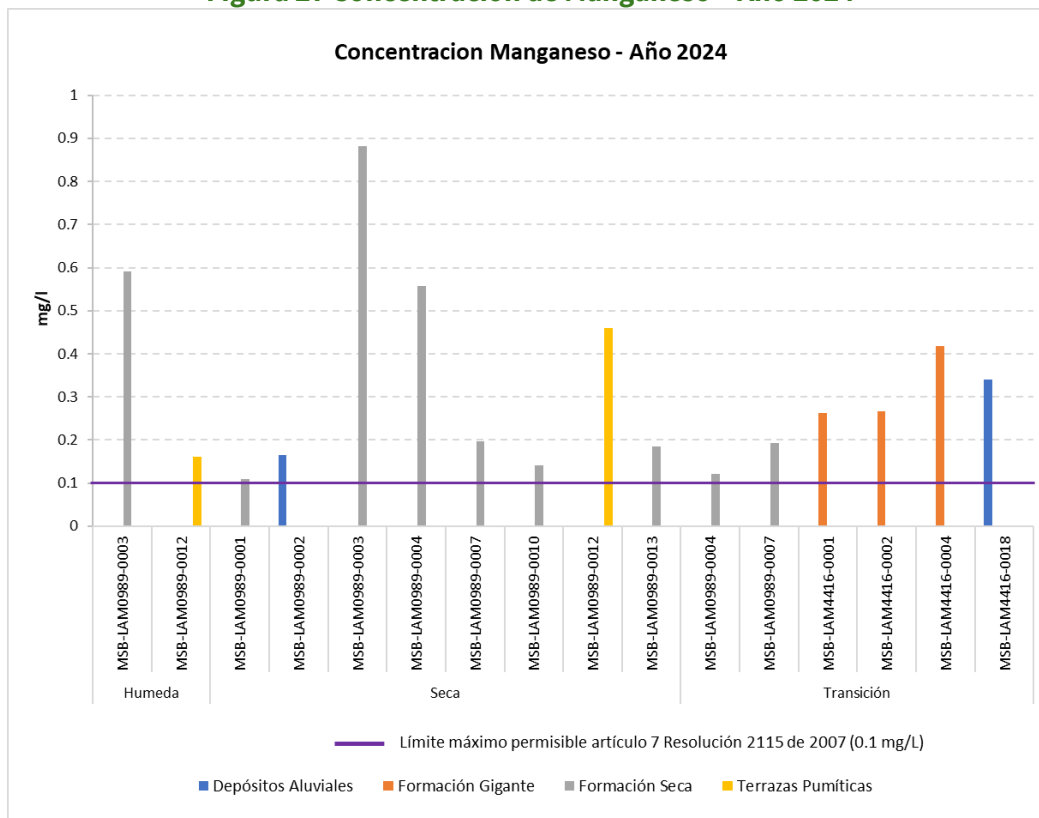
Por esta razón, esta Autoridad, en el marco del seguimiento ambiental, solicitó información al expediente LAM4416, sobre las posibles fuentes de contaminación mediante el Numeral 9 del Artículo Tercero del Auto 11667 del 2 de diciembre de 2024. No obstante, a la fecha de corte documental del presente informe, no se ha recibido respuesta por parte de la Sociedad.

Durante el análisis realizado en el año 2023, se identificó que el piezómetro MSB-LAM0989-0004 presentó una concentración de manganeseo considerablemente superior al límite permisible en la temporada seca (3 mg/L). Para el año 2024, en este mismo punto se registraron concentraciones entre 0,56 mg/L y 0,12 mg/L durante las temporadas seca y de transición, respectivamente, evidenciando una disminución significativa en este parámetro.

Si bien este comportamiento parece ser parte de la condición natural del área, es necesario continuar realizando la medición de las concentraciones de este parámetro en el marco de esta estrategia para identificar la proveniencia de este. Así mismo, de acuerdo con este hallazgo, sumado a los valores anómalos encontrados para los metales hierro y aluminio, es necesario realizar tratamiento de esta agua si se pretende usar para consumo humano.



**Figura 27 Concentración de Manganeso – Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

#### 2.2.11.4 Zinc

En cuanto al zinc, durante el año 2024 se reportaron concentraciones cuantificables en 19 muestras de agua subterránea, registrándose valores entre 0,2 mg/L y 0,6 mg/L; por lo tanto, en ningún caso se excede el valor máximo de 15 mg/L establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

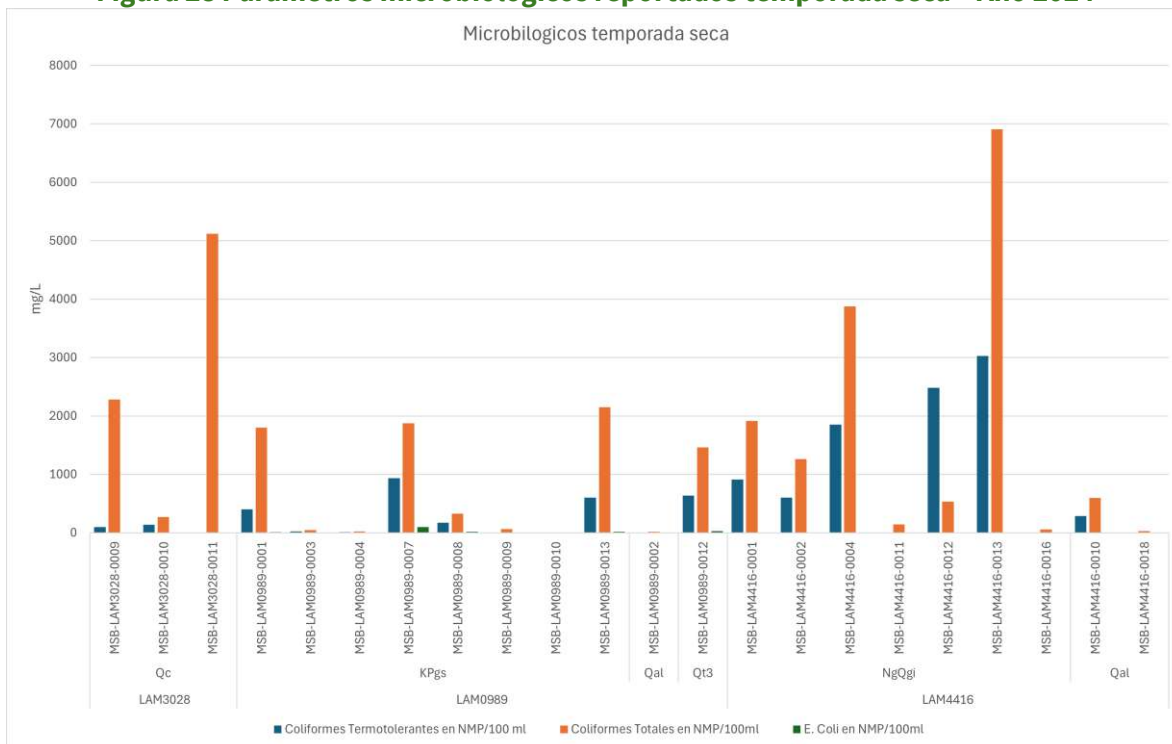
Con base en lo anterior, se puede concluir que, a lo largo de los monitoreos realizados en los años 2002, 2023 y 2024, este parámetro no ha excedido el límite permitido en ninguno de los puntos de monitoreo.

#### 2.2.12 Parámetros microbiológicos

En las siguientes figuras, se muestra el análisis de los parámetros microbiológicos en las temporadas climáticas a lo largo del año hidrológico.



