



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



Estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la zona minera del centro del Cesar - ZMCC

Análisis regional - Segundo año de monitoreo

JULIO 2024

Rodrigo Elías Negrete Montes
Director General

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

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

Jairo Alberto Ruiz
Líder
Análisis Regional

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



Contenido

1. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA EN EL ÁREA DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....	4
1.1 Formación Luna (K2l).....	4
1.2 Formación Barco (E1a).....	5
1.3 Formación Cuervos (E1c).....	5
1.4 Formación Cuesta (N2c).....	6
1.5 Depósitos de Abanico (Qab).....	6
1.6 Depósitos de Planicie Aluvial (Q2pa).....	7
1.7 Depósitos Aluviales (Q2al).....	7
1.8 Depósito Fluvioacustres (Qfl).....	7
2. ANTECEDENTES DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....	0
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....	2
3.1 Condiciones de Lugar.....	3
3.2 Condiciones de Modo.....	43
3.3 Condiciones de Tiempo.....	44
4. INFORMACIÓN ENTREGADA POR LOS PROYECTOS EN CUMPLIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL.....	45
5. ESTADO DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO.....	45
5.1 Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT).....	46
5.2 Oxígeno Disuelto.....	45
5.3 Nivel Estático.....	43
5.3.1 Depósitos Cuaternarios.....	43
5.3.2 Formaciones Terciarias.....	46
5.4 pH.....	43
5.5 Nitratos y nitritos.....	44
5.6 Diagramas de Piper.....	45
5.6.1 Temporada seca (diciembre – marzo).....	43
5.6.2 Temporada húmeda (abril – junio).....	44
5.6.3 Temporada transición (julio – agosto).....	45
5.6.4 Temporada húmeda (septiembre – noviembre).....	46
5.7 Diagramas de Stiff.....	45
5.7.1 Depósitos Cuaternarios.....	45



5.7.2 Depósitos Aluviales - Formación Barco	45
5.7.3 Depósitos Aluviales - Formación Cuervos	46
5.7.4 Depósitos Aluviales - Formación Cuesta	46
5.7.5 Formación Barco	46
5.7.6 Formación Cuervos	46
5.7.7 Formación Cuesta	46
5.8 Diagramas de Gibbs	46
5.9 Diagramas de Mifflin	43
5.10 Metales y metaloides	43
5.10.1 Aluminio	43
5.10.2 Bario	45
5.10.3 Hierro	46
5.10.4 Manganeso	48
5.10.5 Níquel	49
5.10.6 Selenio, Zinc, Cobre y Plomo	50
5.10.7 Cadmio y Molibdeno	51
5.11 Parámetros microbiológicos	51
5.12 Parámetros microbiológicos	51
6. MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO - MHN DE LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR – ZMCC	43
7. CONCLUSIONES	47
ANEXO I	52
ANEXO II	43
ANEXO III	43



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

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. A continuación, se describen cada una de estas unidades, tomando como referencia el Modelo Hidrogeológico Conceptual Regional para la Zona de Influencia de los Proyectos Mineros del Cesar, en adelante MHCR, presentado por las empresas mineras (Drummond Ltd., CNR y Prodeco S.A) mediante radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017, el documento Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar (INGEOMINAS – CORPOCESAR, 1995) y el Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero Cesar (CORPOCESAR, 2018).

1.1 Formación Luna (K2l)

Aflora en dos pequeñas extensiones al costado oriental del área de interés, en cercanías del proyecto La Jagua; se compone, hacia la base, de capas medias a gruesas de lodolitas calcáreas, lutitas carbonosas, en la parte media por calizas masivas y en el tope por calizas arenosas de grano fino con niveles delgados de chert (MHCR, radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017; tomado de SGC, 2015).

En el MHCR (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017), localmente clasifican a la Formación La Luna como un acuicludo que hace parte del sustrato Cretácico que se categoriza dentro del grupo de rocas con limitados recursos de agua subterránea.

En el documento de Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar (INGEOMINAS – CORPOCESAR, 1995), mencionan que esta unidad presenta condiciones hidrogeológicas variables, dado que en sus reducidas áreas de afloramiento no cuenta con características favorables para la infiltración y almacenamiento de agua subterránea, mientras que en los sectores donde se encuentra cubierta presenta mayor grado de fracturamiento y permeabilidad secundaria. Los mejores prospectos de explotación fueron identificados en la región nororiental del bloque tectónico Codazzi – Sicarare, donde se comporta como un acuífero confinado con producciones mayores a 10 l/s.



1.2 Formación Barco (E1a)

La Formación Barco aflora en la zona central del área delimitada por la estrategia de monitoreo. En el límite oriental del polígono de la Mina El Hatillo (LAM1862) se encuentra plegada por el Sinclinal de los Venados y el Anticlinal Boquerón; se constituye por areniscas de grano fino deleznales ligeramente arcillosas y micáceas, y lutitas y arcillolitas ferruginosas, micáceas y carbonáceas; hacia su parte media y base predominan las areniscas limpias de grano fino a medio; hacia el techo presenta capas de carbón (tomado de MHCR, radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017).

En el MHRC (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017) hidrogeológicamente dividen a esta unidad en dos miembros con comportamiento hidráulico diferente, uno superior de composición arenosa clasificado como un acuífero confinado de extensión regional y uno inferior de granulometría fina poco permeable. No obstante, por la escala de trabajo, en ese estudio la trataron como una sola unidad definida como acuitardo; aunque localmente se comporta como acuífero de porosidad primaria con promedios de transmisividad y conductividad hidráulica medidos por los proyectos mineros de 21,50 m²/día y 0,0198 m/día, respectivamente.

En la red de regional se tienen tres (3) piezómetros que monitorean esta unidad y tres (3) pozos que captan de ella, dos (2) de los cuales lo hacen con mezclas del acuífero Depósito Aluvial.

1.3 Formación Cuervos (E1c)

Esta formación aflora parcialmente en las áreas de los seis (6) títulos mineros, se constituye por tres (3) miembros denominados, inferior, medio y superior, diferenciados por su composición y morfología.

El miembro inferior se compone de arcillolitas y limolitas intercaladas con arenas, shales carbonoso y cintas de carbón. El miembro medio tiene un carácter más arenoso y contiene mantos de carbón explotables, las areniscas son de grano fino a medio bien cementadas con intercalaciones de arcillolitas, limolitas y cintas de carbón. El miembro superior se constituye por rocas arcillo-limosas intercaladas con areniscas y en menor proporción cintas de carbón. Su ambiente de formación corresponde a un delta transicional y lagunar (tomado de MHCR, radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017). Sobre esta unidad se enfoca la explotación carbonífera de la región, allí se localizan los pits y botaderos de todos los proyectos mineros.

En el MHCR (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017) consideran a la Formación Cuervos como un acuífero confinado multicapa, caracterizado en los proyectos mineros con transmisividades que varían desde 0,22 a 10,11 m²/día y conductividades hidráulicas que están entre 0,049 y 0,32 m/día.



En la red de monitoreo regional se le hace seguimiento a este acuífero a través de cuatro (4) piezómetros, en su área de afloramiento, y cuatro (4) pozos que captan mezcla de aguas con el acuífero Depósito Aluvial.

1.4 Formación Cuesta (N2c)

Aflora en varios sectores hacia la parte central del área de la estrategia de monitoreo, haciendo presencia de forma parcial en los polígonos de las minas El Hatillo (LAM1862), La Francia (LAM3199), Calenturitas (LAM2622) y La Loma (LAM0027); según lo reporta la memoria explicativa de la Plancha Geológica 41 – Becerril (SGC, 2015), se compone de areniscas mal seleccionadas con intercalaciones de conglomerados con matriz arenosa, limolitas y arcillolitas yesíferas. Las areniscas son de grano medio, bien seleccionadas a conglomeráticas, poco consolidadas, deleznable con matriz de grano fino a medio y porosas, dispuestas en capas delgadas con estratificación cruzada.

De acuerdo con el MHCR (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017), se considera un acuífero libre a semiconfinado y confinado multicapa, de extensión semiregional con porosidad primaria, cuya recarga se da por la infiltración vertical proveniente de los Depósitos Cuaternarios o de manera directa por percolación de la precipitación en sus áreas de afloramiento. En el PMAA del Cesar (CORPOCESAR, 2018) lo definen como la unidad acuífera más importante del área sur del acuífero priorizado. Las empresas mineras han cuantificado valores promedios de transmisividad y conductividad hidráulica correspondientes con 35 m²/día y 1,57m/día, respectivamente.

De la red regional de puntos de agua subterránea, nueve (9) pozos captan únicamente de este acuífero y cuatro (4) lo hacen con mezcla de aguas del Depósito Aluvial; así mismo, se cuenta con cinco (5) piezómetros que también le hacen seguimiento a la calidad y disponibilidad del recurso hídrico en esta unidad hidrogeológica.

1.5 Depósitos de Abanico (Qab)

Ocupan un amplio sector al suroriente del área de la estrategia de monitoreo, allí se encuentran disectados por las corrientes superficiales; en la Plancha Geológica 41 – Becerril (SGC, 2015) la describen como acumulaciones a lo largo del piedemonte de la Serranía del Perijá, conformados por cantos y bloques heterométricos de hasta 2 m de diámetro, generalmente de areniscas de grano grueso a conglomeráticas procedentes de varias formaciones fuente; en estos depósitos también se han identificado niveles areno limosos y areno gravosos de 15 a 25 m de espesor.

INGEOMINAS – CORPOCESAR (1995) se refieren a este depósito como un acuífero libre de poca importancia hidrogeológica, por la mala selección del tamaño de los sedimentos, a la extensión y por estar muy disectado por los drenajes superficiales.



De los Depósitos de Abanico se tienen un manantial y un aljibe que hacen parte de la red de monitoreo regional.

1.6 Depósitos de Planicie Aluvial (Q2pa)

Se extienden por gran parte del área de estudio, interdigitados con los Depósitos de Abanico al suroriente y con los Depósitos Aluviales y la Formación Cuesta al centro y norte. El SGC (2015) los describe como acumulaciones de pendientes llanas cerca a la convergencia de varios cauces, originados por las inundaciones periódicas recientes de los principales cauces; compuestos por sedimentos de grano fino como arenas, limos y arcillas con esporádicos niveles delgados de gravas finas.

En las planicies aluviales se dispone de cuatro (4) puntos de agua integrados a la red regional de monitoreo, distribuidos en un (1) aljibe, un (1) pozo y dos (2) piezómetros.

1.7 Depósitos Aluviales (Q2al)

Corresponde con los lugares destinados para la acumulación de estériles (escombros de minería o tajos rellenos de manera parcial o total) generados en la actividad minera, se localizan generalmente contiguos a los pits de los seis (6) títulos mineros (La Francia - LAM3199, El Hatillo - LAM1862, Calenturitas -LAM2622, La Jagua - LAM1203, La Loma - LAM0027 y El Descanso - LAM3271).

Litológicamente en la Plancha Geológica 41-Becerril lo describen compuesto por fragmentos de rocas sedimentarias como areniscas, limolitas, shales, arcillolitas y lutitas.

Sobre este depósito se cuenta únicamente con dos (2) piezómetros localizados en la Mina La Jagua.

1.8 Depósito Fluviolacustres (Qfl)

En el área de estudio se ubican en el costado suroccidental, asociados a los caños Guasimal, Las Vacas, Achiotal y el arroyo Las Animas; se compone de limos y arenas muy finas (MHCR, radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017). En el PMAA (CORPOCESAR, 2018) clasifican esta unidad dentro del grupo de sedimentos y rocas porosas o fracturadas con muy pequeña importancia hidrogeológica o sin importancia.

