



Autoridad Nacional  
de Licencias Ambientales



# **INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES: ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR - ZMCC**

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

**MAYO**  
2026



Irene Vélez Torres  
**Directora General**

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

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

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

Sonia Marcela Pacheco Higuera  
Angela Patricia Poveda Corredor  
Daniel Arturo Méndez Moreno  
**Profesionales**  
**Implementación Regional -  
Componente Hidrogeológico**





## Contenido

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                         | 3  |
| 1 DESCRIPCION DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....                  | 5  |
| 1.1 Condición de Lugar .....                                               | 5  |
| 1.2 Condición de Tiempo .....                                              | 9  |
| 1.3 Condición de Modo.....                                                 | 9  |
| 2 ANALISIS REGIONAL DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO     |    |
| SUBTERRANEO .....                                                          | 11 |
| 2.1 Información analizada.....                                             | 11 |
| 2.2 Resultados .....                                                       | 12 |
| 2.2.1 Nivel Estático.....                                                  | 13 |
| 2.2.2 Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) ..... | 0  |
| 2.2.3 pH.....                                                              | 3  |
| 2.2.4 Oxígeno Disuelto .....                                               | 9  |
| 2.2.5 Nitratos y Nitritos.....                                             | 11 |
| 2.2.6 Diagramas de Piper.....                                              | 15 |
| 2.2.7 Diagramas de Stiff .....                                             | 20 |
| 2.2.8 Diagramas de Gibbs.....                                              | 25 |
| 2.2.9 Diagramas de Mifflin .....                                           | 30 |
| 2.2.10 Metales y Metaloides .....                                          | 31 |
| 2.2.11 Parámetros microbiológicos.....                                     | 49 |
| 3 CONCLUSIONES .....                                                       | 56 |
| 4 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA.....               | 60 |
| 5 BIBLIOGRAFIA .....                                                       | 67 |
| 6 ANEXOS .....                                                             | 68 |
| 6.1 Anexo I .....                                                          | 68 |
| 6.2 Anexo II .....                                                         | 68 |
| 6.3 Anexo III .....                                                        | 68 |



# INTRODUCCIÓN

La estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC 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 **medidas** 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 Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC.

Las estrategias de monitoreo son desarrolladas a partir de cuatro (4) 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 Análisis Regional de la Zona Minera del Cesar, formulado inicialmente por la SIPTA en el año 2015 y actualizado en el año 2021. En el documento *“Actualización Reporte de Análisis Regional de la Zona Minera del Cesar”* (ANLA, 2021) se hacen una serie de recomendaciones para el componente hidrogeológico, tales como el análisis de posibles interconexiones de la formación objeto de interés minero y los acuíferos someros, evaluación de la capacidad de formaciones sellantes y estudios para unificación de criterios hidrogeológicos.





En segundo lugar, en pro de ejercer una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo, la ANLA en el año 2016 diseñó una primera versión de la estrategia de monitoreo de la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, en la cual se involucraron siete (7) proyectos mineros presentes en la región y se establecieron varias fases u obligaciones conjuntas para el desarrollo de la misma; una de las fases consistió en la generación del Modelo Hidrogeológico Conceptual Regional por parte de los proyectos mineros, el cual fue entregado a esta Autoridad mediante el radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre del 2017.

La siguiente fase requería de la presentación por parte de los licenciarios de una propuesta para el establecimiento de la red de monitoreo regional. En atención a esta, las sociedades plantearon una red conformada por 61 puntos de agua, tanto subterránea como superficial; no obstante, al momento de iniciar con la ejecución de los monitoreos algunas de las captaciones seleccionadas no se encontraban activas o no presentaban las condiciones idóneas para ser muestreadas, situación que no permitió avanzar con la ejecución de la estrategia. Por lo tanto, en el año 2021 la ANLA optó por solicitar a las empresas que presentaran una nueva propuesta individual de puntos de agua subterránea que fueran aptos para el monitoreo, posteriormente, cada uno de los puntos propuestos fue verificado en campo por parte de esta Autoridad Ambiental, confirmando así su viabilidad para ser incluidos en la red regional. Finalmente, en el segundo semestre del año 2021 se actualizó la estrategia de monitoreo y se establecieron para cada uno de los proyectos involucrados las nuevas condiciones de modo, tiempo y lugar, las cuales son las que están vigentes actualmente.

En los años 2023, 2024 y 2025, el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la SIPTA ha realizado el análisis e interpretación de los datos reportados por las empresas mineras para los años hidrológicos 2022, 2023 y 2024, respectivamente. El documento que recopila la información de los años hidrológicos 2022 y 2023 se denomina *“Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, Análisis regional del segundo año de monitoreo, julio del 2024”*. Enlace: <https://www.anla.gov.co/images/entidad/sipta/2025-02-27-anla-Estrategia-Fase-IV-ZMCC-2024.pdf>.

Por su parte, el análisis respecto al año 2024 se realizó en el documento *“Informe del estado de los recursos naturales: estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC. Aplicación de la Fase IV: análisis de información (2024), mayo del 2025”*. Enlace: [2025-11-05-anla-Fase IV ZMCC 2025.pdf](https://www.anla.gov.co/images/entidad/sipta/2025-11-05-anla-Fase_IV_ZMCC_2025.pdf).

Finalmente, en el presente documento se incluye la interpretación y análisis de los datos in-situ, fisicoquímicos y microbiológicos reportados en las campañas de monitoreo llevadas a cabo en el año 2025, dando continuidad a los análisis regionales realizados en años anteriores.





# 1 DESCRIPCION DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

## 1.1 Condición de Lugar

La estrategia de monitoreo regional actualmente está conformada por siete (7) proyectos, todos pertenecientes al sector de minería, tal como se describen en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Proyectos mineros que integran la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la ZMCC**

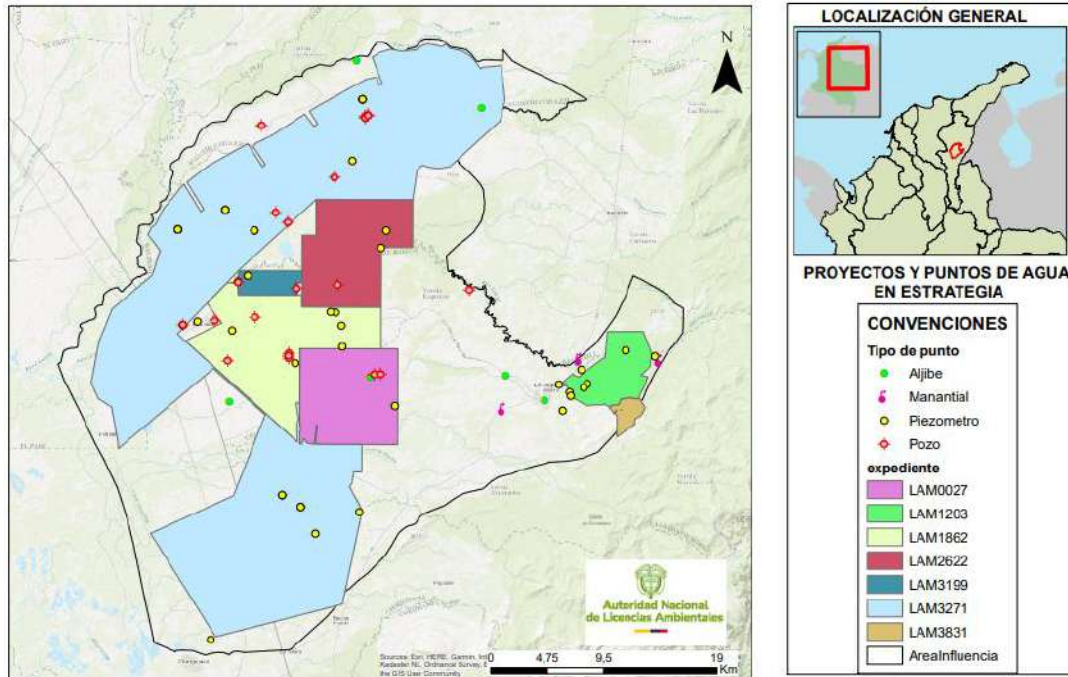
| Proyecto                                                                                                         | Expediente | Empresa                                 | Resolución que impone la estrategia                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Explotación integral de carbón del flanco occidental del Sinclinal de La Jagua de Ibirico.                       | LAM1203    | PRODECO S. A                            | 01910 del 29 de octubre de 2021.<br>1314 del 20 de junio de 2023.                                     |
| Exploración, construcción y montaje de carbonífera a cielo abierto denominado Proyecto Carbonífero Calenturitas. | LAM2622    |                                         | 01909 del 29 de octubre de 2021.<br>1552 del 18 de julio de 2023.                                     |
| Explotación Minera de Carbón, Mina El Hatillo.                                                                   | LAM1862    | COLOMBIAN<br>NATURAL<br>RESOURCES - CNR | 01911 del 29 de octubre de 2021.<br>1329 del 21 de junio de 2023.                                     |
| Extracción de carbón a cielo abierto - Mina La Francia.                                                          | LAM3199    |                                         | 01972 del 8 de noviembre de 2021.<br>1292 del 15 de junio de 2023.                                    |
| Explotación carbonífera La Loma - Mina La Loma- PRIBBENOW.                                                       | LAM0027    | DRUMMOND LTD                            | 01970 del 8 de noviembre de 2021.<br>00505 del 02 de marzo de 2022.<br>00581 del 23 de marzo de 2023. |
| Explotación carbonífera Mina El Descanso, Similoa y Rincón Hondo.                                                | LAM3271    |                                         | 02028 del 16 de noviembre de 2021.<br>1028-4 del 17 de mayo de 2023.                                  |
| PMA para mediana minería de explotación subterránea de carbón. 096-94. Mina la Divisa o Cerrolargo.              | LAM3831    | NORCARBON                               | 01300 del 16 de junio de 2023.                                                                        |

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

Actualmente la estrategia de monitoreo regional está conformada oficialmente por setenta (70) puntos de agua subterránea, cuya localización dentro del área delimitada por la estrategia se puede observar en la **Figura 1**.



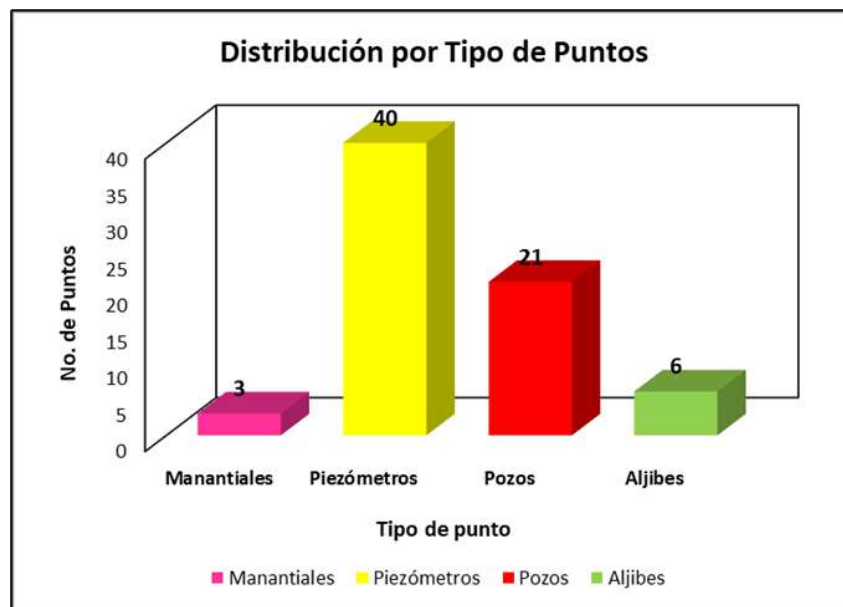
**Figura 1. Localización de los proyectos y puntos de agua subterránea monitoreados en el marco de la estrategia regional del recurso hídrico subterráneo en la ZMCC**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

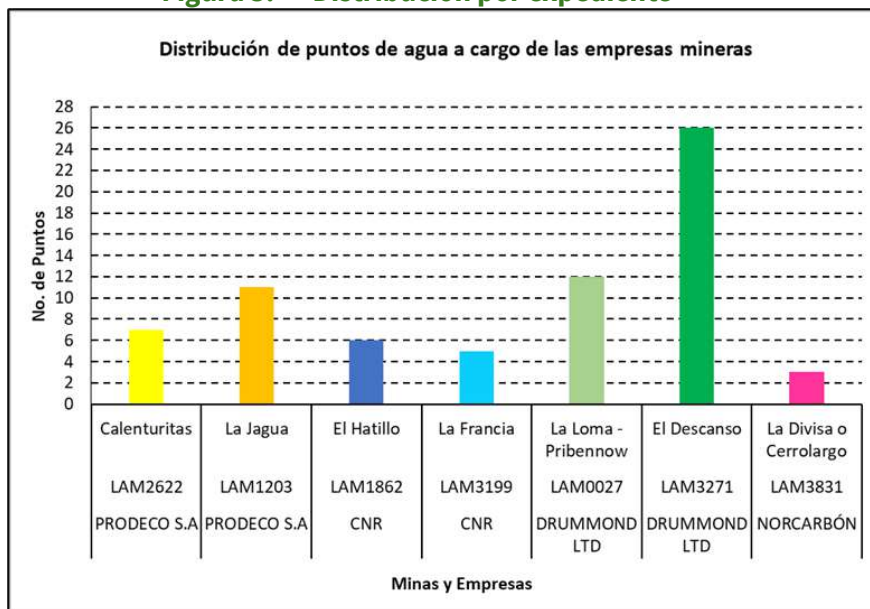
En las siguientes figuras se puede observar la distribución de los puntos que conforman la red de monitoreo regional, de acuerdo con el tipo de punto de agua subterránea (Figura 2), el expediente al que pertenecen (Figura 3) y la unidad geológica captada (Figura 4).

**Figura 2. Distribución por tipo de punto de agua subterránea**



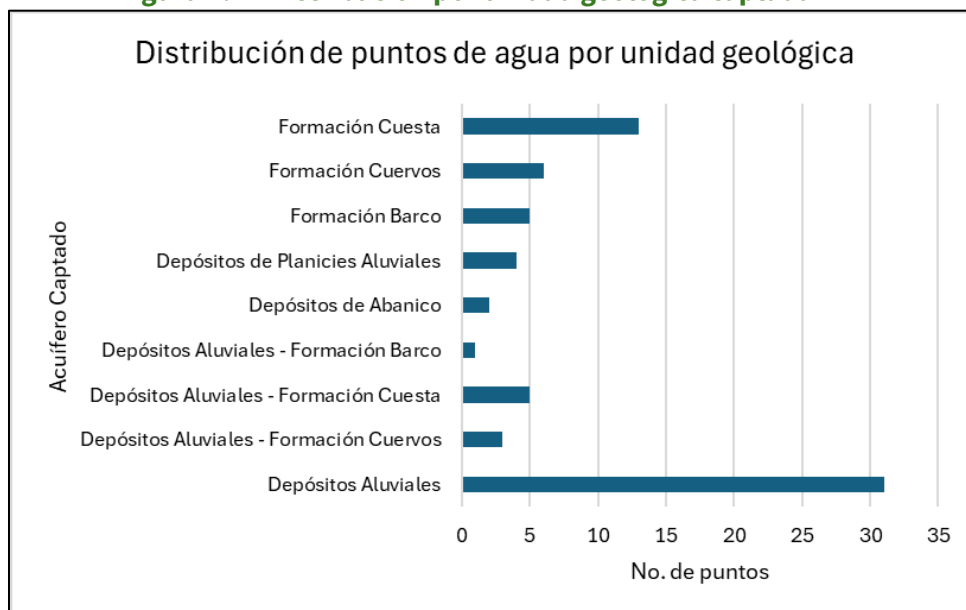
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 3. Distribución por expediente**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 4. Distribución por unidad geológica captada**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026

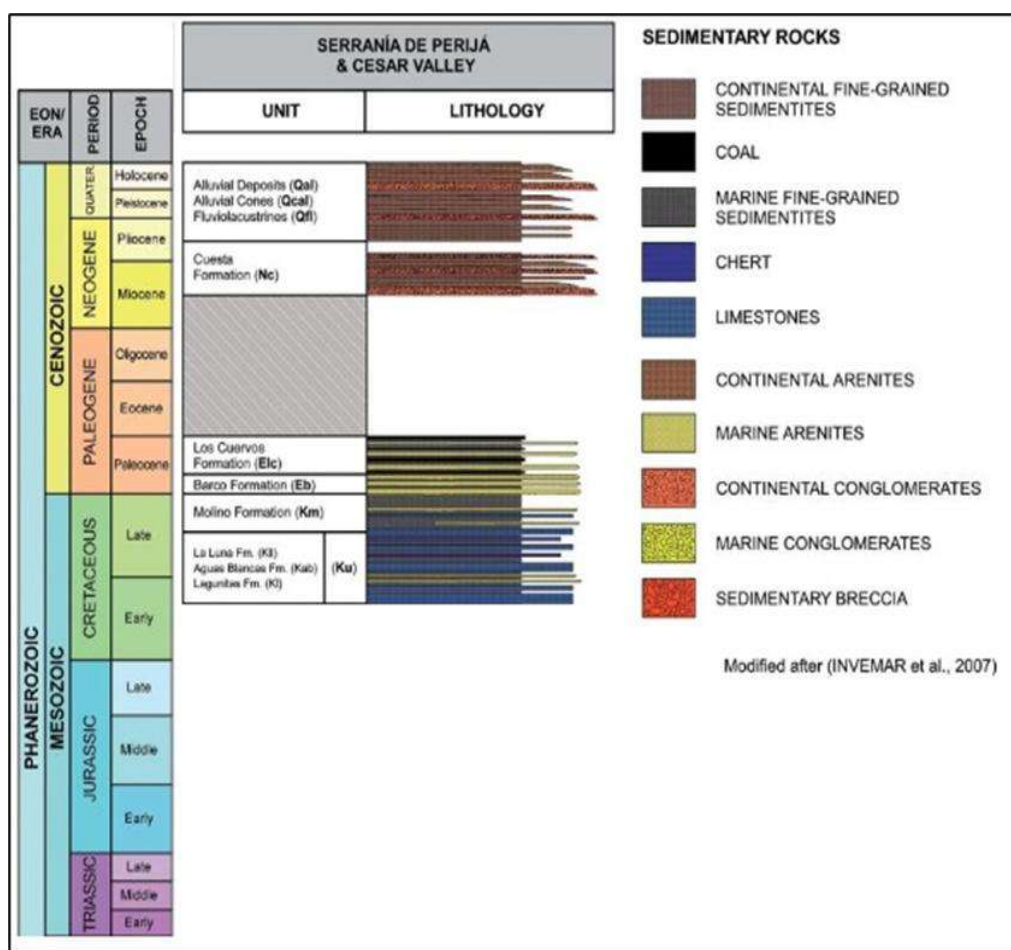
En el área delimitada para la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC afloran unidades geológicas con edades que van desde el Cretáceo hasta el Cuaternario, conformadas por rocas sedimentarias depositadas en variados ambientes de formación.

En la **Figura 5** se presenta una parte de la columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Cesar, donde se puede observar la posición cronoestratigráfica de las unidades

geológicas presentes. La unidad más antigua corresponde con la Formación La Luna, sobre la cual yacen las rocas de edad Terciaria, correspondientes con las formaciones Barco, Cuervos y Cuesta, las cuales son objeto de análisis en el marco de la estrategia de monitoreo regional, al igual que los diferentes depósitos cuaternarios (Depósitos Aluviales, Planicies Aluviales y Depósitos de Abanico). |

En el documento “Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la zona minera del centro del Cesar - ZMCC, Análisis regional del segundo año de monitoreo, julio del 2024”, se puede consultar en mayor detalle la descripción de las unidades geológicas mencionadas anteriormente, al igual que su caracterización hidrogeológica.

**Figura 5. Columna estratigráfica parcial de la cuenca sedimentaria del Cesar**



Fuente: Modificado del Anexo E – Compilación de la Cuenca de Cesar – Ranchería, Mapa de Profundidad de la Isoterma de Curie para Colombia Versión 0 (SGC, 2014) - Columnas Estratigráficas Generalizadas de la Cuenca de Cesar Ranchería. Tomado a su vez de (Mesa & Rengifo, 2011).

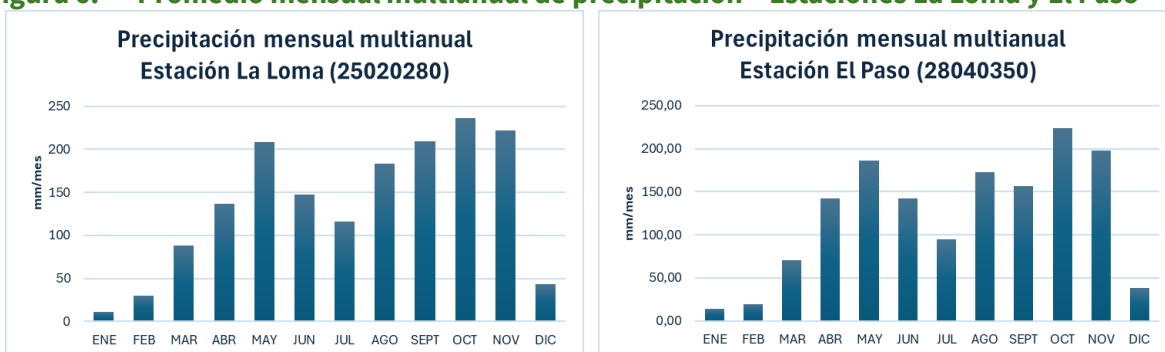
La información detallada de los puntos de monitoreo que conforman la estrategia de monitoreo regional en la ZMCC, tal como coordenadas, estado del punto, uso y unidad geológica captada, se puede encontrar en el **Anexo 1** del presente documento.

## 1.2 Condición de Tiempo

La frecuencia de monitoreo fue definida a partir de la variación climática del año hidrológico, de tal manera que sea posible conocer las tendencias de la calidad y disponibilidad del agua subterránea bajo tres (3) escenarios: estiaje, lluvia y transición.

Para conocer la distribución de la precipitación media mensual multianual de la cuenca de interés, se realizó el análisis del promedio de la precipitación en las estaciones climatológicas más cercanas, que corresponden a las estaciones de la Loma y El Paso, tal como se puede observar en la **Figura 6**.

**Figura 6. Promedio mensual multianual de precipitación – Estaciones La Loma y El Paso**



Fuente: Grupo de regionalización y Centro de Monitoreo, ANLA 2026, con información climatológica del IDEAM (período 2000 - 2025).

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

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

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

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
|  | Monitoreo en época seca          |
|  | Monitoreo en época húmeda        |
|  | Monitoreo en época de transición |

Fuente: ANLA, 2026.

## 1.3 Condición de Modo

Los parámetros incluidos en una red de monitoreo de calidad y cantidad 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 minería y sus actividades conexas, se definieron los siguientes parámetros para la estrategia de monitoreo:

- **Parámetros in situ:** nivel estático (previa interrupción del bombeo durante un periodo de 24 horas mínimo), pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto, salinidad y potencial Redox.
- **Parámetros fisicoquímicos cuantificados en laboratorio:** conductividad eléctrica, pH, turbiedad, coliformes totales, coliformes termotolerantes, E. Coli, alcalinidad total, dureza total, potasio, sodio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, nitritos, fosfatos, fluoruros, manganeso, aluminio, selenio, plomo, bario, molibdeno, cobre, cadmio, níquel, hierro total, amonio y zinc.

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 3**.

**Tabla 1. 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.





## 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 impuestas en el marco de la estrategia de monitoreo regional, se identificó que los proyectos mineros denominados mina La Francia – LAM3199, mina El Hatillo – LAM1862, mina Calenturitas – LAM2622, mina La Jagua – LAM1203, mina La Loma – LAM0027 y mina El Descanso – LAM3271, han reportado resultados de las campañas de monitoreo correspondientes con los años 2022, 2023, 2024 y 2025.

Es importante mencionar que a la fecha de corte del presente análisis (30 de marzo del año 2026), para los proyectos mina La Francia – LAM3199 y mina El Hatillo – LAM1862, cuyo licenciario es Colombian Natural Resources - CNR, no se presentó la información de los dos últimos monitoreos del año 2025, es decir los correspondientes con la temporada de transición y segunda húmeda; por lo tanto, en el marco del seguimiento de estos proyectos será necesario requerir la información faltante, de tal manera que se pueda integrar en el siguiente análisis regional.

El detalle de los radicados por expediente, fechas de entrega y campañas a las que corresponden, se puede encontrar en el **Anexo 2** de este documento. La fecha de corte para la revisión y compilación de los datos empleados en los análisis fue el 30 de marzo del año 2026. Es importante aclarar que, como se mencionó previamente, el análisis presentado en este documento se centra en los datos reportados en el año 2025, realizando su comparación con los datos de los años 2022, 2023 y 2024.

En cuanto al proyecto mina La Divisa o Cerrolargo – LAM3831, la estrategia fue impuesta en este expediente mediante la Resolución 01300 del 16 de junio de 2023, por lo tanto, la Sociedad debía empezar a reportar los monitoreos entre los meses de febrero a junio del año 2024, no obstante, la información no fue entregada en este plazo, por lo tanto, la ANLA solicitó los monitoreos de la campaña 1 – época seca del año 2024 mediante el Requerimiento 3 del Acta No. 1044 del 12 de diciembre de 2024, al cual la Sociedad dio respuesta a través del radicado 20256200441642 del 16 de abril de 2025.

Posteriormente, el titular del instrumento ambiental continuó incumpliendo con el reporte de información en los tiempos establecidos y no entregó los resultados de la campaña húmeda, a realizarse en los meses de abril a junio o septiembre a noviembre del 2024 (a





elección del titular del instrumento ambiental) por lo tanto, la ANLA solicitó dicha información en el requerimiento 10 del Acta 247 de 16 mayo de 2025, habiendo dado respuesta la Sociedad con el radicado 20256200979872 del 19 de agosto de 2025.

Finalmente, al revisar el expediente LAM3831 y el portal de recepción de información de la ANLA se evidencia que a la fecha de corte documental (30 de marzo de 2026) NORCARBÓN S.A. no ha radicado información respecto a los monitoreos ejecutados durante el año 2025, los cuales son el insumo principal para la realización del análisis de calidad y cantidad del recurso hídrico; razón por la cual, la Mina La Divisa o Cerro largo no será integrada en la interpretación de datos presentada en este documento. De igual forma, en el seguimiento ambiental del año 2026 se hará la respectiva verificación de la entrega de esta información por parte del licenciatario.

## 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 Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, 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.

Si bien actualmente se tiene información de cuatro (4) años (2022, 2023, 2024 y 2025), es necesario continuar con la adquisición de datos que permitan realizar análisis multitemporales, con resultados cada vez más ajustados a las condiciones reales del medio, a partir de los cuales se identifique la presencia o no de impactos acumulativos sobre el recurso hídrico subterráneo.

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 2.2.3.3.3.4 del Decreto 1076 de 2015, el cual cita lo siguiente: *“ARTÍCULO 2.2.3.3.3.4. Criterios de Calidad para usos múltiples. En aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia.”*

Es importante precisar que los valores de referencia establecidos en la normativa corresponden a criterios de calidad para agua destinada a consumo humano, por lo que su





aplicación no es directamente exigible a la totalidad de los puntos de monitoreo que hacen parte de la estrategia regional. En este sentido, los rangos normativos fueron considerados únicamente como un marco de referencia para el análisis comparativo de los resultados, mas no como criterios de estricto cumplimiento. Por lo tanto, las desviaciones observadas deben interpretarse en el contexto de las condiciones hidrogeoquímicas de cada unidad geológica y del uso real del recurso hídrico subterráneo.

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 el año 2025 se llevaron a cabo 237 muestreos, de los cuales se descartaron 47 (el 19,83 % de los datos), empleándose un total de 190 muestras de agua subterránea para la construcción de los diagramas. Los expedientes de los cuales fueron eliminadas un mayor número de muestras corresponden con el LAM0027, LAM1862 y LAM3199, de estos últimos solamente se tienen datos de las primeras dos campañas de monitoreo.

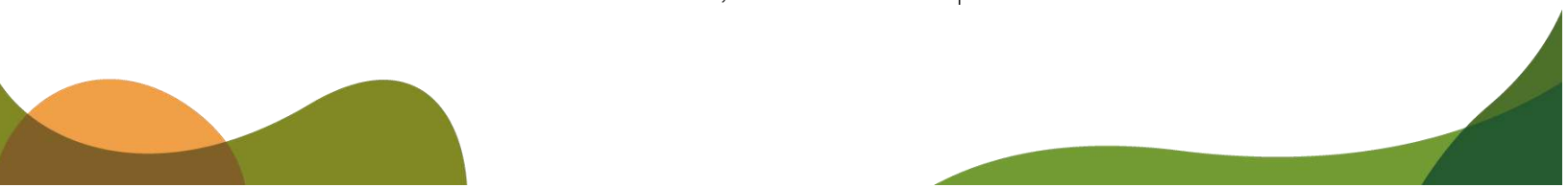
En cuanto a los expedientes LAM0027 y LAM3271, el licenciatario no presenta el cálculo del error analítico ni la metodología empleada para su determinación. En consecuencia, dicha información será objeto de requerimiento en los respectivos seguimientos ambientales, con el fin de verificar la calidad y confiabilidad de los datos utilizados en los análisis, así como su representatividad frente a las condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico subterráneo.

## 2.2.1 Nivel Estático

### 2.2.1.1 *Análisis de profundidad del nivel estático*

Con el fin de identificar posibles alteraciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el área de la estrategia de monitoreo regional en la ZMCC, 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 red de monitoreo regional. En este análisis se presentan los monitoreos de nivel estático correspondientes al año 2025, teniendo como referencia los datos de los años 2022, 2023 y 2024 para cada una de las épocas climáticas: seca, transición y húmeda.

Es preciso aclarar que no se cuenta con información de todos los puntos de agua en todas las campañas de monitoreo, tal es el caso del punto MSB-LAM1862-0005 de la mina El Hatillo que se encuentra obstruido, y los puntos MSB-LAM2622-0006, MSB-LAM2622-0102 y MSB-LAM2622-0104 de la mina Calenturitas, los cuales no reportan información de niveles





estáticos y las muestras son tomadas mediante bombeo. Tales situaciones serán validadas en los respectivos seguimientos ambientales.

A continuación, en las siguientes gráficas, se presenta el comportamiento de la profundidad del nivel estático durante el año 2025, en cada una de ellas se observan los números 1, 2, 3 y 4 que corresponden a las campañas seca (1. diciembre – marzo), primera húmeda (2. abril – junio), transición (3. julio – agosto) y segunda húmeda (4. septiembre – noviembre) respectivamente.

### Depósitos cuaternarios

En términos generales, la profundidad del nivel estático oscila entre 0 y 10 m, con algunos descensos puntuales que alcanzan profundidades cercanas a los 25 m, con lo cual se evidencia cierta heterogeneidad en las condiciones hidrogeológicas locales de los puntos de agua monitoreados, relacionadas con posibles variaciones litológicas, de permeabilidad o zonas de recarga diferencial.

Para el expediente LAM0027 (**Figura 7**), se observa una baja variabilidad de la profundidad del nivel estático entre temporadas climáticas; durante la época seca (1), los niveles tienden a ser más profundos, lo cual es consistente con una menor recarga; en la primera temporada húmeda (2) y la de transición (3), se evidencia una recuperación del nivel, con menores profundidades (ascenso del agua subterránea) y en la segunda temporada húmeda (4) el nivel se mantiene relativamente somero en la mayoría de los puntos, a excepción del MSB-LAM0027-0013 que ha presentado una profundidad cercana a los 15 m de manera constante en 2024 y 2025.

En el caso del expediente LAM1203 (**Figura 7**), el comportamiento de la mayoría de los puntos de agua medidos es relativamente homogéneo durante todo el año hidrológico, con variaciones inferiores al metro, a excepción del punto MSB-LAM1203-0003 que presenta profundidades del nivel estático en promedio de 1,5 m en las tres primeras campañas (1 – seca, 2 – primera húmeda y 3 - transición) y en la segunda temporada húmeda (4) se profundiza hasta los 4,72 m, posible condición propia del punto dado que se ha presentado de la misma forma en años anteriores.

En el LAM2622 (**Figura 7**), se evidencia la mayor variabilidad y los niveles más profundos reportados en los Depósitos Cuaternarios, asociados a los puntos MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM2622-0103, los cuales superan los 20 m en las dos (2) temporadas húmedas. Teniendo en cuenta que estos dos (2) puntos son piezómetros, las variaciones reportadas pueden indicar condiciones locales, ya sea de menor recarga por taponamiento de los filtros de las estructuras o aumentos temporales del caudal de explotación de pozos profundos cercanos generando conos de abatimiento que afectan los mencionados puntos de agua, dado que no es la primera vez que estos puntos presentan esas profundidades, en la temporada de

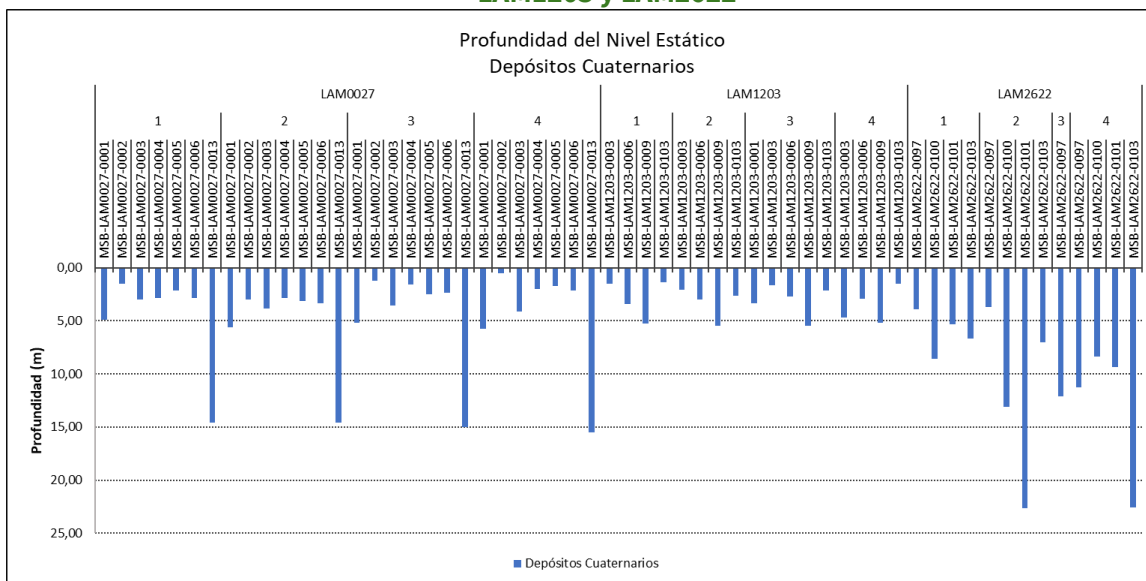




transición de 2024 llegaron casi a los 30 m. Aun así, se mantiene la tendencia general: niveles más profundos en época seca y recuperación parcial en épocas húmedas.