**Figura 28 Parámetros microbiológicos reportados temporada seca – Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

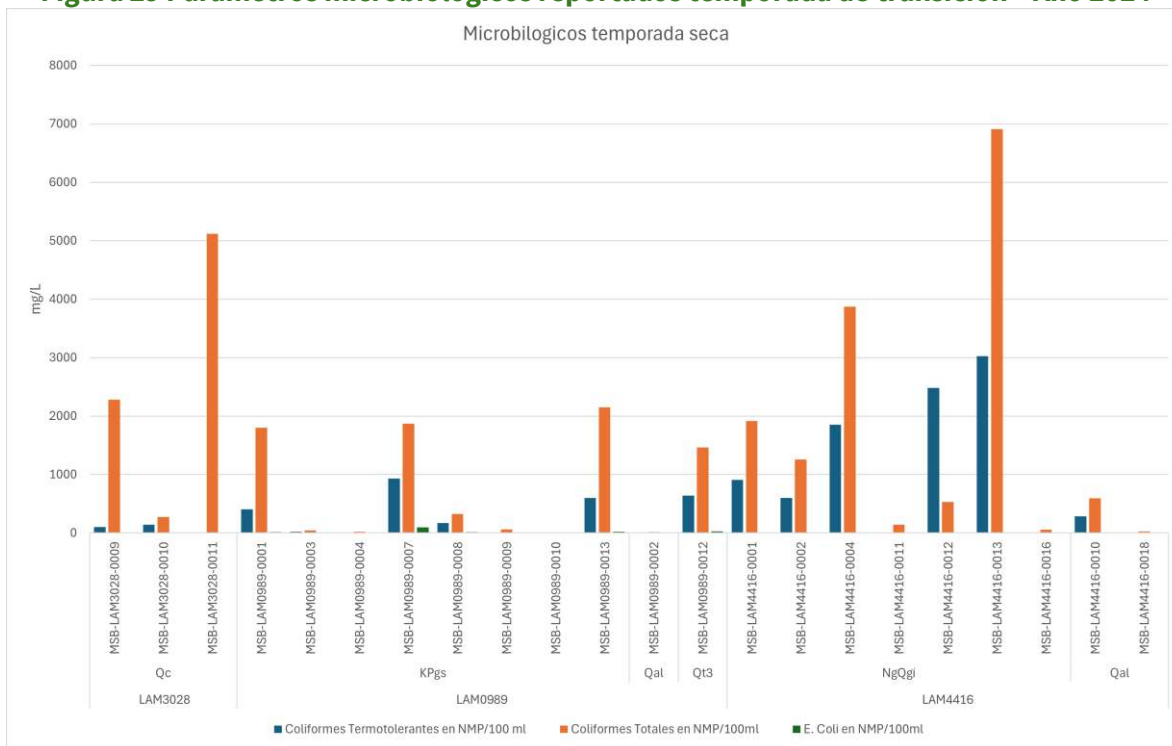
Conforme se observa en la gráfica anterior y de acuerdo con los límites establecidos en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, en el cual se establecen los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico; para el caso de los coliformes totales el límite es 20.000 microorganismos/100 ml y para los coliformes termo tolerantes (fecales) es de 2.000 microorganismos/100 ml, para la bacteria E.Coli no se establece límite según esta normativa.

En los puntos monitoreados para la temporada seca, no se presentan concentraciones que superen el límite normativo, no obstante, se observa un aumento en las concentraciones en el expediente LAM4416, datos que deben seguir siendo analizados con el fin de verificar que no aumenten.





Figura 29 Parámetros microbiológicos reportados temporada de transición – Año 2024



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025

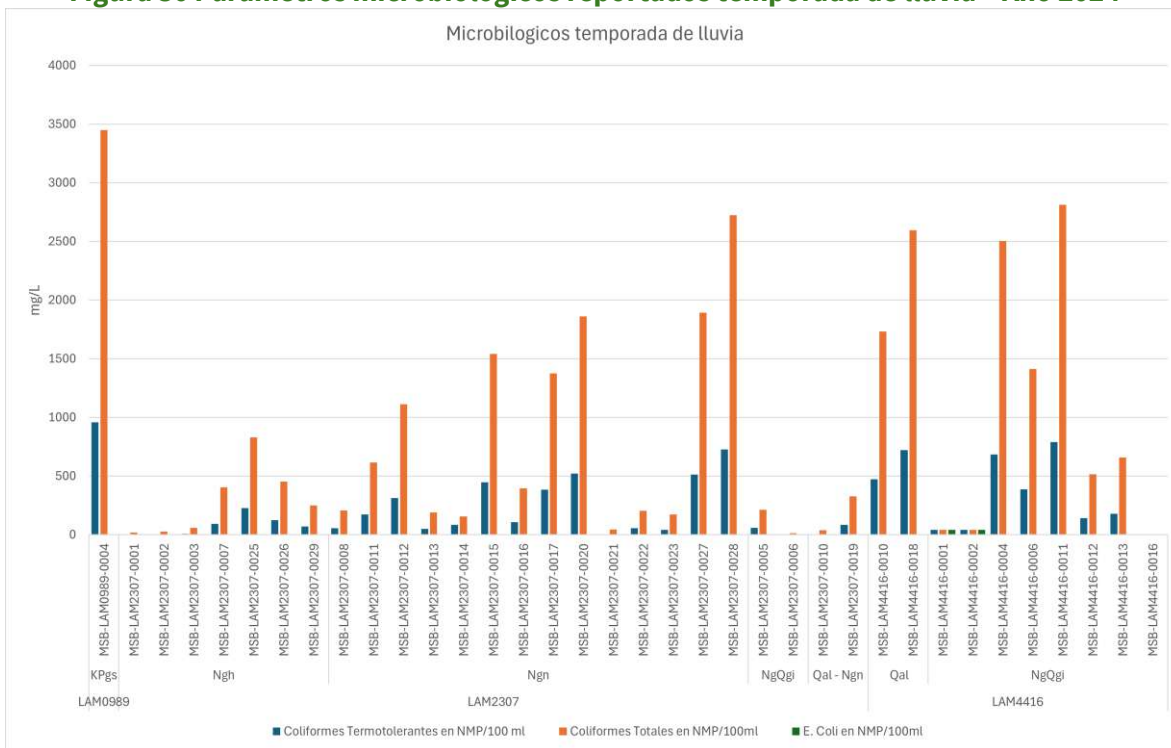
En los puntos monitoreados para la temporada de transición, no se presentan concentraciones que superen el límite normativo, no obstante, se observa un aumento en las concentraciones en el expediente LAM4416, datos que deben seguir siendo analizados con el fin de verificar que no aumenten.

En los puntos monitoreados para la temporada de lluvia, no se presentan concentraciones que superen el límite normativo, no obstante, se observa un aumento en las concentraciones en el expediente LAM0989, datos que deben seguir siendo analizados con el fin de verificar que no aumenten.