No se cuenta con puntos de monitoreo integrados a la red regional en estos depósitos.

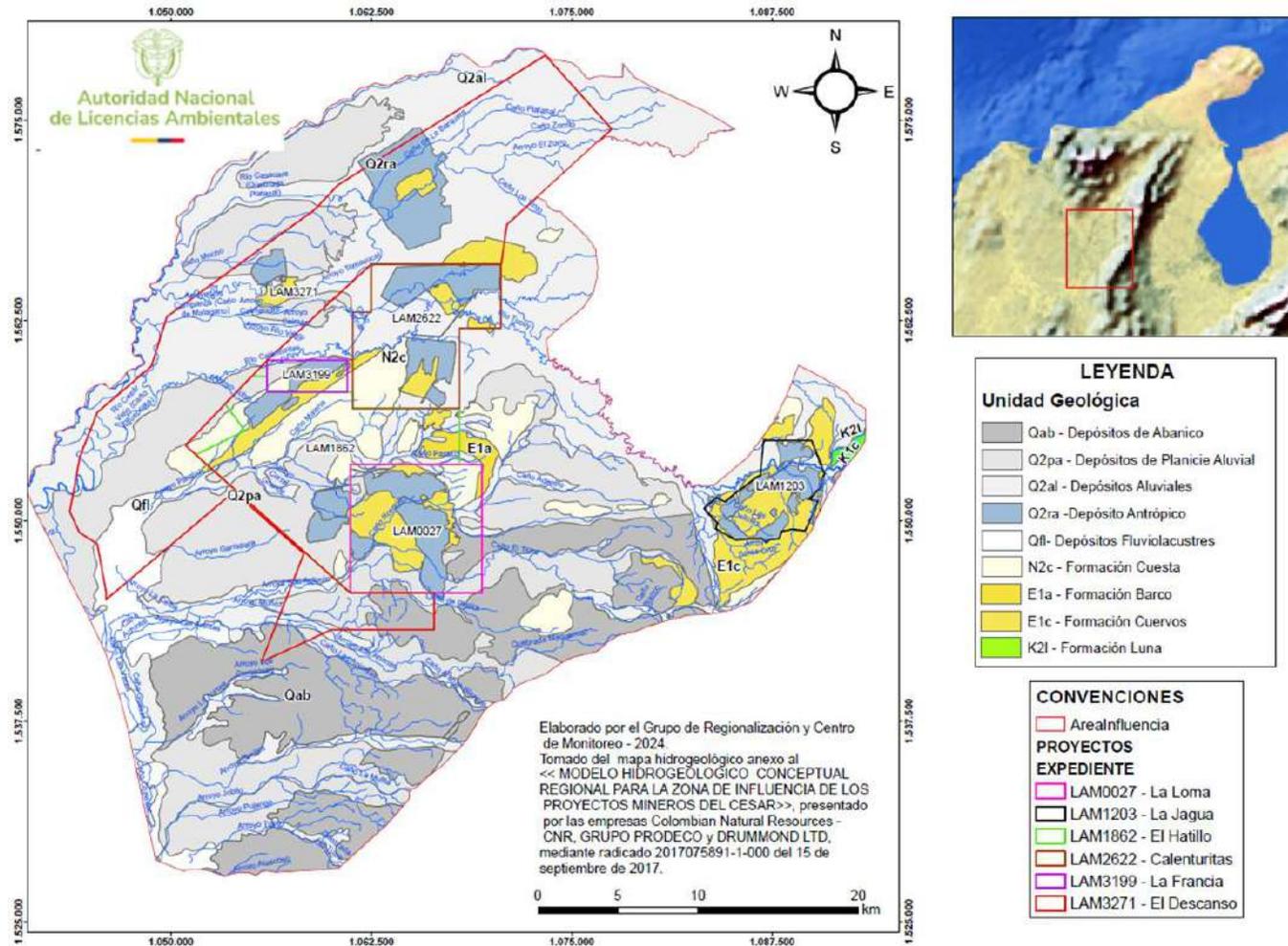
Es preciso mencionar que en el MHCR (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017), desde la perspectiva hidrogeológica, agrupan a todos los depósitos cuaternarios como una sola unidad, denominándola Acuífero Cuaternario, con una cobertura en el área de la estrategia de 180.353 hectáreas aproximadamente y espesores entre los 20 y 100 m, caracterizado como un acuífero libre con recarga a través de la infiltración directa de la

precipitación, las transmisividades medidas por las empresas mineras en estas unidades oscilan entre 7.0 y 181 m²/día y las conductividades hidráulicas entre 0,295 y 79,3 m/día.

A continuación (**Ilustraciones 1 y 2**), se observan los mapas geológico e hidrogeológico del área de la estrategia de monitoreo regional analizada en el presente documento.



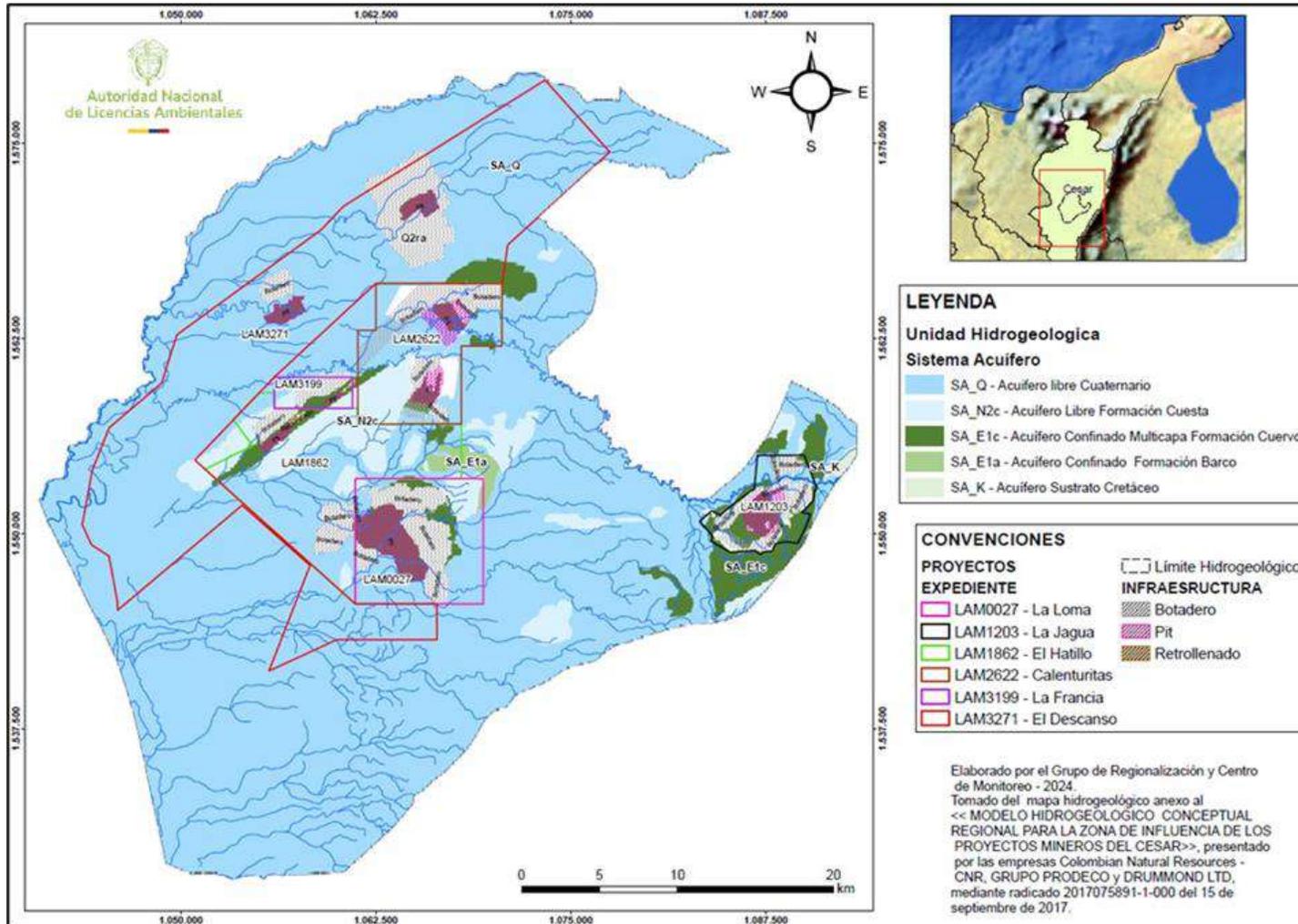
Ilustración 1. Mapa geológico de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC



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



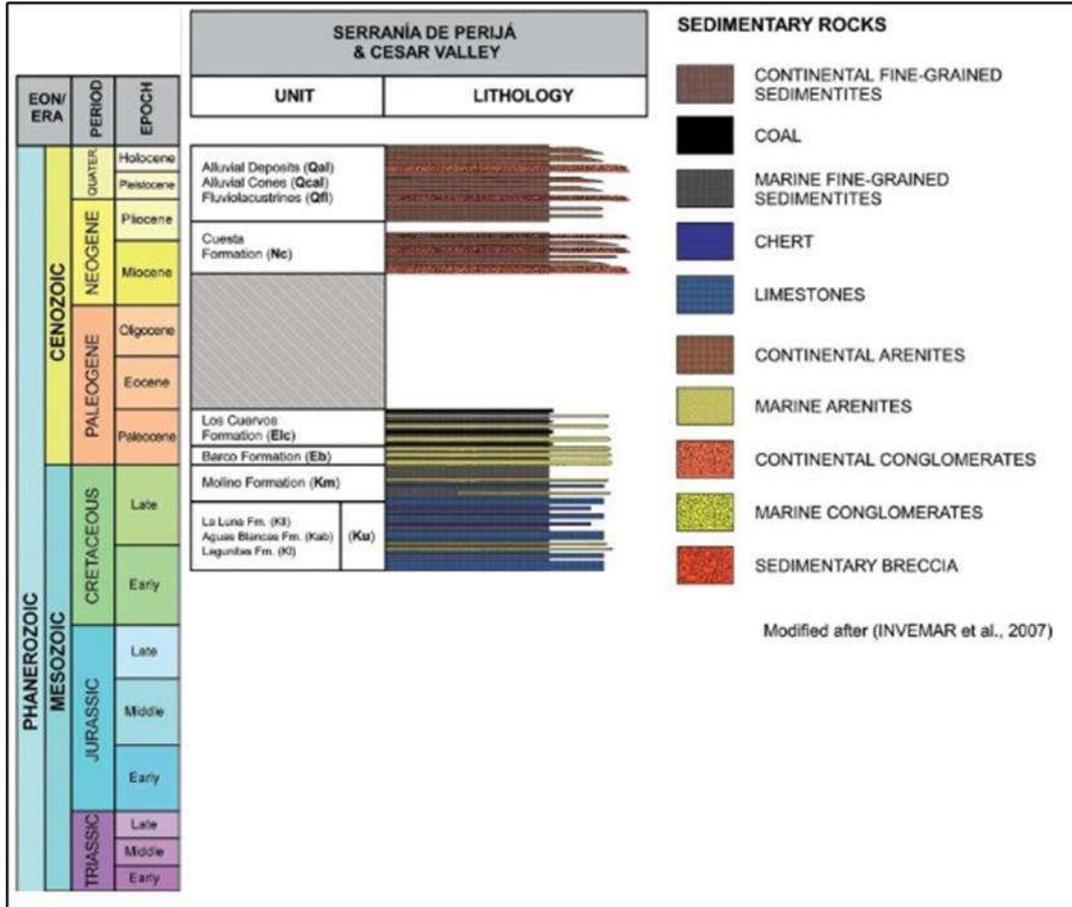
Ilustración 2. Mapa hidrogeológico del área de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC



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

A continuación (Ilustración 3), se presenta una parte de la columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Cesar, donde se puede observar la posición cronoestratigráfica de las unidades descritas anteriormente:

Ilustración 3. Columna estratigráfica parcial de la cuenca 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)



2. ANTECEDENTES DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

Los proyectos mineros denominados La Francia –LAM3199, El Hatillo – LAM1862, Calenturitas –LAM2622, La Jagua – LAM1203, La Loma –LAM0027 y El Descanso – LAM3271 están dentro del área regionalizada del reporte de alertas de la Zona Minera del Cesar, formulado por la ANLA en 2015 y actualizado en 2021 . En este documento, frente al componente hidrogeológico, se realiza el siguiente análisis regional.