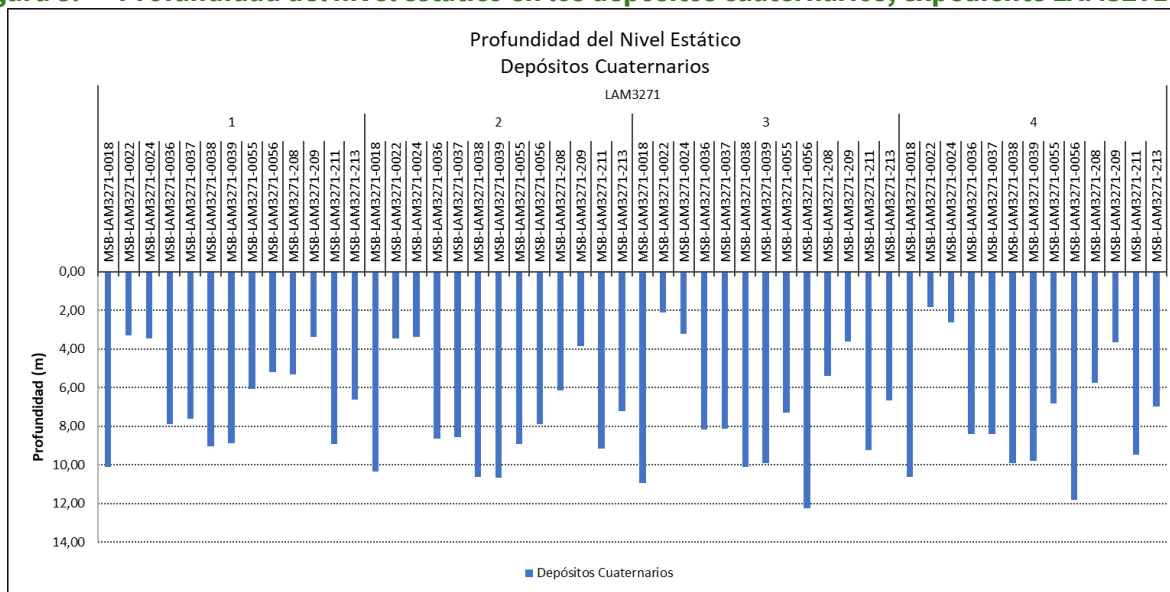
En el expediente LAM3271 (Figura 8), el acuífero de los depósitos cuaternarios presenta niveles estáticos predominantemente someros, con profundidades que en la mayoría de los puntos oscilan entre 3 y 10 m, con algunos descensos localizados. Este comportamiento es acorde con la variabilidad espacial y heterogeneidad litológica de estos depósitos. En la primera temporada húmeda (2), al contrario de lo esperado, se observa una profundización general del nivel estático, esto se asocia posiblemente con el momento en que se realizó la medición, si este fue muy cercano al final de la temporada seca el sistema acuífero no se alcanzó a recargar y el comportamiento mostrado sería más representativo de la temporada seca. La época de transición (3), presenta una mayor dispersión en los datos, se identifican tanto niveles someros (cerca de 2 y 4 m) como descensos importantes que alcanzan los 12 m de profundidad, como es el caso del aljibe MSB-LAM3271-0056; para la segunda temporada húmeda (4) se evidencia la recuperación de niveles en algunos puntos de agua; sin embargo, en casos específicos, como el del punto MSB-LAM3271-0056, se mantienen las condiciones de niveles profundos. Lo anterior indica que, no todo el sistema acuífero responde de manera uniforme ante las variaciones climáticas, probablemente debido a la heterogeneidad y anisotropía del acuífero.

**Figura 7. Profundidad del nivel estático en los depósitos cuaternarios, expedientes LAM0027, LAM1203 y LAM2622**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 8. Profundidad del nivel estático en los depósitos cuaternarios, expediente LAM3271**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

### Formaciones terciarias

En el LAM0027 (Figura 9) predominan niveles estáticos someros a intermedios con profundidades de 5 a 12 m, que se mantienen relativamente constantes en el año hidrológico en todos los puntos asociados a la Formación Cuesta. Por su parte, la Formación Barco presenta variabilidad en los niveles, es así como en las campañas 2 y 4, de las épocas húmedas, se observan descensos de varios metros en el pozo MSB-LAM0027-0010, lo cual no es coherente con la condición climática presente en el momento de la medición, por lo cual se deduce que tal abatimiento obedece posiblemente a que se midió un nivel dinámico, es decir que previo a la toma del dato, no se dejó recuperar el pozo lo suficiente, por tanto, el nivel de la lámina de agua no alcanzó a llegar a su punto de equilibrio hidrostático.

En el LAM1203 (Figura 9) en los puntos asociados a la Formación Cuervos, se observan niveles con profundidades relativamente uniformes entre los 4 y 8 m en la mayoría de las campañas. En el punto MSB-LAM1203-0010 se dio un ligero ascenso en la segunda época húmeda (4), asociado posiblemente con una buena respuesta ante el aumento de la recarga, a diferencia de las captaciones MSB-LAM1203-0007 y MSB-LAM1203-0008 en las cuales para la misma campaña 4 la profundidad del nivel estático descendió entre 2 y 4 m respectivamente.

En el LAM1862 (Figura 9) en los puntos que captan la Formación Cuesta se observa una mayor dispersión en las profundidades del nivel estático, variando desde los 5 hasta los 16 m; puntos como MSB-LAM1862-0009 y MSB-LAM1862-0010 muestran niveles profundos persistentes desde años anteriores, posiblemente asociados al régimen de captación de estos dos pozos profundos, usados para el abastecimiento público.



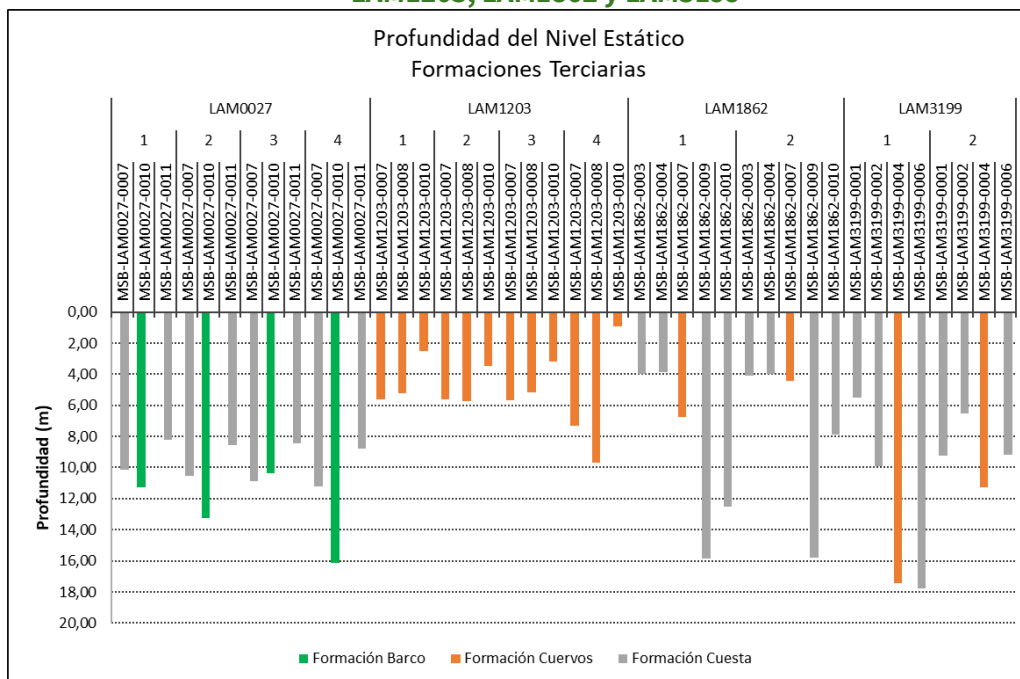
En el LAM3199 (**Figura 9**) se presentan las mayores profundidades, registradas en la época seca (1) con mediciones de hasta 18 m, observadas desde años anteriores en los piezómetros MSB-LAM3199-0004 (Formación Cuervos) y MSB-LAM3199-0006 (Formación Cuesta), los cuales se recuperan en casi 10 m en los monitoreos de la primera campaña húmeda (2), teniendo en cuenta que estos puntos son exclusivamente para monitoreo se puede decir que el comportamiento de los niveles piezométricos es proporcional con la variabilidad climática de la zona.

En el LAM3271 (**Figura 10**) se observa, en general, a nivel de puntos de agua el mayor rango de variación en la profundidad de los niveles estáticos, que va desde los 3 m (MSB-LAM3271-0025) a más de 24 m (MSB-LAM3271-0048). No obstante, todos los puntos de agua mantienen relativamente constante la profundidad de la lámina de agua en todo el año hidrológico.

Al realizar un análisis por unidades geológicas se evidencia que la Formación Cuervos presenta de manera consistente para todas las campañas los niveles estáticos más profundos (hasta ~24 m), asociados posiblemente con menores conductividades hidráulicas o mayor confinamiento; la Formación Barco muestra niveles intermedios (entre 8 y 16 m), con cierta recuperación en las campañas húmedas; y la Formación Cuesta tiene niveles más someros (5 a 10 m), mostrando una mejor respuesta a la recarga local en sus áreas de afloramiento y/o recarga vertical efectiva a través de los acuíferos cuaternarios que los suprayacen.

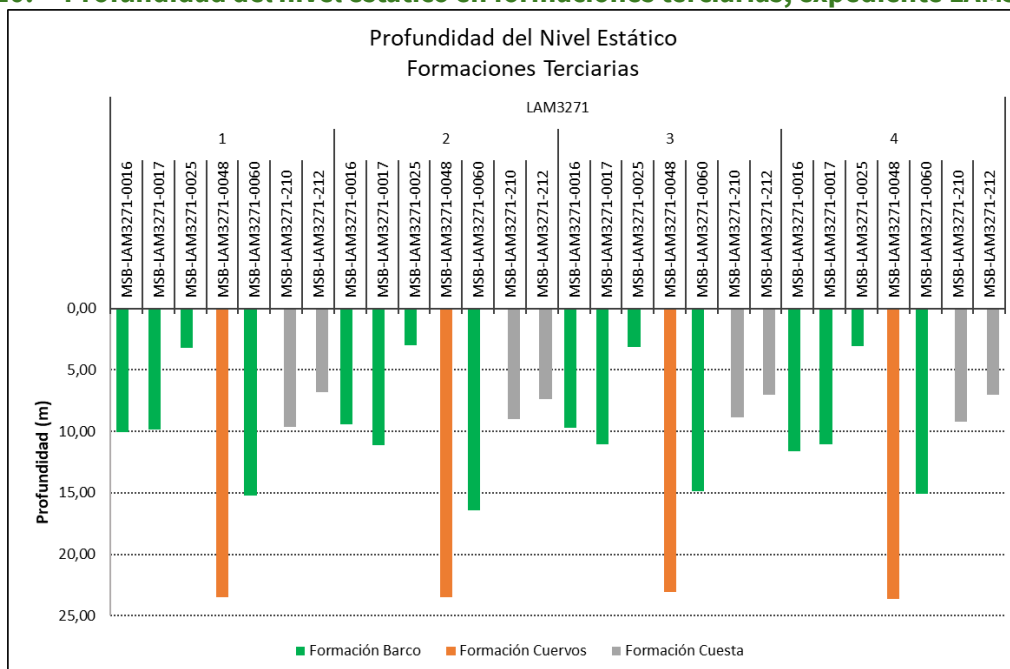


**Figura 9. Profundidad del nivel estático en las formaciones terciarias, expedientes LAM0027, LAM1203, LAM1862 y LAM3199**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 10. Profundidad del nivel estático en formaciones terciarias, expediente LAM3271**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



## Mezclas de aguas depósitos cuaternarios - formaciones terciarias

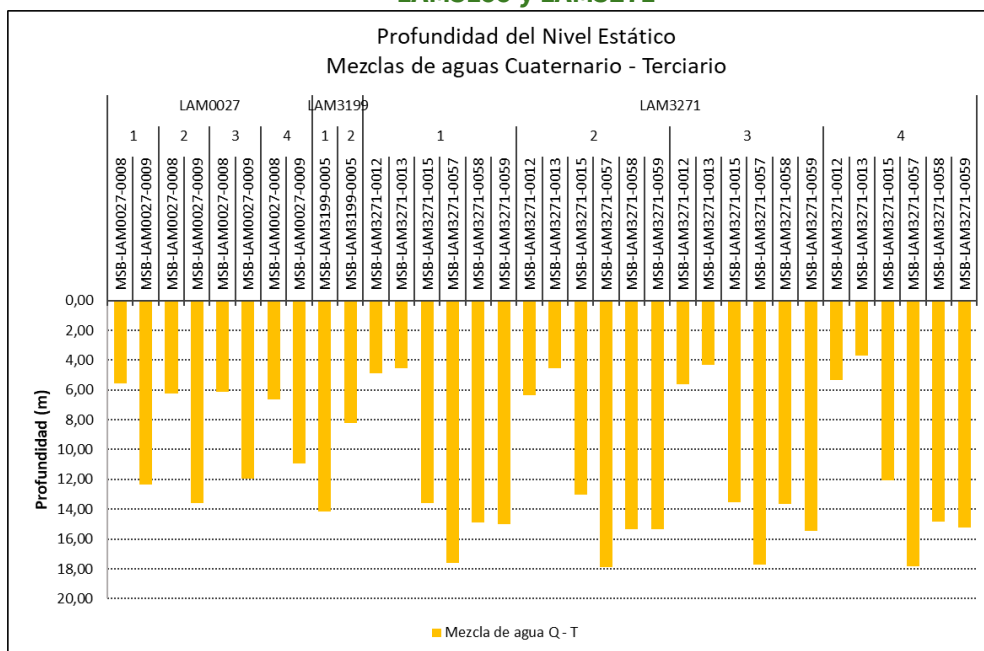
En el expediente LAM0027 (Figura 11) los niveles estáticos están en un rango aproximado de 6 a 14 m de profundidad, con una variabilidad moderada entre campañas, registrándose en algunos puntos mayores profundidades en la primera temporada húmeda (2) y la de transición (3) y una recuperación parcial en la segunda época temporada húmeda (4), lo que se interpreta como una posible influencia directa de la recarga. Este comportamiento sugiere una conexión hidráulica activa entre los acuíferos libres (Cuaternario) y semiconfinados - confinados (Terciario), permitiendo de cierta manera la regulación del nivel freático.

En el punto de agua correspondiente al expediente LAM3199 (Figura 11) los niveles se encontraron en la campaña seca (1) en 14 m de profundidad y en la primera húmeda (2) ascendieron a 8 m, posiblemente en respuesta al aumento de la recarga producto del incremento de las lluvias.

El expediente LAM3271 (Figura 11) dado que cuenta con la mayor cantidad de puntos de agua se evidencia una mayor variabilidad y profundidad de los niveles estáticos, con valores entre 5 y más de 18 m. No obstante, el comportamiento de la lámina de agua en todas las captaciones es relativamente uniforme en las cuatro campañas de monitoreo.

En conclusión, a partir de las gráficas se evidencia que las mezclas de agua Cuaternario – Terciario tienen una dinámica controlada tanto por la recarga estacional como por la heterogeneidad de las unidades hidrogeológicas.

**Figura 11. Profundidad del nivel estático en las formaciones terciarias expediente LAM0027, LAM3199 y LAM3271**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



## Interpretación regional

Según el comportamiento observado del nivel estático en las diferentes unidades geológicas y considerando que la principal fuente de recarga corresponde a la infiltración directa de la precipitación, se evidencia, en términos generales, una respuesta concordante con la variabilidad climática, caracterizada por ascensos del nivel freático durante las épocas húmedas y descensos en las temporadas secas.

No obstante, se identificaron nueve (9) de los setenta (70) puntos que conforman la red de monitoreo regional en los cuales esta tendencia no se presenta, evidenciándose una profundización del nivel estático durante las épocas húmedas. Estos puntos corresponden a: MSB-LAM1203-0003, MSB-LAM2622-0101, MSB-LAM2622-0103, MSB-LAM3271-0056, MSB-LAM0027-0010, MSB-LAM1203-0007, MSB-LAM1203-0008, MSB-LAM1862-0009 y MSB-LAM1862-0010.

Las causas de este comportamiento podrían estar asociadas al régimen de explotación de los mismos puntos o de captaciones cercanas, en el caso de los piezómetros, así como a condiciones propias de la infraestructura de monitoreo, tales como el taponamiento de filtros o la ausencia de mantenimiento. Estas situaciones serán objeto de verificación en el marco del seguimiento ambiental de los proyectos involucrados, mediante el análisis particular de cada punto, con el fin de identificar las causas que originan este comportamiento, establecer si corresponde a una condición persistente y determinar, de ser el caso, si puede estar asociado a impactos acumulativos derivados de la actividad minera.

En conclusión, aunque las campañas realizadas durante la época húmeda favorecen, en términos generales, la recuperación del nivel estático, esta respuesta no es homogénea en todos los puntos de monitoreo ni en las diferentes unidades geológicas. Lo anterior, evidencia una variabilidad espacial en la respuesta hidrogeológica de los acuíferos, asociada a diferencias en las condiciones de recarga, conectividad hidráulica y características propias de cada unidad, así como a posibles factores antrópicos o locales que deberán ser analizados en el marco del seguimiento ambiental.

### *2.2.1.2 Direcciones de flujo del agua subterránea*

El comportamiento de la piezometría y las direcciones de flujo fue analizado para las áreas de afloramiento de los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta, debido a que estas corresponden a las unidades de mayor extensión y con el mayor número de captaciones de agua subterránea en la ZMCC.

La distribución espacial de la superficie piezométrica se realizó a través de la interpolación ejecutada con la herramienta Kriging, con la cual se pueden estimar los valores de una variable en lugares no caracterizados, utilizando la información proporcionada por muestras cercanas.





Con lo anterior, se definió la superficie piezométrica a partir de los registros de niveles piezométricos medidos durante el año 2025, específicamente en las épocas seca y primera húmeda, debido a que estas campañas cuentan con la mayor cobertura de información, correspondiente a seis (6) de los siete (7) proyectos integrados en la estrategia.

### Depósitos Cuaternarios

En las **Figuras 12 y 13** se observa que, para los depósitos cuaternarios, independientemente de la época climática, la superficie piezométrica muestra que las zonas de recarga – tránsito y descarga evolucionan en dirección oriente – occidente y el flujo del agua subterránea se mueve en este mismo sentido, hacia el valle del río Cesar, corriente que fluye en dirección sur - norte por el costado occidental del área de la estrategia de monitoreo.

Este comportamiento del flujo del agua subterránea se ha mantenido constante en los últimos años, acorde con la dirección regional del drenaje superficial y subterráneo identificado en el Modelo Hidrogeológico Conceptual Regional – MHCR presentado por las empresas minera en el año 2017 (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017).

### Formación Cuesta

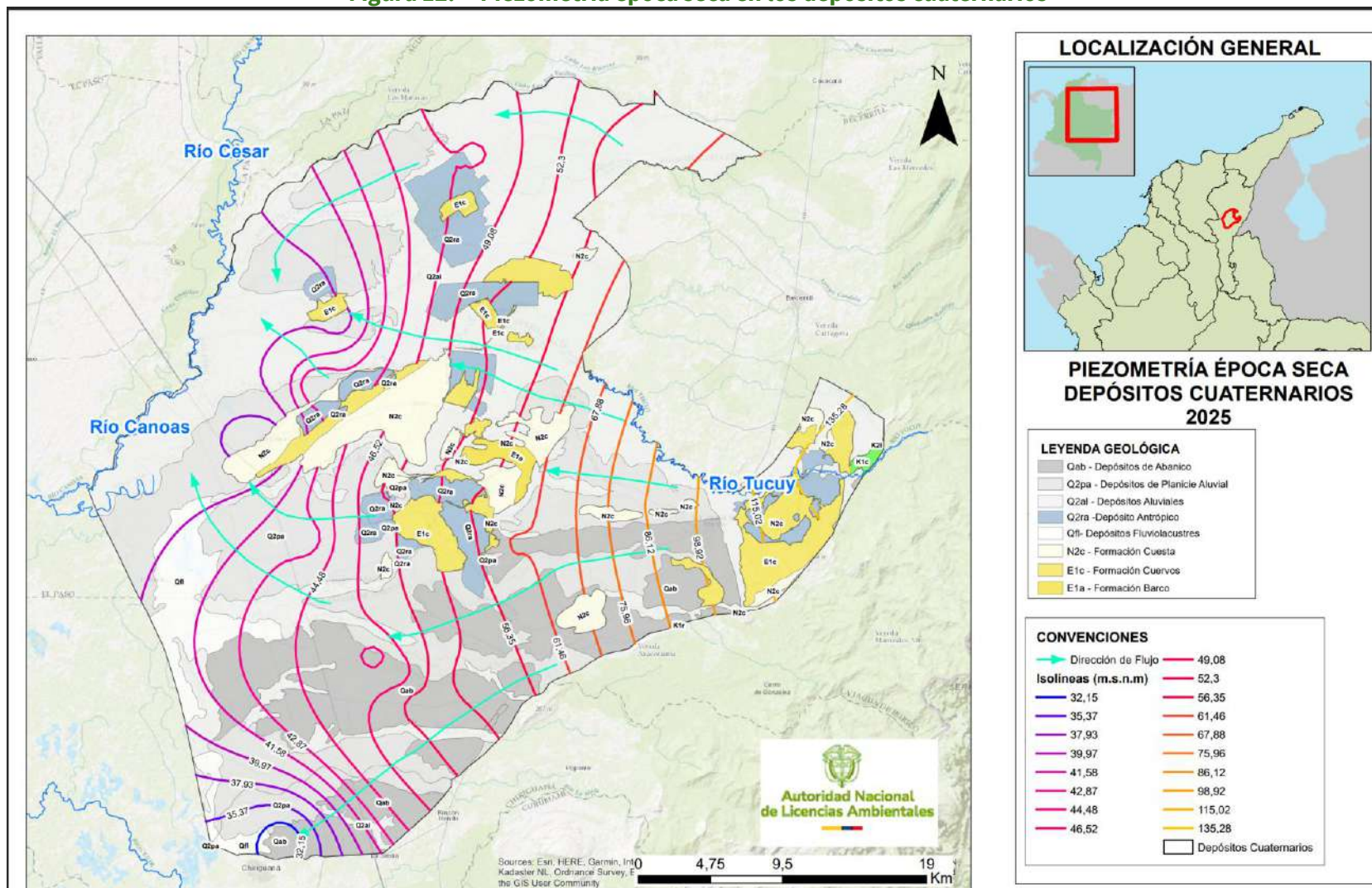
La superficie piezométrica del acuífero de la Formación Cuesta oscila en su área más extensa de afloramiento, para la época húmeda (**Figura 14**), entre los 33 y 63 m.s.n.m y para la época seca (**Figura 15**) entre 32 a 59 m.s.n.m, disminuyendo en dirección nororiente -suroccidente.

De acuerdo con las gráficas, el flujo subterráneo se mueve, independientemente de la época climática, en dirección NE-SW, de forma paralela al trazo de las fallas La Loma y El Hatillo, constituyéndose estas estructuras probablemente en barreras hidrogeológicas. No obstante, es posible que los puntos de agua que se utilizaron en el análisis no sean suficientes, ni tengan la cobertura areal adecuada para estudiar en detalle el comportamiento hidráulico del acuífero y la incidencia que tienen las fallas sobre él; por lo cual, es recomendable en el futuro hacer análisis espaciales con un mayor cubrimiento de puntos de agua asociados a las estructuras tectónicas, con el fin de confirmar la incidencia de estas en el flujo del agua subterránea.



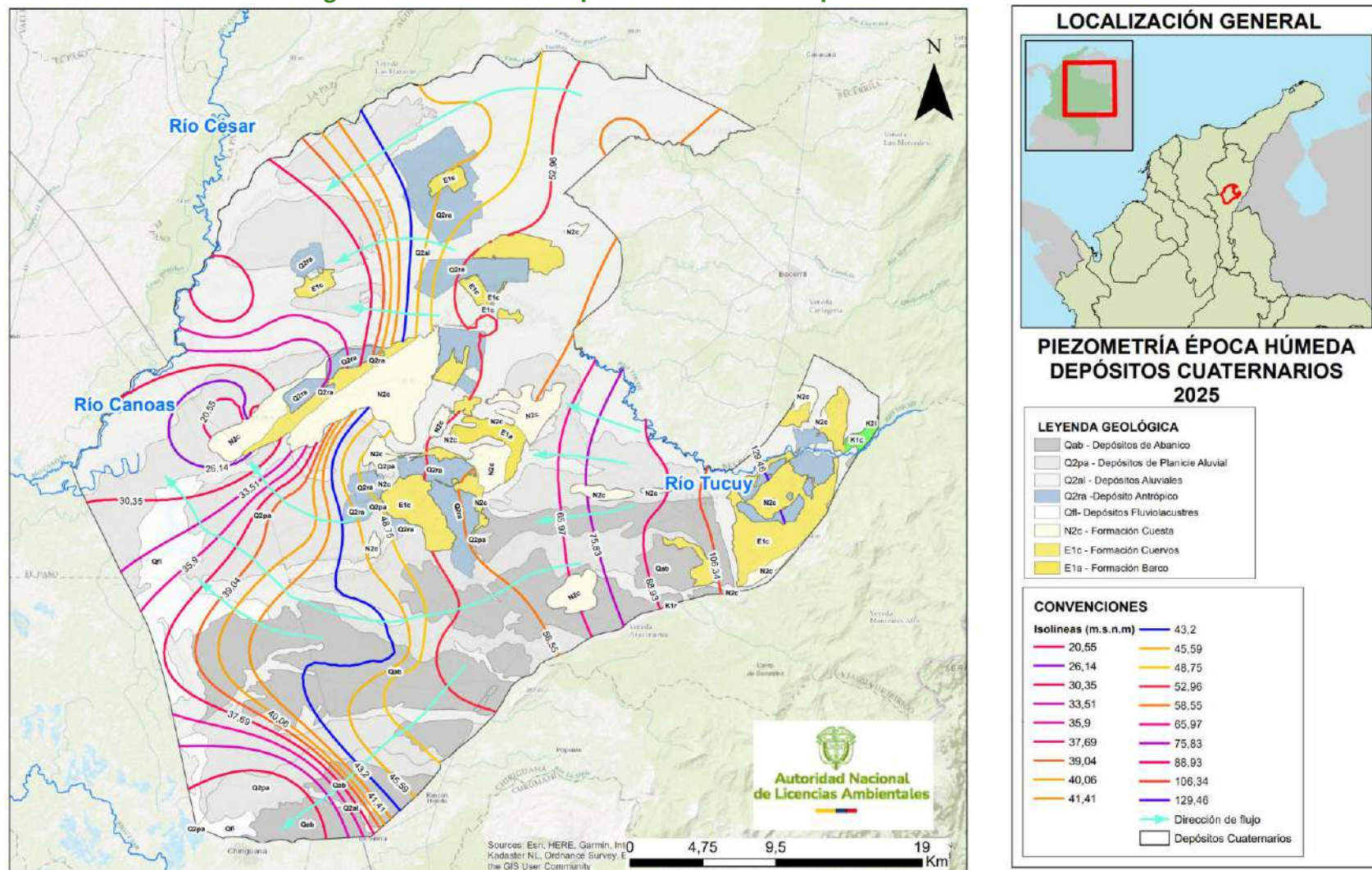


**Figura 12. Piezometría época seca en los depósitos cuaternarios**



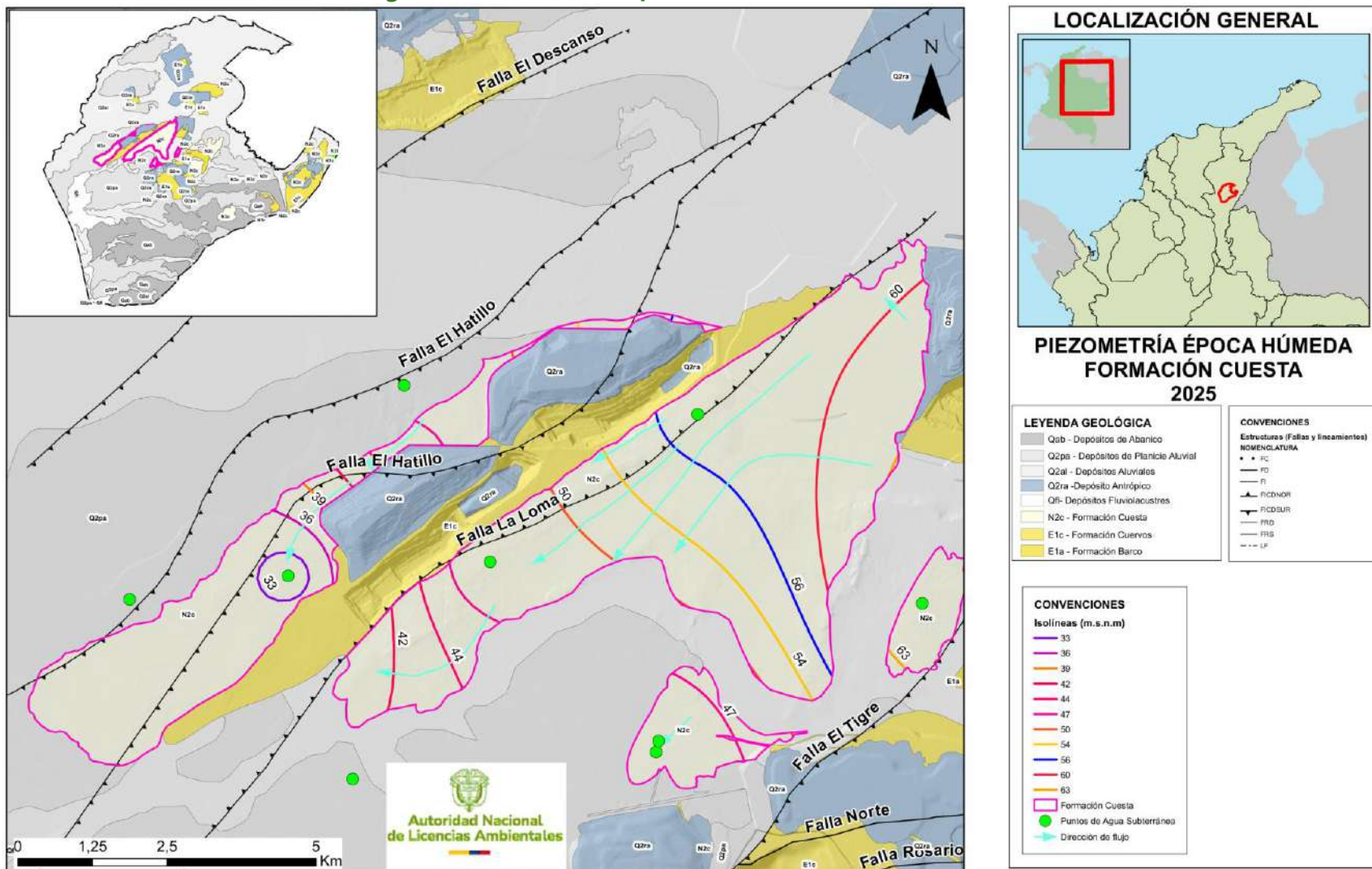
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 13. Piezometría época húmeda en los depósitos cuaternarios**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

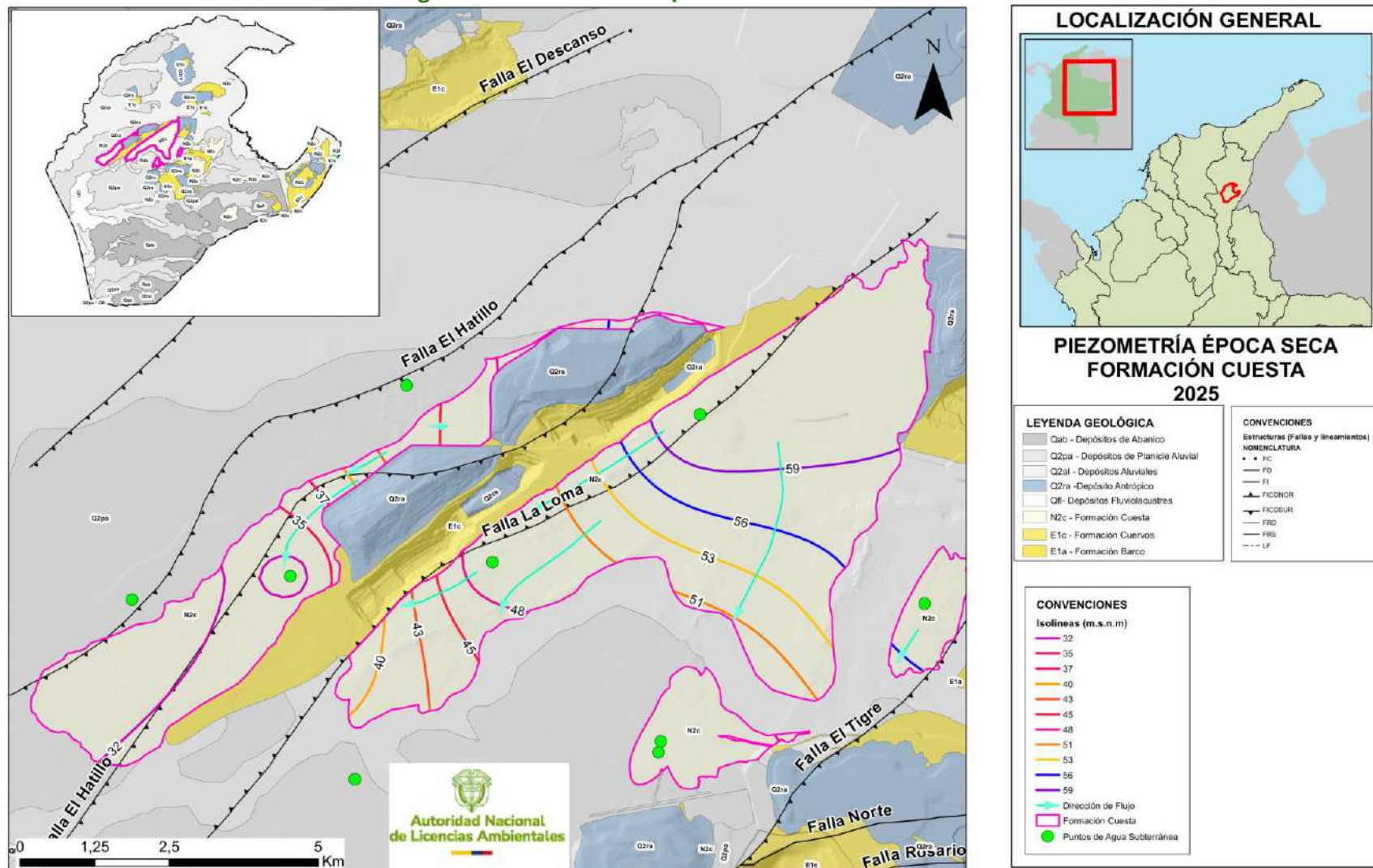
### Figura 14. Piezometría época húmeda Formación Cuesta



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



**Figura 15. Piezometría época seca Formación Cuesta**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



## 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 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).

El análisis de estos parámetros se realizó de dos maneras, en primer lugar, se hicieron diagramas de cajas y bigotes para ver la tendencia de los datos de acuerdo con la unidad geológica captada y la temporada climática; y, en segundo lugar, se realizaron mapas de distribución espacial para las dos épocas extremas (seca y húmeda), agrupando los datos de acuerdo con la edad de las formaciones geológicas captadas.