**Figura 30 Parámetros microbiológicos reportados temporada de lluvia - Año 2024**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025





## 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del análisis llevado a cabo por esta Autoridad a partir de los monitoreos realizados en el año 2024 y su comparación con los años 2022 y 2023:

- ✓ Respecto al porcentaje de error analítico se destaca que de las 144 muestras reportadas por los diferentes proyectos que hacen parte de la estrategia regional del VSM, se descartaron 40 muestras debido a que no cumplieron con el criterio establecido para cada proyecto; para la temporada de transición solamente se consideraron el 66.67% de los muestreos, para la temporada húmeda el 69.09% y para la temporada seca el 84.09%, por lo tanto, será necesario que en los respectivos seguimientos ambientales se solicite a los licenciarios la verificación del balance iónico y el cálculo del error analítico con los laboratorios que realizan los muestreos, de tal manera que se establezcan las acciones de mejora correspondientes que permitan dar cumplimiento al límite establecido.
- ✓ El nivel estático presenta variaciones significativas en la Formación Neiva, Gigante y Seca, en varios puntos de los expedientes analizados; Esta variación podría estar asociada a cambios en la demanda del recurso; no obstante, dicha condición debe revisarse en el tiempo mediante los seguimientos específicos para determinar su tendencia y posibles causas.
- ✓ El agua subterránea analizada es dulce y de baja mineralización con conductividades menores a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y Sólidos Disueltos Totales en promedio menores a 1500 mg/L. Estos valores reflejan una baja concentración de sales disueltas y, por tanto, dan indicios de una buena calidad química del recurso hídrico subterráneo, asociada principalmente a procesos de recarga por precipitación y a una limitada influencia de aportes provenientes de la unidad geológica.
- ✓ Las concentraciones de oxígeno disuelto en la mayoría de las muestras analizadas a lo largo del año hidrológico se mantienen por debajo 5 mg/L. Con lo anterior, es posible afirmar que las concentraciones medidas de oxígeno disuelto se encuentran dentro del rango normal para agua subterránea según Custodio & Llamas (1983).
- ✓ El agua subterránea analizada se comporta en el rango de pH de ligeramente ácido a alcalino, valores típicos del agua subterránea, que indican un bajo aporte contaminante en el recurso.
- ✓ Los Depósitos Cuaternarios (Qa1, Qc y Qt3) presentaron flujos locales en las tres temporadas climáticas, producto de la recarga directa por infiltración de la precipitación. Sin embargo, varios puntos evidencian flujos intermedios e incluso regionales, siendo estos últimos principalmente asociados a los Depósitos Coluviales





(Qc), donde se identificó puntualmente un aumento en la concentración de algunos iones como cloruros, nitratos y metales. Este comportamiento también fue corroborado mediante los diagramas de Piper y Stiff. Estas características requieren una evaluación más detallada mediante el análisis de parámetros complementarios como conductividad, pH, metales y metaloides, así como un seguimiento ambiental específico para confirmar su origen.

- ✓ No se evidencia una concentración significativa de los parámetros nitritos y nitratos en el agua subterránea a nivel regional; por lo tanto, no se identifican condiciones geológicas ni procesos de degradación de materia orgánica que ejerzan una influencia relevante sobre la calidad del recurso hídrico subterráneo.
- ✓ El análisis de la composición hidroquímica del agua subterránea en las distintas unidades geológicas del área de estudio permite identificar, en su mayoría, sistemas de flujo local o de corto recorrido, caracterizados por aguas bicarbonatadas cálcicas o sódicas, con tiempos de residencia relativamente cortos y una evolución hidroquímica limitada. Esta condición es especialmente evidente en los Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc y Qt3), la Formación Neiva (Ngn), el Grupo Honda (Ngh), las Formaciones Monserrate (km), Saldaña (Js) y parte de la Formación Gigante (NgQgi), donde predominan las características hidroquímicas típicas de zonas de recarga o tránsito corto. Sin embargo, la presencia de composiciones dominadas por cloruros, sulfatos o sodio en algunas muestras sugiere procesos de evolución química más avanzados, posiblemente asociados a trayectorias de flujo más largas, mayor tiempo de residencia o influencia de fuentes antrópicas. Estos casos requieren una evaluación más detallada mediante el análisis de parámetros complementarios como conductividad, pH, metales y metaloides, así como un seguimiento ambiental específico para confirmar su origen.
- ✓ El comportamiento hidroquímico del agua subterránea en las distintas unidades geológicas que conforman el área de estudio refleja, en términos generales, sistemas de flujo locales y de corta residencia, influenciados predominantemente por procesos de recarga por precipitación. En la mayoría de las formaciones (Neiva, Saldaña, Monserrate, Honda y Seca), predomina la facie bicarbonatada cálcica con baja mineralización, lo que indica una buena renovación del recurso y escasa influencia antrópica o de procesos de evolución química avanzada. No obstante, algunos puntos que monitorean los Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc y Qt3) y la Formación Gigante (NgQgi), se observan variaciones estacionales marcadas en la composición química del agua, con incremento de iones como sodio, potasio, cloruros, sulfatos y nitratos, particularmente en la temporada seca. Estos cambios podrían asociarse a una mayor concentración por efectos de evaporación, procesos de intercambio iónico, mayor tiempo de residencia o aportes de origen antrópico. Lo que refuerza la necesidad de mantener un monitoreo sistemático del recurso hídrico con el fin detectar a tiempo posibles presiones sobre la calidad del recurso. Este





comportamiento refuerza la necesidad de mantener un monitoreo sistemático del recurso hídrico subterráneo, con el fin de detectar oportunamente posibles presiones que puedan comprometer su calidad.

- ✓ A partir de la interpretación de los diagramas de Gibbs, se observa a nivel general que, en las tres temporadas climáticas, independientemente de la unidad geológica, el proceso dominante en la evolución del agua subterránea es la interacción agua – roca, evidenciada por la predominancia de las facies bicarbonatadas cálcicas y bajos a moderados niveles de sólidos disueltos totales (TDS).
- ✓ Los Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc y Qt3) y la Formación Seca (KPgs) muestran una ligera sensibilidad estacional durante la época seca, con incrementos puntuales en las concentraciones de sales, reflejando un leve aumento de TDS posiblemente debido a una mayor permanencia del agua en el sistema acuífero.
- ✓ A partir del análisis de los diagramas de Mifflin es posible concluir, que los sistemas de flujo locales predominan ampliamente en el área de estudio, especialmente durante la temporada húmeda, como resultado de la recarga directa por precipitación. Este patrón se manifiesta en la mayoría de las unidades geológicas, incluyendo los Depósitos Cuaternarios (Qal, Qc, Qt3), la Formación Neiva (Ngn), el Grupo Honda (Ngh), la Formación Saldaña (Js), Monserrate (Km) y la Formación Seca (KPgs), con aguas de baja mineralización y características propias de aguas jóvenes. Sin embargo, durante la temporada seca se evidencia una transición parcial hacia sistemas de flujo intermedio e incluso regional, en particular en los Depósitos Coluviales (Qc) y la Formación Seca (KPgs). Este comportamiento está asociado a un mayor tiempo de residencia del agua en el acuífero, una menor tasa de recarga y una mayor interacción con los materiales geológicos, lo que se refleja en un aumento en la mineralización.
- ✓ En relación con los metales y metaloides, en ninguno de los monitoreos realizados, los metales arsénico, bario, berilo, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, litio, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio y vanadio presentaron concentraciones superiores al Límite de Cuantificación del Método (LCM), por lo cual no fueron objeto de análisis. Por su parte para el aluminio, hierro y manganeso registraron concentraciones que exceden los valores máximos permisibles establecidas en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007, frente a los cuales se formularon las recomendaciones específicas en el análisis de cada parámetro y las de carácter regional consignadas en el numeral 3.2 del presente documento. Respecto al hierro, es importante destacar que las concentraciones más altas se asocian a la época húmeda, y especialmente, al periodo de transición. Finalmente, el zinc no presenta valores superiores a los límites permisibles.
- ✓ El análisis de los compuestos microbiológicos reportados en el marco de la estrategia regional muestra un comportamiento por debajo de los límites normativos, indicando la baja influencia de aportes antrópicos en el agua subterránea de la zona.





- ✓ Los datos reportados para los parámetros de hidrocarburos, totales, fenoles y Grasas y aceites para el total de los puntos monitoreados, se encuentra por debajo del límite de cuantificación, lo que indica una aplicación adecuada de las medidas de manejo del agua subterránea.
- ✓ Conforme a los análisis anteriores se pudo determinar que, en la zona de la estrategia, no se presentan impactos acumulativos que puedan estar ejerciendo presión sobre el recurso hídrico subterráneo, no obstante, es preciso tener en cuenta las recomendaciones a los seguimientos específicos que permitan garantizar las medidas de control de manera temprana y así garantizar la calidad del recurso en el área.
- ✓ Finalmente, se considera importante que la estrategia continúe con los monitoreos establecidos, a fin de mantener la trazabilidad de las condiciones hidrogeológicas y detectar oportunamente cualquier variación que pueda representar un riesgo para el sistema acuífero.