Inicialmente, resaltan el aprovechamiento de agua subterránea en la zona, el cual incluye pozos, manantiales y aljibes destinados a diferentes usos, también se mencionan los piezómetros que conforman las redes de monitoreo de los proyectos mineros; el total de captaciones consolidado en el reporte del año 2015 daba cuenta de 896 puntos de agua subterránea, predominando los aljibes con 456 unidades, seguido de los pozos con 149; muchos de estos puntos son operados por las empresas mineras que se localizan en la zona como fuente de abastecimiento para el desarrollo de sus labores. Lo anterior da cuenta de la presión sobre el recurso hídrico que hay en la región, ante lo que es importante realizar una adecuada gestión para garantizar que el aprovechamiento continúe de manera sostenible en cuanto a calidad y dinámica de los acuíferos.

En el año 2021, las consideraciones del reporte de alertas se enfocaron en la recarga potencial, en la cual se observa que una amplia extensión del área de estudio presenta valores de recarga entre 489 y 878,5 mm/año y en la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, que fue evaluada por el método de GOD, se obtuvo una clasificación extrema asociada a los Depósitos Aluviales, que cubren gran parte del sector sur del área de estudio, seguida en extensión de los grados de vulnerabilidad alta, despreciable, baja y media.

Teniendo en cuenta las variables de recarga, vulnerabilidad y presencia de puntos hidrogeológicos se realizó la valoración de la condición hidrogeológica regional, a partir de la cual se identificó que el área de la ZMCC se encuentra dividida en orden de extensión en cuatro (4) áreas con diferentes grados de conocimiento hidrogeológico, para el área de la estrategia prevalece el grado medio, que corresponde con aquellos sectores donde existe una moderada recarga potencial, la vulnerabilidad intrínseca es alta, se han identificado puntos hidrogeológicos y no se presentan permisos respecto a concesiones, vertimiento al suelo e inyección; adicionalmente, hay sectores de grado de conocimiento bajo - muy bajo; sectores con conocimiento alto, principalmente en el centro de la región, y zonas muy restringidas con conocimiento hidrogeológico muy alto.

Se presentan los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta como las unidades de mayor interés hidrogeológico debido a su alto potencial acuífero y volumen de captación; los Depósitos Cuaternarios son caracterizados como acuíferos libres, con conductividades



hidráulicas promedio entre 10-1 y 5 m/d, por su parte la Formación Cuesta se clasifica como acuífero libre y semiconfinado con conductividades hidráulicas entre 5 y 25 m/d. La Formación Cuervos presenta niveles acuíferos en su parte media que es objetivo para extracción de gas metano asociado a los mantos de carbón y sus miembros superior e inferior se consideran sellos, es decir que se clasifica como acuitardo, con conductividades hidráulicas entre 0,0001 y 0,7 m/d. La Formación Barco en sus miembros profundos es caracterizada como un acuífero confinado y semiconfinado, con conductividad hidráulica de 0,198 m/d, el cual es receptor de inyección de aguas de producción de hidrocarburos, como en el caso del proyecto “Producción de Gas en el Área de desarrollo Caporo Norte”, Expediente LAV0106-00-2014, que cuenta con permiso de reúso de agua para este fin.

Hidrogeoquímicamente, en el reporte de alertas se identificaron a los Depósitos Cuaternarios con aguas de baja mineralización, con conductividades promedio de 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$, siendo clasificadas en tipos de aguas bicarbonatadas y cloruradas cálcicas y sódicas. No obstante, localmente se evidenciaron cambios composicionales en el tiempo de algunas de las muestras estudiadas, razón por la que recomienda analizar de manera específica para validar si hay interconexión entre la unidad carbonífera que es despresurizada con otras unidades acuíferas suprayacentes. Esta recomendación podrá analizarse en el marco de la estrategia regional una vez se cuente con un volumen suficiente de datos, o se evidencie un cambio composicional en los Depósitos Cuaternarios.

En pro de ejercer una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo y atender las recomendaciones del reporte de alertas, la ANLA para 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 de 2017.

La siguiente fase requería de la presentación por parte de los licenciatarios de una propuesta para el establecimiento de la red de monitoreo regional, en atención a esta, las sociedades plantearon 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. Razón por la cual, 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; cada uno de los puntos propuestos fue verificado en campo por parte de esta Autoridad, confirmando su viabilidad para ser incluidos en la red regional. De esta manera, en el segundo semestre del año 2021 se actualizó la estrategia de monitoreo y se establecieron nuevas condiciones de modo, tiempo y lugar, las cuales son las que están vigentes actualmente.



En el año 2023, el Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la SIPTA realizó el análisis e interpretación de los datos reportados por las empresas mineras para el año hidrológico 2022, el cual quedó plasmado en el documento “Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar, Análisis Regional primer año de monitoreo”.

Finalmente, en el presente documento se incluye la interpretación y análisis multitemporal de los datos in-situ, fisicoquímicos y microbiológicos de las ocho (8) campañas de monitoreo llevadas a cabo en los años 2022 y 2023.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL

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 tomar decisiones en el marco del seguimiento de los proyectos.

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
Exploración, construcción y montaje de carbonífera a cielo abierto denominado Proyecto Carbonífero Calenturitas	LAM2622		01909 del 29 de octubre de 2021
Explotación Minera de Carbón, Mina El Hatillo.	LAM1862	COLOMBIAN NATURAL RESOURCES - CNR	01911 del 29 de octubre de 2021
Extracción de carbón a cielo abierto - Mina La Francia.	LAM3199		01972 del 8 de noviembre de 2021
Explotación carbonífera La Loma - Mina La Loma- PRIBBENOW	LAM0027	DRUMMOND LTD	01970 del 8 de noviembre de 2021 00505 del 02 de marzo de 2022.
Explotación carbonífera El Descanso, Similoa y Rincón Hondo	LAM3271		02028 del 16 de noviembre de 2021.



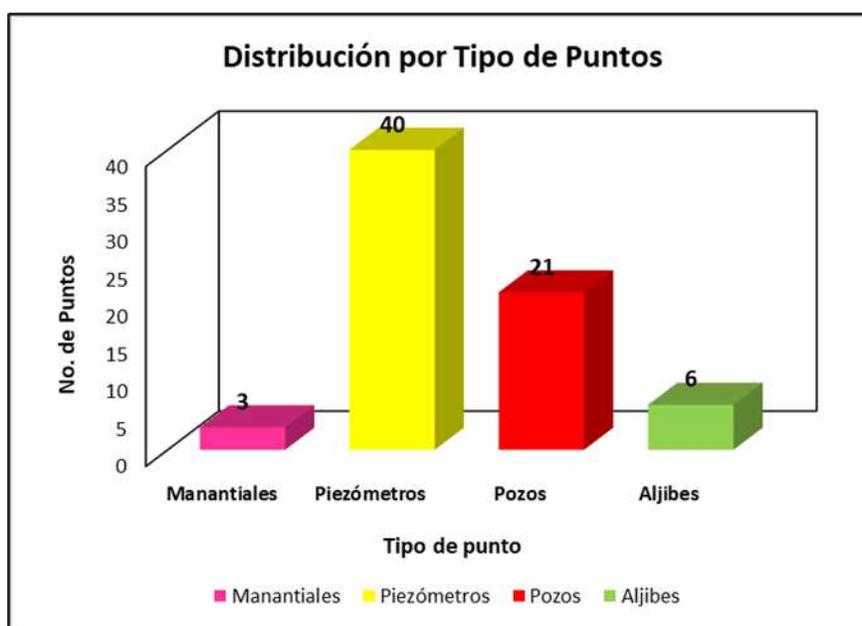
Proyecto	Expediente	Empresa	Resolución que impone la estrategia
PMA para mediana minería de explotación subterránea de carbón. 096-94. Mina la Divisa o Cerrolargo	LAM3831	NORCARBON	01300 del 16 de junio de 2023

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

3.1 Condiciones de Lugar

Actualmente la estrategia de monitoreo regional está conformada oficialmente por setenta (70) puntos de agua subterránea, distribuidos como se presenta en la **Ilustración 4**, la **Ilustración 5** y la **Ilustración 6**. La localización de los puntos dentro del área delimitada por la estrategia regional se puede observar en la **Ilustración 7**.

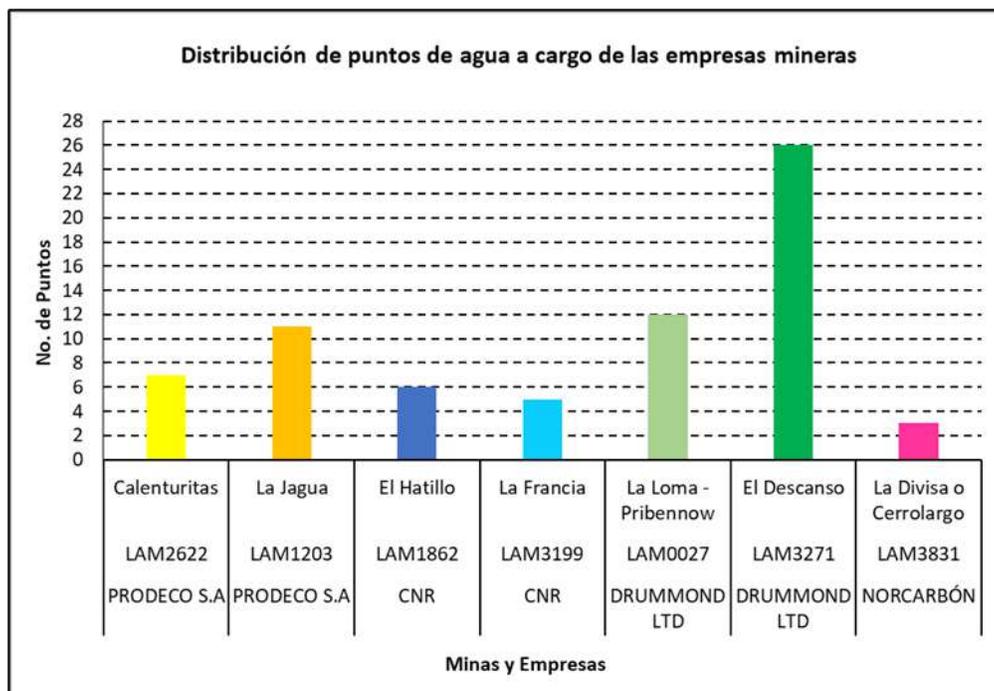
Ilustración 4. Distribución por tipo de punto de agua subterránea