En la **Figura 16** se presentan los diagramas de cajas y bigotes, a partir de los cuales se observa que los valores de Conductividad Eléctrica (CE) registrados durante el año 2025 corresponden, en su mayoría, a aguas dulces, dado que generalmente no superan los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De manera consistente en todas las temporadas analizadas, se evidencia que las aguas subterráneas asociadas a los Depósitos Cuaternarios, la Formación Cuesta y la mezcla depósitos cuaternarios – formaciones terciarias presentan valores de conductividad relativamente bajos, inferiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En contraste, las aguas provenientes de las formaciones Barco y Cuervos exhiben valores más elevados de conductividad. Este comportamiento puede estar relacionado con la edad de las unidades geológicas, considerando que estas últimas corresponden a formaciones más antiguas, en las cuales el agua subterránea presenta mayores tiempos de residencia, favoreciendo procesos de interacción agua-roca y, en consecuencia, un incremento en la mineralización.

Sin embargo, puntualmente para el agua subterránea de los depósitos cuaternarios, se observa en algunos puntos la presencia recurrente de datos atípicos altos en todas las temporadas analizadas, en varios casos, alcanzan incluso valores del orden de 3500 y 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estas anomalías corresponden al expediente LAM3271, específicamente a los puntos MSB-LAM3271-0036 (Piezómetro PZ28) y MSB-LAM3271-0055 (Aljibe 41-III-B-Santa Eulalia 2), dichos valores se han presentado desde el año 2022 y consideran altos al asociarse a





acuíferos libres de origen aluvial, donde generalmente circulan aguas de recarga reciente y baja mineralización.

Este comportamiento evidencia que, aunque la mayor parte de las mediciones se concentra en rangos bajos de conductividad (propios de aguas dulces), existen muestreos puntuales con incrementos anómalos de mineralización. La persistencia de estos valores atípicos en los diferentes periodos analizados sugiere que no corresponden a un fenómeno aislado, sino a condiciones locales o temporales específicas. Cabe la pena resaltar que en los análisis regionales realizados por esta Autoridad desde el año 2022, se ha venido evidenciando este mismo comportamiento en los puntos mencionados del expediente LAM3271.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estos valores extremos podrían estar asociados a procesos como mezcla con aguas de mayor mineralización, influencia de fuentes antrópicas, o interacción localizada agua-roca, los cuales generan incrementos puntuales en la conductividad eléctrica.

En la **Figura 17** se presentan los diagramas de cajas y bigotes correspondientes a los Sólidos Disueltos Totales (SDT) para las diferentes unidades geológicas y temporadas de monitoreo. De manera general, se observa que la mayoría de los valores de SDT se mantienen por debajo de 1000 mg/l, lo que indica que las aguas subterráneas corresponden a aguas dulces, en concordancia con la clasificación propuesta por Freeze y Cherry (1979).

De forma consistente en todas las temporadas analizadas, las aguas asociadas a los Depósitos Cuaternarios, la Formación Cuesta y la mezcla de depósitos cuaternarios-formaciones terciarias presentan concentraciones relativamente bajas de SDT, mientras que las formaciones Barco y Cuervos muestran valores más elevados y con mayor dispersión, lo cual refleja un mayor grado de mineralización. Este comportamiento es coherente con lo observado previamente en la Conductividad Eléctrica (CE), donde estas últimas unidades también registraron valores superiores.

En cuanto a los valores atípicos, se evidencia la presencia de concentraciones elevadas de SDT, particularmente en los depósitos cuaternarios, con registros que superan ampliamente el rango donde se concentra la mayoría de los datos, al igual que sucede con la CE. Como se mencionó anteriormente, estos comportamientos puntuales sugieren la ocurrencia de procesos locales de incremento en la mineralización, tales como mezcla con aguas de mayor contenido iónico o influencias antrópicas.

Finalmente, al comparar los resultados de SDT con los de CE, se observa que, en términos generales, se cumple la relación empírica propuesta por Custodio & Llamas (1983), según la cual los valores de SDT corresponden aproximadamente a la mitad de los valores de conductividad eléctrica. No obstante, se presenta cierta variabilidad en dicha relación, lo cual es esperable debido a diferencias en la composición iónica del agua y en los procesos que controlan la mineralización.





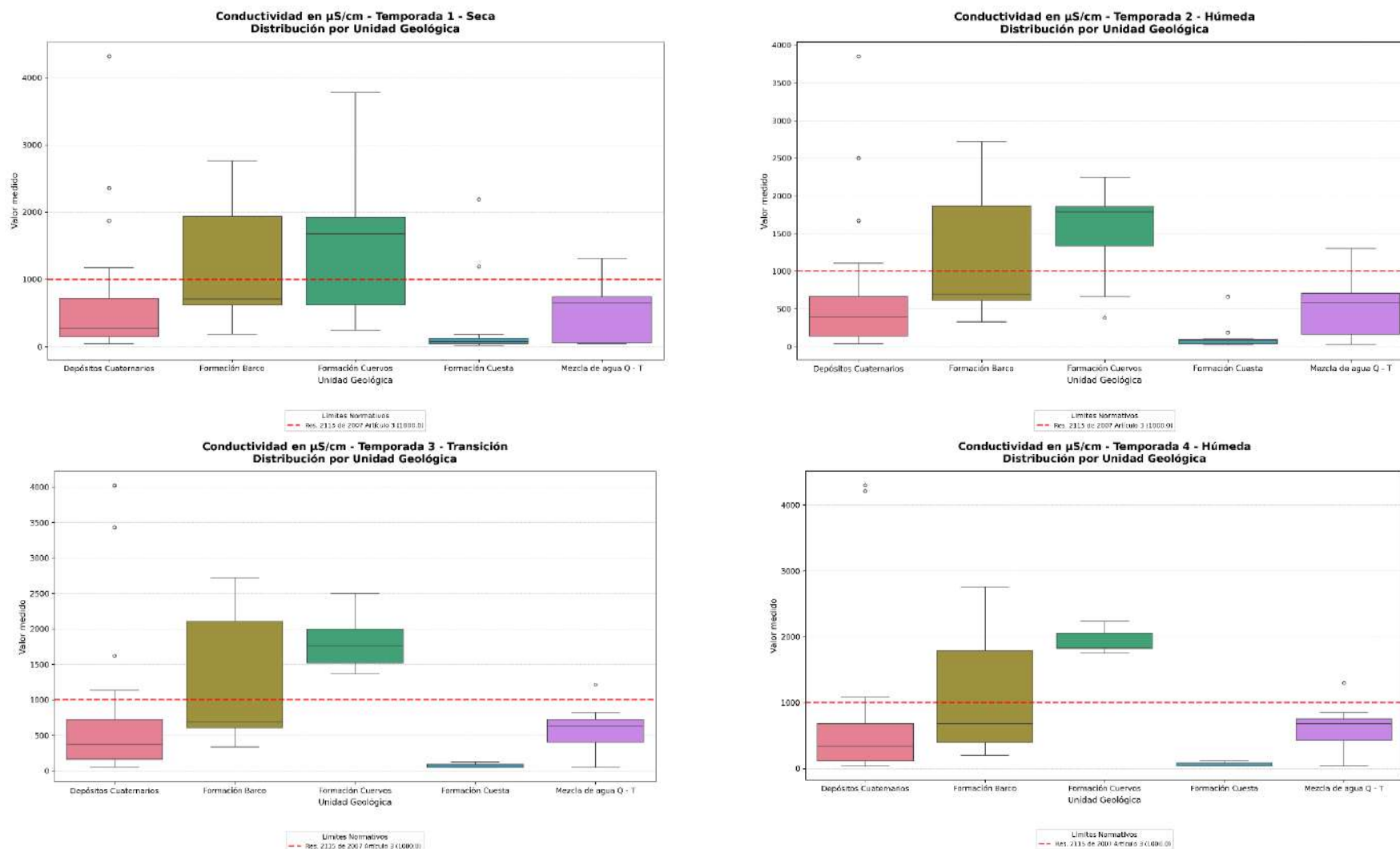
Adicionalmente, a partir de los reportes presentados para el año 2025 por parte de los proyectos que integran la estrategia de monitoreo regional en la ZMCC, se elaboraron mapas de isolíneas de la Conductividad Eléctrica (CE), tanto para los acuíferos cuaternarios como para los acuíferos asociados a las unidades geológicas terciarias. Para esto, se implementó el método de Distancia Inversa Ponderada (IDW), la cual se limita al rango de valores utilizados para la interpolación y no tiene la capacidad de generar crestas o valles si estos extremos aún no se han muestreado.

El análisis del comportamiento de este parámetro se realizó disgregando los valores de Conductividad Eléctrica (CE) registrados por época climática, y si bien la presente estrategia tiene establecidos cuatro (4) monitoreos al año, para el ejercicio se seleccionaron la temporada seca y primera temporada húmeda del año (abril - junio) (**Figuras 18 y 19**), de tal manera que se pudieran contrastar los resultados y diferenciar más claramente los comportamientos durante el año hidrológico.





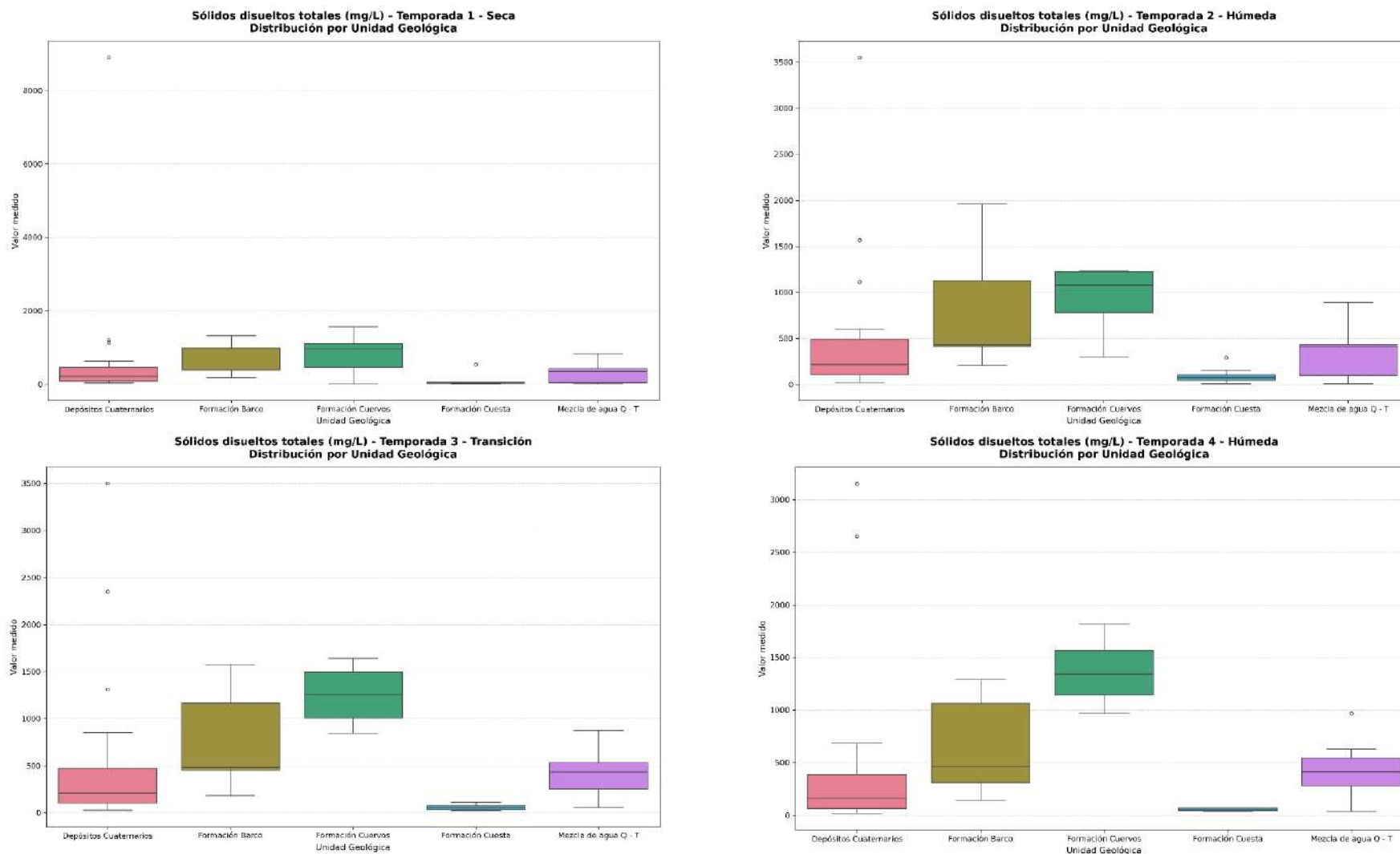
**Figura 16. Conductividad Eléctrica (CE) por unidad geológica captada y temporada climática, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



**Figura 17. Sólidos Disueltos Totales (SDT) por unidad geológica captada y temporada climática, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



En cuanto a la distribución espacial de la Conductividad Eléctrica (CE), en la **Figura 18** se observa que los puntos que captan los acuíferos cuaternarios registran los mayores valores en la zona Norte, Noroeste y Este del área de análisis ( $>1500\mu\text{S}/\text{cm}$ ), donde los registros más altos corresponden a los puntos del Expediente LAM3271 señalados anteriormente. Por otro lado, para las dos temporadas climáticas analizadas se puede observar que los valores más bajos de Conductividad Eléctrica (CE) se encuentran hacia la parte central y sur del área de la estrategia, correspondiendo con las zonas donde están dispuestos en mayor extensión los depósitos cuaternarios.

Respecto a los acuíferos asociados a las formaciones terciarias, tal como se puede observar en la **Figura 19**, en los monitoreos realizados en el año 2025 se identificaron los mayores valores de Conductividad Eléctrica (CE) en la zona norte y este del área de la estrategia, estando los valores más elevados asociados a los expedientes LAM1862 (punto MSB-LAM1862-0007), LAM1203 (punto MSB-LAM1203-0007) y LAM 3271 (punto MSB-LAM3271-0016).

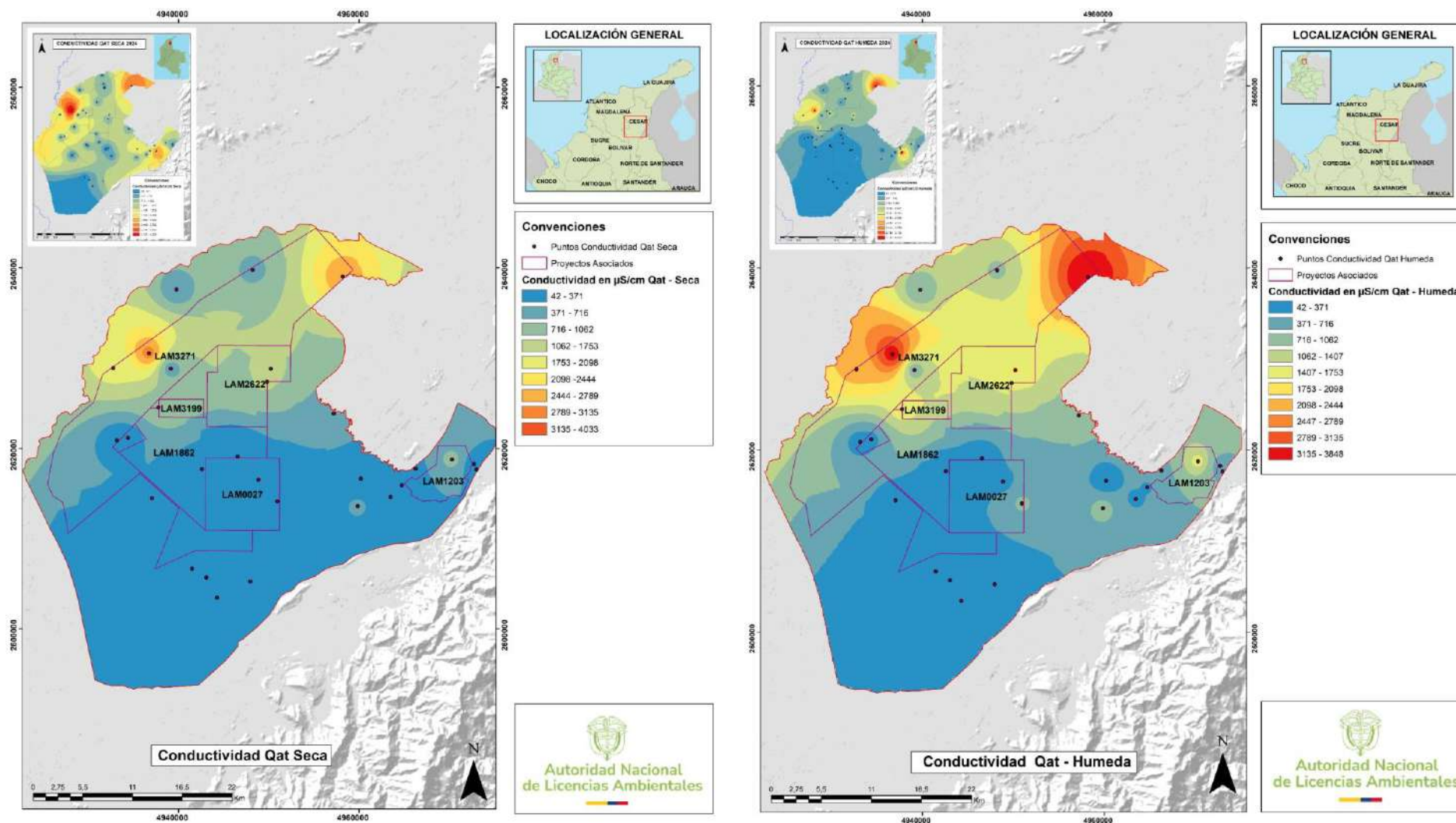
Respecto a la comparación multitemporal entre los años 2024 y 2025, se evidencia que la distribución espacial de la Conductividad Eléctrica (CE) mantiene patrones similares en ambos periodos, tanto para los acuíferos cuaternarios como para las unidades terciarias, tal como se observa en las **Figuras 18 y 19**, en las cuales en la parte superior izquierda de cada imagen se integró la figura con el comportamiento correspondiente al año anterior.

Las principales anomalías continúan concentrándose en los sectores norte, noroccidental y oriental del área de análisis, especialmente en los expedientes LAM3271, LAM1203 y LAM1862, lo que indica la persistencia espacial de las zonas con mayores niveles de mineralización. No obstante, para el año 2025 se observa un incremento en la intensidad y extensión de algunas anomalías durante la temporada húmeda, principalmente en los acuíferos cuaternarios. En los mencionados expedientes, para el año 2025, los mayores valores de conductividad oscilan entre 2500 y 4318  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , típicos de aguas salobres, que no son representativas de los acuíferos captados.

Por lo tanto, dichos comportamientos serán objeto de análisis en los respectivos seguimientos ambientales, en el marco de los cuales se efectuarán los requerimientos necesarios para que los licenciarios presenten los análisis técnicos que permitan comprender el comportamiento de la Conductividad Eléctrica (CE) en el área de la estrategia, así como identificar los factores que podrían estar influyendo en los incrementos observados.

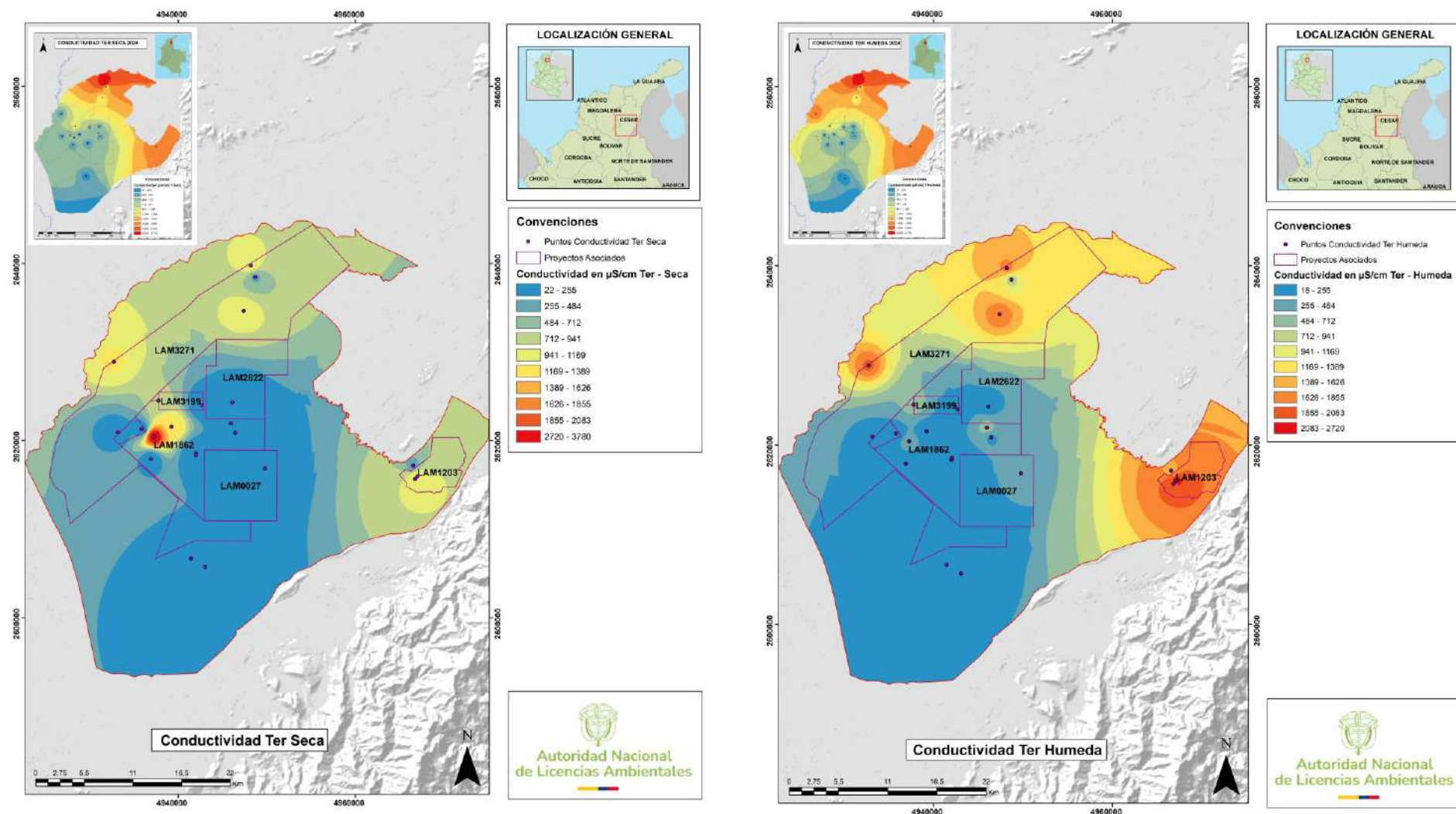


**Figura 18. Conductividad Eléctrica (CE) en los acuíferos cuaternarios, temporadas seca y húmeda del año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

Figura 19. Conductividad Eléctrica (CE) en los acuíferos de las formaciones terciarias, temporadas seca y húmeda del año 2025



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



### 2.2.3 pH

El pH en el agua subterránea es una medida de la acidez o alcalinidad del agua y se determina por la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ). Este parámetro puede verse afectado por varios factores, como la composición geológica del área, la presencia de minerales disueltos, la actividad biológica, y las condiciones atmosféricas o humanas.

El análisis estadístico de los valores de pH arroja un valor promedio para la totalidad de los datos de 6,89 unidades, con un mínimo de 3,33 y un máximo de 9,38, evidenciando un rango amplio de variación que incluye condiciones tanto ácidas como alcalinas. Sin embargo, para un análisis más específico, en la **Figura 20** se presentan los diagramas de cajas y bigotes para las diferentes unidades geológicas y temporadas evaluadas, observándose en términos generales, que los valores de pH del agua subterránea cuantificados en el año 2025 se concentran principalmente en un rango cercano a la neutralidad, con medianas que, en la mayoría de los depósitos y formaciones geológicas, oscilan entre 6,5 y 7,5 unidades, lo que indica condiciones hidrogeoquímicas relativamente estables en el área de la estrategia regional.

A nivel general, se evidencia que no existen variaciones importantes en los valores de pH en función de las temporadas climáticas consideradas, no obstante, si se analizan los datos de acuerdo con las unidades geológicas captadas es posible diferenciar algunos comportamientos.

Las formaciones Barco y Cuervos presentan distribuciones más homogéneas, con baja dispersión y valores de pH ligeramente superiores a 7 unidades, lo que sugiere condiciones más estables, cercanas a la neutralidad o levemente alcalinas. De manera similar, las mezclas de depósitos cuaternarios - formaciones terciarias muestran una variabilidad moderada y medianas alrededor de 7 unidades.

En cuanto a la Formación Cuesta, esta presenta la mayor variabilidad en general, con rangos amplios de pH que incluyen tanto valores relativamente bajos como elevados, evidenciando condiciones más heterogéneas, posiblemente asociadas a variaciones litológicas o a diferencias en los procesos de interacción agua-roca.

Por su parte, los Depósitos Cuaternarios muestran una mayor dispersión de datos en todas las temporadas, evidenciada en cajas más amplias y en la presencia recurrente de valores atípicos hacia el extremo inferior, con lo cual se refleja la ocurrencia de condiciones localmente más ácidas y sugiere una mayor sensibilidad de esta unidad a procesos hidrogeoquímicos locales, tal como es de esperarse en las unidades más superficiales.

El análisis de valores atípicos permitió identificar registros de pH bajos principalmente en el expediente LAM2622, asociados a los Depósitos Cuaternarios, con valores que descienden





hasta 3,33 unidades; los puntos con los valores más bajos son MSB-LAM2622-0100 (PZ-7 La Loma), MSB-LAM2622-0101 (PZ-8 El Hatillo) y MSB-LAM2622-0102 (P-03).

Asimismo, en el expediente LAM0027 se presentan valores ácidos en diferentes unidades geológicas, incluyendo Depósitos Cuaternarios, Formación Cuesta y la mezcla de Depósitos Cuaternarios - formaciones terciarias. De este expediente los puntos con los valores más bajos son MSB-LAM0027-0005 (Pozo No 1 (aljibe)), MSB-LAM0027-0007 (Pozo No. 8), MSB-LAM0027-0008 (Pozo No. 9) y MSB-LAM0027-0013 (RPZ 4 LA LOMA TOWN), este último de forma más recurrente para todas las temporadas analizadas.

Adicionalmente, en el expediente LAM3199 se identificó un valor ácido puntual (4,05 unidades) en la Formación Cuesta, específicamente en el punto MSB-LAM3199-0002 (47-II-B-08 POZO).

En cuanto a los valores atípicos altos, estos están asociados a puntos de los expedientes LAM3199 y LAM1862, específicamente a los puntos MSB-LAM3199-0001 (48-I-A-100 POZO), MSB-LAM3199-0002 (47-II-B-08 POZO) y MSB-LAM1862-0009 (47-II-B-165 POZO), donde se registran valores entre 8,59 y 9,38 unidades, los cuales captan la Formación Cuesta.

En conjunto, estos resultados evidencian variabilidades locales en el pH del agua subterránea, posiblemente asociadas a procesos de interacción agua-roca, condiciones geoquímicas particulares del medio o influencias de origen antrópico, sin que ello modifique la tendencia general hacia condiciones cercanas a la neutralidad. El análisis de los puntos mencionados será requerido en el marco de los próximos seguimientos ambientales que se realicen a los proyectos involucrados.

Adicionalmente, como un ejercicio comparativo adicional, se analizaron los valores de pH cuantificados respecto a los rangos establecidos 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, además del Artículo 4 de la Resolución 2115 de 2007.

- Decreto 1076 de 2015 – Artículo 2.2.3.3.9.3 (rango: 5,0 – 9,0): la gran mayoría de los datos se encuentra dentro de este rango. Los valores fuera de este artículo (6% de los datos) corresponden principalmente a registros ácidos ( $\text{pH} < 5,0$ ), localizados principalmente en los Depósitos Cuaternarios y de manera puntual en la Formación Cuesta.
- Decreto 1076 de 2015 – Artículo 2.2.3.3.9.4 (rango: 6,5 – 8,5): por tener un carácter más restrictivo, un mayor número de muestreos se salen de los límites establecidos (35% de los datos), la mayoría de los datos fuera de rango corresponden a valores por debajo de 6,5, evidenciando condiciones ácidas en varias muestras. En menor proporción, se presentan valores superiores a 8,5. Los puntos con estos valores se concentran principalmente en los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta.

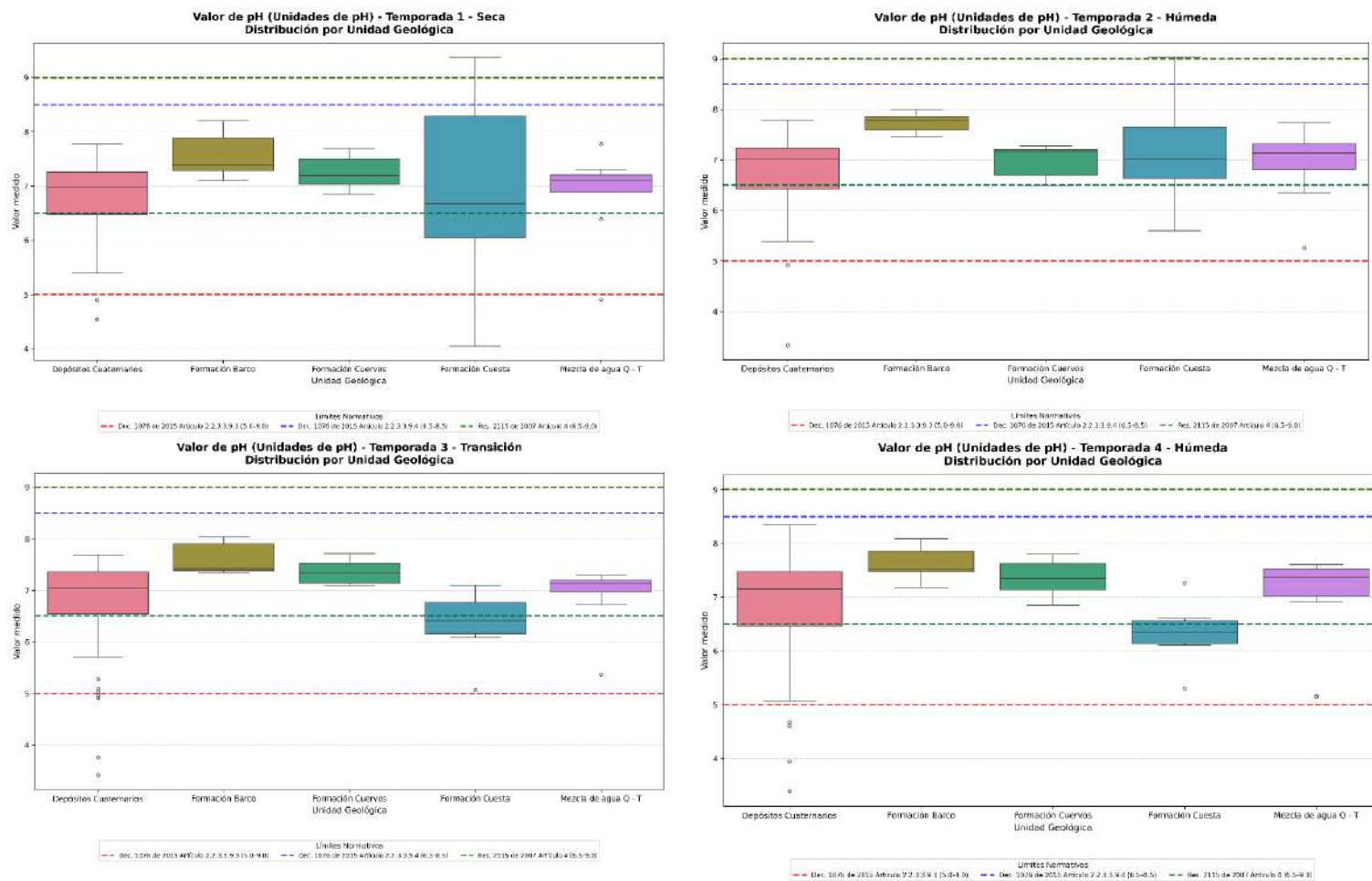


- Resolución 2115 de 2007 – Artículo 4 (rango: 6,5 – 9,0): al igual que en los artículos del Decreto 1076, los valores fuera de rango (25% de los datos) corresponden a condiciones ácidas ( $\text{pH} < 6,5$ ), en puntos que captan los Depósitos Cuaternarios y, en menor medida, la Formación Cuesta.