### 3.2 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA

Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
LAM2307 LAM3028 LAM4416	En el periodo de seguimiento se pudo verificar que el porcentaje de error del balance iónico está por encima del valor, definido en las condiciones de la estrategia de monitoreo.	Verificar el balance iónico y el cálculo del error analítico con los laboratorios que realizan los muestreos, debido a que durante el análisis e interpretación hidroquímica se evidenciaron altos porcentajes de error.
LAM2307 LAM3028 LAM4416 LAM0989	En los expedientes relacionados, se presentan variaciones considerables en los niveles estáticos reportados, que pueden estar asociados al no cumplimiento de las condiciones de parada de mínimo 24 horas para la toma de las medidas.	Verificar que la toma de los niveles estáticos en cada uno de los puntos de los expedientes analizados se realice conforme a las recomendaciones dadas en las resoluciones de la estrategia de monitoreo, de tal manera que se garanticen las 24 horas estacionarias antes de la toma de la profundidad del nivel estático.
LAM0989	La resolución 2526 del 19/10/2022, se impuso la obligación de la estrategia, determinando el criterio de aceptación del error analítico del balance iónico, de	Verificar el balance iónico y el cálculo del error analítico con los laboratorios que realizan los muestreos, debido a que durante el análisis e interpretación hidroquímica se evidenciaron altos porcentajes de error, con valores que





Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
	máximo el 15%, no obstante, en los puntos MSB-LAM0989-0007 y MSB-LAM0989-0001, se evidencian errores muy superiores al porcentaje de aceptación.	oscilaron entre 42,98% (punto MSB-LAM0989-0007) y 81,58% (MSB-LAM0989-0001).
	Verificando el estado de las obligaciones de la estrategia de monitoreo, no se encontraron evidencias del cumplimiento del Numeral 9 del Artículo Tercero del Auto 11667 del 2 de diciembre de 2024; frente a concentraciones aumentadas de aluminio hierro y magnesio en dos de los puntos del expediente.	Verificar el cumplimiento del Numeral 9 del Artículo Tercero del Auto 11667 del 2 de diciembre de 2024, en el cual se solicitó el análisis del comportamiento de las concentraciones elevadas de aluminio en el punto MSB-LAM0989-0011 durante el periodo de transición (mayo), así como de hierro y magnesio en el punto MSB-LAM0989-0004 durante la temporada seca.
	En el periodo de seguimiento, en los puntos MSB-LAM0989-0006 y MSB-LAM0989-0007, se presentan valores de conductividad eléctrica superiores a 1500 $\mu$ S/cm, sobre pasando el promedio regional.	Analizar el comportamiento de la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, en los puntos MSB-LAM0989-0006 y MSB-LAM0989-0007, que presentan concentraciones superiores a los demás puntos reportados.
	En el punto MSB-LAM0989-0013, se reportan valores del orden de 5.8 unidades, valor que se encuentra por debajo del promedio regional.	Revisar y analizar los valores de pH del punto MSB-LAM0989-0013, que indican la presencia de agua acida.
LAM3028	Se encontraron valores anómalos para los parámetros Cloruro, Sulfatos, sodio, conductividad eléctrica, pH, metales y metaloides en el punto MSB-LAM3028-0010 en la temporada de transición.	Verificar el comportamiento de las concentraciones de los iones cloruro, sulfatos y sodio en el punto MSB-LAM3028-0010 para el período de transición del año 2024. Complementar este análisis con la evaluación de los parámetros de conductividad, pH, metales y metaloides, con el fin de identificar posibles procesos de evolución hidroquímica o influencias





Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
		antrópicas en la calidad del agua subterránea.
LAM4416	Se encontraron cambios considerables en el nivel estático reportado, con diferencias de hasta 20 metros en los puntos que captan la Formación Honda.	Verificar el comportamiento del nivel estático en los puntos de la Formación Honda, identificando las posibles causas de la alta variabilidad en la profundidad de estos.
	Se presentan valores de pH alto y oxígeno disuelto bajo en el punto MSB-LAM4416-0018.	Verificar el comportamiento de los resultados de pH correspondiente a 9.5 unidades y oxígeno disuelto reportado como 2.16 mg/L en el punto MSB-LAM4416-0018, y analizar las posibles causas de cambios en la calidad del recurso y la influencia de las actividades del proyecto en dichas concentraciones.
	Se reportan valores de conductividad eléctrica superiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto MSB-LAM4416-0010.	Analizar el comportamiento de la conductividad eléctrica y Sólidos disueltos totales, por la tendencia a salubridad y procesos de mineralización, en el punto MSB-LAM4416-0010.

## 4 BIBLIOGRAFIA

- [1.] Posada, Mojica, Pino, & Bustamante, 2013. Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia.
- [2.] Rodier J, Legube B, Merlet N. 2010. Análisis del agua. Barcelona.
- [3.] Roldan G, Ramírez J. 2008. Fundamentos de limnología Neotropical. Rionegro.
- [4.] Tarradellas, J. ,2006. Red de Calidad del Agua de los Ríos de Colombia. Lausanne.





## **5 ANEXOS**

### **5.1 Anexo I**

**Información reportada en el marco de la estrategia de  
monitoreo regional de agua subterránea en la cuenca del Valle  
Superior del Magdalena – VSM**





Expediente	Nombre del Proyecto	Licenciario	Resolución que impone la estrategia	Radicado y fecha
LAM3028	Campo La Hocha	HOCOL SA	Resolución 01835 del 17/11/2020 Resolución 1516 del 18 de julio de 2024	20256200755032 del 1 julio 2025 - ICA
LAM2307	Área de producción Huila Norte (o de Neiva)	ECOPETROL SA	Resolución 1673 del 22/09/2021 Resolución 2816 del 04 de diciembre de 2023	20236200496282 del 18 de agosto de 2023 20236200947822 del 04 de diciembre de 2023 20246200627842 del 31 de mayo de 2024
LAM0989	Campo de producción Yaguará		Resolución 2526 del 19/10/2022	20256200753302 del 27 de junio de 2025 - ICA
LAM4416	Campo Tello la Jagua		Resolución 2437 del 23/10/2023 Resolución 924 del 20 de mayo de 2024	20256200627802 - Portal

\*\* Corte documental de análisis 1 de julio de 2025





## **5.2 Anexo II**

**Diagramas de Stiff, análisis de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del Valle Superior del Magdalena – VSM, año 2024**



## Depósitos Cuaternarios (depósitos aluviales, coluviales y terrazas pumíticas)

ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM0989-0001	Piezómetro 15	
MSB-LAM0989-0002	Piezómetro 2	



ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM0989-0003	Piezómetro 9	<p>MSB-LAM0989-0003 2024-12-06</p> <p>MSB-LAM0989-0003 2024-08-27</p> <p>MSB-LAM0989-0003 2024-05-28</p>
MSB-LAM0989-0004	Piezómetro 12	<p>MSB-LAM0989-0004 2024-11-30</p> <p>MSB-LAM0989-0004 2024-08-23</p> <p>MSB-LAM0989-0004 2024-03-29</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM0989-0007	Piezómetro 18	<p>MSB-LAM0989-0007 2024-12-08</p>
		<p>MSB-LAM0989-0007 2024-08-27</p>
		<p>MSB-LAM0989-0007 2024-05-29</p>
MSB-LAM0989-0008	Piezómetro 19	<p>MSB-LAM0989-0008 2024-12-08</p>
		<p>MSB-LAM0989-0008 2024-08-27</p>
		<p>MSB-LAM0989-0008 2024-05-28</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM0989-0009	Piezómetro 20	<p>MSB-LAM0989-0009 2024-12-06</p> <p>MSB-LAM0989-0009 2024-08-27</p> <p>MSB-LAM0989-0009 2024-05-28</p>
MSB-LAM0989-0010	Piezómetro 21	<p>MSB-LAM0989-0010 2024-12-06</p> <p>MSB-LAM0989-0010 2024-08-27</p> <p>MSB-LAM0989-0010 2024-05-28</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM0989-0012	Piezómetro 14	<p>MSB-LAM0989-0012 2024-12-02</p> <p>MSB-LAM0989-0012 2024-08-21</p> <p>MSB-LAM0989-0012 2024-05-30</p>
MSB-LAM0989-0013	Piezómetro 15	<p>MSB-LAM0989-0013 2024-12-02</p> <p>MSB-LAM0989-0013 2024-08-21</p> <p>MSB-LAM0989-0013 2024-05-30</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0001	Pozo Profundo Dina	<p>MSB-LAM2307-0001 2024-11-30</p>
MSB-LAM2307-0002	Pozo Profundo DK-5	<p>MSB-LAM2307-0002 2024-11-30</p> <p>MSB-LAM2307-0002 2024-09-03</p> <p>MSB-LAM2307-0002 2024-06-11</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0003	Pozo Profundo Santa Clara	<p>MSB-LAM2307-0003 2024-11-30</p> <p>MSB-LAM2307-0003 2024-09-04</p> <p>MSB-LAM2307-0003 2024-06-11</p>
MSB-LAM2307-0005	Pozo Arenas 4	<p>MSB-LAM2307-0005 2024-11-25</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0006	Pozo Arenas 6	<p>MSB-LAM2307-0006 2024-11-29</p>
		<p>MSB-LAM2307-0006 2024-09-03</p>
		<p>MSB-LAM2307-0006 2024-06-12</p>
MSB-LAM2307-0007	Piezómetro 2 DK 8	<p>MSB-LAM2307-0007 2024-11-26</p>
		<p>MSB-LAM2307-0007 2024-08-28</p>
		<p>MSB-LAM2307-0007 2024-06-11</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0008	Piezómetro AP1	<p>MSB-LAM2307-0008 2024-11-26</p>
		<p>MSB-LAM2307-0008 2024-09-02</p>
		<p>MSB-LAM2307-0008 2024-06-07</p>
MSB-LAM2307-0010	Piezómetro AP10	<p>MSB-LAM2307-0010 2024-11-28</p>
		<p>MSB-LAM2307-0010 2024-08-29</p>
		<p>MSB-LAM2307-0010 2024-06-06</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024																												
MSB-LAM2307-0011	Piezómetro AP11	<p>The figure displays three diamond-shaped charts for Piezómetro AP11, each representing a different date in 2024. The x-axis represents concentration in meq/L, ranging from 5.0 on the left to 4.0 on the right, with 0.0 in the center. The y-axis lists ions: Ca, Na+K, and Mg on the left; Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3 on the right. The data points for each ion are plotted, and a blue diamond shape is formed by connecting the points for Na+K, HCO3+CO3, Mg, and SO4+NO3.</p> <table border="1"><caption>Approximate data for Piezómetro AP11 (meq/L)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>2024-11-29</th><th>2024-09-02</th><th>2024-06-06</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>1.5</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.5</td></tr><tr><td>Mg</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.5</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr></tbody></table>	Ion	2024-11-29	2024-09-02	2024-06-06	Ca	1.5	1.5	1.5	Na+K	3.5	3.5	3.5	Mg	1.0	1.0	1.0	Cl	0.5	0.5	0.5	HCO3+CO3	3.5	3.5	3.5	SO4+NO3	1.0	1.0	1.0
Ion	2024-11-29	2024-09-02	2024-06-06																											
Ca	1.5	1.5	1.5																											
Na+K	3.5	3.5	3.5																											
Mg	1.0	1.0	1.0																											
Cl	0.5	0.5	0.5																											
HCO3+CO3	3.5	3.5	3.5																											
SO4+NO3	1.0	1.0	1.0																											
MSB-LAM2307-0012	Piezómetro AP12	<p>The figure displays three diamond-shaped charts for Piezómetro AP12, each representing a different date in 2024. The x-axis represents concentration in meq/L, ranging from 5.0 on the left to 4.0 on the right, with 0.0 in the center. The y-axis lists ions: Ca, Na+K, and Mg on the left; Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3 on the right. The data points for each ion are plotted, and a blue diamond shape is formed by connecting the points for Na+K, HCO3+CO3, Mg, and SO4+NO3.</p> <table border="1"><caption>Approximate data for Piezómetro AP12 (meq/L)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>2024-11-28</th><th>2024-09-02</th><th>2024-06-06</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>1.5</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.5</td></tr><tr><td>Mg</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.5</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr></tbody></table>	Ion	2024-11-28	2024-09-02	2024-06-06	Ca	1.5	1.5	1.5	Na+K	3.5	3.5	3.5	Mg	1.0	1.0	1.0	Cl	0.5	0.5	0.5	HCO3+CO3	3.5	3.5	3.5	SO4+NO3	1.0	1.0	1.0
Ion	2024-11-28	2024-09-02	2024-06-06																											
Ca	1.5	1.5	1.5																											
Na+K	3.5	3.5	3.5																											
Mg	1.0	1.0	1.0																											
Cl	0.5	0.5	0.5																											
HCO3+CO3	3.5	3.5	3.5																											
SO4+NO3	1.0	1.0	1.0																											



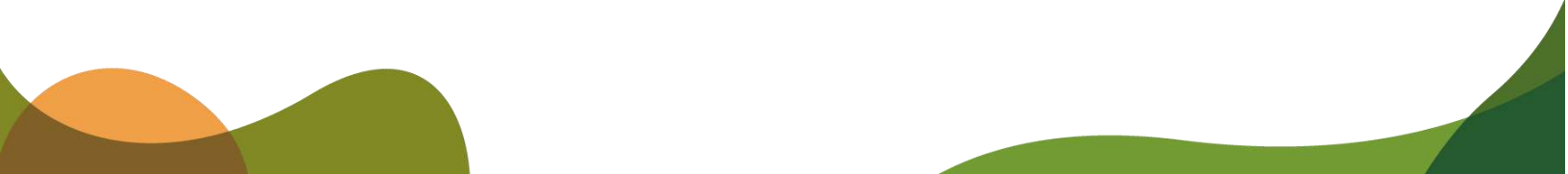


ID ANLA	ID Empresa	2024																												
MSB-LAM2307-0013	Piezómetro AP2	<p>The figure displays three stacked water chemistry diagrams for Piezómetro AP2 in 2024. Each diagram shows the concentration of various ions in meq/L. The x-axis ranges from 3.0 to 0.0 on the left and 0.0 to 2.4 on the right. The y-axis lists the ions: Ca, Na+K, Mg, Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3. The diagrams are for the following dates: 2024-11-29, 2024-09-03, and 2024-06-07.</p> <table border="1"><caption>Approximate ion concentrations (meq/L) for Piezómetro AP2</caption><thead><tr><th>Date</th><th>Ca</th><th>Na+K</th><th>Mg</th><th>Cl</th><th>HCO3+CO3</th><th>SO4+NO3</th></tr></thead><tbody><tr><td>2024-11-29</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2024-09-03</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2024-06-07</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Date	Ca	Na+K	Mg	Cl	HCO3+CO3	SO4+NO3	2024-11-29	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0	2024-09-03	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0	2024-06-07	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0
Date	Ca	Na+K	Mg	Cl	HCO3+CO3	SO4+NO3																								
2024-11-29	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								
2024-09-03	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								
2024-06-07	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								
MSB-LAM2307-0014	Piezómetro AP3	<p>The figure displays three stacked water chemistry diagrams for Piezómetro AP3 in 2024. Each diagram shows the concentration of various ions in meq/L. The x-axis ranges from 3.0 to 0.0 on the left and 0.0 to 2.4 on the right. The y-axis lists the ions: Ca, Na+K, Mg, Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3. The diagrams are for the following dates: 2024-11-30, 2024-09-03, and 2024-08-07.</p> <table border="1"><caption>Approximate ion concentrations (meq/L) for Piezómetro AP3</caption><thead><tr><th>Date</th><th>Ca</th><th>Na+K</th><th>Mg</th><th>Cl</th><th>HCO3+CO3</th><th>SO4+NO3</th></tr></thead><tbody><tr><td>2024-11-30</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2024-09-03</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr><tr><td>2024-08-07</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>0.6</td><td>0.0</td><td>2.4</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Date	Ca	Na+K	Mg	Cl	HCO3+CO3	SO4+NO3	2024-11-30	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0	2024-09-03	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0	2024-08-07	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0
Date	Ca	Na+K	Mg	Cl	HCO3+CO3	SO4+NO3																								
2024-11-30	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								
2024-09-03	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								
2024-08-07	1.2	1.8	0.6	0.0	2.4	0.0																								