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

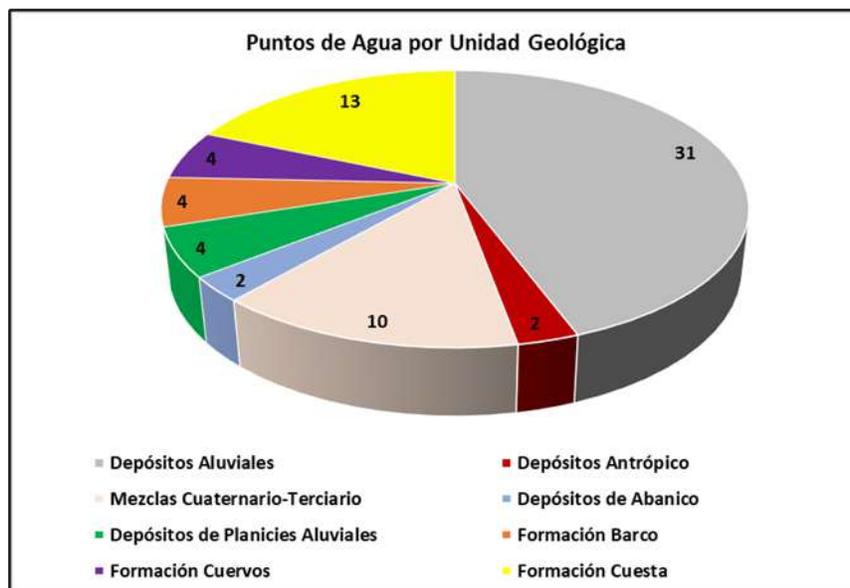


Ilustración 5. Distribución por tipo de punto de agua subterránea



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

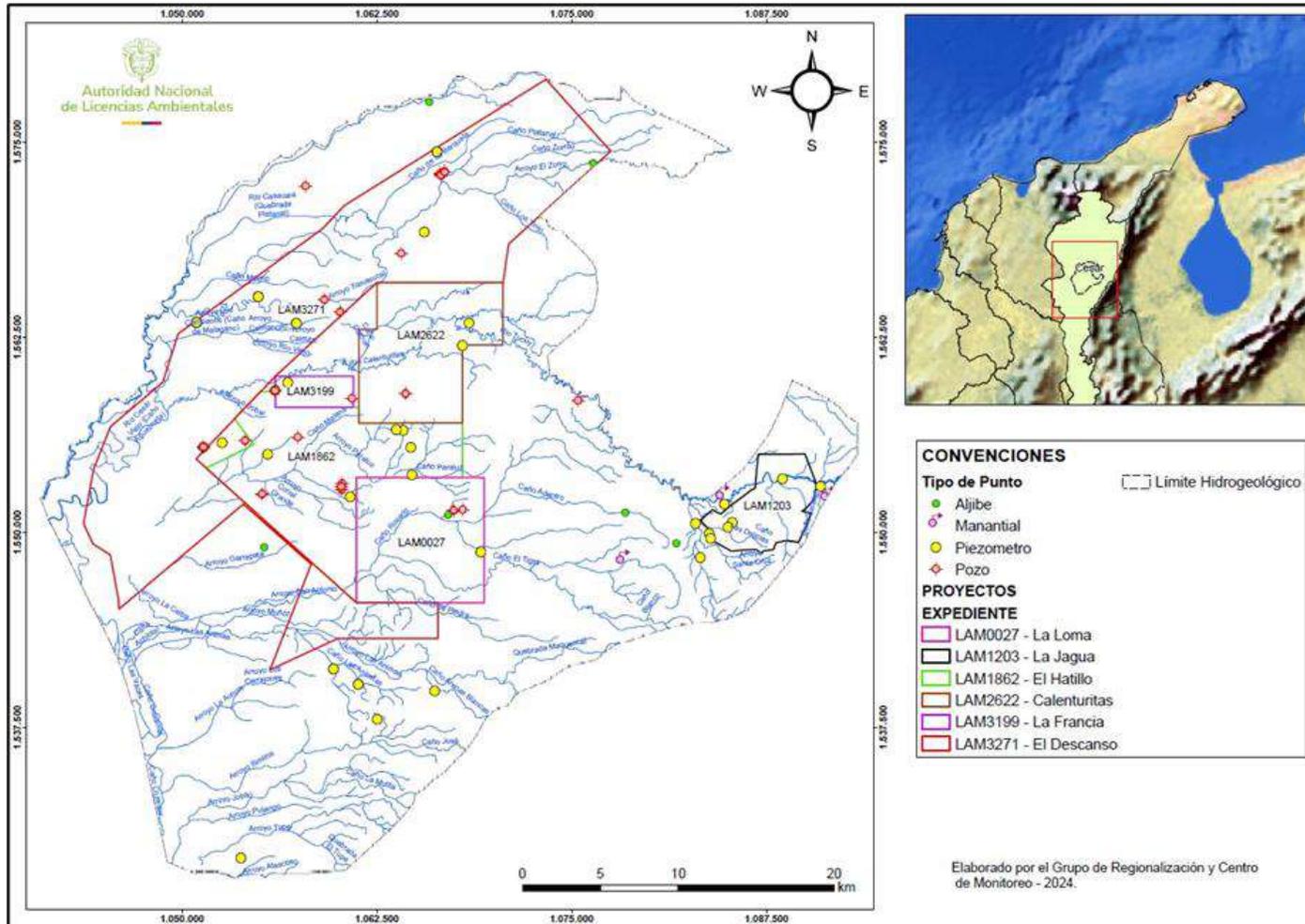
Ilustración 6. Distribución por tipo de punto de agua subterránea



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



Ilustración 7. 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., 2024



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.

3.2 Condiciones de Modo

Los parámetros incluidos en una red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas deben contemplar aspectos físicos, químicos y microbiológicos, enfocándose además en determinar los posibles contaminantes que pueden generarse por el tipo de actividad desarrollada. Teniendo en cuenta lo anterior, y que la actividad objeto de monitoreo es la 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.
- **Propiedades químicas:** 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 2**:

Tabla 2. Criterio para la aceptación del balance iónico de acuerdo con la sumatoria de aniones

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





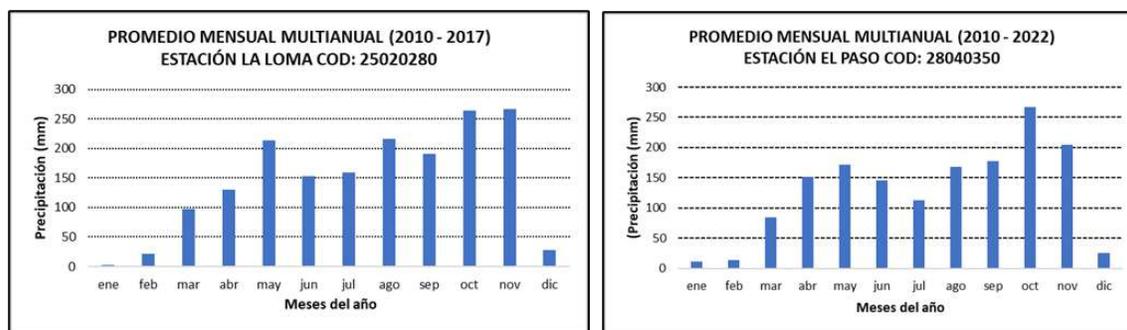
Fuente Standard Methods – Cap 1030E Checking Analyses, 2017¹

3.3 Condiciones de Tiempo

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

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 con las estaciones de la Loma y El Paso, tal como se puede observar en la Ilustración 8.

Ilustración 8. Promedio mensual multianual de precipitación – Estaciones La Loma y El Paso



Fuente: Grupo de regionalización y centro de monitoreo ANLA 2024 con información climatológica de IDEAM 2010 a 2022.

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

- Campaña 1: Diciembre – Marzo (Época seca)
- Campaña 2: Abril – Junio (Época húmeda)
- Campaña 3: Julio – Agosto (Periodo de transición)
- Campaña 4: Septiembre – Noviembre (Época húmeda)

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





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

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 La Francia -LAM3199, El Hatillo – LAM1862, Calenturitas -LAM2622, La Jagua – LAM1203, La Loma -LAM0027 y El Descanso – LAM3271, han entregado los resultados de las campañas de monitoreo correspondientes con los años 2022 y 2023.

En cuanto al proyecto Mina La Divisa o Cerrolargo - LAM3831, este aún se encuentra en tiempo de cumplimiento para la entrega de la primera campaña de monitoreo, dado que la estrategia fue impuesta en este expediente mediante la Resolución 01300 del 16 de junio de 2023. Así las cosas, el análisis que se realiza en el presente documento se refiere al comportamiento del agua subterránea en el área de los seis (6) proyectos que actualmente ya están reportando información.

El detalle de los radicados por expediente, fechas de entrega y campañas a las que corresponden, se puede encontrar en el **Anexo 2** del presente documento.

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

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 dos años completos (años 2022 y 2023), es necesario seguir contando con información que permita 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 ambientales sobre el recurso hídrico subterráneo.





Adicionalmente, es importante aclarar que aunque en la actualidad 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 de presente el Artículo 2.2.3.3.3.4 del Decreto 1076 de 2015: *“ARTÍCULO 2.2.3.3.3.4. Criterios de Calidad para usos múltiples. En aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia.”*

Por otro lado, es importante mencionar que, para la realización de los diagramas hidroquímicos de Piper, Stiff, Gibbs y Mifflin se emplearon solamente las muestras de agua subterránea que cumplieron con el criterio del error analítico, el cual fue establecido para cada uno de los proyectos en la resolución que impuso las condiciones de la estrategia regional. Como se mencionó 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.

Así las cosas, de un total de 437 muestreos que fueron reportados por los proyectos que hacen parte de la estrategia, se descartaron 47, es decir el 10,76% de los análisis, utilizando finalmente para la realización de los diagramas hidroquímicos 390 muestras de agua subterránea.

Los expedientes de los cuales fueron eliminadas un mayor número de muestras corresponden con el LAM1862 - Mina El Hatillo y LAM3199 - Mina La Francia, dado que entre ambos se descartaron un total de 41 análisis de agua subterránea; del Expediente LAM2622 - Mina Calenturitas se descartaron cinco (5) y del Expediente LAM0027 - Mina La Loma una (1).

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

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

La Conductividad Eléctrica (CE) es la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica y su valor es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. Los Sólidos





Disueltos Totales (SDT) representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales, tales como bicarbonatos, carbonatos, cloruros, calcio, sulfatos y otros iones como silicatos y demás.