A partir del análisis normativo se evidencia que en la mayoría de los casos los valores fuera de norma están dominados por condiciones ácidas y se concentran principalmente en los Depósitos Cuaternarios, lo cual es consistente con la mayor variabilidad hidrogeoquímica identificada para esta unidad a partir del análisis de los parámetros que son considerados en la estrategia regional.

La tendencia de algunos puntos de agua subterránea hacia condiciones ácidas puede deberse a posibles mezclas de aguas provenientes de los yacimientos mineros explotados, cuya concentración de minerales puede resultar favorable para la generación de aguas ácidas, por lo cual, se hace imperativo verificar las condiciones locales en estos puntos para definir las posibles causas de la acidez registrada en estas zonas.

**Figura 20. Valores de pH por unidad geológica captada y temporada climática, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



En el análisis espacial del pH en el área de la estrategia (**Figura 21**) se evidencia un comportamiento diferenciado entre la temporada húmeda y la temporada seca, con variaciones tanto en la distribución como en la intensidad de los valores registrados.

Para la temporada húmeda, se observa una mayor variabilidad espacial del pH, con rangos que oscilan aproximadamente entre 4,5 y 9 unidades. Se identifican zonas con pH ácido (<5,5) principalmente en el sector centro-occidental del área de estudio. Estas zonas contrastan con áreas circundantes donde predominan valores neutros a ligeramente alcalinos (6,5 – 7,5), así como algunos puntos aislados con condiciones más alcalinas (>8). Este patrón sugiere una influencia de procesos locales, posiblemente relacionados con características geológicas, interacción agua-roca o procesos antrópicos puntuales.

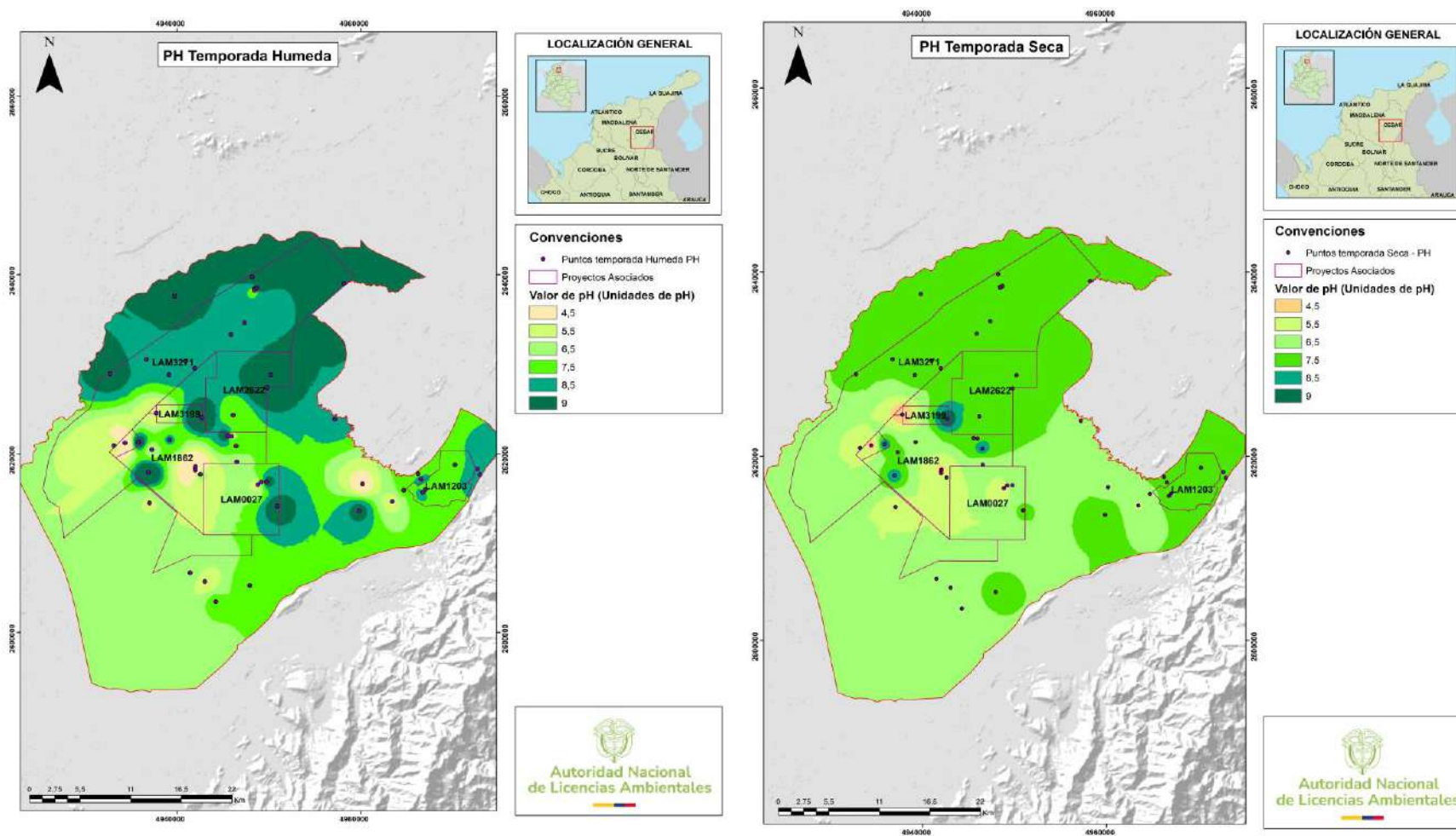
En la temporada seca, el comportamiento del pH tiende a ser más homogéneo en toda el área, predominando valores entre 6,5 y 7,5, que indican condiciones neutras. Sin embargo, se mantienen algunos focos localizados de pH ácido en el sector centro-occidental, aunque con menor extensión e intensidad en comparación con la temporada húmeda. Asimismo, se observan algunos puntos con valores ligeramente alcalinos, pero de forma menos marcada que en la temporada húmeda.

La comparación entre ambas temporadas permite inferir una influencia directa de la dinámica hidrológica, donde durante la temporada húmeda el incremento en la recarga y la interacción con materiales del suelo y subsuelo favorece una mayor heterogeneidad química, generando tanto zonas ácidas como alcalinas. Por el contrario, en la temporada seca, la disminución del flujo hídrico y la menor interacción con fuentes externas tienden a estabilizar el pH, llevándolo hacia condiciones más cercanas a la neutralidad.

Desde el punto de vista espacial, el sector centro-occidental del área de estudio se destaca como una zona recurrente de valores bajos de pH en ambas temporadas, lo que podría indicar una condición persistente asociada a factores geológicos o posibles procesos de drenaje ácido, mientras que el resto del área presenta un comportamiento más estable.



Figura 21. Distribución de pH, temporadas seca y húmeda, año 2025



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



#### 2.2.4 Oxígeno Disuelto

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto en el agua subterránea, según Custodio & Llamas (1983): *“La mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 mg/l, frecuentemente por debajo de 2 mg/l”*.

En este sentido, los resultados obtenidos en las muestras tomadas en el año 2025 muestran que, en términos generales, las concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran dentro del rango típico para aguas subterráneas, con un valor promedio de 2 mg/l, lo que indica ambientes pobres en oxígeno, característicos de sistemas subterráneos, donde la limitada interacción con la atmósfera reduce su disponibilidad.

No obstante, se identifican algunos valores puntuales superiores a 5 mg/L, los cuales podrían estar asociados a condiciones locales específicas, tales como recarga reciente, mayor conexión con la superficie o posibles procesos de mezcla con aguas más oxigenadas.

En la **Figura 22** se presentan los diagramas de cajas y bigotes para las diferentes unidades geológicas y temporadas evaluadas, observándose en términos generales, que los valores de oxígeno disuelto en el agua subterránea cuantificados en el año 2025 presentan, en general, valores bajos a moderados, con la mayoría de las mediciones concentradas entre aproximadamente 2 y 5 mg/L en todas las temporadas.

Si se analizan los datos por unidad geológica se evidencia que la Formación Cuervos tiende a presentar los valores más bajos y estables de oxígeno disuelto, indicando condiciones más reductoras. En contraste, los Depósitos Cuaternarios muestran mayor dispersión, con valores que van desde muy bajos hasta relativamente altos, evidenciando una mayor variabilidad y posible influencia de recarga o interacción con la superficie.

La Formación Barco presenta un comportamiento intermedio, con variabilidad moderada y valores que por lo general no superan los 5 mg/L de oxígeno disuelto.

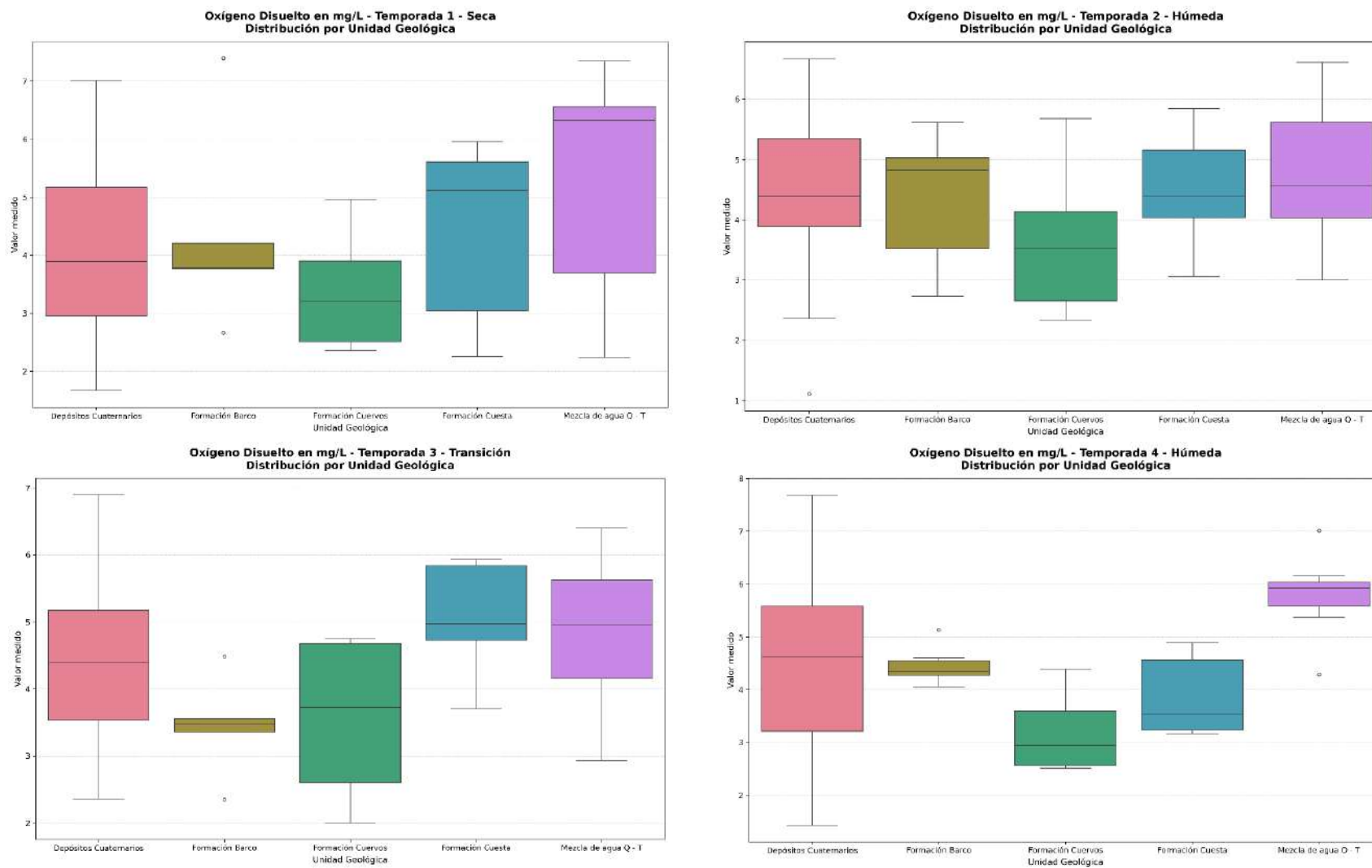
La Formación Cuesta y las mezclas de agua Depósitos Cuaternarios - Formaciones Terciarias presentan, en promedio, valores más altos de oxígeno disuelto (incluso superiores a 5 mg/L) en comparación con las formaciones Barco y Cuervos, lo que sugiere condiciones más oxigenadas, posiblemente asociadas a zonas de recarga o mezcla con aguas superficiales.

En cuanto al comportamiento temporal, no se evidencian cambios drásticos entre temporadas (seca, húmeda y transición), aunque sí se observa una ligera variación en la dispersión de los datos, manteniéndose en general el mismo patrón por unidad geológica.





**Figura 22. Oxígeno disuelto por temporada climática y unidad geológica, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.





## 2.2.5 Nitratos y Nitritos

### 2.2.5.1 Nitratos

De acuerdo con el análisis realizado, la mayoría de las muestras de agua tomadas durante el año 2025, independientemente del tipo de punto o acuífero captado, no reportan concentraciones que sobrepasen los límites admisibles establecidos por el artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 que corresponde a 10mg/l. No obstante, se identificaron **dos (2)** puntos de agua en los acuíferos cuaternarios y uno (1) en la Formación Cuesta, que presentan valores elevados respecto a la norma. A continuación, en la **Tabla 3** se observa el detalle de los puntos de agua con concentraciones elevadas.

**Tabla 3. Puntos de agua con sobrepasos normativos de nitratos**

| Expediente | ID punto de monitoreo | Año  | Campaña | Época      | Unidad geológica       | Valor medido (mg/L) | Límite máximo (mg/L) | Referencia norma                          |
|------------|-----------------------|------|---------|------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0013      | 2025 | 1       | Seca       | Depósitos Cuaternarios | 13,507              | 10                   | Dec. 1076 de 2015<br>Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0013      | 2025 | 2       | Húmeda     | Depósitos Cuaternarios | 23,2                | 10                   |                                           |
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0013      | 2025 | 3       | Transición | Depósitos Cuaternarios | 32,9                | 10                   |                                           |
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0013      | 2025 | 4       | Húmeda     | Depósitos Cuaternarios | 28,6                | 10                   |                                           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0055      | 2025 | 2       | Húmeda     | Depósitos Cuaternarios | 13,1                | 10                   |                                           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-212       | 2025 | 2       | Húmeda     | Formación Cuesta       | 16,8                | 10                   |                                           |

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

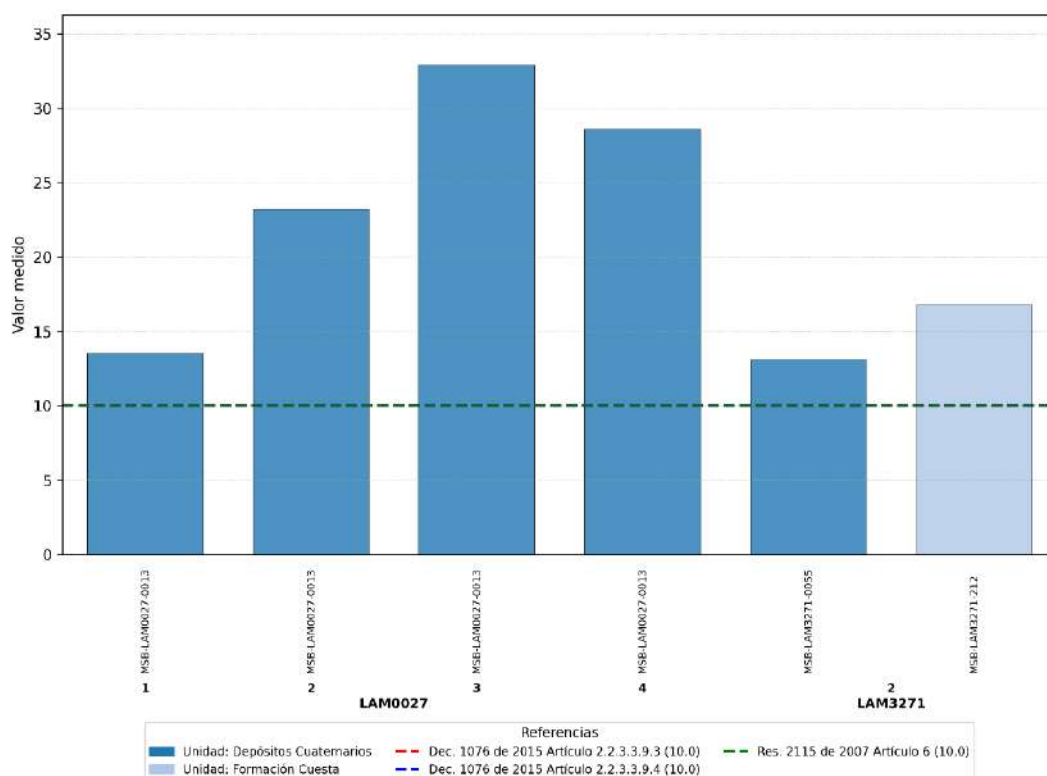
En los depósitos cuaternarios se encontraron las captaciones codificadas como MSB-LAM0027-0013, con sobrepasos en las cuatro (4) campañas cuyo comportamiento es reiterado del año anterior; y el MSB-LAM3271-0055, con concentración elevada en la campaña 2 – húmeda, la cual se presenta por primera vez, posiblemente relacionada con un evento local y temporal, dado que en las otras campañas este punto reporta valores inferiores al límite máximo admisible (**Figura 23**).

De la Formación Cuesta se encontró un único punto de agua con una concentración anómala en la época húmeda – campaña 2, también debido posiblemente a una condición local y temporal (**Figura 23**).





**Figura 23. Concentraciones Nitratos - 2025**  
**Nitratos (mg/L N-NO3) - Sobrepasos normativos**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

### 2.2.5.2 Nitritos

Para el año 2025 (Figura 24) se presentaron concentraciones cuantificables y algunas elevadas con respecto al artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 y el artículo 6 de la Resolución 2115 de 2007, en veintiún (21) puntos de agua tal como se observa en la Tabla 4.

La mayoría de estos puntos presenta dichas concentraciones elevadas en una o dos campañas de monitoreo, lo cual indica que pueden corresponder a eventos locales o temporales relacionados posiblemente con la toma de la muestra. En los puntos MSB-LAM3271-0022 y MSB-LAM3271-0036 de los Depósitos Cuaternarios se identificaron sobrepasos normativos en las épocas seca (campaña 1), primera húmeda (campaña 2) y transición (campaña 3), de igual manera en el punto MSB-LAM3271-0025 que capta la Formación Barco se evidenciaron concentraciones anómalas en los mismos tres (3) monitoreos con un valor máximo de 3,83 mg/l medido en la campana 2 correspondiente al primer período húmedo.

Al analizar las concentraciones por expedientes se evidencia que, aunque los puntos de agua monitoreados por el LAM3199 no tienen sobrepasos normativos en más de dos campañas de monitoreo si presenta las mayores concentraciones medidas, con valores para la época seca de 1,92 mg/l y 8,75 mg/l y para la primera época húmeda de 1,16 mg/l y 8,23 mg/l. En



el expediente LAM3271 los sobrepasos observados especialmente en la campaña 2 señalan valores entre 2 y 4 mg/l y los expedientes LAM0027, LAM1203, LAM1862 y LAM2622 presentan bajas concentraciones en todas las campañas, con escasos o nulos sobrepasos.

Así las cosas, se requiere analizar con mayor detalle el comportamiento de los nitritos en los próximos seguimientos ambientales de los expedientes LAM3199 y LAM3271, y de ser necesario hacer los requerimientos de información que permitan identificar las fuentes de sus concentraciones.

**Tabla 4. Puntos con sobrepasos normativos de nitritos**

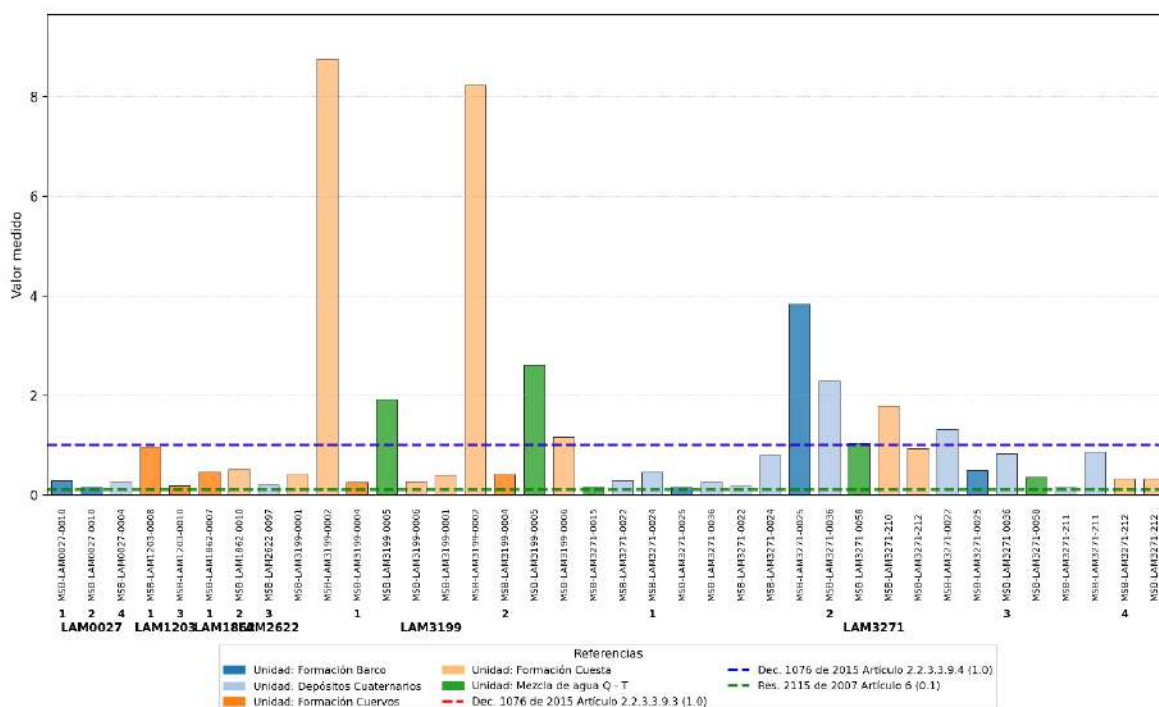
| Expediente | Punto monitoreo  | Campaña | Época  | Unidad geológica       | Valor medido (mg/L) | Límite máximo (mg/L) | Referencia norma                       |
|------------|------------------|---------|--------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0010 | 1       | Seca   | Formación Barco        | 0,278               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM1203    | MSB-LAM1203-0008 | 1       | Seca   | Formación Cuervos      | 0,956               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM1862    | MSB-LAM1862-0007 | 1       | Seca   | Formación Cuervos      | 0,451               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0001 | 1       | Seca   | Formación Cuesta       | 0,415               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0002 | 1       | Seca   | Formación Cuesta       | 8,75                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0004 | 1       | Seca   | Formación Cuervos      | 0,25                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0005 | 1       | Seca   | Mezcla de agua Q - T   | 1,92                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0015 | 1       | Seca   | Mezcla de agua Q - T   | 0,152               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0022 | 1       | Seca   | Depósitos Cuaternarios | 0,287               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0024 | 1       | Seca   | Depósitos Cuaternarios | 0,451               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0025 | 1       | Seca   | Formación Barco        | 0,136               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0036 | 1       | Seca   | Depósitos Cuaternarios | 0,248               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0010 | 2       | Húmeda | Formación Barco        | 0,142               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM1862    | MSB-LAM1862-0010 | 2       | Húmeda | Formación Cuesta       | 0,5                 | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0001 | 2       | Húmeda | Formación Cuesta       | 0,40                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0002 | 2       | Húmeda | Formación Cuesta       | 8,23                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0004 | 2       | Húmeda | Formación Cuervos      | 0,41                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0005 | 2       | Húmeda | Mezcla de agua Q - T   | 2,60                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3199    | MSB-LAM3199-0006 | 2       | Húmeda | Formación Cuesta       | 1,16                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0022 | 2       | Húmeda | Depósitos Cuaternarios | 0,18                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0024 | 2       | Húmeda | Depósitos Cuaternarios | 0,788               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007 Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0025 | 2       | Húmeda | Formación Barco        | 3,83                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0036 | 2       | Húmeda | Depósitos Cuaternarios | 2,28                | 1                    | Dec. 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.3 |



| Expediente | Punto monitoreo  | Campaña | Época      | Unidad geológica       | Valor medido (mg/L) | Límite máximo (mg/L) | Referencia norma                          |
|------------|------------------|---------|------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0058 | 2       | Húmeda     | Mezcla de agua Q - T   | 1,04                | 1                    | Dec. 1076 de 2015<br>Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-210  | 2       | Húmeda     | Formación Cuesta       | 1,78                | 1                    | Dec. 1076 de 2015<br>Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-212  | 2       | Húmeda     | Formación Cuesta       | 0,927               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM1203    | MSB-LAM1203-0010 | 3       | Transición | Formación Cuervos      | 0,176               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM2622    | MSB-LAM2622-0097 | 3       | Transición | Depósitos Cuaternarios | 0,197               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0022 | 3       | Transición | Depósitos Cuaternarios | 1,32                | 1                    | Dec. 1076 de 2015<br>Artículo 2.2.3.3.9.3 |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0025 | 3       | Transición | Formación Barco        | 0,49                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0036 | 3       | Transición | Depósitos Cuaternarios | 0,823               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-0058 | 3       | Transición | Mezcla de agua Q - T   | 0,348               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-211  | 3       | Transición | Depósitos Cuaternarios | 0,148               | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM0027    | MSB-LAM0027-0004 | 4       | Húmeda     | Depósitos Cuaternarios | 0,2469              | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-211  | 4       | Húmeda     | Depósitos Cuaternarios | 0,87                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |
| LAM3271    | MSB-LAM3271-212  | 4       | Húmeda     | Formación Cuesta       | 0,32                | 0,1                  | Res. 2115 de 2007<br>Artículo 6           |

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

**Figura 24. Concentraciones Nitritos - 2025**  
Nitritos (mg/L N-NO<sub>2</sub>) - Sobrepasos normativos



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



### 2.2.6 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 mineras en el año 2025. 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:

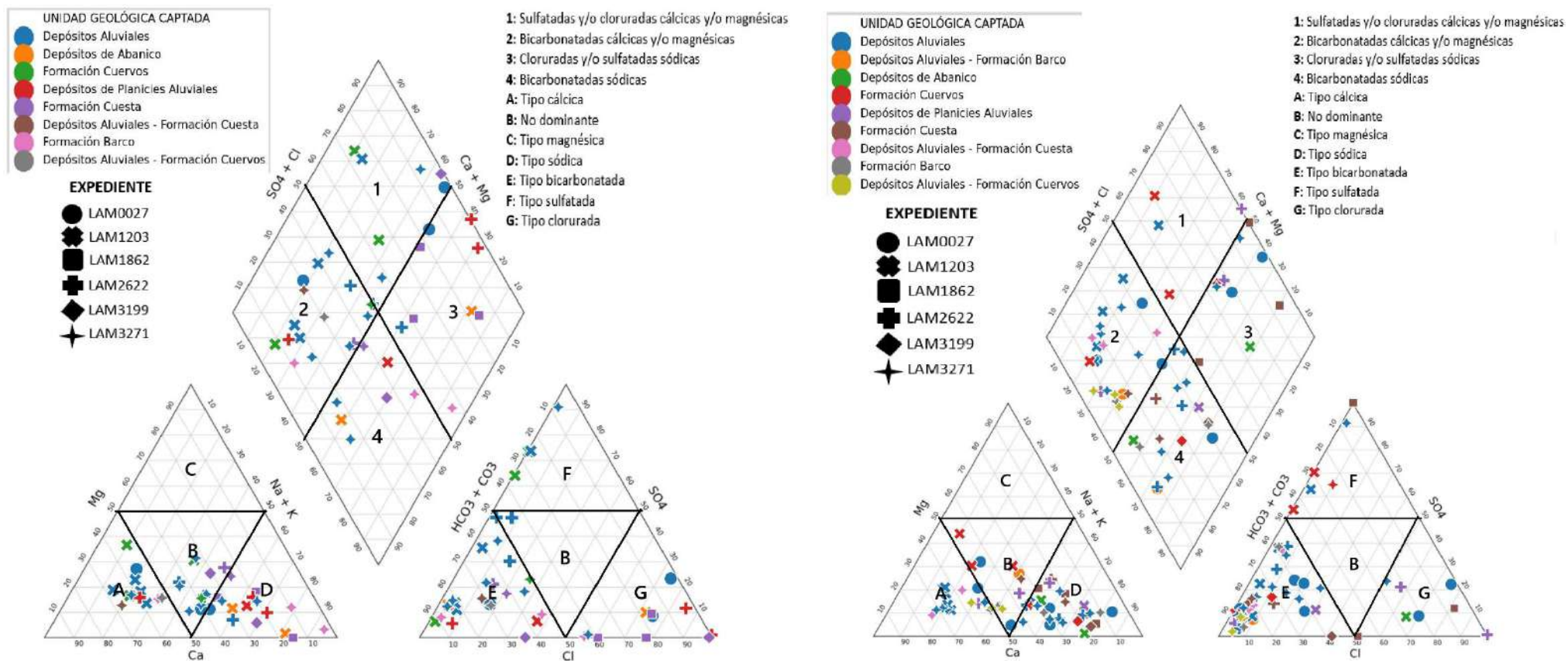
- Depósitos Cuaternarios: se agrupan los diferentes depósitos de este tipo, tales como depósitos aluviales, de abanico y de planicies aluviales.
- Depósitos Aluviales - Formación Barco.
- Depósitos Aluviales – Formación Cuervos.
- Depósitos Aluviales – Formación Cuesta.
- Formación Barco.
- Formación Cuervos.
- Formación Cuesta.

Con el fin de sintetizar el análisis, primero se muestran los diagramas de Piper por cada temporada climática (**Figuras 25 y 26**), y posteriormente, en la **Tabla 5** se describen las composiciones hidrogeoquímicas predominantes del agua subterránea a partir de los monitoreos realizados en el año 2025, haciendo una discusión por cada una de las unidades geológicas analizadas y comparando los resultados con los obtenidos en los años 2022, 2023 y 2024.





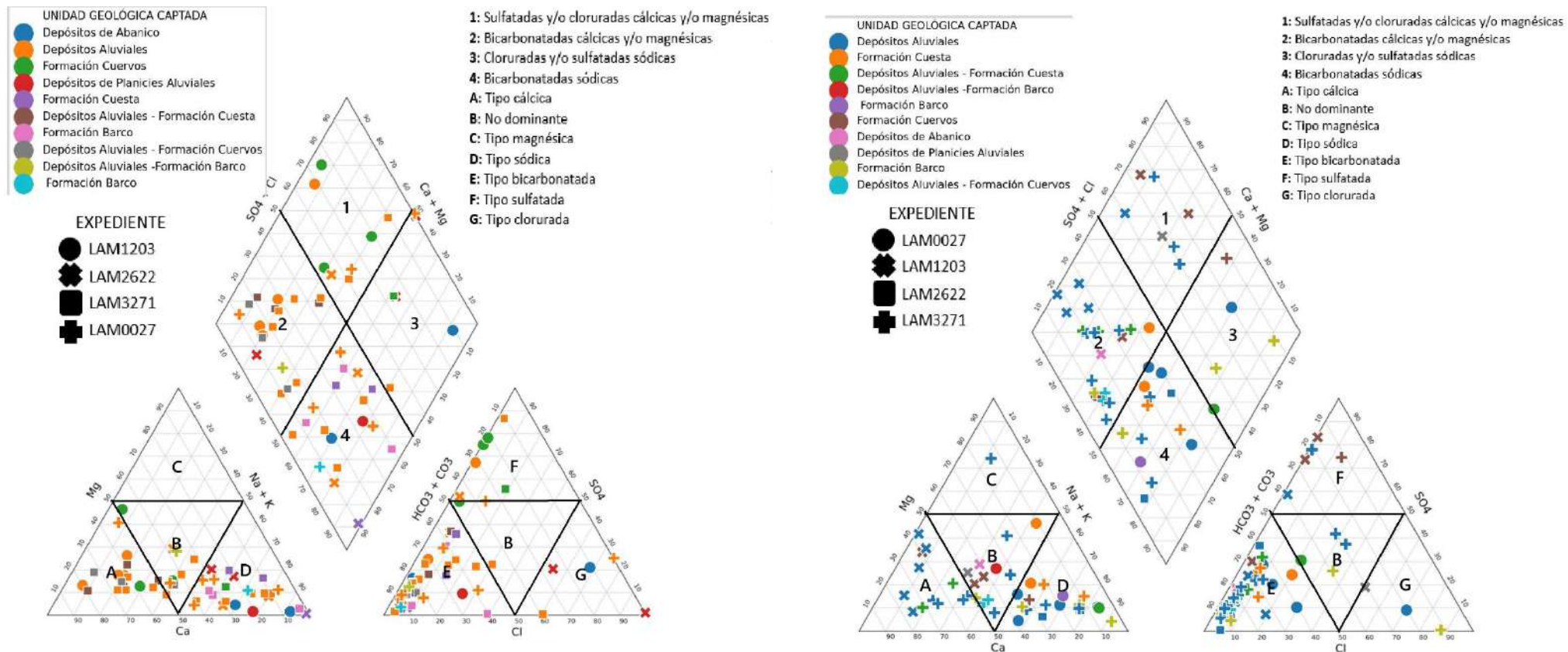
**Figura 25. Diagramas de Piper para la temporada seca y primera temporada húmeda- Monitoreos año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



**Figura 26. Diagramas de Piper para la temporada de transición y segunda temporada húmeda - Monitoreos año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



**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 2025**

| Temporada  | Meses                  | Unidad geológica captada                                                 |                                                                          |                                         |                                        |                                                |                                                          |                                                |
|------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|            |                        | Depósitos Cuaternarios                                                   | Depósitos Aluviales - Formación Barco                                    | Depósitos Aluviales - Formación Cuervos | Depósitos Aluviales - Formación Cuesta | Formación Barco                                | Formación Cuervos                                        | Formación Cuesta                               |
|            |                        | 2025                                                                     | 2025                                                                     | 2025                                    | 2025                                   | 2025                                           | 2025                                                     | 2025                                           |
| Seca       | Diciembre - Marzo      | 1. Bicarbonatada cálcico-sódica<br>2. Clorurada sódica                   | Ninguna muestra cumple con criterio de error analítico para este periodo | Bicarbonatada cálcica                   | Bicarbonatada cálcica                  | Bicarbonatada sódica - cálcica                 | 1. Bicarbonatada cálcica<br>2. Sulfatada cálcica         | 1. Clorurada sódica<br>2. Bicarbonatada sódica |
| Húmeda     | Abril - Junio          | 1. Bicarbonatada cálcico-sódica<br>2. Clorurada sódica                   | Bicarbonatada cálcica                                                    | Bicarbonatada cálcica                   | Bicarbonatada cálcica                  | Bicarbonatada sódica                           | 1. Sulfatada cálcica<br>2. Bicarbonatada cálcico -sódica | 1. Bicarbonatada sódica<br>2. Clorurada sódica |
| Transición | Julio - Agosto         | 1. Bicarbonatada cálcico-sódica<br>2. Clorurada-sulfatada cálcico-sódica | Bicarbonatada cálcica                                                    | Bicarbonatada cálcica                   | Bicarbonatada cálcica                  | Bicarbonatada sódica                           | Sulfatada cálcica                                        | Bicarbonatada sódica                           |
| Húmeda     | Septiembre - Noviembre | 1. Bicarbonatada cálcico-sódica<br>2. Clorurada-sulfatada cálcico-sódica | Bicarbonatada cálcica                                                    | Bicarbonatada cálcica                   | Bicarbonatada cálcico - sódica         | 1. Bicarbonatada sódica<br>2. Clorurada sódica | 1. Sulfatada cálcica<br>2. Bicarbonatada cálcica         | Bicarbonatada sódica                           |

Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

Una vez se analizan los diagramas de Piper para las campañas de monitoreo realizadas en el año 2025, y se comparan los resultados con las campañas de los años 2022, 2023 y 2024, se pueden establecer algunas generalidades y conclusiones respecto a la composición hidroquímica del agua subterránea en la ZMCC, las cuales se resumen a continuación:

- A lo largo de los periodos analizados (2022-2025) se ha evidenciado que el agua subterránea de los Depósitos Cuaternarios no presenta una clasificación hidroquímica marcada, registrándose composiciones variadas. Si bien se observa un predominio de aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas y sódicas, como es de esperarse en estos niveles más someros, donde los recorridos y tiempos de





almacenamiento del agua subterránea son menores, también se registran composiciones de tipo cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas.