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0015	Piezómetro AP4	<p>MSB-LAM2307-0015 2024-11-28</p> <p>MSB-LAM2307-0015 2024-09-02</p> <p>MSB-LAM2307-0015 2024-06-11</p>
MSB-LAM2307-0016	Piezómetro AP5	<p>MSB-LAM2307-0016 2024-11-27</p> <p>MSB-LAM2307-0016 2024-09-02</p> <p>MSB-LAM2307-0016 2024-06-06</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024																
MSB-LAM2307-0017	Piezómetro AP6	<p>The figure displays three diamond-shaped charts for Piezómetro AP6, showing ion concentrations in meq/L for three different dates in 2024. The x-axis represents meq/L, ranging from 5.0 on the left to 0.0 on the right. The y-axis lists the ions: Ca, Na+K, and Mg. The right side of the chart lists the corresponding ions: Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Date</th><th>Ca (meq/L)</th><th>Na+K (meq/L)</th><th>Mg (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2024-11-28</td><td>~0.5</td><td>~3.0</td><td>~1.0</td></tr><tr><td>2024-08-29</td><td>~0.5</td><td>~3.0</td><td>~1.0</td></tr><tr><td>2024-06-05</td><td>~0.5</td><td>~3.0</td><td>~1.0</td></tr></tbody></table>	Date	Ca (meq/L)	Na+K (meq/L)	Mg (meq/L)	2024-11-28	~0.5	~3.0	~1.0	2024-08-29	~0.5	~3.0	~1.0	2024-06-05	~0.5	~3.0	~1.0
Date	Ca (meq/L)	Na+K (meq/L)	Mg (meq/L)															
2024-11-28	~0.5	~3.0	~1.0															
2024-08-29	~0.5	~3.0	~1.0															
2024-06-05	~0.5	~3.0	~1.0															
MSB-LAM2307-0018	Piezómetro AP7	<p>The figure displays a diamond-shaped chart for Piezómetro AP7, showing ion concentrations in meq/L for the date 2024-08-29. The x-axis represents meq/L, ranging from 5.0 on the left to 0.0 on the right. The y-axis lists the ions: Ca, Na+K, and Mg. The right side of the chart lists the corresponding ions: Cl, HCO3+CO3, and SO4+NO3.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Date</th><th>Ca (meq/L)</th><th>Na+K (meq/L)</th><th>Mg (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2024-08-29</td><td>~0.5</td><td>~3.0</td><td>~1.0</td></tr></tbody></table>	Date	Ca (meq/L)	Na+K (meq/L)	Mg (meq/L)	2024-08-29	~0.5	~3.0	~1.0								
Date	Ca (meq/L)	Na+K (meq/L)	Mg (meq/L)															
2024-08-29	~0.5	~3.0	~1.0															





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0019	Piezómetro AP8	<p>MSB-LAM2307-0019 2024-11-25</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>
		<p>MSB-LAM2307-0019 2024-08-29</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>
		<p>MSB-LAM2307-0019 2024-06-05</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>
MSB-LAM2307-0020	Piezómetro AP9	<p>MSB-LAM2307-0020 2024-11-28</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>
		<p>MSB-LAM2307-0020 2024-09-02</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>
		<p>MSB-LAM2307-0020 2024-06-06</p> <p>Ca Cl Na+K HCO3+CO3 Mg SO4+NO3</p>



ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0021	Piezómetro APF3	<p>MSB-LAM2307-0021 2024-11-30</p> <p>MSB-LAM2307-0021 2024-09-03</p> <p>MSB-LAM2307-0021 2024-06-07</p>
MSB-LAM2307-0022	Piezómetro APF4	<p>MSB-LAM2307-0022 2024-11-27</p> <p>MSB-LAM2307-0022 2024-09-02</p> <p>MSB-LAM2307-0022 2024-06-06</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0023	Piezómetro APF5	<p>MSB-LAM2307-0023 2024-11-25</p>
		<p>MSB-LAM2307-0023 2024-09-02</p>
		<p>MSB-LAM2307-0023 2024-06-05</p>
MSB-LAM2307-0025	Piezómetro Intercol DT63	<p>MSB-LAM2307-0025 2024-11-25</p>
		<p>MSB-LAM2307-0025 2024-08-28</p>
		<p>MSB-LAM2307-0025 2024-06-11</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0026	Piezómetro Intercol Sur	<p>MSB-LAM2307-0026 2024-11-25</p>
		<p>MSB-LAM2307-0026 2024-09-28</p>
		<p>MSB-LAM2307-0026 2024-06-11</p>
MSB-LAM2307-0027	Piezómetro PMY-1	<p>MSB-LAM2307-0027 2024-11-30</p>
		<p>MSB-LAM2307-0027 2024-09-04</p>
		<p>MSB-LAM2307-0027 2024-06-07</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM2307-0028	Piezómetro PMY-2	<p>MSB-LAM2307-0028 2024-11-30</p> <p>MSB-LAM2307-0028 2024-09-04</p> <p>MSB-LAM2307-0028 2024-06-07</p>
MSB-LAM2307-0029	Piezómetro Saltante Dindal	<p>MSB-LAM2307-0029 2024-11-25</p> <p>MSB-LAM2307-0029 2024-08-24</p> <p>MSB-LAM2307-0029 2024-06-11</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM4416-0001	PM MULTIPLE TPM 01 (TPF-1)-EXPLANACIÓN TELLO 0017	<p>MSB-LAM4416-0001 2024-11-24</p> <p>MSB-LAM4416-0001 2024-08-29</p> <p>MSB-LAM4416-0001 2024-06-01</p>
MSB-LAM4416-0002	PM MULTIPLE TPM 01 (TP-2)-EXPLANACION TELLO 0017	<p>MSB-LAM4416-0002 2024-11-24</p> <p>MSB-LAM4416-0002 2024-08-29</p> <p>MSB-LAM4416-0002 2024-06-01</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM4416-0004	PM MULTIPLE TPM 03 (TPF-3)-EXPLANACION TELLO 0026	<p>MSB-LAM4416-0004 2024-11-23</p> <p>MSB-LAM4416-0004 2024-08-28</p> <p>MSB-LAM4416-0004 2024-06-01</p>
MSB-LAM4416-0006	PM MULTIPLE TPM 03 (TP-6)-EXPLANACION TELLO 0026	<p>MSB-LAM4416-0006 2024-11-23</p> <p>MSB-LAM4416-0006 2024-08-28</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM4416-0010	PT-1 SENCILLO UBICADO DETRÁS DE BATERÍA TELLO T7	<p>MSB-LAM4416-0010 2024-11-23</p> <p>MSB-LAM4416-0010 2024-08-28</p> <p>MSB-LAM4416-0010 2024-06-05</p>
MSB-LAM4416-0011	PT-2 SENCILLO UBICADO DENTRO DE BATERÍA TELLO T34	<p>MSB-LAM4416-0011 2024-11-23</p> <p>MSB-LAM4416-0011 2024-08-29</p> <p>MSB-LAM4416-0011 2024-05-31</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM4416-0012	PT-3 SENCILLO UBICADO A 100m B.	<p>MSB-LAM4416-0012 2024-11-23</p>
		<p>MSB-LAM4416-0012 2024-08-27</p>
		<p>MSB-LAM4416-0012 2024-06-05</p>
MSB-LAM4416-0013	PT-6 CERCA DE LA FINCA DAMASCO T-32	<p>MSB-LAM4416-0013 2024-11-23</p>
		<p>MSB-LAM4416-0013 2024-08-29</p>
		<p>MSB-LAM4416-0013 2024-06-05</p>