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

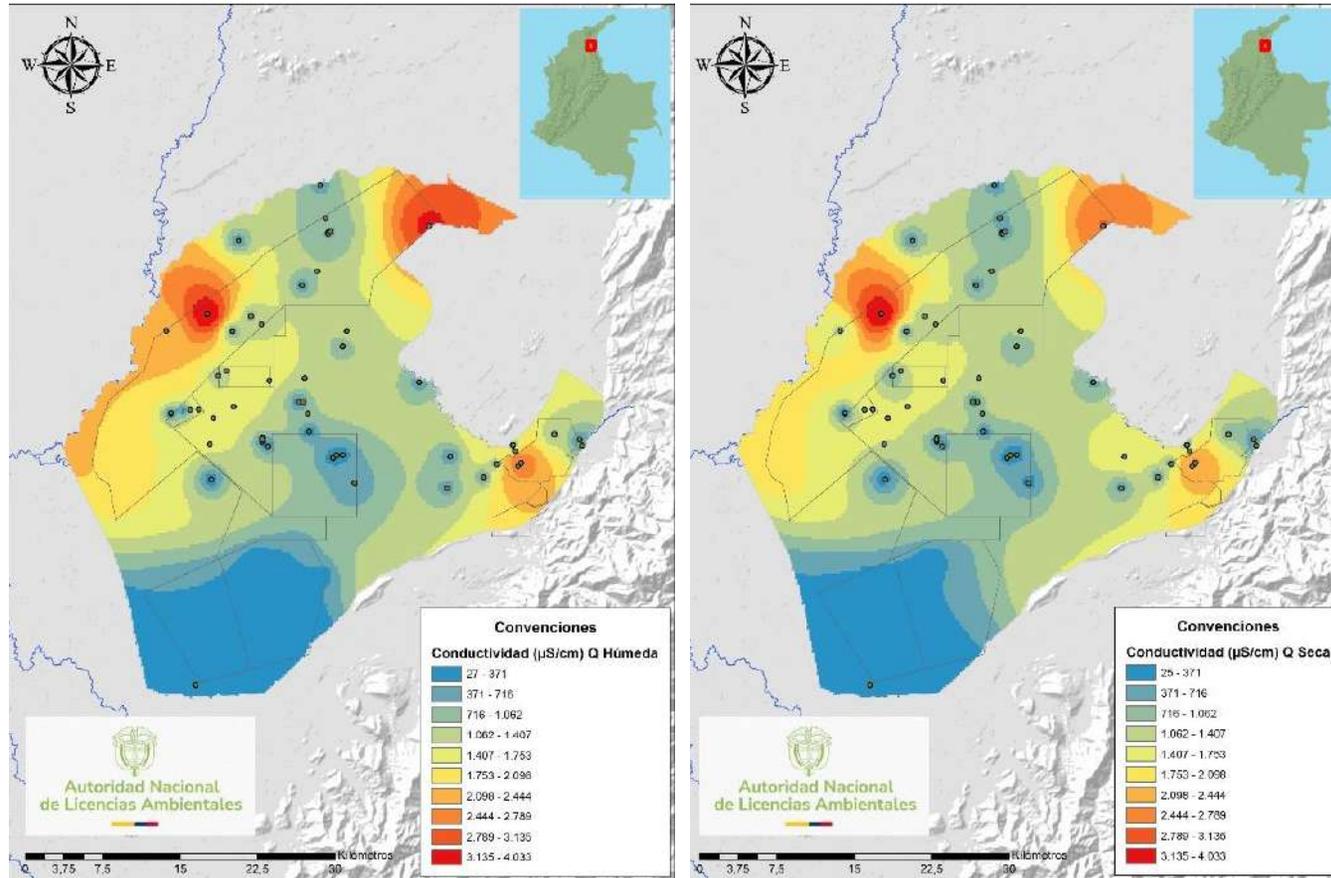
A partir de los reportes presentados por parte de los proyectos que integran la estrategia de monitoreo de aguas subterráneas de la zona minera del Cesar, se elaboraron mapas de isolíneas de la conductividad eléctrica, tanto para los acuíferos cuaternarios de origen aluvial, como para los acuíferos asociados a las unidades geológicas terciarias que se identifican en el área de análisis, en referencia particular, a las formaciones Cuesta, Cuervos y Barco. Para esto, se implementó la técnica 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 registrados por época climática, diferenciando los medidos en las épocas de estiaje y húmedas, para contrastar los resultados conseguidos y diferenciar comportamientos durante el año hidrológico.

Partiendo de lo anterior, tal y como se presenta en la **Ilustración 9**, los puntos que captan de los acuíferos cuaternarios registran los mayores valores de conductividad eléctrica en las zonas norte, noroeste y este del área de análisis, donde se encuentran registros de hasta 4033 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante la época seca y 3902 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época húmeda, correspondiendo en ambos casos al punto MSB-LAM3271-0036; dichos valores se consideran altos al asociarse a acuíferos libres de origen aluvial, donde generalmente circulan aguas de recarga reciente y baja mineralización. Por otro lado, teniendo en cuenta que los menores valores se encuentran hacia la parte central y sur del área, el comportamiento de dicho parámetro sugiere un flujo de agua preferencial a nivel regional dirigido hacia el norte y noreste, posiblemente influenciado por los cuerpos de agua superficial principales, tales como el río Tucuy y el río Cesar, que no varía sustancialmente entre épocas climáticas en términos de la interpretación de la dinámica de flujo del recurso y los registros de la conductividad eléctrica.





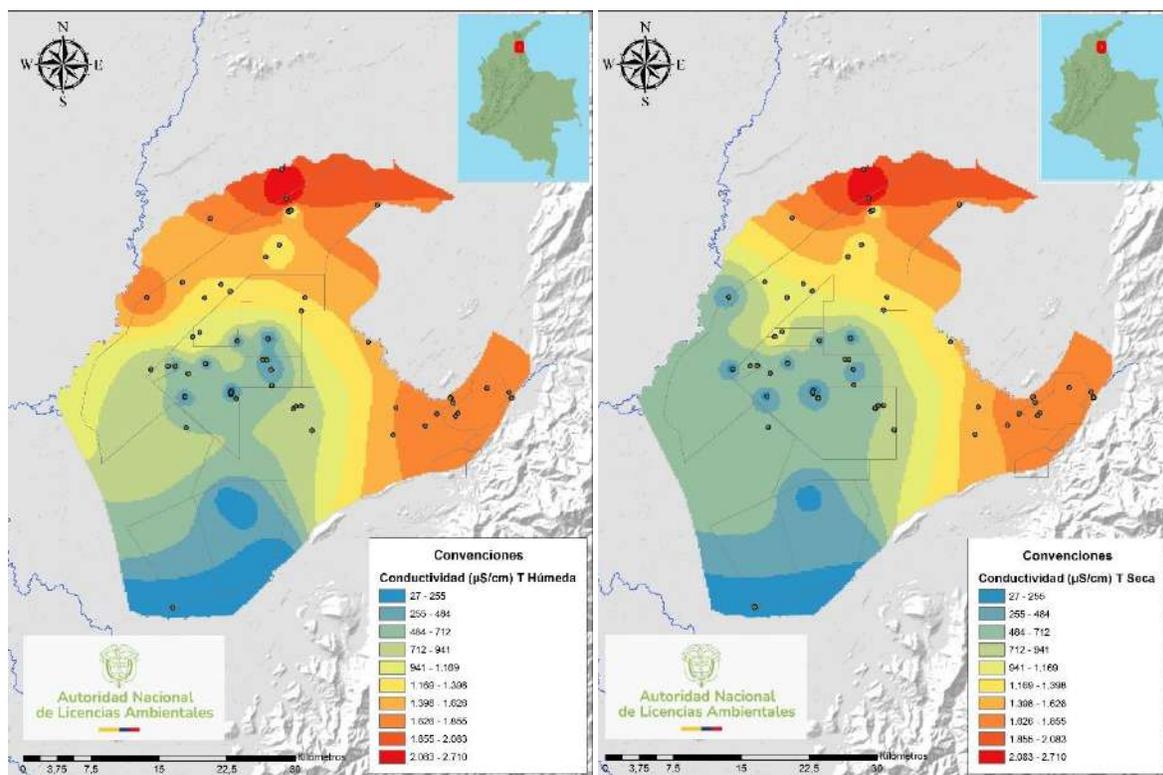
Ilustración 9. Conductividad eléctrica (CE) y Solidos disueltos totales (SDT)



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

Respecto a los acuíferos asociados a las formaciones terciarias, tal como se puede observar en la **Ilustración 10**, se identificó que los mayores valores registrados se encuentran en la zona norte y este, donde se identificaron mediciones de hasta 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante la época seca y 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época húmeda, los cuales se registraron en el punto MSB-LAM3271-0016, con lo cual, se infiere que el agua que transita a través de estas unidades fluye en sentido similar a los depósitos cuaternarios; no obstante, llama la atención que, de manera generalizada, los valores de conductividad en estas formaciones son significativamente menores a los identificados en los acuíferos cuaternarios, situación que también se presenta según los datos arrojados por los monitoreos realizados en 2022, lo que representa un menor grado de mineralización de estas aguas que puede estar influida por una posible interacción hidráulica del agua subterránea con los cuerpos hídricos superficiales y el agua almacenada en los pits de explotación que se localizan en las zonas donde estas unidades afloran, generando una posible disminución de la concentración de minerales.

Ilustración 10. Isolíneas de Conductividad eléctrica – Acuíferos terciarios



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

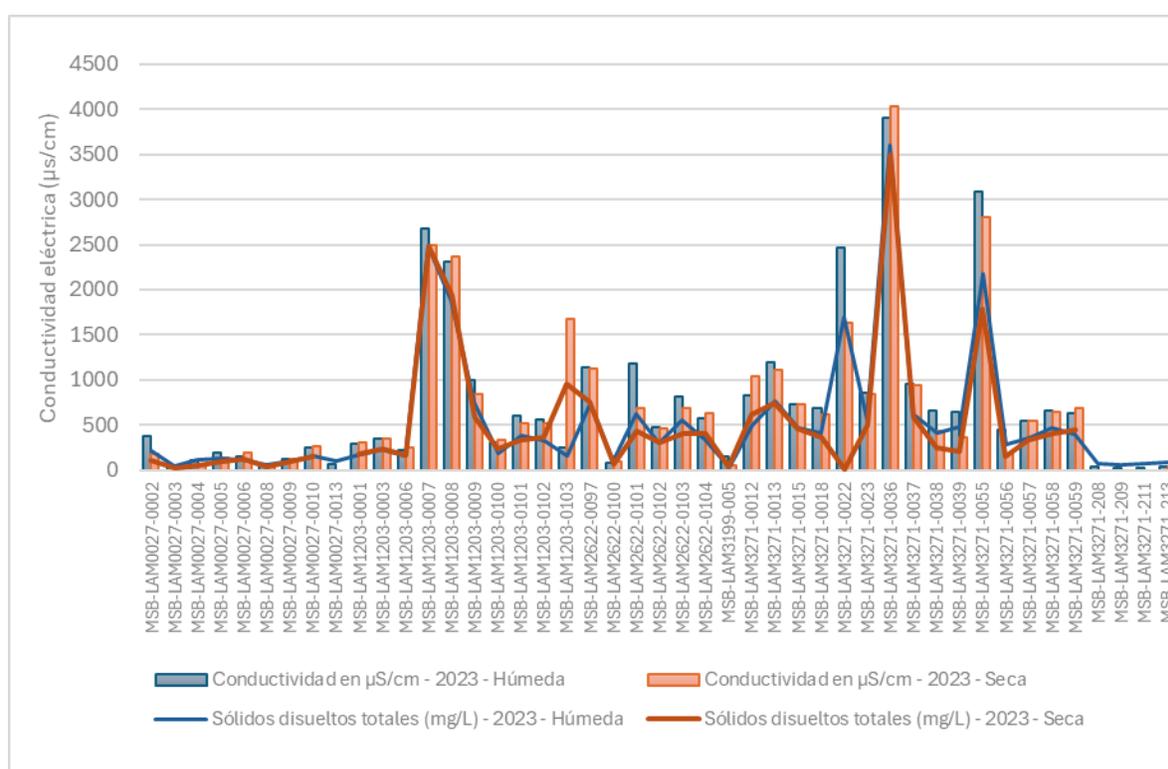
Adicionalmente, se identificó que en el área de análisis los valores máximos obtenidos en 2023 presentan aumentos sustanciales respecto a los registrados en 2022, principalmente durante la época húmeda en los puntos que captan de los depósitos aluviales (2022: 1404 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2023: 4003 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y durante todo el año hidrológico en aquellos localizados en la formación Barco (2022: 1870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2023: 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Dicho comportamiento se atribuye al reporte de valores de conductividad en puntos que no fueron monitoreados en 2022, todos



asociados al proyecto con expediente LAM3271, en donde para el año 2023 se presentaron los valores más altos de este parámetro a nivel regional, lo cual modifica la distribución de los datos interpolados en el área de análisis respecto a la generada para el año anterior.