- En cuanto a las mezclas de agua (depósitos cuaternarios - formaciones terciarias), para el año 2025 se evidencia una composición marcada de tipo bicarbonatada cálcica, la cual es consistente con los registros de los años anteriores, a excepción de la mezcla Depósitos Aluviales - Formación Cuesta, la cual en los años 2022 y 2023 presentó de forma local composiciones cloruradas y sulfatadas.
- El agua subterránea de la Formación Barco a lo largo del año 2025 presentó una clasificación predominante de tipo bicarbonatada sódica, no obstante, para la segunda temporada húmeda algunos puntos resultaron ser de tipo clorurada sódica. Este comportamiento es concordante con lo evidenciado en los análisis de los años anteriores.
- Respecto a la Formación Cuervos, durante el año 2025 predominó una clasificación hidroquímica de tipo sulfatada cálcica, aunque también se identificaron varios puntos con composición bicarbonatada cálcica y sódica. En comparación con los años anteriores, se observa un incremento en el número de puntos con composición sulfatada, dado que previamente predominaban las composiciones bicarbonatadas. Como resultado, para el año 2025 la composición sulfatada pasó a ser la predominante en esta formación.
- Por último, en relación con la Formación Cuesta, durante el año 2025 se evidencia un predominio de aguas tipo bicarbonatadas sódicas, no obstante, para la temporada seca y primera húmeda también se observan aguas de tipo cloruradas sódicas. Esta composición es coherente con lo evidenciado en el año 2024, donde también se registró un predominio en la composición bicarbonatada.

A partir de las composiciones descritas anteriormente es posible establecer algunas generalidades en relación con la dinámica subterránea en el área de la estrategia. En cuanto a los Depósitos cuaternarios, en la mayoría de los casos, la composición hidroquímica del agua subterránea 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 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 a las mezclas de agua (depósitos cuaternarios con formaciones terciarias), se evidenció que la composición del agua subterránea está mayormente influenciada por los aportes de los niveles más someros, pues hidroquímicamente son aguas bicarbonatadas que indican recorridos y tiempo de almacenamiento cortos.

Por su parte, la composición hidroquímica del agua subterránea de la Formación Barco permite establecer que en esta unidad prevalecen los flujos locales o de recorridos más cortos, condición que puede deberse al afloramiento de esta formación en superficie o su disposición muy cerca de esta, dado que por ser la unidad más antigua del terciario se esperarían aguas que en su composición reflejaran tiempos de residencia mayores dentro del acuífero, no obstante, en algunas campañas si existen puntos con mayores mineralizaciones, especialmente en la segunda temporada húmeda del año.

Respecto a la Formación Cuervos, se debe analizar con mayor detalle el cambio en la composición hidroquímica del agua subterránea, dado que en los monitoreos del año 2025 se evidenció un incremento de puntos con composiciones sulfatadas, aspecto que puede deberse a condiciones naturales del sistema hídrico subterráneo o a afectaciones antrópicas.

Por último, en cuanto a la Formación Cuesta, el agua subterránea presenta un predominio bicarbonatado, lo cual es coherente al tratarse de la formación terciaria más joven, no obstante, varios puntos reflejan composiciones cloruradas, e incluso en años anteriores se han reportado condiciones sulfatadas, aspecto que deberá analizarse en detalle y en conjunto con los demás parámetros considerados en la estrategia regional, de tal manera que se pueda establecer la causa de esta variabilidad composicional.

Es importante aclarar que en el diagrama de Piper se muestran concentraciones relativas, y si bien se registran composiciones variadas para la totalidad de unidades geológicas analizadas, es fundamental considerar el grado de mineralización de las muestras, dado que, si bien se presentan composiciones cloruradas y sulfatadas, estas pueden ser de baja concentración y no necesariamente estar indicando tiempos de recorrido más largos y/o un tiempo de almacenamiento mayor dentro de los acuíferos. De igual manera, es necesario analizar los otros parámetros monitoreados en el marco de la estrategia, como conductividad, pH, compuestos nitrogenados, metales y metaloides, de modo que sea posible establecer si la composición hidroquímica de ciertos puntos está o no influenciada por actividades antrópicas desarrolladas en superficie.

### 2.2.7 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.

Si bien el análisis se presenta en el presente numeral, los diagramas agrupados por unidad geológica captada se incluyen en el **Anexo 3**. Es importante resaltar que todos los diagramas fueron elaborados utilizando la misma escala, definida con base en las concentraciones iónicas de las muestras consideradas y buscando una adecuada visualización de la información. En este sentido, el valor máximo en las gráficas es de 10 meq/L, manteniéndose el mismo criterio empleado en informes anteriores, con el fin de facilitar la comparación de los resultados.

A continuación, se realiza un análisis para cada una de las unidades geológicas consideradas, comparando los resultados con los obtenidos en los años 2022, 2023 y 2024.

#### *2.2.7.1 Depósitos Cuaternarios*

Tal como se evidenció en los diagramas de Piper, estos depósitos presentan composiciones hidroquímicas variadas, predominando las aguas bicarbonatadas cálcicas y sódicas, en concordancia con lo observado en años anteriores. El grado de mineralización del agua subterránea en los diferentes depósitos cuaternarios es de bajo a intermedio.

En cuanto a las composiciones cloruradas y sulfatadas, en general, estas presentan bajos grados de mineralización, como es de esperarse en niveles someros, los cuales están influenciados por la infiltración directa de la precipitación y tienen tiempos cortos de residencia del agua en las unidades acuíferas. No obstante, al igual que en los monitoreos de los años 2022, 2023 y 2024, en el año 2025 se identificaron algunos puntos con altos grados de mineralización y composiciones cloruradas y sulfatadas, correspondientes con:

- Mina La Jagua - LAM1203: puntos MSB-LAM1203-0007 (PZ-41), MSB-LAM1203-0008 (PZ-42) y MSB-LAM1203-0009 (PZ-46).
- Mina Calenturitas - LAM2622: punto MSB-LAM2622-0101 (PZ-8).
- Mina El Descanso - LAM3271: puntos MSB-LAM3271-0036 (PZ28) y MSB-LAM3271-0055 (41-III-B-Santa Eulalia 2).

La localización de los puntos anteriormente mencionados y su relación espacial con los proyectos mineros se presenta en la **Figura 27**. Se observa que la mayoría de estos se ubican en inmediaciones de los frentes de explotación y en cercanías o sobre depósitos antrópicos correspondientes a botaderos y áreas de retrolleado, donde se disponen los materiales estériles y demás materiales generados durante la explotación de carbón. Estas zonas constituyen áreas directamente influenciadas por las actividades mineras y, por tanto, representan sectores donde la infiltración del agua a través de dichos materiales puede favorecer procesos de interacción agua-roca que modifiquen la composición hidrogeoquímica del agua subterránea que circula por los depósitos antrópicos y los niveles permeables subyacentes.





Como se mencionó anteriormente, el análisis de los diagramas de Stiff evidencia que los puntos con mayores grados de mineralización presentan un predominio de facies cloruradas y sulfatadas, composición que contrasta con la esperada para aguas subterráneas alojadas en depósitos cuaternarios. Desde el punto de vista hidrogeológico, estos depósitos se caracterizan, en términos generales, por estar conformados por materiales granulares de alta permeabilidad y presentar una recarga dominada por la infiltración directa de la precipitación, condiciones que favorecen una renovación relativamente rápida del agua subterránea y tiempos de residencia cortos. En consecuencia, es común que las aguas alojadas en estas unidades presenten una menor evolución hidrogeoquímica y, por ende, menores grados de mineralización respecto de aquellas que circulan por unidades acuíferas con mayor confinamiento o tiempos de residencia más prolongados. En este contexto, la presencia recurrente de facies cloruradas y sulfatadas en los puntos evaluados sugiere la ocurrencia de procesos de enriquecimiento iónico cuya naturaleza y origen requieren un análisis detallado, considerando tanto la interacción entre el agua y los materiales dispuestos en los depósitos antrópicos como otras condiciones geológicas, hidrogeoquímicas o antrópicas que puedan influir en la evolución de la calidad del agua subterránea; otro posible factor de alteración química del agua subterránea puede estar relacionado con condiciones físicas y sanitarias deficientes en las estructuras de los puntos de agua, ocasionadas por falta de limpieza y mantenimiento periódico.

En este sentido, la coincidencia espacial entre la mayoría de los puntos con mineralización elevada y las áreas intervenidas por la actividad minera constituye un indicio que amerita un análisis específico dentro del proceso de seguimiento ambiental de los proyectos involucrados, con el fin de establecer si existe una relación causal entre las actividades mineras y las variaciones observadas en la composición química del agua subterránea de los depósitos cuaternarios, así como determinar la posible configuración de impactos acumulativos sobre el recurso hídrico subterráneo.

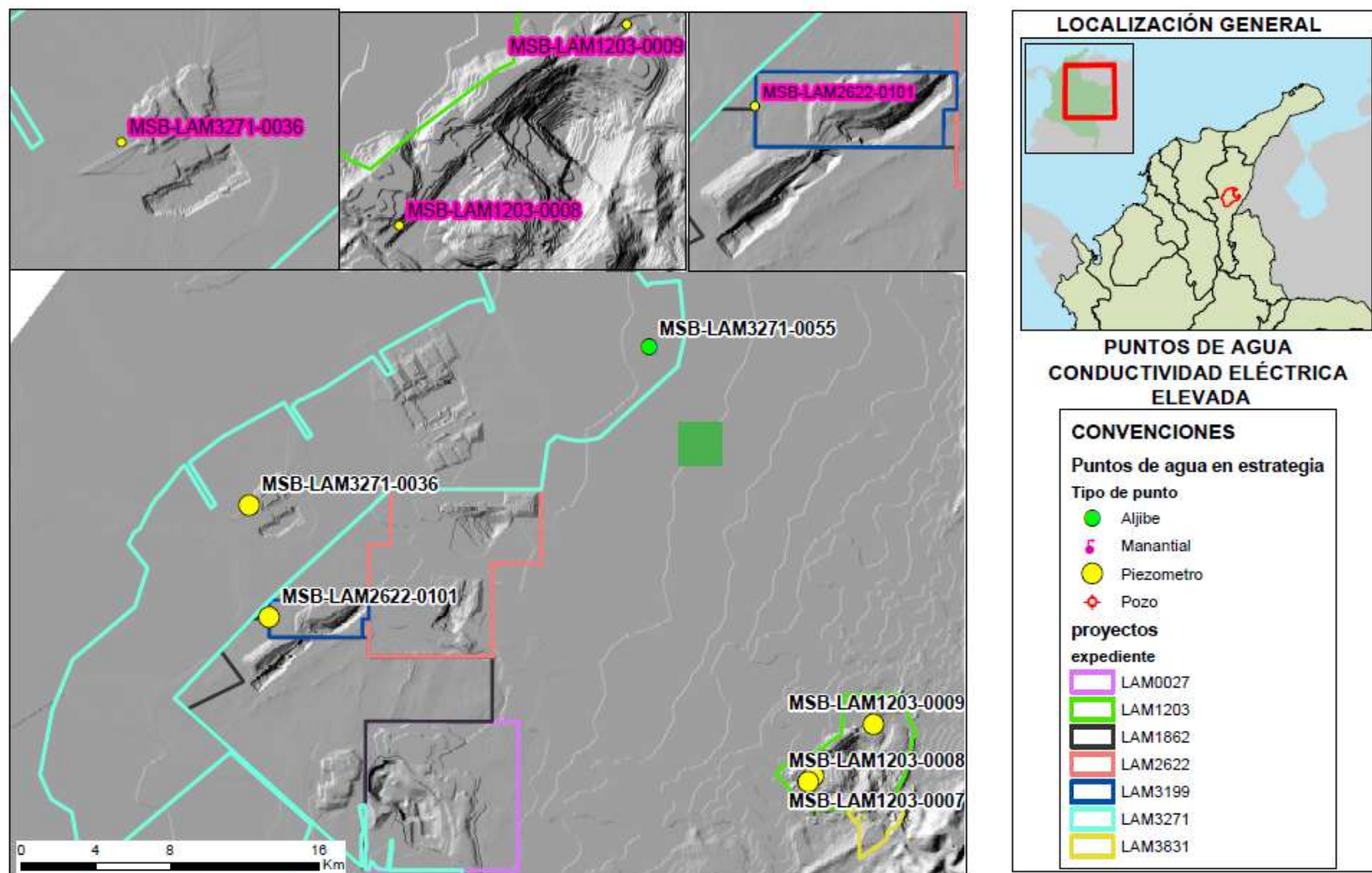
Cabe resaltar que este comportamiento no ha sido identificado únicamente durante el año 2025, sino que ha sido observado de manera reiterada en campañas de monitoreo anteriores, motivo por el cual ya ha sido objeto de requerimientos específicos en los respectivos seguimientos ambientales. En consecuencia, las respuestas y análisis presentados por los licenciarios serán evaluados durante la presente vigencia y, de considerarse necesario, esta Autoridad solicitará estudios complementarios que permitan sustentar técnicamente las causas de la mineralización observada y definir con un mayor grado de certeza la posible influencia de las actividades mineras.

Finalmente, respecto aljibe codificado como MSB-LAM3271-0055 (41-III-B-Santa Eulalia 2), correspondiente a la Mina El Descanso, es el único de los puntos identificados con elevada mineralización que se localiza alejado de los frentes mineros. En consecuencia, las condiciones hidrogeoquímicas registradas podrían estar relacionadas con factores distintos a la operación minera, tales como las condiciones sanitarias propias del aljibe o la influencia de otras fuentes de origen antrópico, aspecto que deberá ser corroborado mediante la evaluación de la información que se solicite al licenciario.





**Figura 27. Puntos de agua subterránea que captan depósitos cuaternarios y registran mineralizaciones elevadas**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



#### *2.2.7.2 Mezclas de agua depósitos cuaternarios - formaciones terciarias*

En este grupo se incluyen las mezclas de agua entre los Depósitos Aluviales y las formaciones Barco, Cuervos y Cuesta. Para la mayoría de los monitoreos realizados en el año 2025 se identificó una composición hidroquímica predominantemente de tipo bicarbonatada cálcica, con grados de mineralización de bajos a intermedios, lo que sugiere que, dependiendo del punto evaluado, existe una mayor influencia de los niveles acuíferos someros o de las formaciones terciarias, asociada respectivamente a mineralizaciones bajas e intermedias.

El predominio de una composición bicarbonatada en las tres (3) mezclas de agua posiblemente se deba a la influencia tanto de las precipitaciones como de los flujos someros presentes en los acuíferos cuaternarios, los cuales, al ser aguas recientes con periodos de circulación cortos, mantienen como anión predominante al bicarbonato.

#### *2.2.7.3 Formación Barco*

En esta formación, desde el año 2022, se ha evidenciado que el agua subterránea es principalmente de tipo bicarbonatada sódica, y en menor proporción cálcica, con grados de mineralización de intermedios a altos. Se resalta que algunos puntos de agua subterránea a cargo del proyecto Mina El Descanso-LAM3271 registran grados de mineralización elevados, con aguas de tipo clorurada sódica, para los monitoreos realizados en el año 2025 se evidenció que el punto MSB-LAM3271-0016 (PZ08) presentó estas características, por lo tanto, su comportamiento no está dentro de la tendencia regional y su análisis será objeto de requerimiento en el respectivo seguimiento ambiental.

#### *2.2.7.4 Formación Cuervos*

En esta unidad, durante el año 2025 predominó una clasificación hidroquímica de tipo sulfatada cálcica, evidenciándose un aumento en el número de puntos con esta composición en comparación con años anteriores, en los cuales predominaba la composición de tipo bicarbonatada. Se resalta que el punto MSB-LAM3271-0048 (PZ48) del proyecto Mina El Descanso (LAM3271) registra una composición de tipo sulfatada sódica, con alto grado de mineralización, continuando con el comportamiento evidenciado en la vigencia del año 2024, por lo tanto, su comportamiento no está dentro de la tendencia regional y su análisis será objeto de requerimiento en el respectivo seguimiento ambiental.

#### *2.2.7.5 Formación Cuesta*

En esta formación durante el año 2025 predominó una clasificación hidroquímica de tipo bicarbonatada, con grados de mineralización por lo general muy bajos; no obstante, puntualmente para las composiciones cloruradas, las mineralizaciones son intermedias.





### 2.2.8 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 generaron los diagramas de Gibbs expuestos en las **Figuras 28 a 30**, que incluyen los monitoreos realizados en el año 2025, agrupando los datos de acuerdo con la unidad geológica captada y las temporadas climáticas consideradas (seca, húmeda y transición).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que tanto los índices de sodio como los de cloruro no presentan grandes variaciones respecto a las diferentes temporadas climáticas consideradas, de igual manera, a lo largo de los años analizados (2022 - 2025) tampoco se observan cambios significativos; es decir que los procesos geoquímicos no están fuertemente influenciados por el régimen de precipitación del área.

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: en estos depósitos, al contar con un mayor número de puntos se evidencia una mayor dispersión en los datos, siendo posible identificar que en la dinámica del agua subterránea ocurren procesos de reacción agua-roca (que es el dominante) y de infiltración directa de la precipitación, comportamiento que se ha presentado a lo largo de los años analizados en la estrategia (2022 - 2025).
- Mezclas de agua depósitos cuaternarios - formaciones terciarias: en estas mezclas de agua, el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea corresponde a la interacción agua-roca. Al igual que en años anteriores, aunque de manera menos marcada, se evidencia que las mezclas asociadas con las formaciones Cuervos y Cuesta presentan un mayor grado de mineralización, reflejado en valores ligeramente más altos de Sólidos Disueltos Totales (SDT) y en un mayor predominio de los procesos de interacción agua-roca. En contraste, la mezcla asociada con la Formación Barco presenta una menor mineralización y una mayor influencia de los procesos de precipitación. Esta diferencia en el grado de mineralización de las mezclas de agua subterránea también pudo identificarse en los diagramas de Stiff.
- Formación Barco: en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es la reacción agua-roca, con alguna influencia de procesos de evaporación, aspecto que se refleja en mayores grados de mineralización, tal como se observó en los diagramas de Stiff. Este comportamiento se ha mantenido a lo largo del periodo analizado.
- Formación Cuervos: para todas las temporadas analizadas y en concordancia con lo evidenciado en los años anteriores, en esta formación el proceso dominante en la





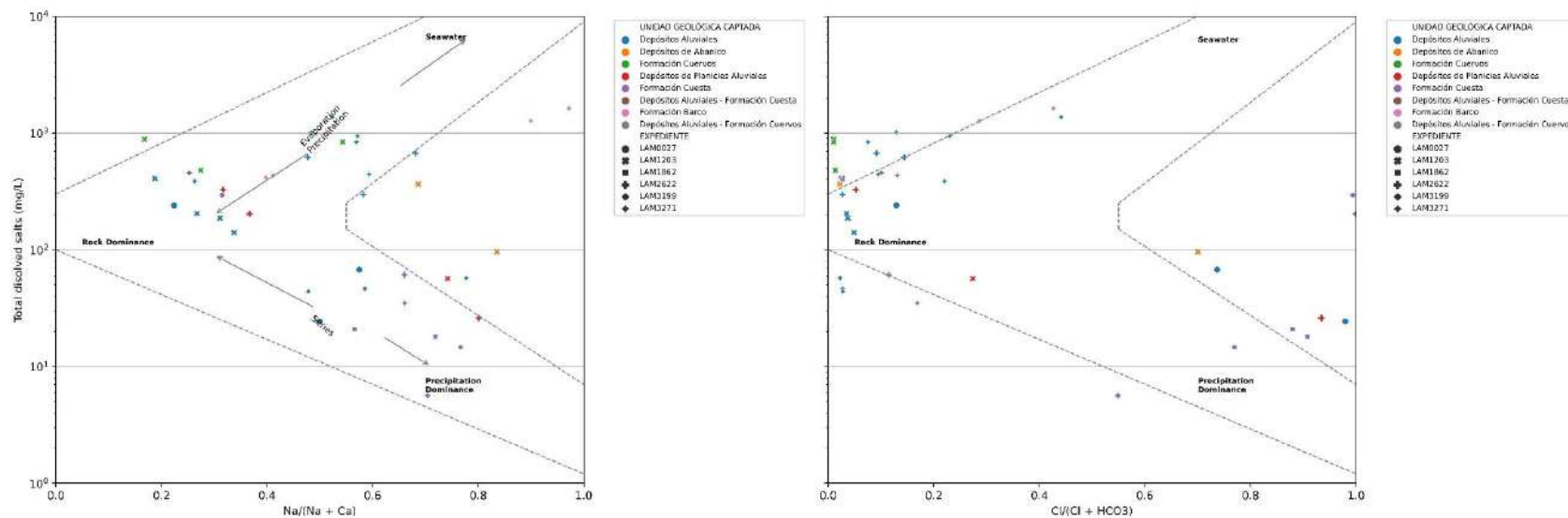
dinámica del agua subterránea es el de evaporación, seguido por procesos de interacción agua-roca.

- Formación Cuesta: en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es el aporte hídrico atmosférico (precipitación) con influencia de procesos de interacción agua-roca, aspecto que es coherente con lo evidenciado en los diagramas de Stiff, que reflejan un grado de mineralización bajo, lo que permite deducir la influencia que tiene la precipitación sobre estos niveles acuíferos. Este comportamiento se ha mantenido a lo largo del periodo analizado.





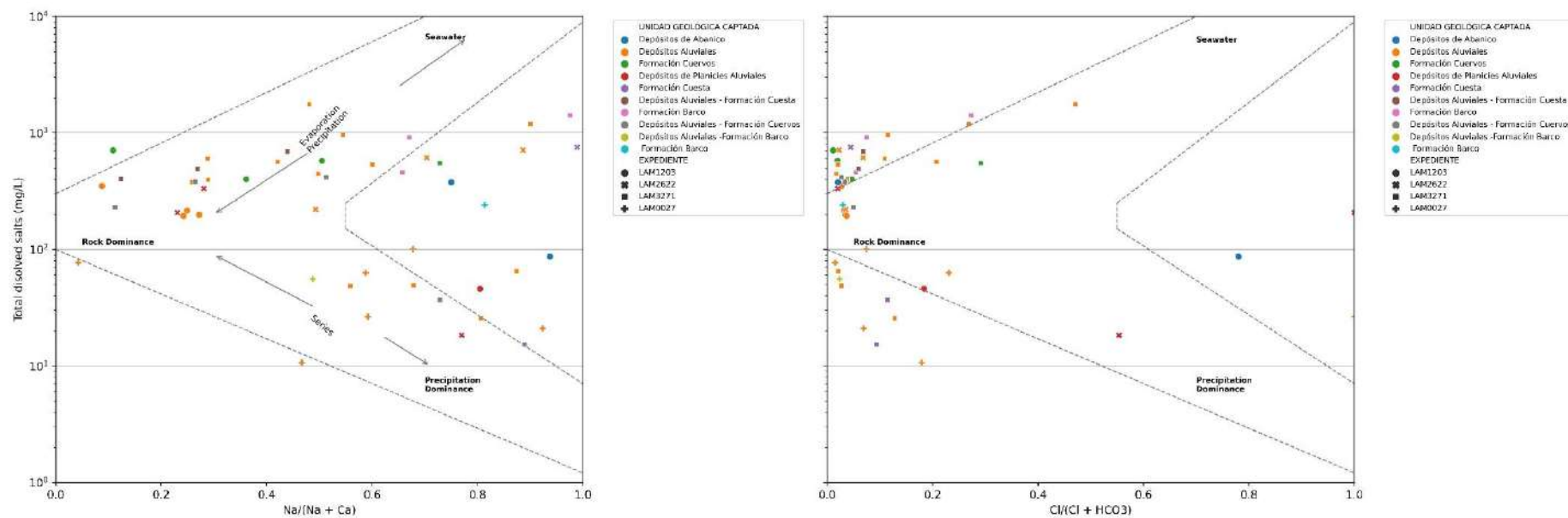
**Figura 28. Diagrama de Gibbs campaña seca, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



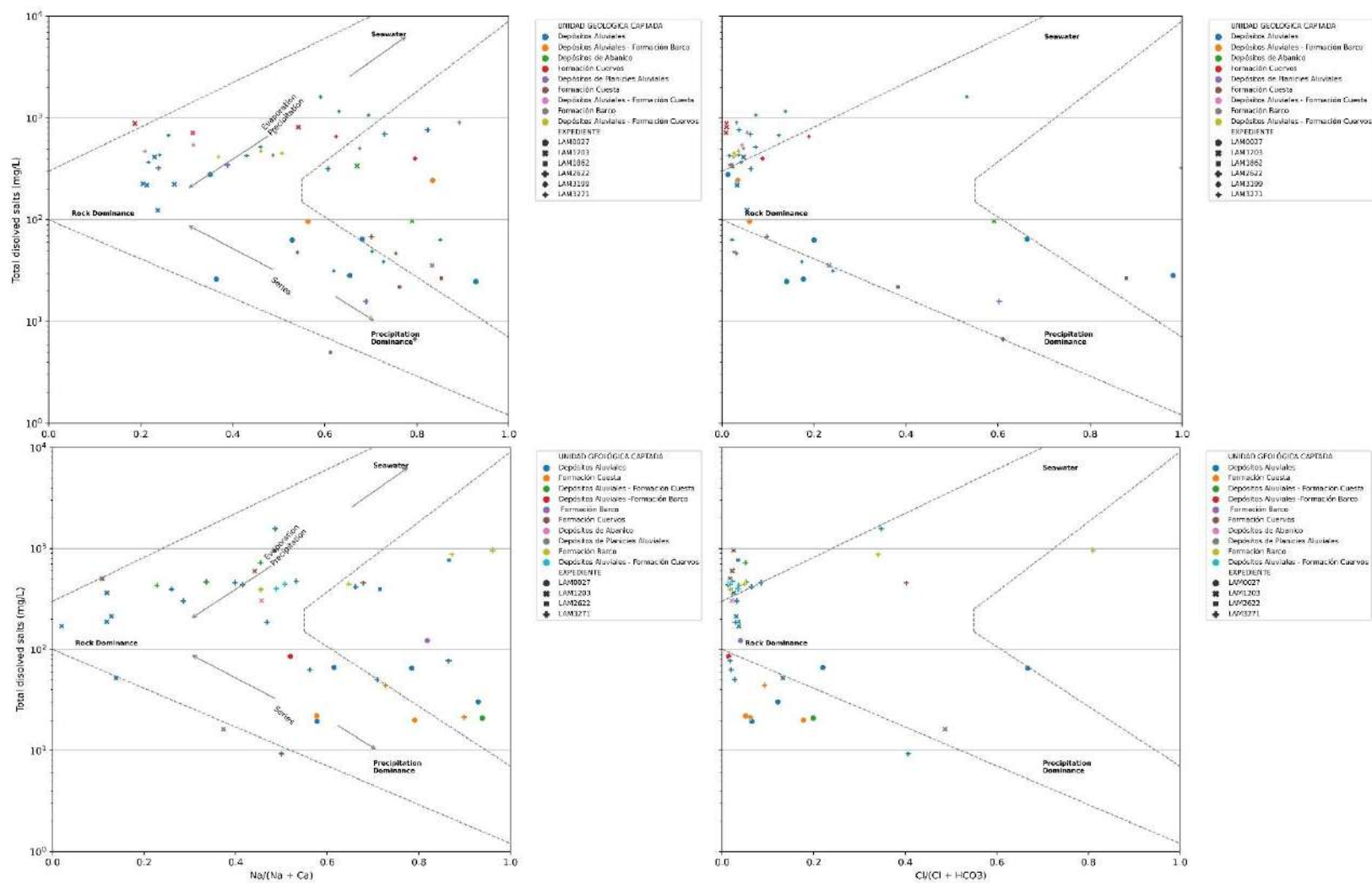
**Figura 29. Diagrama de Gibbs campaña de transición, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



Figura 30. Diagrama de Gibbs campañas húmedas, año 2025



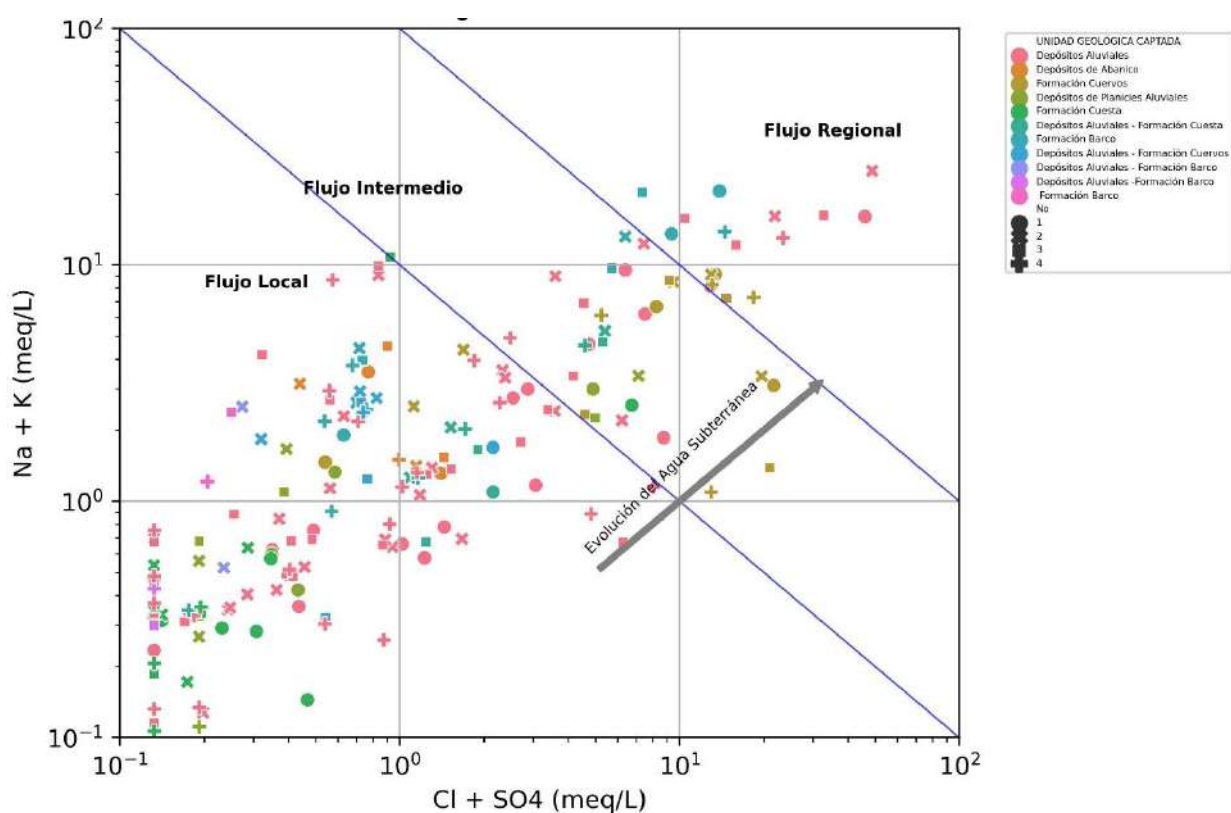
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

### 2.2.9 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 2025, en el cual los datos son agrupados de acuerdo con la unidad geológica captada y las temporadas climáticas consideradas (seca (1), húmeda (2 y 4) y transición (3)), tal como se observa en la **Figura 31**.