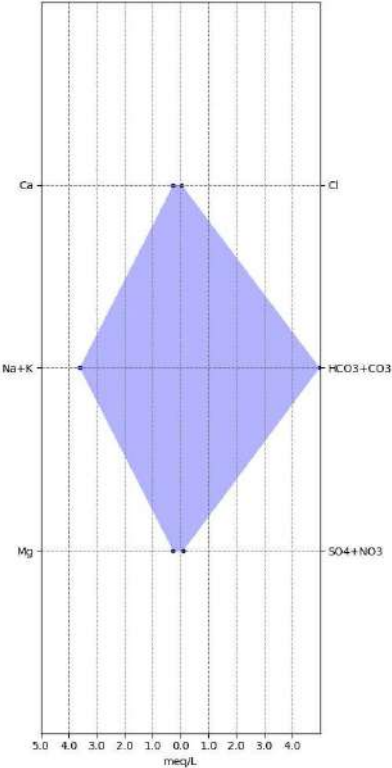
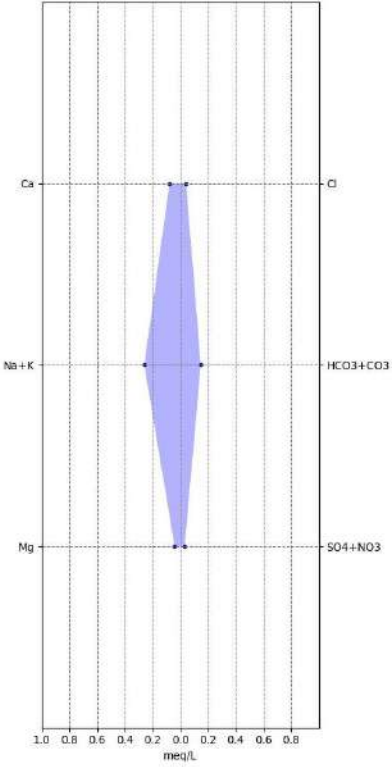




ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM4416-0016	Pozo profundo Tello (Aguas -1)	<p>MSB-LAM4416-0016 2024-11-24</p> <p>MSB-LAM4416-0016 2024-09-28</p> <p>MSB-LAM4416-0016 2024-03-31</p>
MSB-LAM4416-0018	Pozo profundo aguas Bateria Tello	<p>MSB-LAM4416-0018 2024-11-23</p> <p>MSB-LAM4416-0018 2024-09-29</p> <p>MSB-LAM4416-0018 2024-05-31</p>

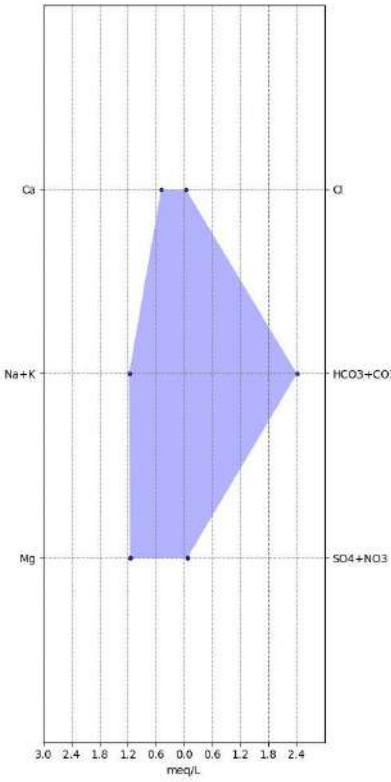
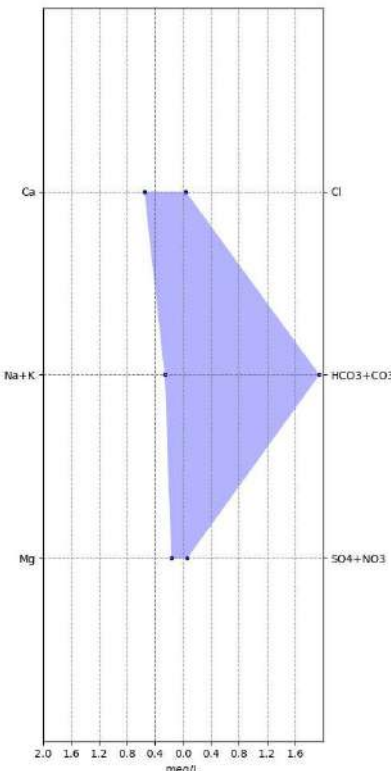




ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM3028-0002	NAC62 (Manantial 62)	<p data-bbox="800 598 914 630">MSB-LAM3028-0002 2024-12-22</p>  <p data-bbox="982 982 1149 1010">meq/L</p>
MSB-LAM3028-0003	NAC63 (Manantial 63)	<p data-bbox="800 1407 914 1438">MSB-LAM3028-0003 2024-12-22</p>  <p data-bbox="982 1795 1149 1822">meq/L</p>

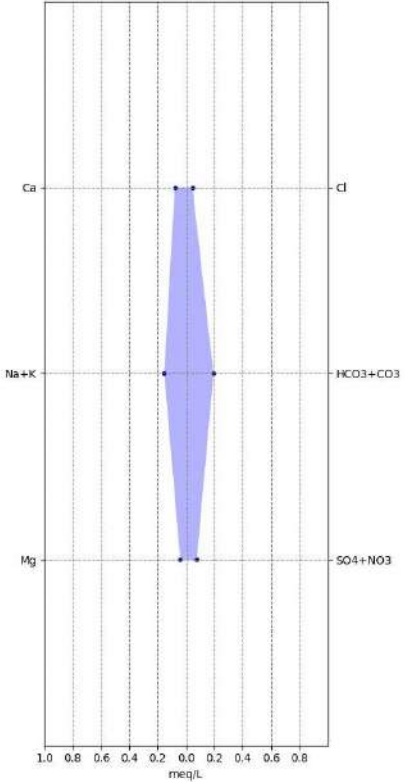
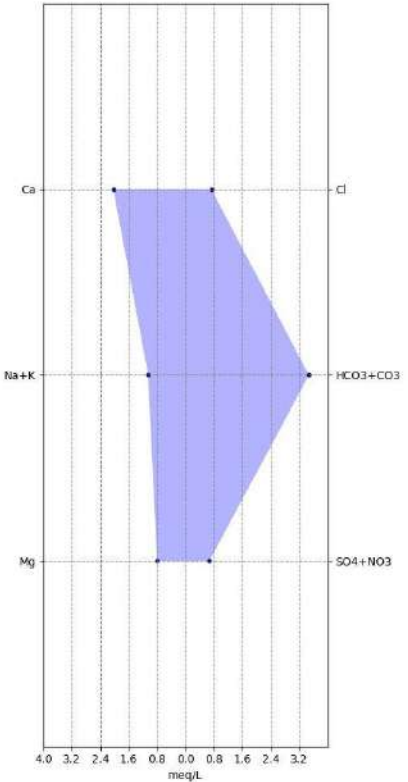