Por otro lado, se identificó que la variación de la conductividad eléctrica en relación con los Sólidos Disueltos Totales (SDT) registrados en los mismos monitoreos de manera general se muestra congruente en el área de análisis, pues las variaciones identificadas en cada punto para cada uno de estos parámetros se comportan de manera similar y proporcional, esto considerando que la cantidad de sólidos en el agua influye directamente con la capacidad del agua a conducir la electricidad, tal y como se muestra en las **Ilustraciones 11 y 12**, en las cuales se identifican los valores arrojados en los puntos monitoreados correspondientes a acuíferos aluviales y a acuíferos asociados a formaciones terciarias.

Ilustración 11. Conductividad eléctrica – Acuíferos cuaternarios

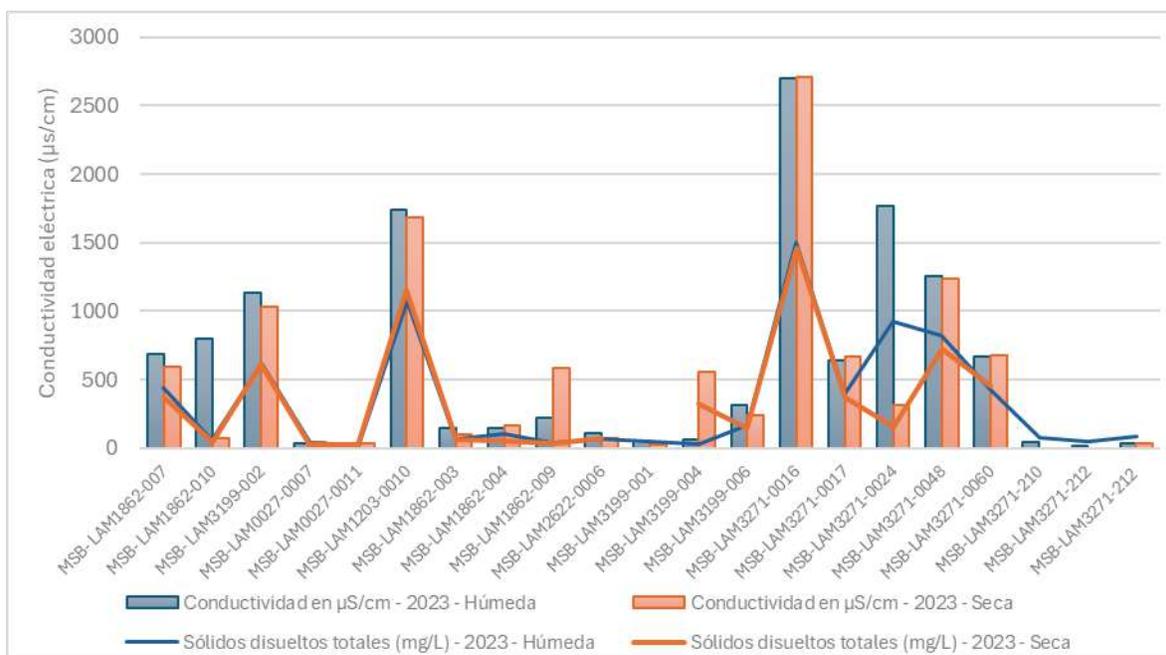


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024





Ilustración 12. Conductividad eléctrica – Acuíferos terciarios



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

Frente a los resultados presentados y tal y como se muestra en las anteriores ilustraciones, es importante destacar que el proyecto Explotación carbonífera El Descanso, Similoa y Rincón Hondo, asociado al expediente LAM3271, es el que reporta los mayores valores de conductividad eléctrica en los monitoreos realizados durante el año 2023 (ver **Ilustraciones 11 y 12**), reportando hasta 4033 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en donde, además, no se puede establecer la tendencia respecto a la variación de dicho parámetro al no contar con datos anteriores a 2023, por lo cual, se hace necesario que, así como fue solicitado a dicho proyecto a través del Acta 463 del 28 de julio de 2023, durante el seguimiento se continúen requiriendo actividades orientadas a la consecución de información que permita establecer las posibles causas de este comportamiento en este parámetro en el área del proyecto y definir si estos valores corresponden a anomalías de orden local o se ven influidos por las características hidrogeológicas del área a escala regional.

5.2 Oxígeno Disuelto

Para el oxígeno disuelto se presenta el análisis por unidad geológica, mostrando la tendencia de las concentraciones en los años analizados (2022 y 2023) y de acuerdo con las tres temporadas del año hidrológico.

No obstante, para Formación Caja N2-c, se presentan valores máximos superiores a 7 mg/L , específicamente en las muestras del Pozo Maute del expediente LAM5281 y MSB-LAM5995-





005, temporada humedad y transición respectivamente, concentraciones que pueden estar asociadas a los procesos de recarga y tránsito en esta formación.

En la **Ilustración 13**, se presentan las concentraciones de los puntos que captan de los depósitos Cuaternarios en la zona de estudio, donde se evidencia aumento en la concentración del parámetro analizado en la unidad depósitos antrópicos a lo largo del año 2023, en comparación con los registros reportados en el año 2022, así mismo, en la unidad Depósitos Aluviales Formación Cuesta, se observa un leve aumento para la temporada húmeda y seca en los puntos asociados al expediente LAM1203, los demás puntos indican concentraciones similares para los periodos y temporadas analizadas.

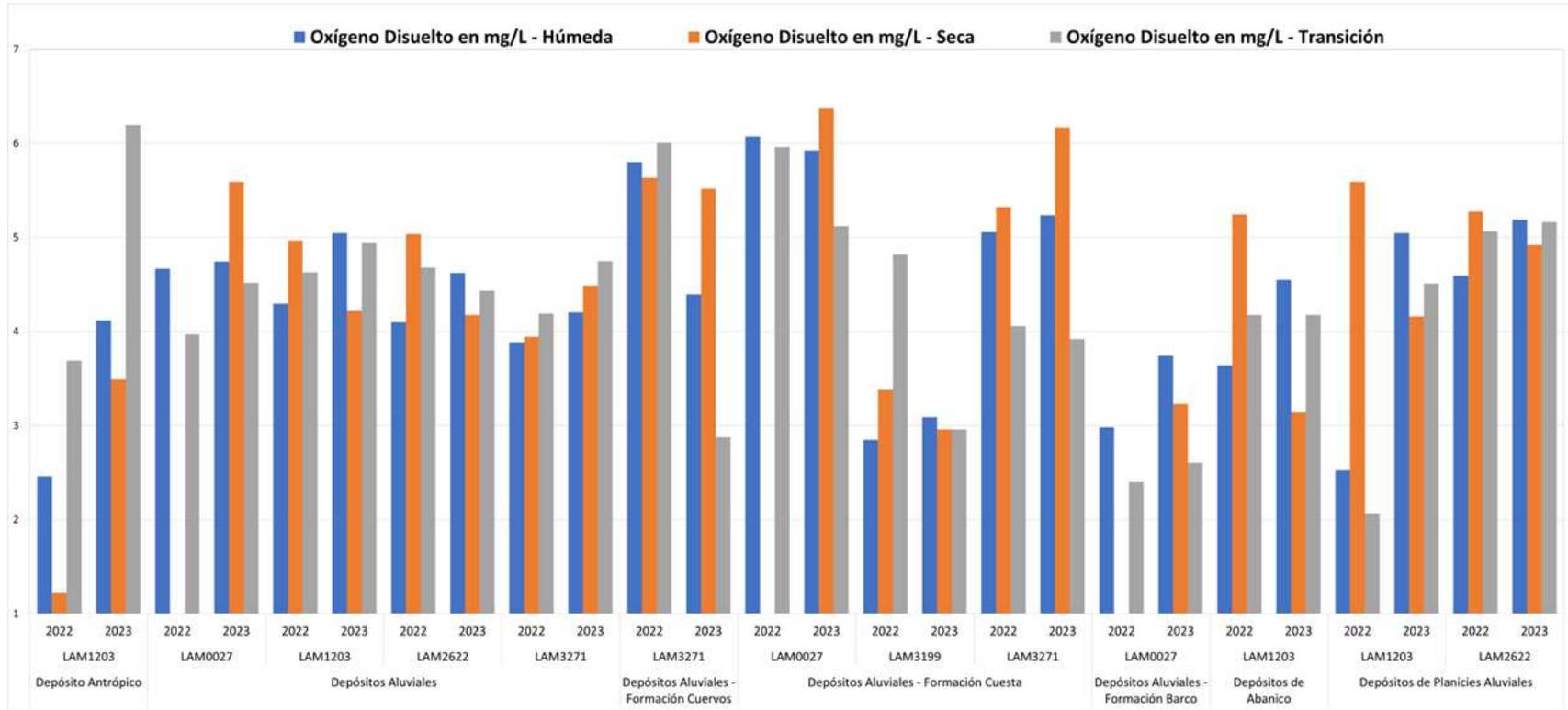
En la **Ilustración 14**, se presentan las concentraciones de oxígeno disuelto en los puntos que captan de las Formaciones Terciarias, donde se evidencian aumentos en las concentraciones del parámetro analizado en el año 2023 respecto a los registros reportados en el año 2022, en la Formación Cuervos temporada seca en el expediente LAM1203, así mismo en las temporadas húmeda y transición en la Formación Cuesta para los expedientes LAM1862, LAM3199 y LAM327; los demás datos reportados muestran una tendencia similar para los periodos de tiempo analizados (2022 y 2023).

No obstante, teniendo en cuenta que la Formación Cuesta corresponde a un acuífero libre, el aumento en las concentraciones en la temporada húmeda y de transición puede estar asociado a procesos de recarga por infiltración directa