**Figura 31. Diagrama de Mifflin, monitoreos del año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

A nivel general, se evidencia que en el área de la estrategia predominan los flujos locales, los cuales son producto de la recarga directa por infiltración de la precipitación, aspecto que prevalece para la totalidad de las unidades geológicas consideradas. En segundo lugar, se observa la presencia de flujos intermedios; y, por último, en menor proporción existen flujos regionales, asociados a la Formación Barco, Formación Cuervos y los Depósitos Aluviales.



En relación con los flujos regionales, estos son esperables en las formaciones terciarias, debido a que corresponden a unidades más antiguas, donde el agua subterránea presenta mayores tiempos de residencia y recorridos más extensos. No obstante, para el caso de los Depósitos Aluviales, resulta necesario analizar el origen de este comportamiento y establecer si corresponde a una condición natural, asociada a la conexión con aguas subterráneas más antiguas o a flujos de circulación lenta, o si, por el contrario, obedece a posibles afectaciones antrópicas locales derivados de la actividad minera.

### 2.2.10 Metales y Metaloides

En el marco de las condiciones de monitoreo establecidas y con el propósito de identificar la presencia de elementos que puedan afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo, se evaluaron once (11) parámetros relacionados con metales y metaloides.

Para los muestreos reportados durante el año 2025, no se evidencian concentraciones por encima de los límites de detección y/o superiores a los límites máximos admisibles por la normatividad vigente para cinco (5) elementos: molibdeno (Mo), cobre (Cu), cadmio (Cd), selenio (Se) y Zinc (Zn), lo que sugiere ausencia de aportes significativos de estos elementos.

Por su parte, en el presente análisis se consideran seis (6) elementos que presentaron concentraciones cuantificables que en su mayoría superan los valores normativos: plomo (Pb), aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni).

#### 2.2.10.1 Plomo

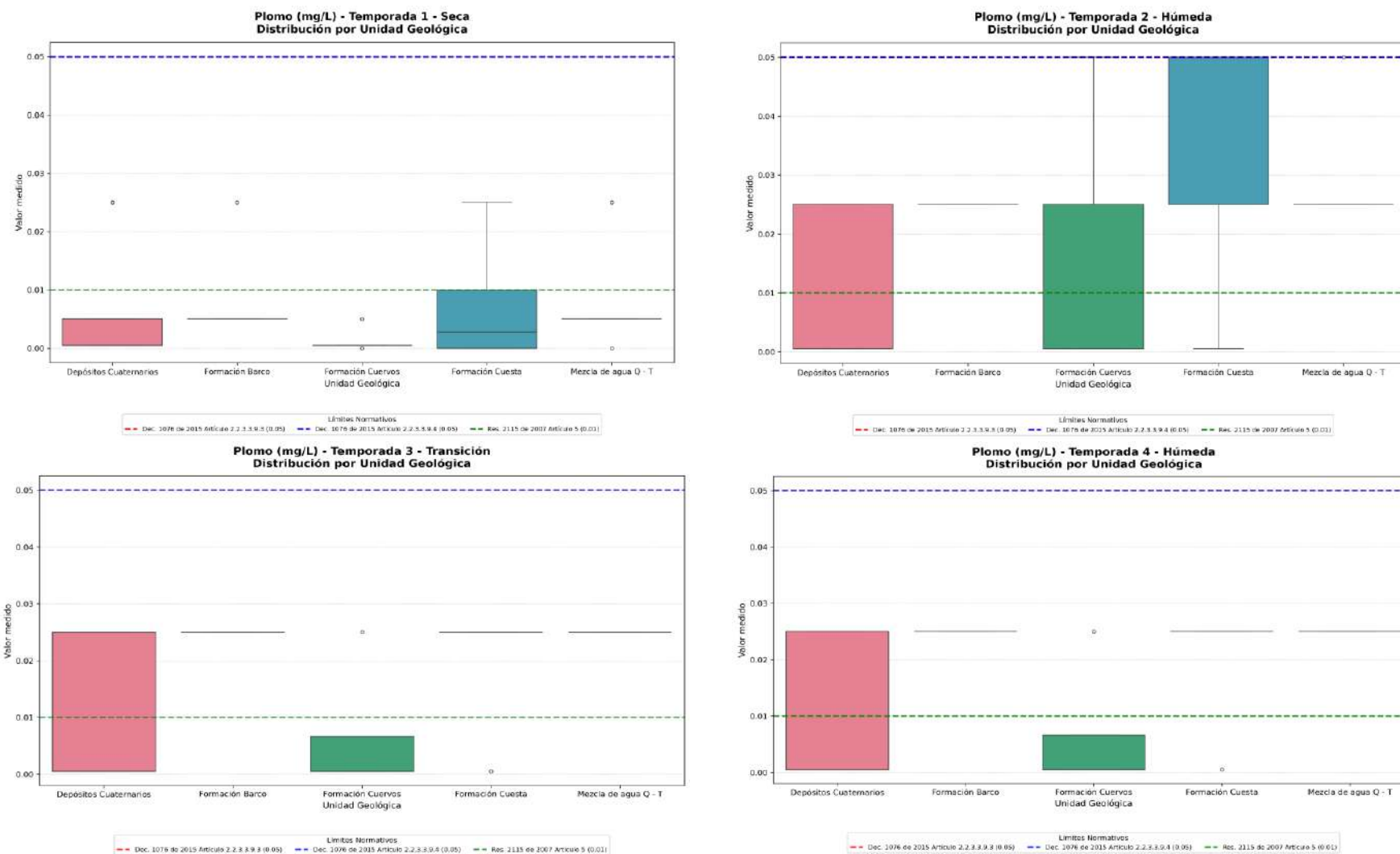
A partir de los diagramas de cajas y bigotes (**Figura 32**) se evidencia que las concentraciones de plomo registradas durante el año 2025 presentan un comportamiento homogéneo y de baja variabilidad en todas las unidades geológicas y temporadas climáticas evaluadas.

En general, los valores de plomo se concentran por debajo de 0,01 mg/L, límite establecido en la Resolución 2115 de 2007, y en ningún caso se observan excesos en relación con el valor máximo permisible de 0,05 mg/L definido en el Decreto 1076 de 2015. No obstante, se identifican ligeros incrementos durante la temporada húmeda, particularmente en los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta, donde algunos valores alcanzan rangos cercanos a 0,025 mg/L; sin embargo, estos no representan incumplimientos normativos ni evidencian una tendencia persistente.





**Figura 32. Plomo por temporada climática y unidad geológica, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



#### 2.2.10.2 Aluminio

En general el aluminio presenta un comportamiento heterogéneo durante el año 2025; en la mayoría de los puntos evaluados, las concentraciones se encuentran por debajo del límite de cuantificación (**Figura 33**). No obstante, se identifican concentraciones elevadas, destacándose valores superiores a los límites normativos, como es el caso de algunos puntos de los expedientes LAM3199 (hasta 8,05 mg/L), LAM2622 (hasta 11,40 mg/L) y LAM3271 (hasta 13,05 mg/L).

El análisis de estos comportamientos ya ha sido objeto de requerimiento por parte de esta Autoridad en varios proyectos, a lo cual algunos licenciarios han indicado que dichas concentraciones responden a condiciones naturales del medio (origen geogénico). No obstante, en los próximos seguimientos se revisará si hay nuevos puntos que presenten concentraciones elevadas de aluminio, y en caso de ser necesario se requerirán los análisis respectivos.

Adicionalmente, el aluminio presenta variabilidad entre épocas climáticas, con incrementos en algunos puntos durante la temporada húmeda, lo cual puede estar asociado a procesos de lixiviación, escorrentía e interacción agua-roca. Si bien en algunos estas concentraciones se atribuyen a condiciones naturales del medio (relacionadas con la presencia de materiales aluminosilicatos y conexiones hidráulicas entre acuíferos y fuentes superficiales), los resultados obtenidos para el año 2025 evidencian la necesidad de continuar con los seguimientos específicos, enfocados en la identificación de las fuentes de estos incrementos, con el fin de confirmar si corresponden a condiciones naturales o a posibles aportes de origen antrópico.

Con el fin de evaluar la distribución espacial de las concentraciones de aluminio dentro del área de la estrategia, así como su comportamiento en los diferentes proyectos, se generaron espacializaciones mediante la interpolación de los valores obtenidos.

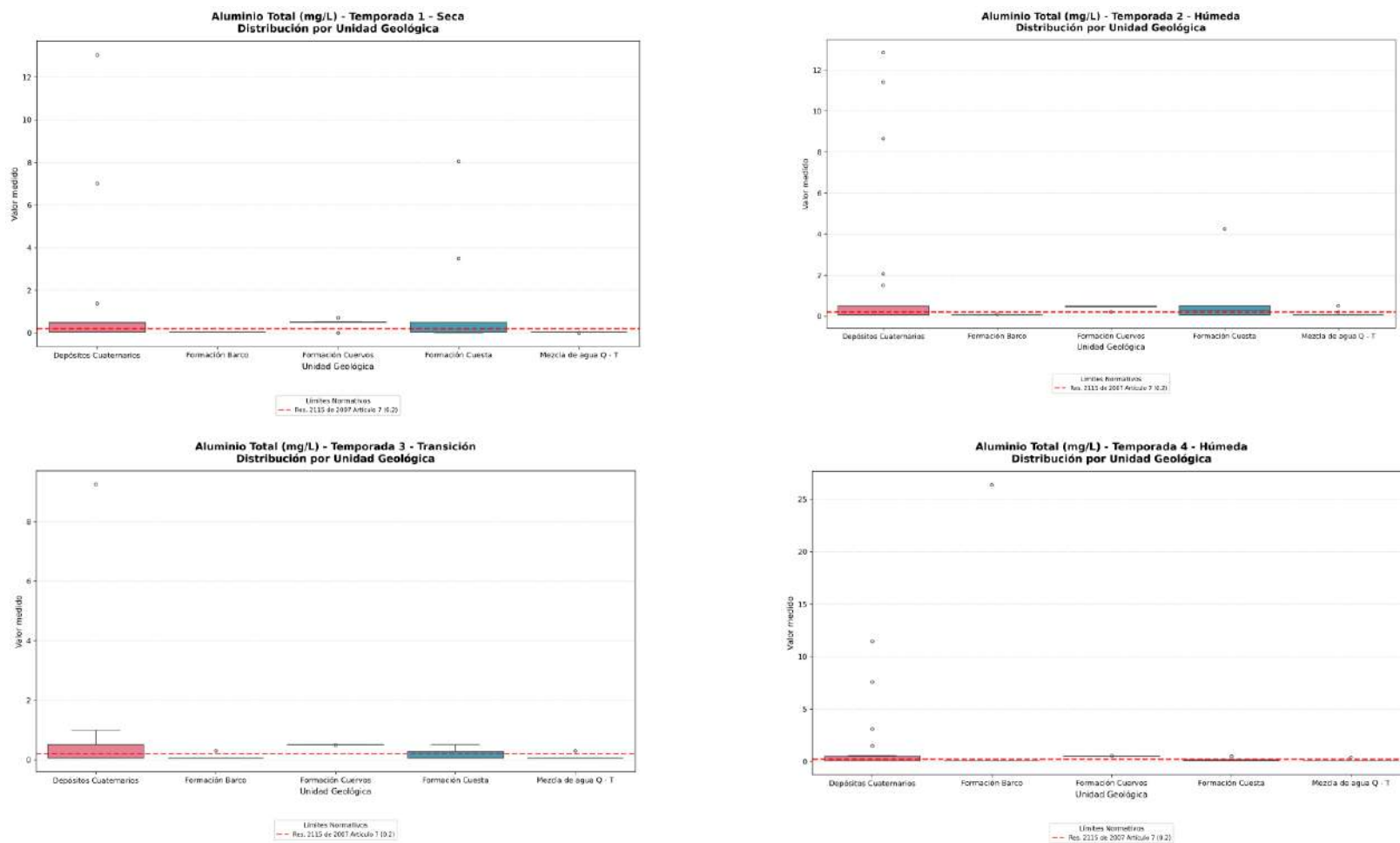
Como resultado, se obtuvieron dos salidas gráficas (**Figura 34**), una para la temporada seca y otra para la temporada húmeda; en la primera, la interpolación de los datos de aluminio correspondientes al año 2025 muestra mayores concentraciones en la zona central del área de estudio, alcanzando valores máximos cercanos a 0,6 mg/L, a diferencia de la zona sur, donde predominan los valores mínimos.

En cuanto a la temporada húmeda, se observa un aumento generalizado en las concentraciones de aluminio, sin embargo, el valor máximo disminuye, posiblemente debido a la influencia del aumento del volumen de recarga, que genera procesos de dilución en el sistema.





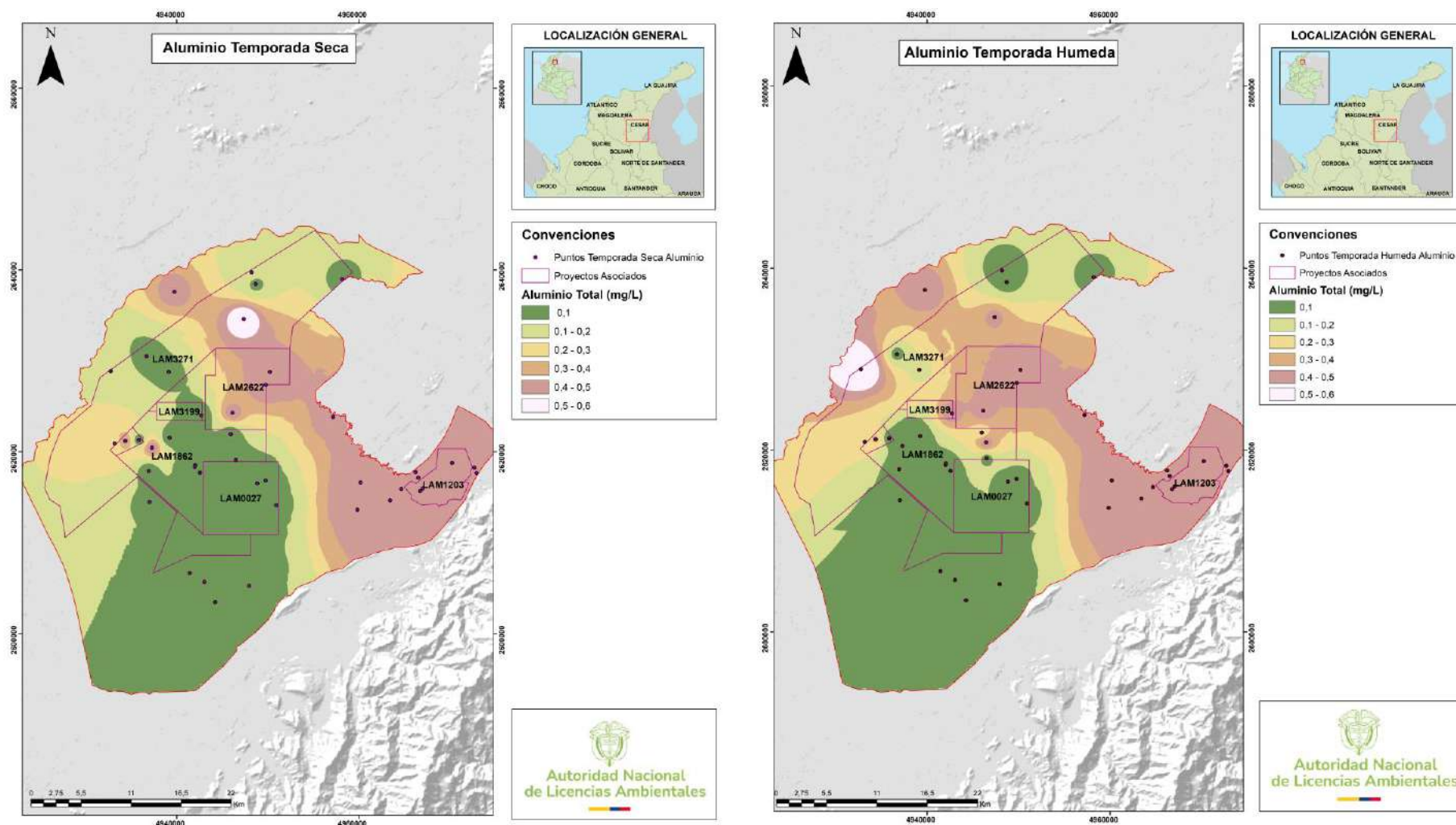
**Figura 33. Aluminio por temporada climática y unidad geológica, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



Figura 34. Distribución espacial del aluminio, temporadas seca y húmeda, 2025



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026

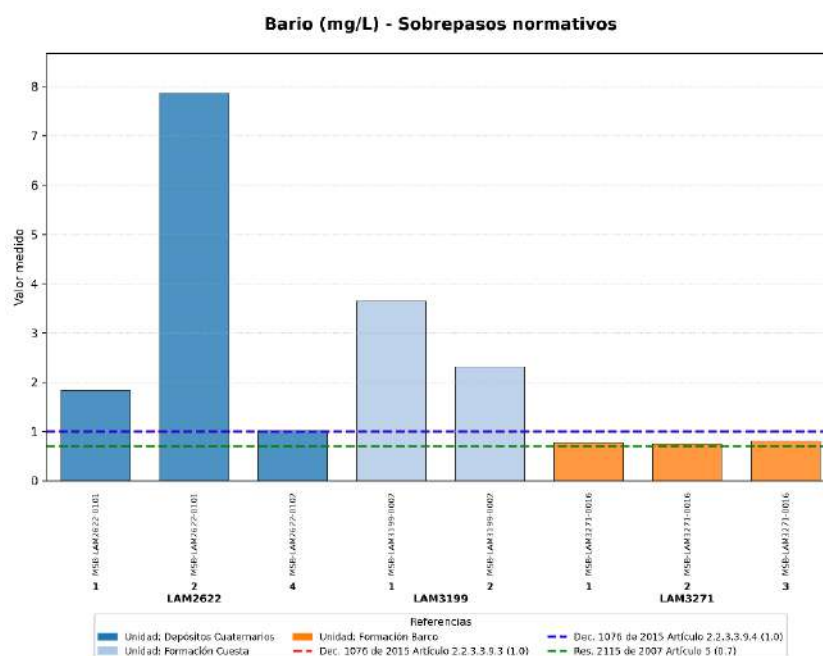
### 2.2.10.3 Bario

Para el año 2025, la mayoría de los puntos monitoreados no presentan concentraciones de bario superiores a 1 mg/L, que es el valor máximo establecido en el Decreto 1076 de 2015. No obstante, se continúa evidenciando la presencia de bario en dos (2) puntos de monitoreo asociados a los expedientes LAM3199 y LAM2622, en particular, en la captación MSB-LAM3199-0002 se registraron concentraciones de hasta 3,65 mg/L en época seca y 2,30 mg/L en época húmeda, mientras que en el punto MSB-LAM2622-0101 se reportaron valores de 1,83 mg/L en época seca y 7,87 mg/L en época húmeda, tal como se evidencia en la **Figura 35**.

Es preciso mencionar que el comportamiento en los puntos mencionados ha sido reiterado en una o más campañas de monitoreo de los años 2022, 2023 y 2024, situación por la cual se considera necesario solicitar a los licenciarios, en los seguimientos específicos, que se realicen estudios detallados que permitan determinar con certeza la fuente de las concentraciones de bario, que incide en la calidad del agua captada en dichos puntos.

Este comportamiento evidencia no solo la persistencia del parámetro en dichos puntos, sino también un incremento significativo en algunas campañas, especialmente en época húmeda para el caso del expediente LAM2622, lo cual sugiere una posible influencia de procesos de lixiviación, interacción agua-roca o condiciones hidrogeoquímicas particulares del medio.

**Figura 35. Puntos de agua subterránea con concentraciones elevadas de bario, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



#### 2.2.10.4 Hierro

Como se puede observar en la **Figura 36**, durante el año 2025 se registran concentraciones de hierro total en varios puntos de monitoreo, con una marcada variabilidad entre unidades geológicas. En términos generales, las mayores concentraciones se observan en las formaciones Cuervos y Cuesta, así como en algunos puntos asociados a los depósitos cuaternarios.

La Formación Cuervos presenta la mayor dispersión y los valores máximos de hierro, especialmente durante las temporadas húmedas y de transición, donde se alcanzan concentraciones significativamente elevadas. De igual forma, en la Formación Cuesta se identifican valores extremos puntuales, principalmente en temporada seca. Por su parte, los depósitos cuaternarios, aunque presentan en su mayoría concentraciones bajas o cercanas al límite de cuantificación, muestran algunos valores atípicos, lo que indica eventos puntuales de incremento del hierro.

Así mismo, se evidencia que las temporadas húmedas presentan una mayor dispersión y concentración de valores altos, lo cual sugiere una influencia directa de las condiciones de mayor recarga hídrica, asociada a procesos de lixiviación, escorrentía e interacción agua-roca. En contraste, la temporada seca muestra menor variabilidad, aunque con presencia de algunos picos elevados en unidades específicas.

En la mayoría de las captaciones donde se registran concentraciones elevadas de hierro, este comportamiento se presenta en más de una campaña de monitoreo, y desde años anteriores, lo que indica persistencia de este metal en ciertos puntos y unidades geológicas. Algunos puntos de agua subterránea con este comportamiento son:

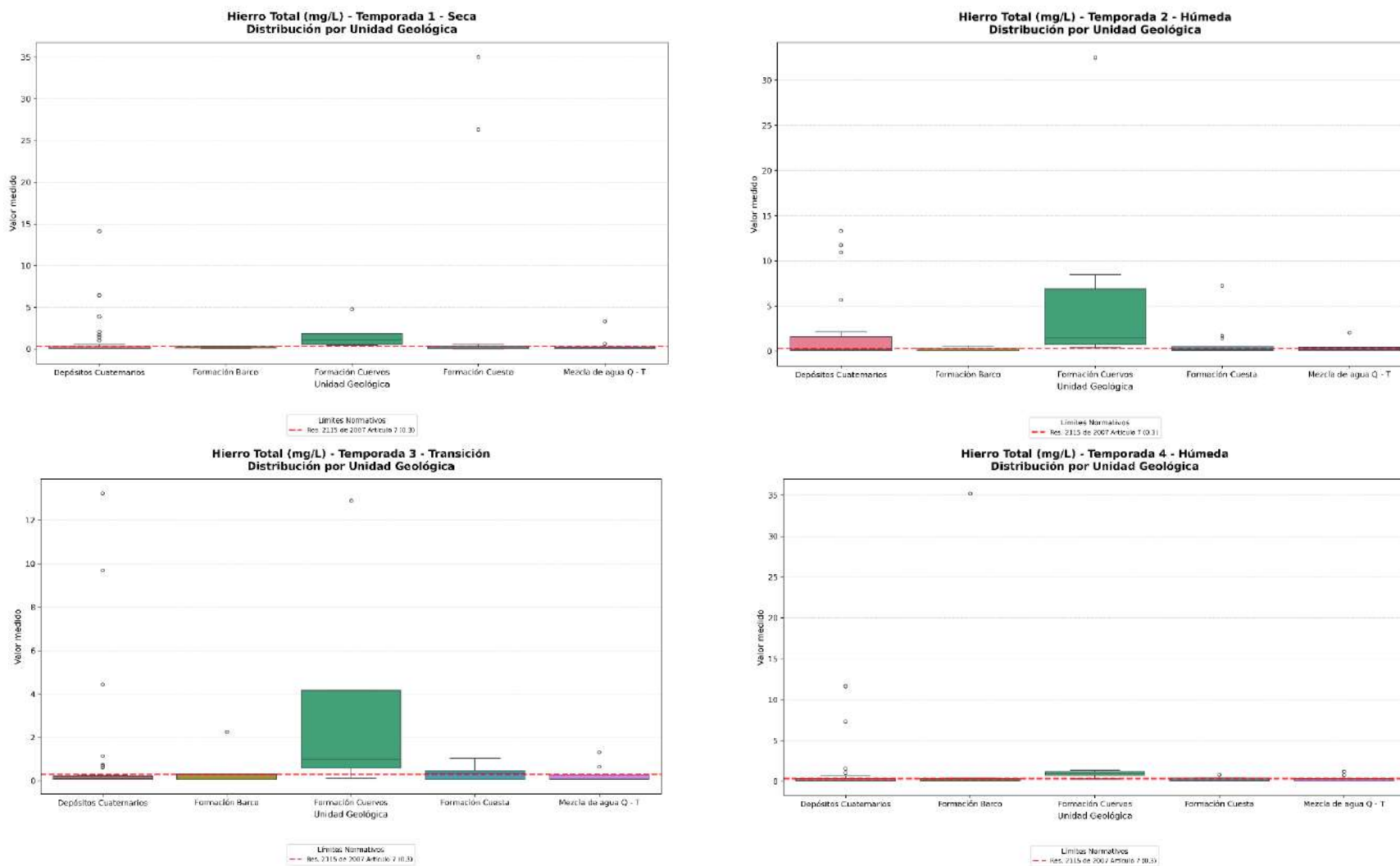
- Depósitos cuaternarios: MSB-LAM1203-0009, MSB-LAM3271-0024, MSB-LAM3271-0018, MSB-LAM3271-0039.
- Formación Barco: MSB-LAM3271-0025.
- Formación Cuervos: MSB-LAM1203-0007 y MSB-LAM3199-0004.
- Formación Cuesta: MSB-LAM1862-0003 y MSB-LAM3199-0006.

Cabe anotar, que los puntos citados anteriormente presentan las concentraciones más críticas, no obstante, la revisión se debe hacer para toda la red de monitoreo, ~~haciendo en~~ realizando para cada uno de los proyectos que integran la estrategia los requerimientos necesarios para el análisis del comportamiento de este metal.





**Figura 36. Hierro total por temporada climática y unidad geológica, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



El análisis espacial de las concentraciones de hierro total evidencia diferencias significativas entre la temporada seca y la temporada húmeda (**Figura 37**). Para la temporada seca, la espacialización muestra un comportamiento relativamente homogéneo en gran parte del área, predominando concentraciones en el rango de 5 a 10 mg/L; sin embargo, se identifican focos puntuales de concentración elevada (entre 20 y 30 mg/L), principalmente en la zona centro-occidental y en el sector oriental, asociado al expediente LAM1203. Estos puntos corresponden a anomalías locales que podrían estar relacionadas con actividades antrópicas o características geológicas particulares.

En contraste, durante la temporada húmeda se observa una disminución general de las concentraciones de hierro total, predominando valores en el rango de 0,05 a 5 mg/L en la mayor parte del área. No obstante, persisten algunos incrementos localizados, especialmente hacia el sector oriental (expediente LAM1203) y puntos aislados en la zona central, aunque con menor intensidad respecto a la temporada seca.

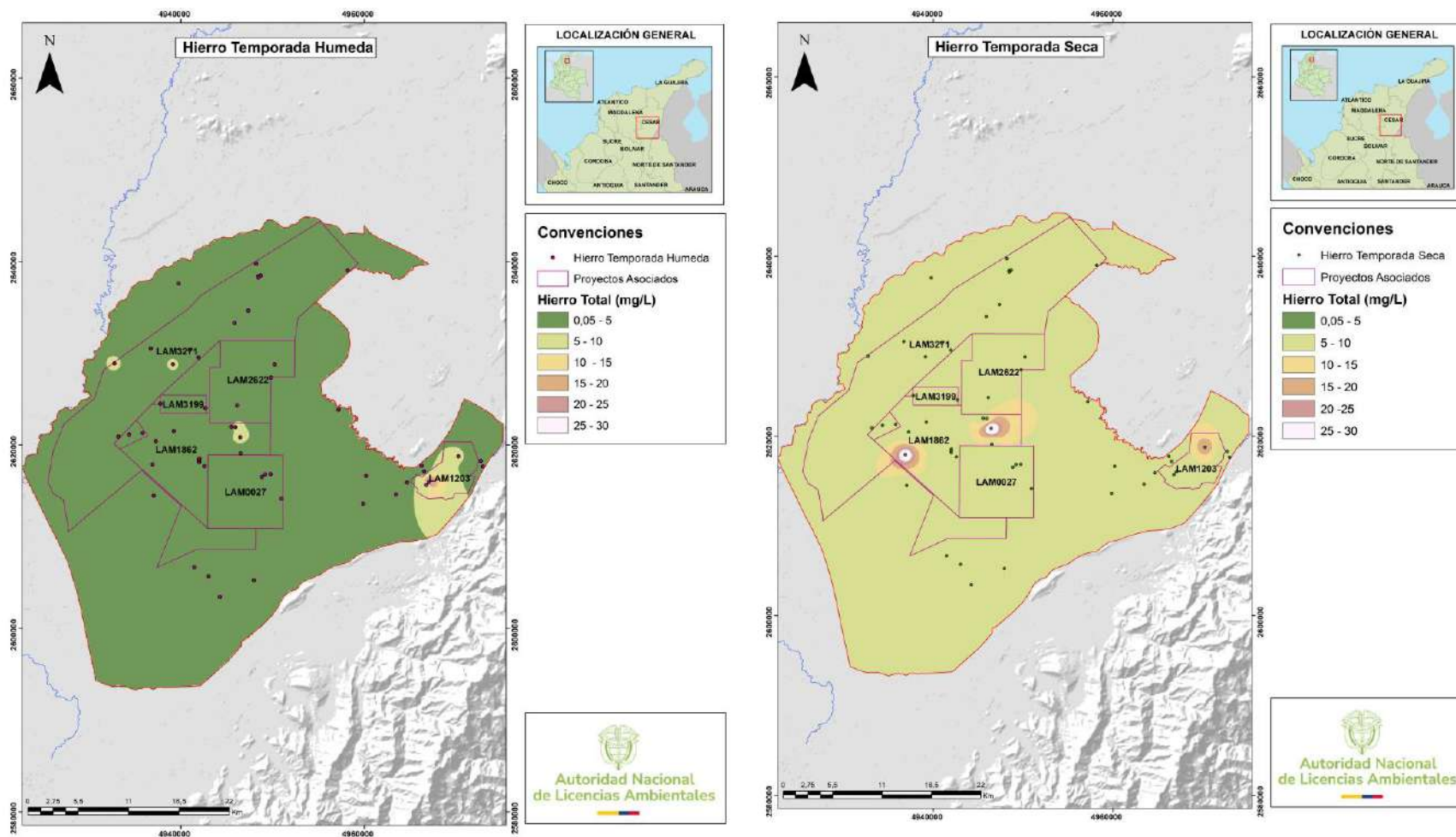
Este comportamiento sugiere una influencia directa de la estacionalidad hidrológica, donde en época húmeda los procesos de dilución, recarga hídrica y mayor conectividad hidráulica favorecen la disminución de las concentraciones de hierro. Por el contrario, en temporada seca, la reducción del caudal y la menor capacidad de dilución propician la concentración de este metal, haciendo más evidentes las anomalías puntuales.

En términos espaciales, se destaca que el sector oriental del área de estudio (expediente LAM1203) presenta concentraciones elevadas en ambas temporadas, lo que podría indicar una fuente persistente o condición local específica, mientras que las anomalías en la zona centro-occidental parecen estar más influenciadas por la estacionalidad.





Figura 37. Distribución espacial del hierro total temporadas seca y húmeda, 2025



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026



#### 2.2.10.5 Manganeseo

En general, las concentraciones de manganeso están por debajo del límite de cuantificación o cercanas al límite establecido en el Artículo 7 de la Resolución 2115 del 2007 (0,10 mg/L). No obstante, en los expedientes LAM2622, LAM3199 y LAM3271, varios puntos de agua subterránea presentan concentraciones significativas en más de una campaña de manera reiterada, tal como se observa en la **Figura 38**.

En el expediente LAM3199 las concentraciones alcanzan 5,19 mg/L en época seca y 2,50 mg/L en época húmeda; en el expediente LAM2622 las cuantificaciones son de hasta 5,19 mg/L en época húmeda y en el expediente LAM3271 de hasta 2,42 mg/L en época seca y 1,69 mg/L en época húmeda. Algunos puntos de agua subterránea con este comportamiento son:

- Depósitos cuaternarios: MSB-LAM2622-0101, MSB-LAM2622-0102, MSB-LAM3271-0022, MSB-LAM3271-0024 y MSB-LAM3271-0055.
- Mezclas de agua: MSB-LAM3271-0015.
- Formación Barco: MSB-LAM3271-0025.
- Formación Cuesta: MSB-LAM3199-0002.

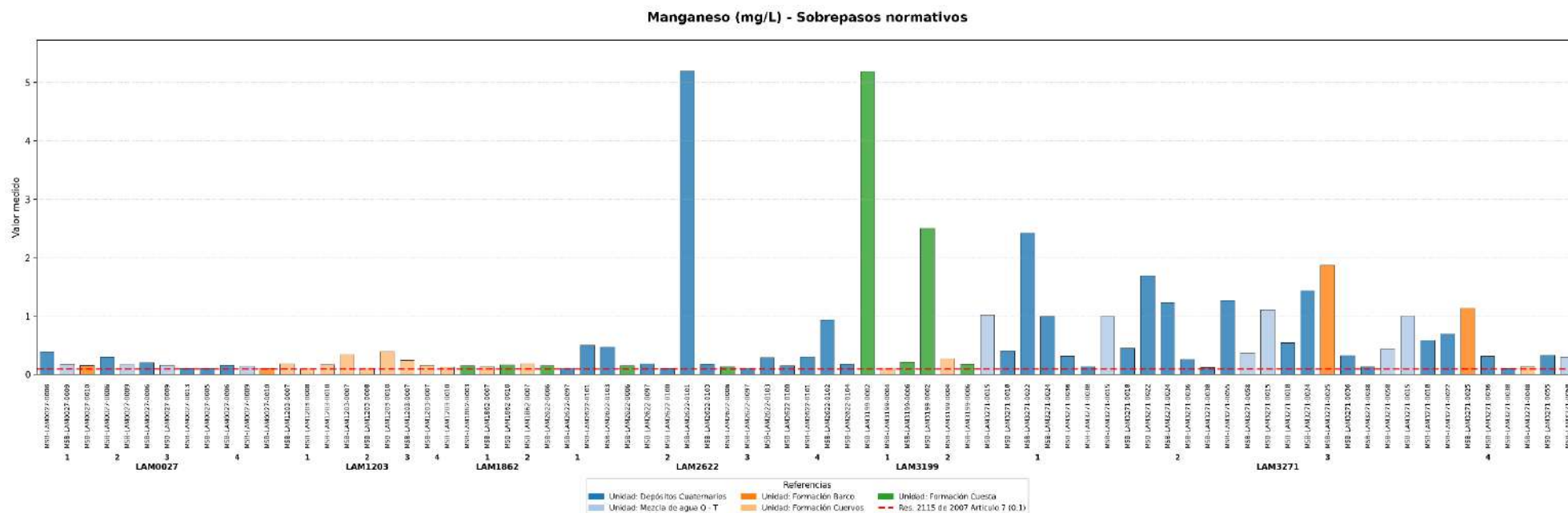
Es importante mencionar que el comportamiento de los puntos anteriormente mencionados, además de otros puntos, ya ha sido objeto de requerimiento por parte de esta Autoridad, ante lo cual los licenciarios aducen que la concentración de manganeso corresponde con las condiciones naturales del medio, asociadas a la litología de las rocas almacenadoras de agua, identificadas en estudios históricos del comportamiento del recurso hídrico. No obstante, el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la ANLA anualmente hace un análisis de las concentraciones reportadas, los puntos incluidos y su variación en el tiempo, por lo cual, en caso de ser necesario se realizan nuevos requerimientos de información.