ID ANLA	ID Empresa	2024														
MSB-LAM3028-0004	NAC196 (Manantial196)	<p data-bbox="792 598 912 630">MSB-LAM3028-0004 2024-12-21</p>  <table border="1"><caption>Ion Concentrations (meq/L) for MSB-LAM3028-0004</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>0.6</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>1.2</td></tr><tr><td>Mg</td><td>1.2</td></tr><tr><td>Cl</td><td>0.6</td></tr><tr><td>HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub></td><td>2.4</td></tr><tr><td>SO<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub></td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	0.6	Na+K	1.2	Mg	1.2	Cl	0.6	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	2.4	SO <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	0.0
Ion	Concentration (meq/L)															
Ca	0.6															
Na+K	1.2															
Mg	1.2															
Cl	0.6															
HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	2.4															
SO <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	0.0															
MSB-LAM3028-0005	Manantial_la_Loma_2 (M03)	<p data-bbox="792 1407 912 1438">MSB-LAM3028-0005 2024-12-21</p>  <table border="1"><caption>Ion Concentrations (meq/L) for MSB-LAM3028-0005</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>0.4</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>0.4</td></tr><tr><td>Mg</td><td>0.4</td></tr><tr><td>Cl</td><td>0.4</td></tr><tr><td>HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub></td><td>1.6</td></tr><tr><td>SO<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub></td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	0.4	Na+K	0.4	Mg	0.4	Cl	0.4	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	1.6	SO <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	0.0
Ion	Concentration (meq/L)															
Ca	0.4															
Na+K	0.4															
Mg	0.4															
Cl	0.4															
HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	1.6															
SO <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub>	0.0															

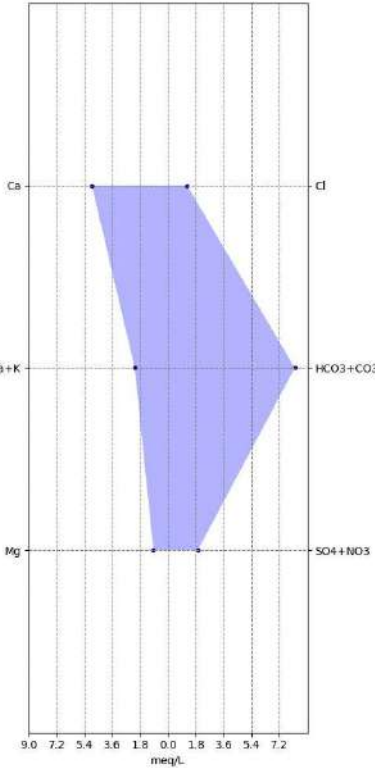
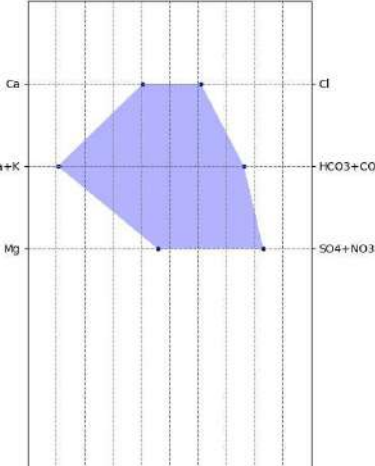
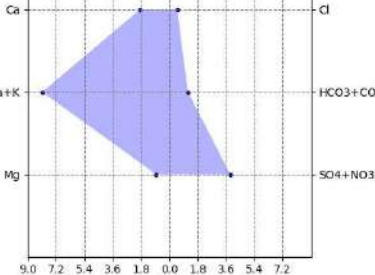




ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM3028-0006	NAC56 (Manantial_56)	<p data-bbox="792 598 909 630">MSB-LAM3028-0006 2024-12-21</p>  <p data-bbox="982 987 1161 1018">1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 meq/L</p>
MSB-LAM3028-0007	NAC83 (Manantial_83)	<p data-bbox="792 1407 909 1438">MSB-LAM3028-0007 2024-12-22</p>  <p data-bbox="982 1795 1161 1827">4.0 3.2 2.4 1.6 0.8 0.0 0.8 1.6 2.4 3.2 meq/L</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024
MSB-LAM3028-0008	NAC90 (Manantial_90)	<p data-bbox="797 596 911 625">MSB-LAM3028-0008 2024-12-22</p>  <p data-bbox="982 982 1144 1010">meq/L</p>
MSB-LAM3028-0009	Piezómetro A-01	<p data-bbox="797 1199 911 1228">MSB-LAM3028-0009 2024-11-18</p>  <p data-bbox="982 1493 1144 1520">meq/L</p> <p data-bbox="797 1608 911 1638">MSB-LAM3028-0009 2024-05-20</p>  <p data-bbox="982 1787 1144 1814">meq/L</p>





ID ANLA	ID Empresa	2024														
MSB-LAM3028-0010	A-02	<p>MSB-LAM3028-0010 2024-11-18</p> <table border="1"><caption>Data for MSB-LAM3028-0010 (2024-11-18)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>21.6</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>14.4</td></tr><tr><td>Mg</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>0.0</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>14.4</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	21.6	Na+K	14.4	Mg	0.0	Cl	0.0	HCO3+CO3	14.4	SO4+NO3	0.0
		Ion	Concentration (meq/L)													
Ca	21.6															
Na+K	14.4															
Mg	0.0															
Cl	0.0															
HCO3+CO3	14.4															
SO4+NO3	0.0															
<p>MSB-LAM3028-0010 2024-05-20</p> <table border="1"><caption>Data for MSB-LAM3028-0010 (2024-05-20)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>36.0</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Mg</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>21.6</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>0.0</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>0.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	36.0	Na+K	0.0	Mg	0.0	Cl	21.6	HCO3+CO3	0.0	SO4+NO3	0.0		
Ion	Concentration (meq/L)															
Ca	36.0															
Na+K	0.0															
Mg	0.0															
Cl	21.6															
HCO3+CO3	0.0															
SO4+NO3	0.0															
MSB-LAM3028-0011	Piezómetro P-03	<p>MSB-LAM3028-0011 2024-11-18</p> <table border="1"><caption>Data for MSB-LAM3028-0011 (2024-11-18)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>4.0</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>16.0</td></tr><tr><td>Mg</td><td>4.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>4.0</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>8.0</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>12.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	4.0	Na+K	16.0	Mg	4.0	Cl	4.0	HCO3+CO3	8.0	SO4+NO3	12.0
		Ion	Concentration (meq/L)													
Ca	4.0															
Na+K	16.0															
Mg	4.0															
Cl	4.0															
HCO3+CO3	8.0															
SO4+NO3	12.0															
<p>MSB-LAM3028-0011 2024-05-20</p> <table border="1"><caption>Data for MSB-LAM3028-0011 (2024-05-20)</caption><thead><tr><th>Ion</th><th>Concentration (meq/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>4.0</td></tr><tr><td>Na+K</td><td>16.0</td></tr><tr><td>Mg</td><td>4.0</td></tr><tr><td>Cl</td><td>4.0</td></tr><tr><td>HCO3+CO3</td><td>8.0</td></tr><tr><td>SO4+NO3</td><td>12.0</td></tr></tbody></table>	Ion	Concentration (meq/L)	Ca	4.0	Na+K	16.0	Mg	4.0	Cl	4.0	HCO3+CO3	8.0	SO4+NO3	12.0		
Ion	Concentration (meq/L)															
Ca	4.0															
Na+K	16.0															
Mg	4.0															
Cl	4.0															
HCO3+CO3	8.0															
SO4+NO3	12.0															

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2025