Ilustración 13. Oxígeno Disuelto en Depósitos Cuaternarios

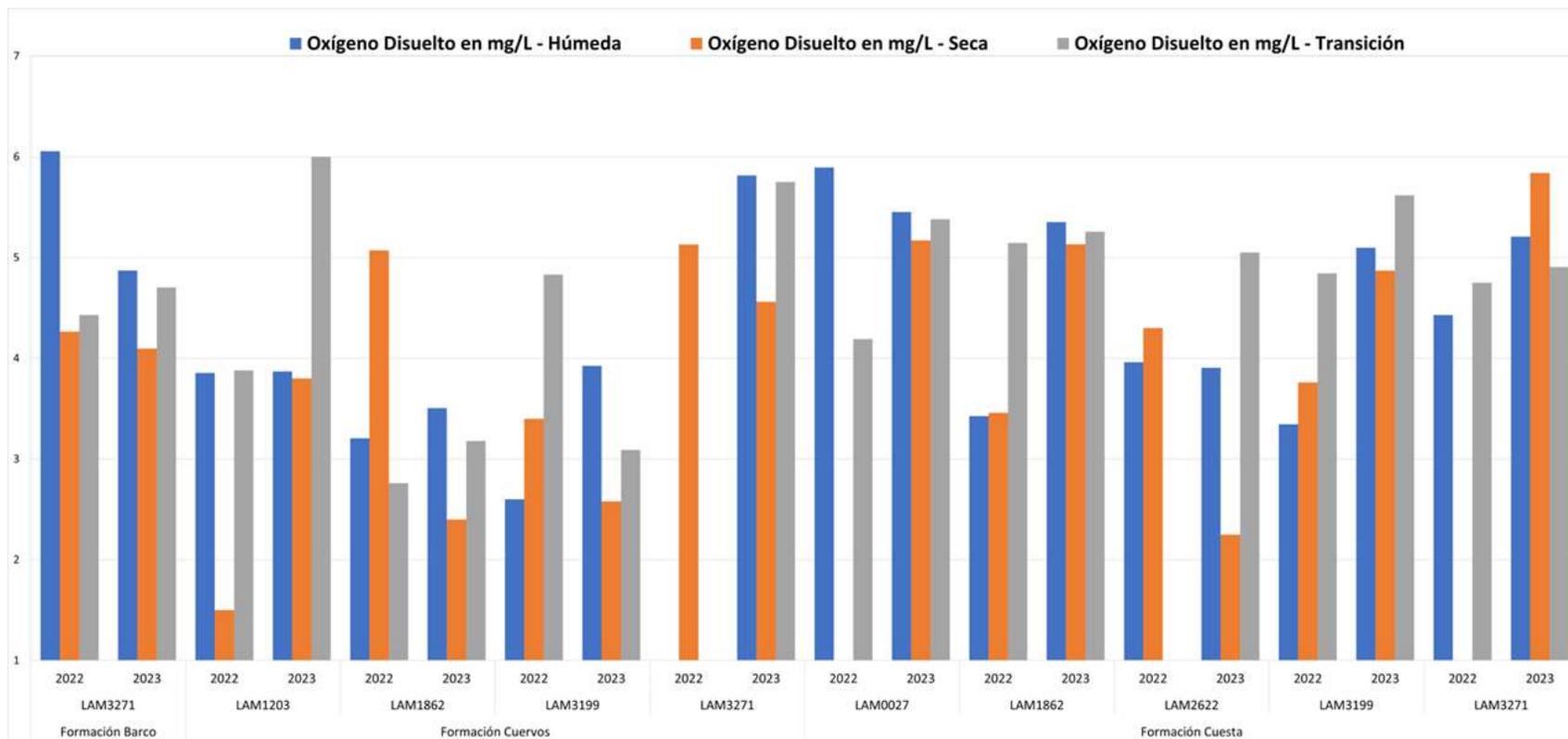


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024





Ilustración 14. Oxígeno Disuelto en Formación del Terciario



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





5.3 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 del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro Del Cesar - 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 estrategia. Así pues, en este análisis se tienen en cuenta monitoreos de nivel estático de los años 2022 y 2023 para cada una de las épocas climáticas: estiaje, transición y lluvia.

Es preciso mencionar, que no se cuenta con información de todos los puntos de agua en todas las campañas de monitoreo dado que en algunas captaciones no fue posible la toma del nivel por encontrarse secas al momento de la medición o simplemente no fueron reportados sus datos por parte del licenciataria, situación que será validada en los respectivos seguimientos de los proyectos.

A continuación, se presenta el comportamiento de la profundidad del nivel estático por unidad geológica y temporada climática.

5.3.1 Depósitos Cuaternarios

Como se puede observar en las siguientes ilustraciones, se realiza el comparativo de las profundidades de los niveles estáticos medidos entre los años 2022 y 2023 para la misma época climática; si bien hay puntos de agua, principalmente piezómetros que mantienen casi constante la profundidad de la lámina de agua con variaciones mínimas en el año; varios pozos concesionados presentan diferencias del nivel estático del orden de metros entre las épocas climáticas de un mismo año y tendencia en algunos puntos a mayores profundidades en el año 2023 con respecto al año anterior.

En general, los puntos de agua que presentan mayores profundidades del nivel estático, entre los 10 m y 25 m, independientemente de la época climática, corresponden con los que captan la mezcla de aguas entre el Depósito Aluvial y la Formación Barco; de las demás unidades el promedio de profundidad del nivel se ubica por encima de los 10 m, de manera específica en algunos puntos de agua el nivel es más profundo para algunas campañas.

Es posible que el comportamiento observado se asocie con la variación de los regímenes de precipitación que se han venido presentando los últimos años, asociados al cambio climático, que indiquen directamente en la recarga de los acuíferos cuaternarios y por ende en la dinámica del agua subterránea, no obstante, este aspecto será objeto de verificación una vez se cuente con un mayor número de campañas de monitoreo a partir de las cuales sea posible identificar estos escenarios.

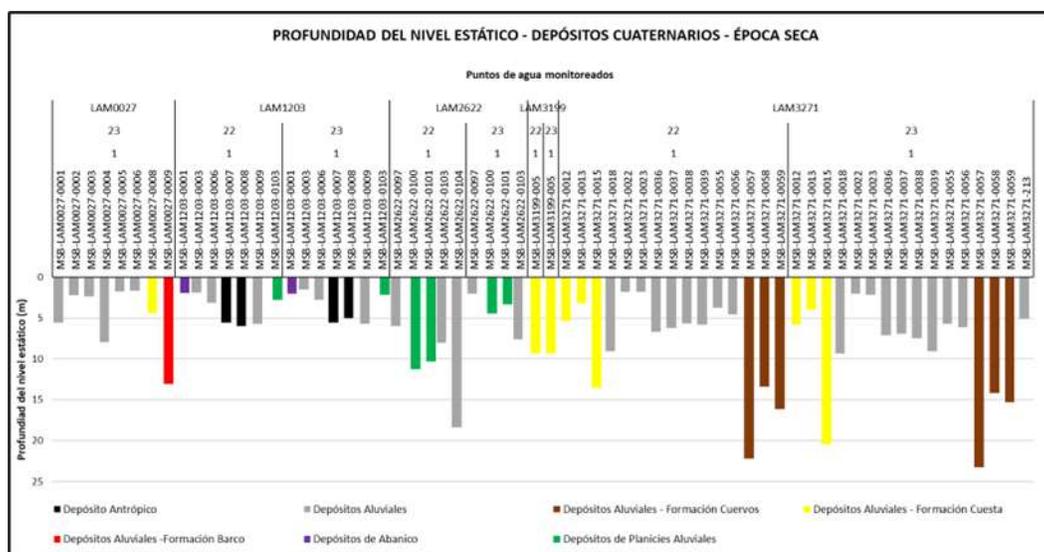
No obstante, en algunos puntos de agua, principalmente en pozos, se observan mayores profundidades del nivel estático en las épocas húmedas con respecto a los períodos de verano, donde se presume que el volumen de agua que se infiltra es menor o nulo, por tanto



se esperaría que se profundice la capa freática; situación que conlleva a plantear como hipótesis que las captaciones no se están dejando reposar lo suficiente (mínimo 24 horas) para que el acuífero alcance el tiempo de recuperación necesario antes de las mediciones del nivel; por lo cual, estos datos corresponderían más bien a niveles de recuperación o dinámicos; información que no permite realizar un análisis detallado de la dinámica del agua subterránea, toda vez que no se identifica un patrón de comportamiento definido de acuerdo a la variabilidad climática principalmente en este tipo de acuífero cuya principal fuente de recarga se da por la infiltración directa de la precipitación.

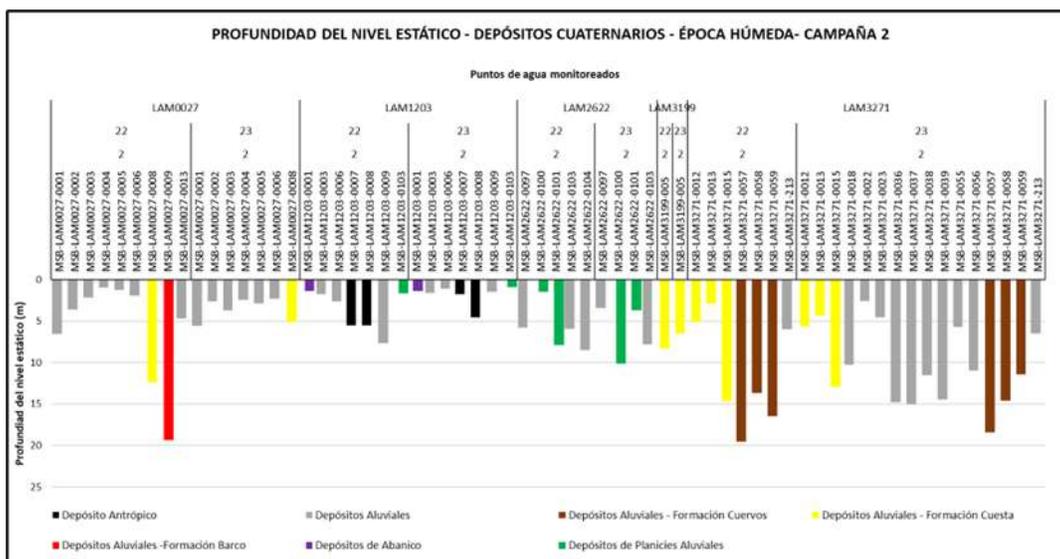
Lo descrito anteriormente será verificado de manera específica en cada uno de los seguimientos ambientales que se realicen a los proyectos involucrados en el marco de las obligaciones impuestas por la estrategia de monitoreo, a través de la comparación de los niveles estáticos medidos en una misma época, a través del tiempo y en los mismos puntos, dado que la variación debe ser mínima si el acuífero está en equilibrio.

Ilustración 15. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en los Depósitos Cuaternarios durante la época seca – Campaña 1



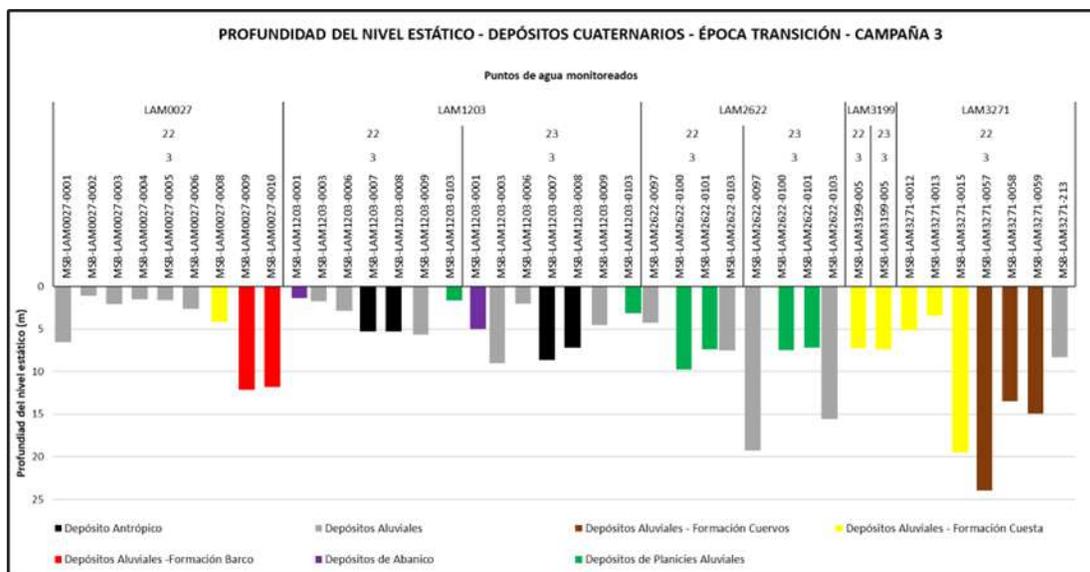
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Ilustración 16. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en los Depósitos Cuaternarios durante la época húmeda – Campaña 2