Para el caso del expediente LAM3271, durante el seguimiento ambiental correspondiente a la vigencia 2025 se requirió la realización de un análisis multitemporal del comportamiento fisicoquímico de este parámetro (Requerimiento 1 del Acta 719 de 2025). En respuesta, el licenciario concluyó que el origen de las concentraciones observadas era de carácter geogénico. No obstante, en el marco de la evaluación de la información presentada, esta Autoridad consideró que los argumentos técnicos aportados no resultaban suficientes para sustentar dicha conclusión, por lo que consideró necesario solicitar un análisis más completo, en el que se fortaleciera la argumentación mediante la incorporación de información complementaria, incluyendo la evaluación de las direcciones de flujo del agua subterránea, la relación espacial con la infraestructura del proyecto y el análisis de información obtenida directamente en el área de influencia de la operación minera.





**Figura 38. Puntos de agua subterránea con concentraciones elevadas de manganeso, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.



En la **Figura 39** se presenta una espacialización de los valores de manganeso dentro del área de la estrategia, al respecto es importante aclarar que para dicho ejercicio se definió un rango de concentraciones en el cual entran cerca del 90% de los monitoreos disponibles, por lo cual se excluyeron de la interpolación aquellos valores extremos, como los citados anteriormente, dado que pueden distorsionar el análisis en aquellos sectores con menor densidad de puntos.

El análisis espacial de las concentraciones de manganeso evidencia un comportamiento diferenciado entre la temporada seca y la temporada húmeda, con variaciones tanto en la magnitud como en la distribución de los valores dentro del área de la estrategia.

Para la temporada húmeda, se observa que la mayor parte del área presenta concentraciones bajas de manganeso, predominando valores cercanos a 0,1 mg/L. No obstante, se identifican algunas zonas puntuales con incrementos moderados, especialmente en el sector occidental y en el área asociada al expediente LAM1203, donde los valores alcanzan rangos entre 0,25 y 0,45 mg/L, estos valores son localizados y no representan un patrón generalizado en el área de estudio.

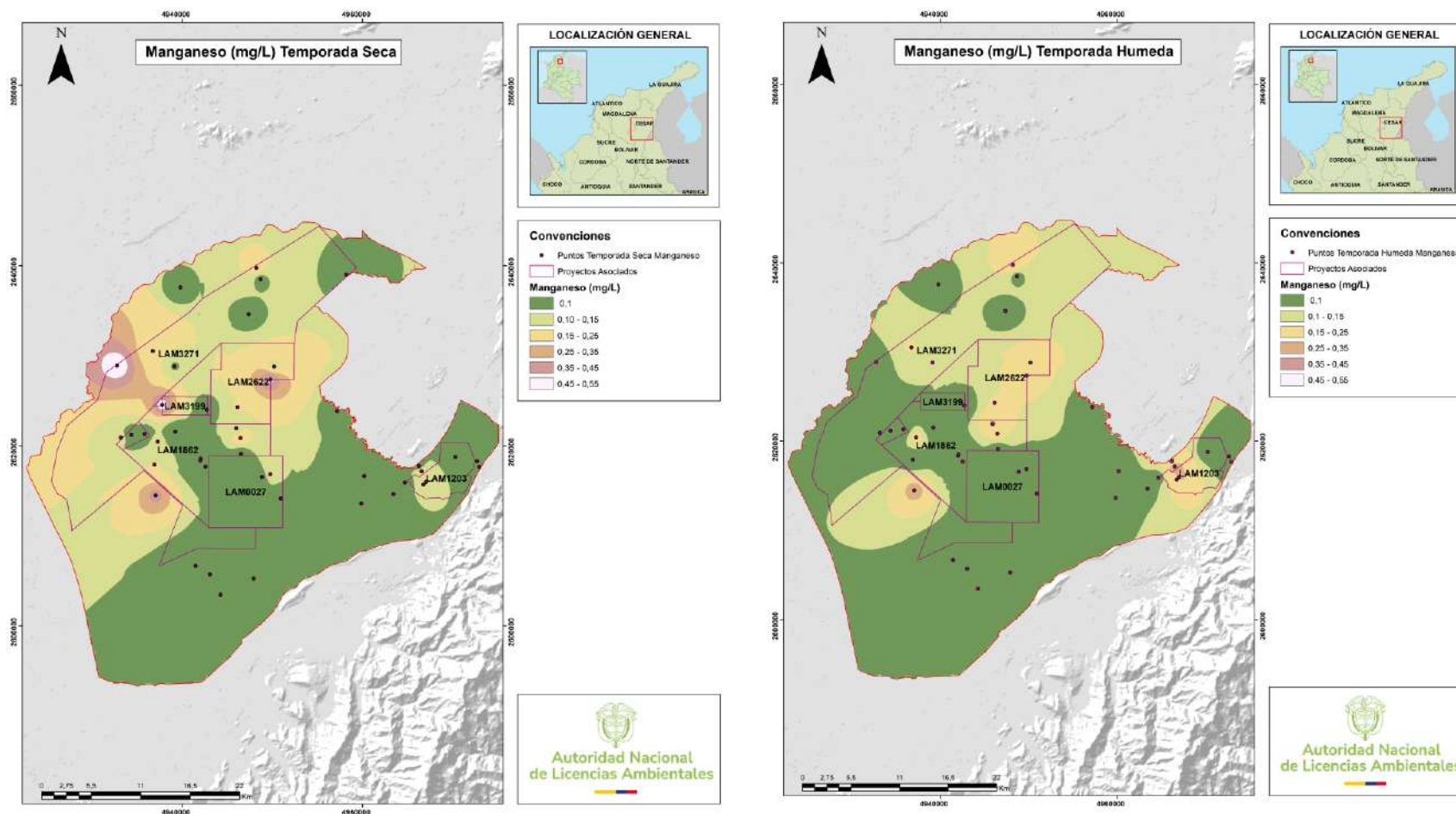
En contraste, durante la temporada seca se evidencia un incremento significativo, tanto en la extensión como en la intensidad de las concentraciones de manganeso. Se presentan zonas más amplias con valores entre 0,15 y 0,35 mg/L, así como focos de alta concentración que alcanzan valores de hasta 0,55 mg/L, principalmente en el sector occidental y en áreas cercanas a los expedientes LAM3199 y LAM3271. Adicionalmente, el sector oriental (expediente LAM1203) mantiene concentraciones moderadas, lo que sugiere una persistencia espacial en este sector.

Este comportamiento indica una fuerte influencia de la estacionalidad hidrológica, donde en la temporada húmeda los procesos de dilución y recarga hídrica contribuyen a disminuir las concentraciones de manganeso. Por el contrario, en la temporada seca, la disminución de caudales y el aumento de procesos de concentración favorecen la acumulación de este metal.

En términos espaciales, se destaca que los mayores valores se concentran en el sector occidental del área de estudio, mientras que el sector oriental presenta un comportamiento más estable entre temporadas, lo que podría estar asociado a condiciones locales específicas, ya sean geológicas, hidrogeoquímicas o relacionadas con actividades antrópicas.



Figura 39. Distribución espacial del manganeso, temporadas seca y húmeda, 2025



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026

### 2.2.10.6 Níquel

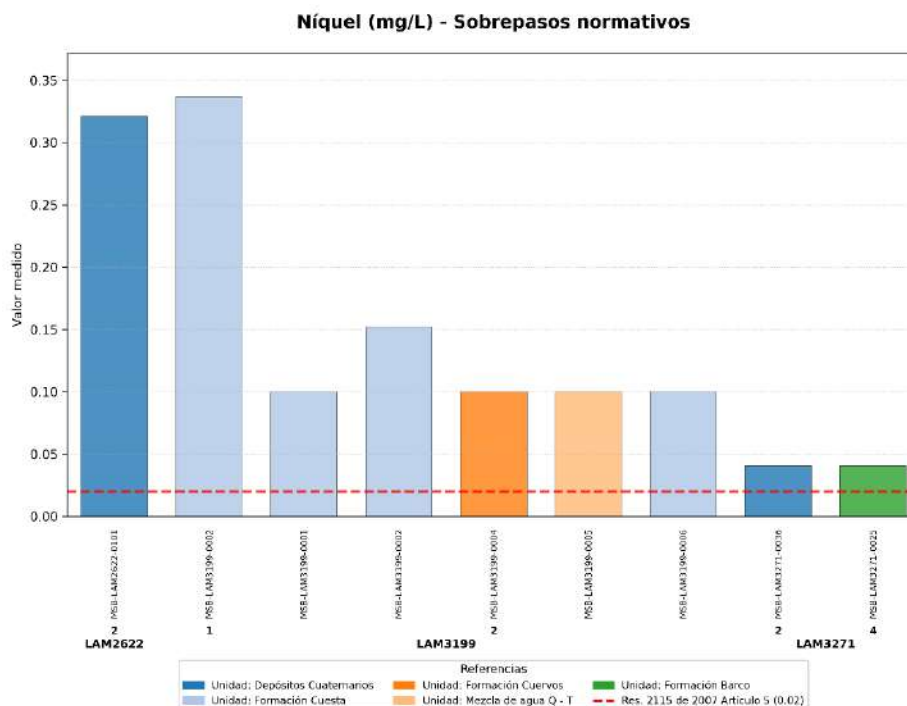
El níquel durante el año 2025 presenta, en general, concentraciones bajas en los puntos de agua evaluados dentro de los proyectos objeto de análisis, evidenciándose predominantemente valores por debajo del límite de cuantificación o no detectables en la mayoría de las captaciones monitoreadas.

En los proyectos de los expedientes LAM0027, LAM1862, LAM1203 y LAM3271, el parámetro se registra de forma constante con valores cercanos o inferiores a 0,01 mg/L, los cuales corresponden a condiciones reportadas como por debajo del límite de cuantificación, sin evidenciar concentraciones que representen excedencias normativas.

No obstante, se identifican valores puntuales cuantificables en algunos puntos específicos, tal como se evidencia en la **Figura 40**, y se describen a continuación:

- Depósitos cuaternarios: MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM3271-0036
- Mezclas de agua: MSB-LAM3199-0005.
- Formación Barco: MSB-LAM3271-0025.
- Formación Cuervos: MSB-LAM3199-0004.
- Formación Cuesta: MSB-LAM3199-0001, MSB-LAM3199-0002 y MSB-LAM3199-0006.

**Figura 40. Puntos de agua subterránea con concentraciones elevadas de níquel, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026



#### *2.2.10.7 Análisis conjunto de metales y metaloides*

A partir del análisis presentado anteriormente en relación con las concentraciones de metales y metaloides, es posible identificar aquellos puntos de monitoreo en los que se registran valores elevados respecto al comportamiento regional, así como aquellos en los que dichas concentraciones han sido reportadas de manera recurrente en campañas de monitoreo de vigencias anteriores, evidenciando patrones persistentes en el tiempo. La localización de estos puntos y su relación espacial con los proyectos que conforman la estrategia regional se presenta en la **Figura 41**.

De manera similar a lo observado para los puntos con elevados grados de mineralización (**Figura 27**), se evidencia que los puntos con concentraciones elevadas en algunos de los siguientes parámetros: aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni), se localizan en cercanías de los frentes de explotación y, en varios casos, sobre depósitos antrópicos y áreas de retrolleado. Asimismo, se identifica una coincidencia espacial entre varios de estos puntos y aquellos donde se registraron facies hidroquímicas de mayor mineralización, lo que constituye una línea de evidencia adicional que amerita un análisis integral del comportamiento hidrogeoquímico del agua subterránea y de su posible relación con las condiciones geológicas e hidrogeológicas locales, así como con las actividades desarrolladas en el área de influencia de los proyectos. Por lo tanto, es necesario que en el marco de los seguimientos ambientales de los proyectos involucrados se realice un análisis robusto en el cual se consideren aspectos como direcciones de flujo, infraestructura de los proyectos mineros, frentes de explotación y condiciones geológicas e hidrogeológicas, además de información técnica primaria tomada directamente en el área de influencia de los proyectos.

De manera integral, el análisis espacial y temporal de las concentraciones de metales y metaloides permite identificar patrones que trascienden la ocurrencia puntual de valores elevados. En particular, la persistencia de concentraciones relativamente altas de elementos como aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) en determinados puntos de monitoreo, sumada a su distribución espacial en sectores próximos a los frentes de explotación, depósitos antrópicos y áreas de retrolleado, así como a la coincidencia con puntos donde se registran elevados grados de mineralización del agua subterránea, constituye una línea de evidencia que sugiere la existencia de procesos comunes que controlan la evolución hidrogeoquímica del recurso en estos sectores.

Si bien la información actualmente disponible no permite establecer de manera concluyente si dichos procesos corresponden exclusivamente a condiciones de origen geogénico o si existe una contribución asociada a las actividades mineras desarrolladas en la región, la convergencia de las evidencias anteriormente descritas permite plantear como hipótesis técnica la posible existencia de un efecto acumulativo sobre la calidad del agua subterránea en los sectores evaluados.





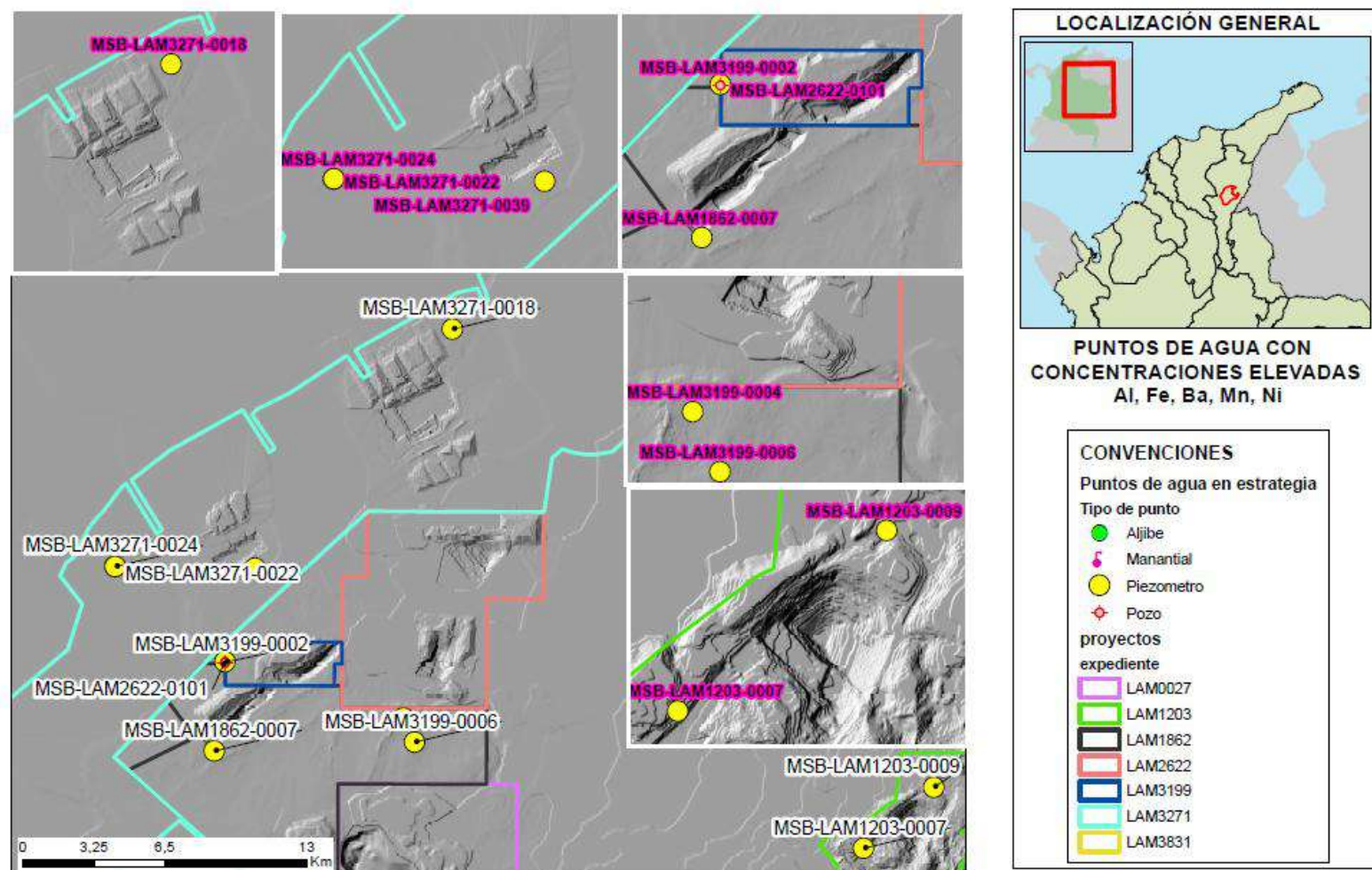
Bajo este contexto, esta Autoridad considera necesario fortalecer los requerimientos formulados a los titulares de los proyectos que hacen parte de la estrategia regional, orientándolos a profundizar el análisis de los procesos que controlan la composición química del agua subterránea mediante la incorporación de información geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica de mayor detalle, incluyendo el análisis integrado de la evolución temporal de los parámetros comparándolos con la línea base (escenario sin proyecto), las direcciones de flujo y la relación con la infraestructura minera.

Lo anterior permitirá contar con los elementos técnicos necesarios para establecer, con un mayor grado de certeza, si los comportamientos persistentes identificados corresponden a procesos naturales o si evidencian la posible configuración de impactos acumulativos asociados al desarrollo conjunto de las actividades mineras presentes en la región.





**Figura 41. Puntos de agua subterránea que presentan mayor concentración en algunos de los siguientes parámetros: aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni)**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026



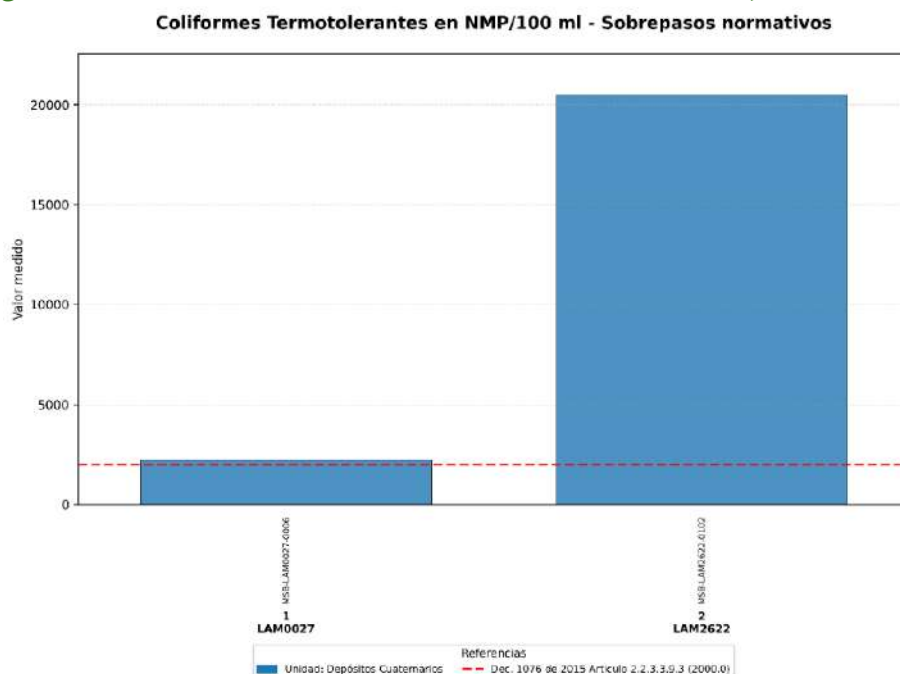
## 2.2.11 Parámetros microbiológicos

### 2.2.11.1 *Coliformes termotolerantes*

En la **Figura 42**, se observan los contenidos de coliformes termo tolerantes obtenidos en las campañas de monitoreo en el año 2025 que representan un exceso respecto a los valores establecidos en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015. Como se puede observar los sobrepasos corresponden con dos (2) puntos de agua asociados a los depósitos cuaternarios, localizados en los expedientes LAM0027 (MSB-LAM0027-0006) y LAM2622 (MSB-LAM2622-0102) cuyas concentraciones anómalas se midieron en las épocas seca (campaña 1) y primera húmeda (campaña 2) respectivamente.

Es importante destacar que el comportamiento de este parámetro mejoró notablemente con respecto a las concentraciones y número de puntos de agua que se identificaron en años anteriores, en 2025 no se presentaron anomalías reiteradas, evidenciándose que los valores mostrados en la gráfica pueden asociarse a condiciones locales posiblemente en el momento de la toma de la muestra.

**Figura 42. Concentraciones de coliformes termotolerantes, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

### 2.2.11.2 *Coliformes Totales*

En la **Figura 43** se muestra la variación de las concentraciones de coliformes totales (NMP/100 ml) en los puntos de agua subterránea asociados a los expedientes LAM0027, LAM1203, LAM2622 y LAM3199 que presentan valores elevados respecto a los máximos admisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 “*Tratamiento convencional y criterios de calidad para*





*consumo humano y doméstico” (20.000 NMP/100 ml) y 2.2.3.3.9.4 “Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico” (1.000 NMP/100 ml) del Decreto 1076 de 2015.*

Para el expediente LAM0027, las concentraciones con exceso se presentan en las campañas 1 y 4 en un único punto de agua codificado como MSB-LAM0027-0006, posiblemente relacionado con un evento puntual y temporal de afectación dado que en los monitoreos intermedios (campañas 2 y 3) no se evidenció.

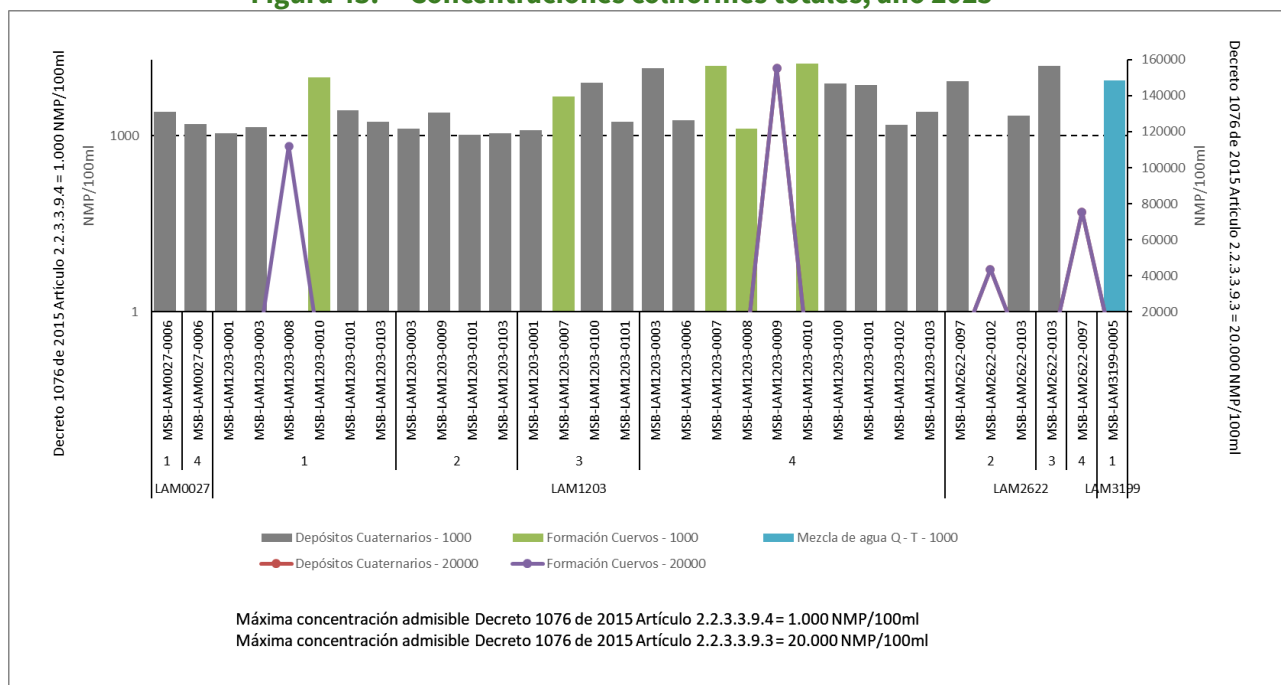
En el LAM1203 se evidencian varios puntos de agua, asociados a los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuervos, sobrepasando los límites normativos en todas las campañas de monitoreo, algunos de ellos de manera reiterada y/o con aumentos significativos de sus concentraciones en la segunda época húmeda – campaña 4. Si bien, este comportamiento es un indicativo de la susceptibilidad de los acuíferos a la contaminación ante la influencia de actividades antrópicas, dada las condiciones de permeabilidad de las unidades captadas o la escasa profundidad de la lámina de agua, es preciso mencionar que esta mina se encuentra inactiva desde el año 2021, por lo tanto se deben analizar con detalle las posibles fuentes de afectación para tomar acciones al respecto, bajo el entendido que el proyecto se encuentra en fase de cierre por solicitud de su titular PRODECO S.A.

En el LAM2622, las concentraciones elevadas se presentan en tres (3) puntos de agua, dos (2) de ellos con persistencia en dos (2) campañas de monitoreo. Dado que las condiciones de esta mina son las mismas que las del LAM1203 se requiere hacer el control respectivo de este comportamiento en el próximo seguimiento ambiental del proyecto.

En LAM3199, se observa sobrepaso normativo en un solo punto de agua para la segunda época húmeda, debido a una posible afectación local y temporal sin trascendencia.



**Figura 43. Concentraciones coliformes totales, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

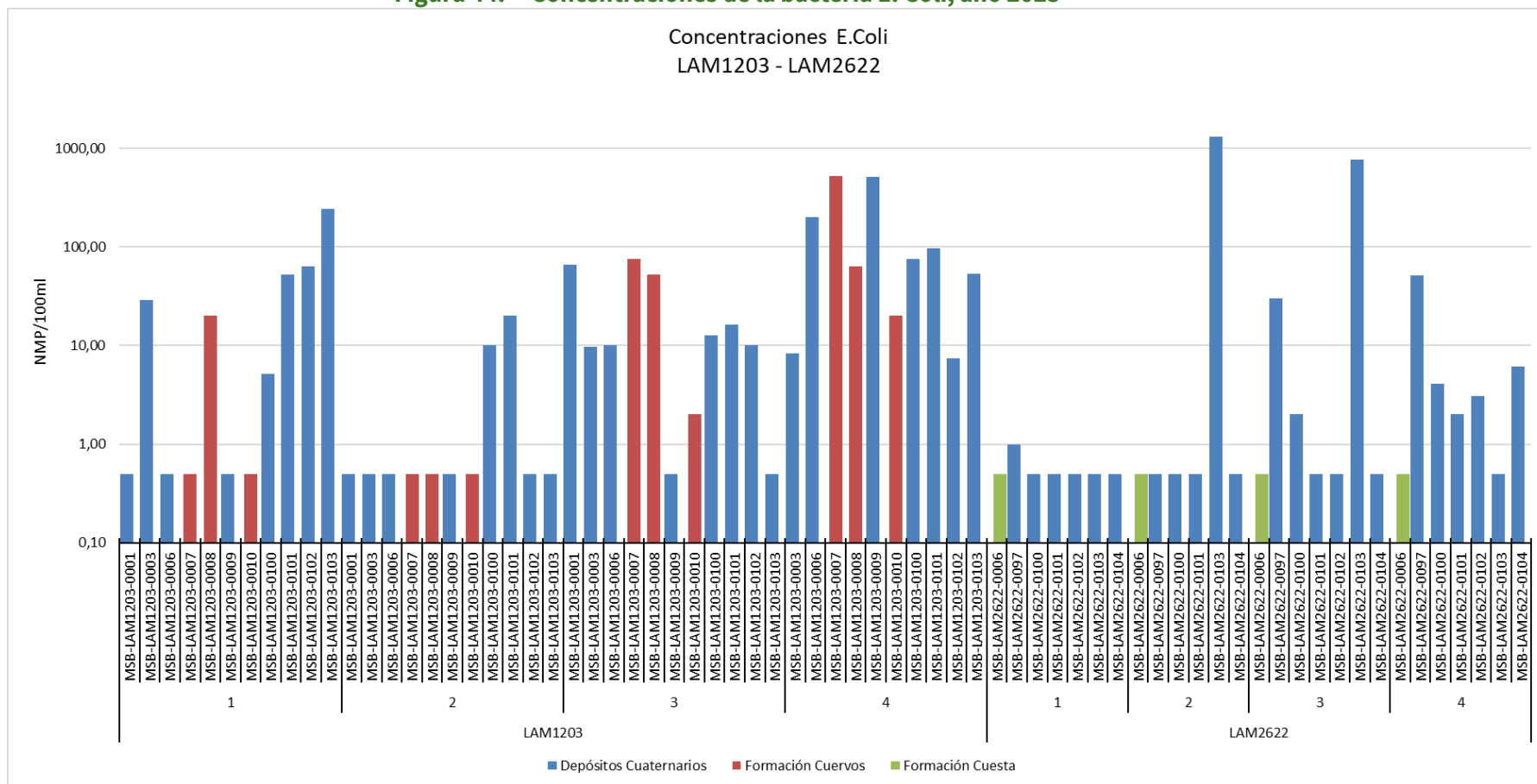
### 2.2.11.3 E. Coli

Las concentraciones de esta bacteria fueron cuantificables en seis (6) puntos del expediente LAM2622 y once (11) puntos del expediente LAM1203 (**Figura 44**), en los demás expedientes la bacteria E. coli estuvo por debajo del límite de cuantificación (1,8 NMP/100ml).

No obstante, es preciso señalar que la normatividad vigente establece en el Artículo 11 de la Resolución 2115 de 2007 como valor máximo aceptable 0,0 UFC/100 cm<sup>3</sup> o la ausencia total de la bacteria en el agua, razón por la cual, los límites de cuantificación establecidos por los laboratorios deberían ajustarse según la norma, dado que la presencia de la bacteria indica contaminación fecal reciente y representa un riesgo para la salud humana, lo que limita el uso del agua para su consumo.



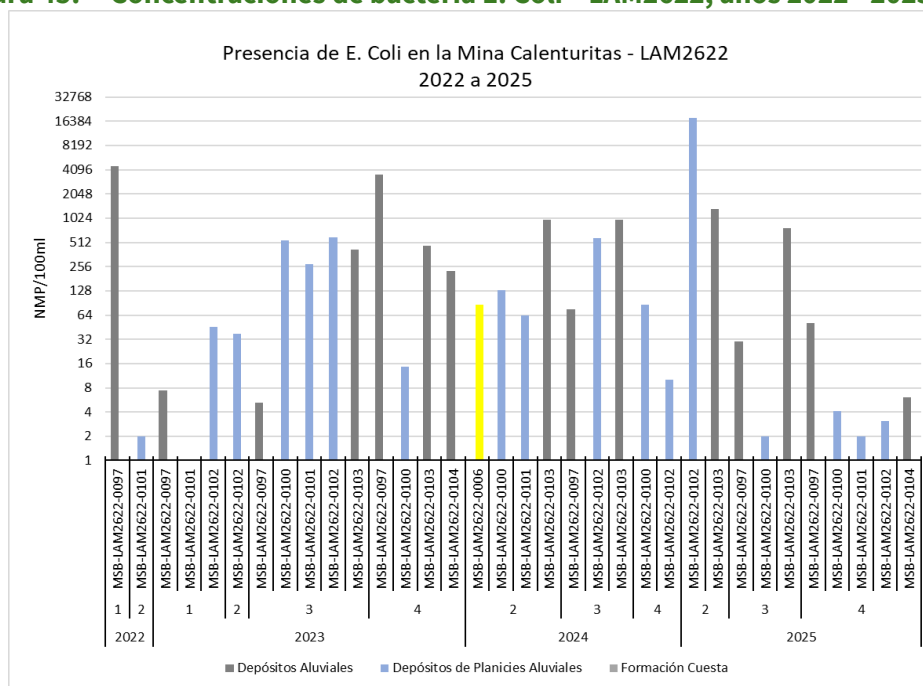
**Figura 44. Concentraciones de la bacteria E. Coli, año 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

Es importante señalar, que las concentraciones de la bacteria E. Coli, en puntos de agua subterránea a cargo de las minas Calenturitas – LAM2622 (Figura 45) y La Jagua - LAM1203 (Figura 46) se han presentado de manera reiterada desde el año 2022, tal como se encuentra consignado en los documentos “Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar, Análisis Regional primer año de monitoreo” (ANLA, 2023) , “Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar, Análisis Regional - segundo año de monitoreo” (ANLA, 2024) e “Informe del Estado de los Recursos Naturales: Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar – ZMCC, Aplicación de la Fase IV: análisis de información (2024)” (ANLA, 2025), y se puede observar en las Figuras 45 y 46.

**Figura 45. Concentraciones de bacteria E. Coli – LAM2622, años 2022 - 2025**



Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2026.

En las minas Calenturitas y La Jagua, las concentraciones de E. Coli, demuestran la alta susceptibilidad a la infiltración de contaminantes por parte de los sistemas acuíferos aflorantes. La proporcionalidad entre las épocas húmedas y el incremento de las concentraciones de la bacteria confirma la influencia de la recarga meteórica sobre las



condiciones sanitarias del recurso hídrico; es así, como durante las temporadas lluviosas aumenta la percolación de aguas con cargas microbiológicas, provenientes de escorrentía, lavado de residuos por su posible disposición inadecuada, aguas domésticas o actividades pecuarias cercanas.

En cuanto a las concentraciones de E. Coli en los puntos a cargo de la Mina La Jagua – LAM1203 (**Figura 46**), en el seguimiento ambiental realizado al proyecto en el año 2025, en el Concepto Técnico No. 4617 del 26 de junio de 2025, acogido mediante el Acta de Control y Seguimiento No. 445 del 7 de julio de 2025 se realizó el requerimiento No. 10, el cual en su literal a) solicito:

*“a. Un análisis que permita identificar las causas que pueden estar incidiendo en la presencia de los parámetros: Amonio en los puntos MSB-LAM1203-0007 (PZ-41), MSB-LAM1203- 0008 (PZ-42), MSBLAM1203-0010 (PZ-47) y E. Coli en todos los puntos de la red a cargo del proyecto”*

En respuesta la Sociedad mediante el radicado No. 20256201645552 del 31 de diciembre de 2025, realizó el análisis respectivo de las concentraciones de E. Coli a través del tiempo concluyendo: *“... los resultados de amonio y E. coli no evidencian tendencias crecientes ni indicios de afectación sostenida sobre la calidad del agua subterránea. Los incrementos puntuales observados corresponden a procesos naturales del medio geológico y a aportes superficiales asociados a la dinámica hidroclimática y a los usos rurales del entorno, sin relación con actividades operativas. Con base en la información técnica disponible, se confirma la estabilidad del acuífero y la ausencia de impactos atribuibles al proyecto.”*

Si bien, considerando la inactividad de las minas La Jagua y Calenturitas, es posible que la fuente de la afectación esté asociada a terceros, no obstante, la persistencia de eventos puntuales y concentraciones variables de contaminación fecal en los puntos de la red de monitoreo a cargo de PRODECO S.A. evidencia la necesidad de mantener programas de monitoreo continuo, fortalecer las medidas de protección sanitaria y controlar posibles fuentes de contaminación superficial en las zonas de recarga localizadas dentro de las áreas de influencia de los expedientes LAM2622 y LAM1203.





## 3 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del análisis llevado a cabo por esta Autoridad a partir de los monitoreos realizados en el año 2025 y su comparación con los años 2022, 2023 y 2024:

- A nivel general, se observa un manejo aceptable en los pozos activos respecto al procedimiento para la medición del **nivel estático**, notándose esto en comportamientos más estables de la dinámica del agua subterránea durante los dos últimos años.
- A manera de recomendación, es importante que en todos los monitoreos de **niveles estáticos** se deje reposar el pozo o aljibe a monitorear, mediante el apagado de la bomba, mínimo durante 24 horas previas a la medición, con el fin de garantizar que durante este lapso la lámina de agua se estabilice y se obtengan datos confiables que permitan identificar o desvirtuar posibles abatimientos o impactos sobre la dinámica del recurso hídrico subterráneo.
- Independientemente de la época climática, la **superficie piezométrica** en el área de afloramiento de los depósitos cuaternarios muestra que las zonas de recarga – tránsito y descarga evolucionan en dirección oriente – occidente y el flujo del agua subterránea se mueve en el mismo sentido, hacia el valle del río Cesar, corriente que fluye en dirección sur a norte por el costado occidental del área analizada. Este comportamiento del flujo del agua subterránea se ha mantenido constante en los últimos años acorde con la dirección regional del drenaje superficial y subterráneo.
- El **flujo de agua subterránea** en la Formación Cuesta presenta una dirección predominante NE-SW, independientemente de la época climática, siguiendo un patrón paralelo al trazado de las fallas La Loma y El Hatillo, las cuales posiblemente actúan como barreras hidrogeológicas. Sin embargo, los puntos de monitoreo empleados en el análisis podrían no ser suficientes ni contar con una cobertura espacial adecuada para evaluar en detalle el comportamiento hidráulico del acuífero y la influencia de dichas fallas. Por esta razón, se recomienda que, a futuro, la red de monitoreo en esta unidad sea complementada con un mayor número de puntos de observación.
- La **Conductividad Eléctrica (CE)** y los **Sólidos Disueltos Totales (SDT)** evidencian que, durante el año 2025, las aguas subterráneas de la ZMCC corresponden predominantemente a aguas dulces, con valores que, en su mayoría, se mantienen por debajo de los límites de referencia, definidos en 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1000 mg/l, respectivamente, por Custodio & Llamas (1983) y Freeze y Cherry (1979). De manera consistente, las aguas asociadas a los Depósitos Cuaternarios, la Formación Cuesta y las mezclas depósitos cuaternarios – formaciones terciarias presentan menores grados de mineralización, mientras que las formaciones Barco y Cuervos registran valores más elevados, asociados a mayores tiempos de residencia e interacción agua-roca. Asimismo, se identificaron valores atípicos altos, principalmente en los Depósitos





Cuaternarios del expediente LAM3271, cuyo comportamiento persistente sugiere condiciones locales particulares relacionadas con procesos de mezcla, influencia antrópica o incremento puntual de la mineralización, situación que será objeto de seguimiento por parte de esta Autoridad. Finalmente, la relación observada entre CE y SDT muestra coherencia con el comportamiento hidrogeoquímico esperado para las aguas subterráneas analizadas.

- Los valores de **pH** del agua subterránea monitoreada durante el año 2025 muestran, en términos generales, condiciones cercanas a la neutralidad y una relativa estabilidad hidrogeoquímica en la ZMCC, sin evidenciar variaciones significativas asociadas a las temporadas climáticas. No obstante, el análisis por unidades geológicas permitió identificar una mayor heterogeneidad en los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta, donde se presentan los principales valores atípicos ácidos y alcalinos. Particularmente, los Depósitos Cuaternarios registran una mayor dispersión y predominio de condiciones ácidas, lo que sugiere una mayor sensibilidad a procesos hidrogeoquímicos locales o posibles influencias antrópicas. Asimismo, aunque la mayoría de los datos se encuentra dentro de los rangos de referencia normativos para agua de consumo humano, los valores fuera de rango corresponden principalmente a condiciones ácidas concentradas en estas mismas unidades geológicas. En este contexto, se considera necesario profundizar en el análisis local de los puntos con mayor acidez y alcalinidad, con el fin de establecer si dicho comportamiento está asociado a procesos naturales de interacción agua-roca o a posibles afectaciones derivadas de actividades antrópicas, particularmente mineras.
- Las concentraciones de **oxígeno disuelto** registradas durante el año 2025 corresponden, en general, a ambientes pobres en oxígeno, característicos de las aguas subterráneas. La Formación Cuervos presenta las condiciones más reductoras y estables, mientras que los Depósitos Cuaternarios muestran una mayor variabilidad, asociada a posibles procesos de recarga o interacción con la superficie. Asimismo, no se evidencian cambios significativos entre las diferentes temporadas climáticas.
- Durante el año 2025, en términos generales, las concentraciones de **nitratos** se presentaron dentro de los límites máximos admisibles definidos en el Decreto 1076 de 2015 (10 mg/L); sin embargo, se identificaron excedencias puntuales en algunos pozos asociados a los acuíferos cuaternarios y a la Formación Cuesta, destacándose el punto MSB-LAM0027-0013, el cual mantiene sobrepasos persistentes en las cuatro campañas de monitoreo y refleja una condición recurrente respecto al año anterior, lo que sugiere una posible fuente continua de aporte de nitratos. En contraste, los demás sobrepasos registrados corresponden a eventos aislados observados únicamente durante la campaña húmeda, por lo que podrían estar asociados a condiciones locales y temporales relacionadas con procesos de infiltración, recarga o actividades antrópicas de carácter puntual.





- Los **nitritos** presentaron concentraciones elevadas respecto al artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 y el artículo 6 de la Resolución 2115 de 2007, en veintiuno (21) de los sesenta y siete (67) puntos de agua analizados; sin embargo, la mayoría de estos puntos presenta dichas concentraciones en una o dos campañas de monitoreo, lo cual indica que pueden corresponder a eventos locales o temporales.
- Los **diagramas hidrogeoquímicos de Piper, Stiff, Gibbs y Mifflin** evidencian que, en términos generales, el agua subterránea de la ZMCC presenta un predominio de flujos locales, asociados a recarga reciente por precipitación, al igual que a procesos de interacción agua-roca, especialmente en los depósitos cuaternarios, las mezclas de agua y la Formación Cuesta, donde predominan aguas bicarbonatadas y grados de mineralización de bajos a intermedios. Por su parte, las formaciones Barco y Cuervos presentan aguas más evolucionadas y con mayores grados de mineralización, asociadas a mayores tiempos de residencia y procesos de interacción agua-roca y evaporación. Es importante destacar que localmente se identificaron puntos con composiciones cloruradas y sulfatadas, así como mineralizaciones elevadas que no corresponden con la tendencia regional esperada, por lo que su origen deberá continuar siendo evaluado en el marco de los seguimientos ambientales, con el fin de establecer si obedecen a condiciones naturales del sistema hidrogeológico o a posibles influencias antrópicas.
- Las cuantificaciones de **metales y metaloides** registradas durante el año 2025 evidencian que, en términos generales, el agua subterránea de la ZMCC presenta bajas concentraciones de molibdeno (Mo), cobre (Cu), cadmio (Cd), selenio (Se), zinc (Zn) y plomo (Pb), cuyos valores se mantienen, en la mayoría de los casos, por debajo de los límites de cuantificación y dentro de los valores de referencia normativos. No obstante, elementos como aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni) presentan concentraciones elevadas y comportamientos persistentes en algunos puntos asociados principalmente a los expedientes LAM3271, LAM2622, LAM3199 y LAM1203. La persistencia temporal de estos elementos, su distribución espacial en áreas influenciadas por la actividad minera y su coincidencia con puntos donde se registran elevados grados de mineralización constituyen una línea de evidencia que permite plantear la hipótesis de un posible impacto acumulativo sobre la calidad del agua subterránea. Por lo tanto, esta Autoridad considera necesario fortalecer los requerimientos dirigidos a los titulares de los proyectos, con el fin de profundizar el análisis hidrogeológico e hidrogeoquímico y establecer con un mayor grado de certeza el origen de los comportamientos observados.
- Las concentraciones de **coliformes totales** evidencian que la calidad microbiológica del agua subterránea en los expedientes LAM0027, LAM1203, LAM2622 y LAM3199 presenta una marcada influencia de la estacionalidad climática y de las características hidrogeológicas de cada sector. Las mayores concentraciones de coliformes totales se registran principalmente durante las épocas húmedas y de transición, lo que demuestra





que los procesos de recarga e infiltración favorecen el transporte de contaminantes microbiológicos desde la superficie hacia los acuíferos. Entre los expedientes evaluados, el LAM1203 presenta las condiciones más críticas, con varios puntos de agua que exceden los límites normativos y concentraciones significativas; mientras que los expedientes LAM0027, LAM2622 y LAM3199 muestran afectaciones moderadas y eventos puntuales. En conjunto, los resultados reflejan una vulnerabilidad variable de los sistemas acuíferos frente a fuentes contaminantes superficiales.

- En el año 2025 hubo una notable disminución de las concentraciones de **coliformes termotolerantes**, no se presentaron anomalías reiteradas y los dos puntos de agua identificados con valores elevados en este período de tiempo se dieron en una sola campaña de monitoreo por lo cual corresponden posiblemente con condiciones asociadas a la toma de la muestra o un evento local y temporal sin trascendencia.
- Las concentraciones de la **bacteria E. Coli** fueron cuantificables en seis (6) puntos del expediente LAM2622 y once (11) puntos del expediente LAM1203, en los demás expedientes estuvieron por debajo del límite de cuantificación (1,8 NMP/100ml). No obstante, es preciso señalar que la normatividad vigente establece en el artículo 11 de la Resolución 2115 de 2007 como valor máximo aceptable 0,0 UFC/100cm<sup>3</sup> o la ausencia total de la bacteria en el agua, razón por la cual, los límites de cuantificación establecidos por los laboratorios deberían ajustarse según la norma, dado que la presencia de la bacteria indica contaminación fecal reciente y representa un riesgo para la salud humana, lo que limita el uso del agua para su consumo.
- Como conclusión general del análisis realizado en el presente documento, es posible afirmar, con la información disponible hasta el momento (años 2022, 2023, 2024 y 2025), que en la actualidad no se identifica la manifestación de algún **impacto acumulativo** a cargo de la operación minera en cuanto a la calidad y cantidad del recurso hídrico subterráneo en los puntos de agua de la red regional que han sido monitoreados, toda vez que las concentraciones anómalas identificadas o bien corresponden con características geogénicas del subsuelo o afectaciones por parte de la comunidad, lo anterior de acuerdo con los análisis presentados por los licenciarios en respuesta a los requerimientos realizados por la ANLA en los seguimientos respectivos. No obstante, con el fin de puntualizar aún más en la caracterización de las condiciones actuales del recurso hídrico subterráneo en la región, se debe continuar con el análisis de la información de los monitoreos realizados por cada uno de los proyectos que hacen parte de la estrategia; así como solicitar a los licenciarios, en caso de ser necesario, la identificación de las fuentes naturales y/o antrópicas que dan origen a la presencia de algunas concentraciones anómalas en varios parámetros.





## 4 RECOMENDACIONES DE CARÁCTER REGIONAL DIRIGIDAS A SSLA

| Expediente                                                         | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Totalidad de expedientes que hacen parte de la estrategia regional | Para la totalidad de los expedientes analizados se evidenciaron puntos de agua subterránea con concentraciones elevadas de algunos metales y metaloides (aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), manganeso (Mn) y níquel (Ni)). Por lo tanto, se sugiere ajustar la siguiente recomendación de acuerdo con la situación puntual de cada expediente. | Fortalecer los requerimientos formulados a los titulares de los proyectos que hacen parte de la estrategia regional, orientándolos a profundizar el análisis de los procesos que controlan la composición química del agua subterránea mediante la incorporación de información geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica de mayor detalle, incluyendo el análisis integrado de la evolución temporal de los parámetros comparándolos con la línea base (escenario sin proyecto), las direcciones de flujo y la relación con la infraestructura minera.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| LAM1203<br>Mina La Jagua                                           | En el punto MSB-LAM1203-0007 se registran valores elevados de Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) que se salen de la tendencia regional evidenciada en el área de la estrategia.                                                                                                                                         | <p>Presentar un análisis técnico integral que permita explicar el comportamiento hidrogeoquímico asociado a los valores elevados de Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) registrados de manera persistente en el punto MSB-LAM1203-0007.</p> <p>El análisis deberá desarrollarse con enfoque multitemporal y espacial, incorporando como mínimo: i) la evaluación del comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos; ii) el análisis hidrogeológico e hidrogeoquímico de las unidades captadas; iii) la identificación de posibles procesos de mezcla de aguas, interacción agua-roca o fuentes antrópicas que puedan estar generando incrementos localizados en la mineralización; iv) la evaluación de la influencia de la infraestructura minera, obras hidráulicas, disposición de materiales, manejo de aguas y frentes de explotación sobre la dinámica del agua subterránea; y v) el análisis de las direcciones de flujo subterráneo y su posible relación con las anomalías identificadas.</p> <p>De ser necesario se deberán plantear las medidas de manejo, seguimiento y control requeridas para prevenir o mitigar posibles afectaciones sobre la calidad del agua subterránea.</p> |
|                                                                    | Se evidencian en los puntos de agua MSB-LAM1203-0001, MSB-LAM1203-                                                                                                                                                                                                                                                                                  | En el próximo seguimiento ambiental solicitar el análisis de las posibles fuentes de afectación que                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |





| Expediente                   | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | 0003, MSB-LAM1203-0007, MSB-LAM1203-0008, MSB-LAM1203-0009, MSB-LAM1203-0010, MSB-LAM1203-0100, MSB-LAM1203-0101 y MSB-LAM1203-0103, asociados a los depósitos cuaternarios y la Formación Cuervos, sobrepaso en los límites normativos para los coliformes totales en todas las campañas de monitoreo, algunos de ellos de manera reiterada y/o con aumentos significativos de sus concentraciones en la segunda época húmeda – campaña 4. | están causando la presencia de coliformes totales en los puntos de agua señalados, de la tal forma que se puedan adelantar acciones al respecto, bajo el entendido que el proyecto se encuentra en fase de cierre por solicitud de su titular PRODECO S.A.<br><br>Revisar el estado físico y sanitario de los pozos y piezómetros, con el fin de determinar si su infraestructura está permitiendo la afectación microbiológica, de ser así realizar un mantenimiento y limpieza de los puntos, entregando los soportes que permitan verificar estas actividades.                                                                                          |
|                              | En los puntos MSB-LAM1203-0007 y MSB-LAM1203-0009 se registraron concentraciones elevadas de hierro, de forma persistente durante todas las campañas monitoreadas desde años anteriores, con valores que llegan a ser superiores a 30 mg/L.                                                                                                                                                                                                 | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de hierro en los puntos asociados a Mina La Jagua, en mayor detalle en los puntos MSB-LAM1203-0007 y MSB-LAM1203-0009.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                              | Se identificaron puntos con altos grados de mineralización y composiciones cloruradas y sulfatadas, correspondientes con: MSB-LAM1203-0007, MSB-LAM1203-0008 y MSB-LAM1203-0009.                                                                                                                                                                                                                                                            | Presentar un análisis que permita determinar la causa de la composición hidroquímica clorurada y sulfatada de los puntos MSB-LAM1203-0007, MSB-LAM1203-0008 y MSB-LAM1203-0009.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| LAM2622<br>Mina Calenturitas | Se identificaron concentraciones anómalas de E. coli en los puntos de agua MSB-LAM2622-0097, MSB-LAM2622-0100, MSB-LAM2622-0101, MSB-LAM2622-0102, MSB-LAM2622-0103 y MSB-LAM2622-0104, cabe señalar que dichas concentraciones se han presentado de manera reiterada desde el año 2022.                                                                                                                                                    | En el próximo seguimiento ambiental solicitar el análisis de las posibles fuentes de afectación que están causando la presencia de E. coli en los puntos de agua señalados, de la tal forma que se puedan adelantar acciones al respecto, bajo el entendido que el proyecto se encuentra en fase de cierre por solicitud de su titular PRODECO S.A.<br><br>Revisar el estado físico y sanitario de los pozos y piezómetros, con el fin de determinar si su infraestructura está permitiendo la afectación microbiológica, de ser así realizar un mantenimiento y limpieza de los puntos, entregando los soportes que permitan verificar estas actividades. |
|                              | Los niveles estáticos más profundos reportados en los Depósitos Cuaternarios se asocian a los puntos MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM2622-0103, los cuales se abaten desde los 5 m medidos en temporada seca hasta más de los 20 m observados en las dos (2) temporadas húmedas del año 2025.                                                                                                                                                     | En el próximo seguimiento ambiental requerir a la Sociedad que analice las condiciones puntuales de los piezómetros MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM2622-0103, de tal forma que se identifiquen los motivos por los cuales se abaten más de 15 m en las temporadas húmedas cuando se supone hay un mayor volumen de recarga disponible.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |





| Expediente                 | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                                                                     | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Se identificaron altos grados de mineralización y composiciones cloruradas y sulfatadas en el punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                     | Presentar un análisis que permita determinar la causa de la composición hidroquímica clorurada y sulfatada del punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                                                                            |
|                            | En los puntos MSB-LAM2622-0100, MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM2622-0102, asociados a los depósitos cuaternarios, se evidenciaron valores de pH por debajo de 5 unidades, registrándose valores mínimos de hasta 3,33 unidades. Esta condición se ha venido presentando desde años anteriores. | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento del pH en los puntos MSB-LAM2622-0100, MSB-LAM2622-0101 y MSB-LAM2622-0102, de ser necesario solicitar un análisis multitemporal que permita identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos y/o de origen antrópico que pueden generar las condiciones ácidas registradas en dichos puntos. |
|                            | En el punto MSB-LAM2622-0101 se registraron concentraciones elevadas de aluminio, con valores de hasta 11,40 mg/L y 7,01 mg/L en las temporadas primera húmeda y seca respectivamente.                                                                                                    | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de aluminio en los puntos asociados a Mina Calenturitas, en mayor detalle en el punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                  |
|                            | En el punto MSB-LAM2622-0101 se registraron concentraciones elevadas de bario, con valores de hasta 1,83 mg/L y 7,87 mg/L en las temporadas seca y primera húmeda respectivamente.                                                                                                        | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de bario en los puntos asociados a Mina Calenturitas, en mayor detalle en el punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                     |
|                            | En el punto MSB-LAM2622-0101 se registraron concentraciones elevadas de manganeso, con valores de hasta 5,19 mg/L en época húmeda.                                                                                                                                                        | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de manganeso en los puntos asociados a Mina Calenturitas, en mayor detalle en el punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                 |
|                            | En el punto MSB-LAM2622-0101 se registraron concentraciones elevadas de níquel, con valores de hasta 0,32 mg/L en época húmeda.                                                                                                                                                           | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de níquel en los puntos asociados a Mina Calenturitas, en mayor detalle en el punto MSB-LAM2622-0101.                                                                                                                                                                    |
| LAM1862<br>Mina El Hatillo | No presentaron la información de los dos últimos monitoreos del año 2025, es decir los correspondientes con la temporada transición y segunda húmeda.                                                                                                                                     | Verificar con Colombian Natural Resources – CNR si ha tenido alguna dificultad con el reporte de información en el portal de recepción de información de la ANLA o cuales han sido las razones por las cuales no ha presentado la información de los monitoreos correspondientes con las temporadas transición (3) y segunda húmeda (4) de 2025.                  |
|                            | En el punto MSB-LAM1862-0007 se registran valores elevados de Conductividad Eléctrica (CE) que se salen de la tendencia regional evidenciada en el área de la estrategia.                                                                                                                 | Presentar un análisis técnico integral que permita explicar el comportamiento hidrogeoquímico asociado a los valores elevados de Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) registrados de manera persistente en el punto MSB-LAM1862-0007.                                                                                                   |





| Expediente                 | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                                                             | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>El análisis deberá desarrollarse con enfoque multitemporal y espacial, incorporando como mínimo: i) la evaluación del comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos; ii) el análisis hidrogeológico e hidrogeoquímico de las unidades captadas; iii) la identificación de posibles procesos de mezcla de aguas, interacción agua-roca o fuentes antrópicas que puedan estar generando incrementos localizados en la mineralización; iv) la evaluación de la influencia de la infraestructura minera, obras hidráulicas, disposición de materiales, manejo de aguas y frentes de explotación sobre la dinámica del agua subterránea; y v) el análisis de las direcciones de flujo subterráneo y su posible relación con las anomalías identificadas.</p> <p>De ser necesario se deberán plantear las medidas de manejo, seguimiento y control requeridas para prevenir o mitigar posibles afectaciones sobre la calidad del agua subterránea.</p> |
|                            | Valores elevados de pH en el punto MSB-LAM1862-0009, asociado a la Formación Cuesta, registrándose valores de hasta 8,59 unidades.                                                                                                                                                | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento del pH el punto MSB-LAM1862-0009, de ser necesario solicitar un análisis multitemporal que permita identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos y/o de origen antrópico que general los valores alcalinos en este punto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                            | En el punto MSB-LAM1862-0007 se registraron concentraciones elevadas de hierro en la campaña seca, con un valor superior a 25 mg/L.                                                                                                                                               | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de hierro en los puntos asociados a Mina El Hatillo, en mayor detalle en el punto MSB-LAM1862-0007.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| LAM3199<br>Mina La Francia | No presentó la información de los dos últimos monitoreos del año 2025, es decir los correspondientes con la temporada de transición y segunda húmeda.                                                                                                                             | Verificar con Colombian Natural Resources – CNR si ha tenido alguna dificultad con el reporte de información en el portal de recepción de información de la ANLA o cuales han sido las razones por las cuales no ha presentado la información de los monitoreos correspondientes con las temporadas transición (3) y segunda húmeda (4) de 2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                            | Si bien, no tienen sobrepasos normativos de nitritos en más de dos campañas de monitoreo, si presentan las mayores concentraciones, puntualmente en los puntos MSB-LAM3199-0002, con valores para la época seca de 8,75 mg/l y primera época húmeda de 8,23 mg/l, y el punto MSB- | Analizar con mayor detalle en los próximos seguimientos ambientales el comportamiento de los nitritos y de ser necesario hacer los requerimientos de información que permitan identificar las fuentes de sus concentraciones, teniendo en cuenta que el origen de estas es predominantemente antrópico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |





| Expediente              | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | LAM3199-0005, con valores de 1,92 mg/l (época seca) y 1,16 mg/l (época húmeda).                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0002 se registraron concentraciones elevadas de aluminio, con valores de hasta 8,05 mg/L.                                                                                                    | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de aluminio en los puntos asociados a la Mina La Francia.                                                                                                                                                                    |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0002, asociado a la Formación Cuesta, se registró un valor de pH de 4,05 unidades en la campaña seca, y de 9,03 en la primera campaña húmeda, valores que se salen de la tendencia regional. | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento del pH el punto MSB-LAM3199-0002, de ser necesario solicitar un análisis multitemporal que permita identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos y/o de origen antrópico que pueden generar los valores extremos identificados en dicho punto. |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0001, asociado a la Formación Cuesta, se registró un valor de pH de 9,38 unidades en la temporada seca.                                                                                      | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento del pH el punto MSB-LAM3199-0001, de ser necesario solicitar un análisis multitemporal que permita identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos y/o de origen antrópico que general los valores alcalinos en este punto.                      |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0002 se registraron concentraciones elevadas de bario, con valores de hasta 3,65 mg/L en época seca y 2,30 mg/L en época húmeda.                                                             | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de bario en los puntos asociados a Mina La Francia, en mayor detalle en el punto MSB-LAM3199-0002.                                                                                                                           |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0002 se registraron concentraciones elevadas de manganeso, con valores de hasta 5,19 mg/L en época seca y 2,50 mg/L en época húmeda.                                                         | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de manganeso en los puntos asociados a Mina La Francia, en mayor detalle en el punto MSB-LAM3199-0002.                                                                                                                       |
|                         | En el punto MSB-LAM3199-0002 se registraron concentraciones elevadas de níquel, con valores de hasta 0,34 mg/L en época seca y 0,15 mg/L en época húmeda.                                                            | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de níquel en los puntos asociados a Mina La Francia, en mayor detalle en el punto MSB-LAM3199-0002.                                                                                                                          |
|                         | En los puntos MSB-LAM3199-0004 y MSB-LAM3199-0006 se registraron concentraciones elevadas de hierro, en las temporadas seca y primera húmeda.                                                                        | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento de las concentraciones de hierro en los puntos asociados a Mina La Francia, en mayor detalle en los puntos MSB-LAM3199-0004 y MSB-LAM3199-0006.                                                                                                     |
| LAM0027<br>Mina La Loma | No se presenta el cálculo del error analítico ni la metodología empleada para su determinación, por tanto, se desconoce la validez de las muestras de agua subterránea.                                              | Solicitar al titular del instrumento ambiental la presentación del cálculo del error analítico de las muestras de agua subterránea, junto con la metodología empleada y unidades de cálculo.                                                                                                                          |
|                         | En el punto MSB-LAM0027-0013 se encontraron concentraciones de nitratos con sobrepasos en las cuatro (4) campañas de monitoreo, cuyo                                                                                 | Solicitar al titular del instrumento ambiental el análisis multitemporal de las concentraciones de nitratos en el punto MSB-LAM0027-0013, incluyendo la identificación de sus causas y la                                                                                                                             |





| Expediente                  | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | comportamiento es reiterado del año anterior (2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | implementación de las medidas de remediación a que haya lugar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | En los puntos MSB-LAM0027-0005, MSB-LAM0027-0007, MSB-LAM0027-0008 y MSB-LAM0027-0013 se registraron valores de pH por debajo de 5 unidades.                                                                                                                                                                                                                               | Verificar en el marco del seguimiento ambiental el comportamiento del pH en los puntos MSB-LAM0027-0005, MSB-LAM0027-0007, MSB-LAM0027-0008 y MSB-LAM0027-0013, de ser necesario solicitar un análisis multitemporal que permita identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos y/o de origen antrópico que pueden generar las condiciones ácidas registradas en dichos puntos. |
| LAM3271<br>Mina El Descanso | No se presenta el cálculo del error analítico ni la metodología empleada para su determinación para la totalidad de las campañas de monitoreo realizadas durante el año 2025. En consecuencia, no es posible verificar la calidad analítica de los resultados reportados ni la validez de las muestras de agua subterránea para las cuales no se aporta dicha información. | Solicitar al titular del instrumento ambiental la presentación del cálculo del error analítico de las muestras de agua subterránea, junto con la metodología empleada y unidades de cálculo, para la totalidad de las campañas de monitoreo realizadas durante el año 2025.                                                                                                         |
|                             | En algunos puntos de la red de monitoreo regional que hacen parte del expediente LAM3271 se registran valores elevados de Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT), que se salen de la tendencia regional evidenciada en el área de la estrategia.                                                                                                   | Solicitar al titular del instrumento ambiental la presentación de un análisis técnico integral que permita explicar la composición hidrogeoquímica y el comportamiento de los valores elevados de cada uno de los siguientes parámetros, incluyendo el periodo 2025, en los siguientes puntos de monitoreo:                                                                         |
|                             | De igual manera, en varios puntos se evidenciaron altos grados de mineralización y composiciones cloruradas y sulfatadas, además de concentraciones elevadas de aluminio, hierro, manganeso, níquel y nitritos.                                                                                                                                                            | a) Conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT): MSB-LAM3271-0036 y MSB-LAM3271-0055.<br>b) Sulfatos: MSB-LAM3271-0036 y MSB-LAM3271-0048.<br>c) Cloruros: MSB-LAM3271-0016 y MSB-LAM3271-0055.                                                                                                                                                                   |
|                             | En los puntos MSB-LAM3271-0022, MSB-LAM3271-0025, MSB-LAM3271-0036 y MSB-LAM3271-0058 y MSB-LAM3271-210 se identificaron sobrepasos normativos de nitritos, puntualmente en las épocas seca (campaña 1), primera húmeda (campaña 2) y transición (campaña 3).                                                                                                              | d) Aluminio: MSB-LAM3271-0018, MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0039.<br>e) Hierro: MSB-LAM3271-0018, MSB-LAM3271-0024, MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0039.<br>f) Manganeso: MSB-LAM3271-0015, MSB-LAM3271-0022, MSB-LAM3271-0024 y MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0055.                                                                                                             |
|                             | En los puntos MSB-LAM3271-0018, MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0039 se registraron concentraciones elevadas de aluminio, con valores que alcanzan hasta 26 mg/L en la segunda temporada húmeda (campaña 4).                                                                                                                                                                | g) Níquel: MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0036.<br>h) Nitritos: MSB-LAM3271-0022, MSB-LAM3271-0025, MSB-LAM3271-0036 y MSB-LAM3271-0058 y MSB-LAM3271-210.                                                                                                                                                                                                                          |





| Expediente                                 | Situación evidenciada                                                                                                                                                                                                                    | Recomendación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | En los puntos MSB-LAM3271-0015, MSB-LAM3271-0022, MSB-LAM3271-0024 y MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0055 se registraron concentraciones elevadas de manganeso, con valores de hasta 2,42 mg/L en época seca y 1,69 mg/L en época húmeda. | <p>El análisis deberá desarrollarse con enfoque multitemporal y espacial, incorporando como mínimo: i) la evaluación del comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos y si es el caso su relación con el régimen de precipitación; ii) el análisis hidrogeológico e hidrogeoquímico de las unidades captadas; iii) la identificación de posibles procesos de mezcla de aguas, interacción agua-roca o fuentes antrópicas que puedan estar generando incrementos localizados en la mineralización; iv) la evaluación de la influencia de la infraestructura minera, obras hidráulicas, disposición de materiales, manejo de aguas y frentes de explotación sobre la dinámica del agua subterránea; y v) el análisis de las direcciones de flujo subterráneo y su posible relación con las anomalías identificadas.</p> <p>De ser necesario se deberán plantear las medidas de manejo, seguimiento y control requeridas para prevenir o mitigar posibles afectaciones sobre la calidad del agua subterránea.</p> |
|                                            | En los puntos MSB-LAM3271-0018, MSB-LAM3271-0024, MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0039 se registraron concentraciones elevadas de hierro en más de una campaña de monitoreo, con valores de hasta 35 mg/L.                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                            | En los puntos MSB-LAM3271-0025 y MSB-LAM3271-0036 se registraron concentraciones elevadas de níquel.                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| LAM3831<br>Mina la Divisa o<br>Cerro Largo | Incumplimiento de las condiciones de entrega de los resultados de los monitoreos de los puntos de agua subterránea integrados a la red regional que tiene a su cargo.                                                                    | Verificar con NORCARBÓN S.A. cuales son las razones que le impiden dar cumplimiento con las condiciones de entrega de la información de los puntos de agua subterránea que hacen parte de la red regional y están a su cargo, a través de los medios y en los tiempos de entrega establecidos en la Resolución 01300 del 16 de junio de 2023.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |





## 5 BIBLIOGRAFIA

- [1.] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, 2025. Informe del estado de los recursos naturales: estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC. Aplicación de la Fase IV: análisis de información (2024), mayo del 2025. Bogotá.
- [2.] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, 2024. Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, Análisis regional del segundo año de monitoreo, julio del 2024. Bogotá.
- [3.] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, 2023. Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar, Análisis Regional - primer año de monitoreo”. Bogotá.
- [4.] Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR. 2018. Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero Cesar. Valledupar – Cesar.
- [5.] Custodio & Llamas. 1983. Hidrología Subterránea. Tomo I. Barcelona – España.
- [6.] DRUMMOND LTD., CNR Y PRODECO S.A. 2017. Modelo Hidrogeológico Conceptual Regional para la Zona de Influencia de los Proyectos Mineros del Cesar, presentado mediante radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017. La Jagua de Ibirico – Cesar.
- [7.] Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS – Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR. 1995. Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. Valledupar – Cesar.
- [8.] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social. Resolución Número 2115 del 22 de junio del 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- [9.] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto Número 1076 del 26 de mayo del 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.





## **6 ANEXOS**

### **6.1 Anexo I**

**Listado de puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC**

### **6.2 Anexo II**

**Información reportada por los licenciarios en el marco de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar – ZMCC**

### **6.3 Anexo III**

**Diagramas de Stiff, análisis de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, años 2022, 2023, 2024 y 2025.**