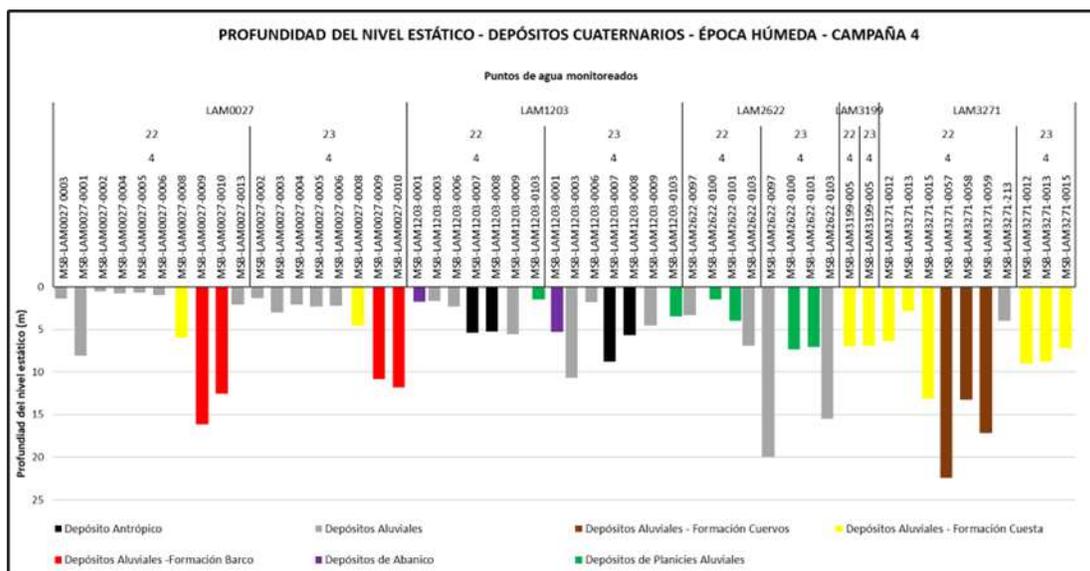
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

Ilustración 17. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en los Depósitos Cuaternarios durante la época transición– Campaña 3



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

Ilustración 18. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en los Depósitos Cuaternarios durante la época húmeda- Campaña 4



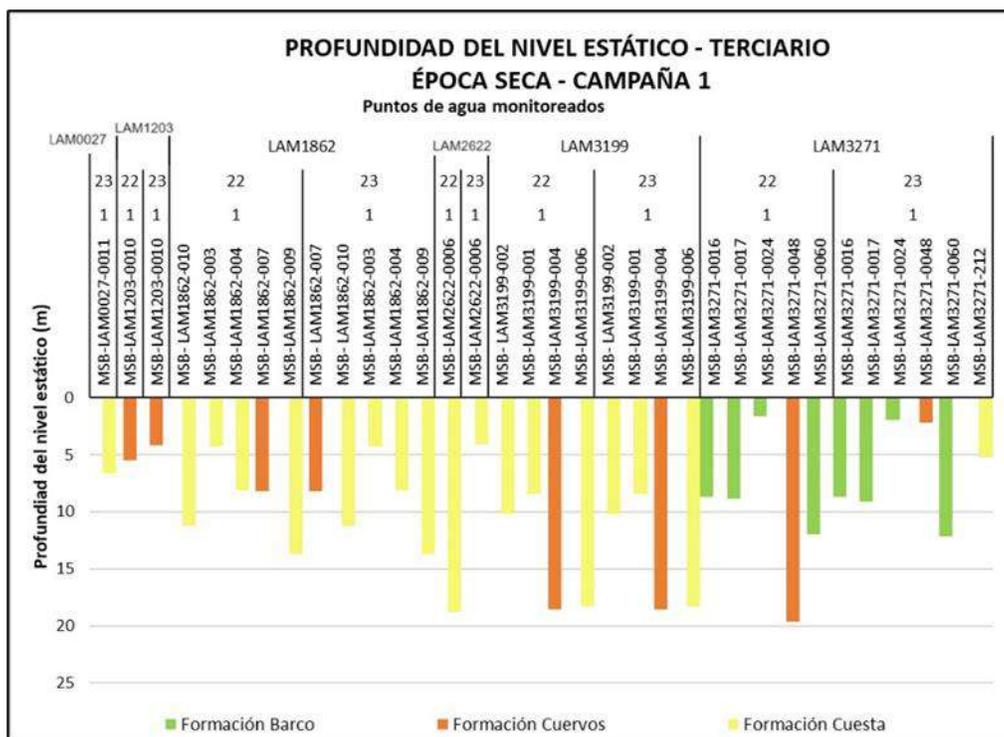
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

5.3.2 Formaciones Terciarias

Dentro de las unidades terciarias incluidas en el análisis se tienen las formaciones Cuesta, Barco y Cuervos, en su totalidad los niveles estáticos no sobrepasan los 20m de profundidad; alcanzando los valores más profundos puntualmente algunos pozos y/o piezómetros a cargo de las minas La Francia (LAM3199), Calenturitas (LAM2622) y El Descanso (LAM3271).

En la época seca, a nivel general se mantienen cercanas las profundidades medidas en los puntos de agua que presentan datos en los dos (2) años analizados.

Ilustración 19. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en las Formaciones terciarias durante la época seca – Campaña 1



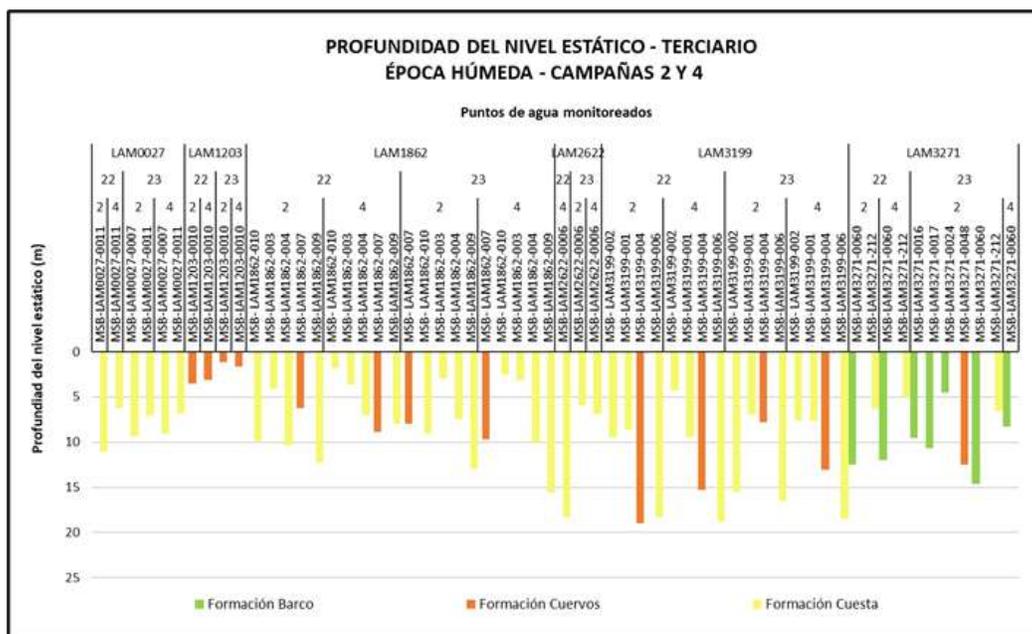
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA., 2024

En la comparación de las dos (2) épocas húmedas reportadas al año para los períodos analizados (2022 y 2023) se observa variación de profundidades para los puntos de agua, principalmente los pozos, dentro de un mismo año, es decir entre las dos épocas húmedas del mismo año se evidencian, en algunas captaciones, diferencias de metros en profundidad del nivel estático que ocasionalmente aumentan entre un año y el otro; lo cual, no obedece al comportamiento esperado, siempre y cuando los pozos se hayan dejado de bombear el tiempo necesario para que el acuífero se recupere.

En algunos piezómetros se observa el mismo comportamiento de los pozos, con diferencias notables en la profundidad del nivel piezométrico entre las dos épocas húmedas de un mismo año, lo cual posiblemente puede obedecer a que estos puntos se ven afectados por la extensión del cono de abatimiento de los pozos.



Ilustración 20. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en las Formaciones terciarias durante la época húmeda – Campañas 2 y 4



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

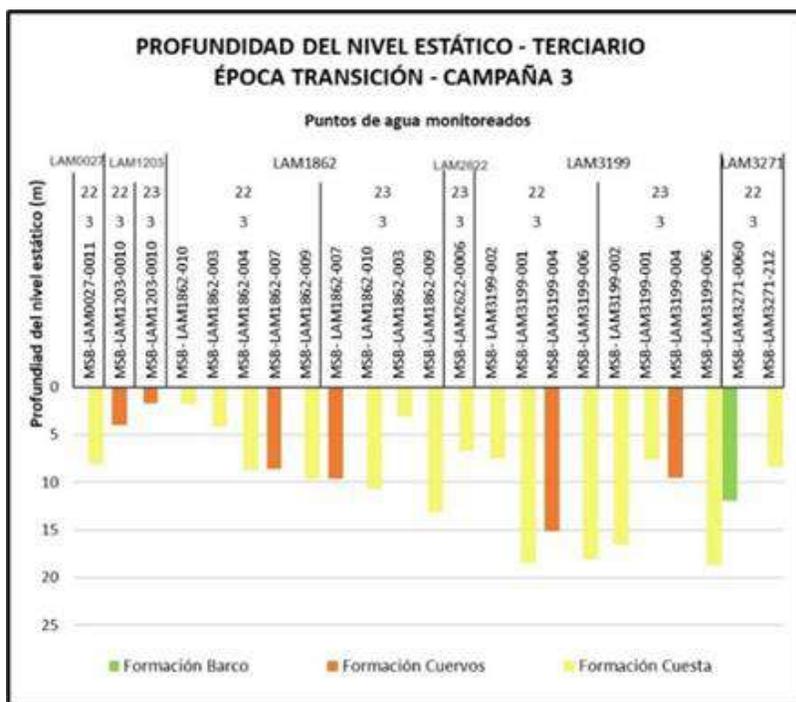
En la época de transición, al igual que en las otras dos (2) épocas se observan diferencias en la profundidad del nivel estático medido entre los años 2022 y 2023 principalmente en los pozos concesionados.

Con lo anterior se concluye, que en efecto es posible que los pozos no estén siendo apagados con la suficiente anticipación a la medición del nivel estático para garantizar que el acuífero se recupere hasta encontrar su equilibrio, por lo cual es probable que los datos que estén reportando algunas empresas correspondan con niveles dinámicos o de recuperación. Situación que deberá ser corroborada de manera específica en los seguimientos ambientales de cada proyecto.





Ilustración 21. Comportamiento de la profundidad del nivel estático en las Formaciones terciarias durante la época transición – Campaña 3



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

Adicionalmente, a continuación, se expone el comportamiento de la piezometría y direcciones de flujo identificadas en el área de la estrategia, clasificándose por unidad geológica como: Depósitos Cuaternarios y Formación Cuesta, que corresponden a las unidades con mayor cantidad de captaciones de agua subterráneas.

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.

En virtud de lo anterior, se identificó la superficie piezométrica a partir de los registros de niveles piezométricos medidos en las campañas de monitoreo realizadas en los años 2022 y 2023, específicamente para los Depósitos Cuaternarios y la Formación Cuesta, debido a que cuentan con una cantidad de datos suficientes para lograr realizar el análisis espacial adecuado y la mayor extensión de afloramiento en el área de la estrategia.

En la **Ilustración 22** se observa como para los Depósitos Cuaternarios, independientemente de la época climática, la superficie piezométrica se profundiza en dirección oriente – occidente y el flujo del agua subterránea se mueve en sentido nororiental – suroccidental hacia el curso del río Cesar, que se desplaza de sur a norte por el costado occidental del área de la estrategia de monitoreo, coincidiendo esto con la dirección regional del drenaje

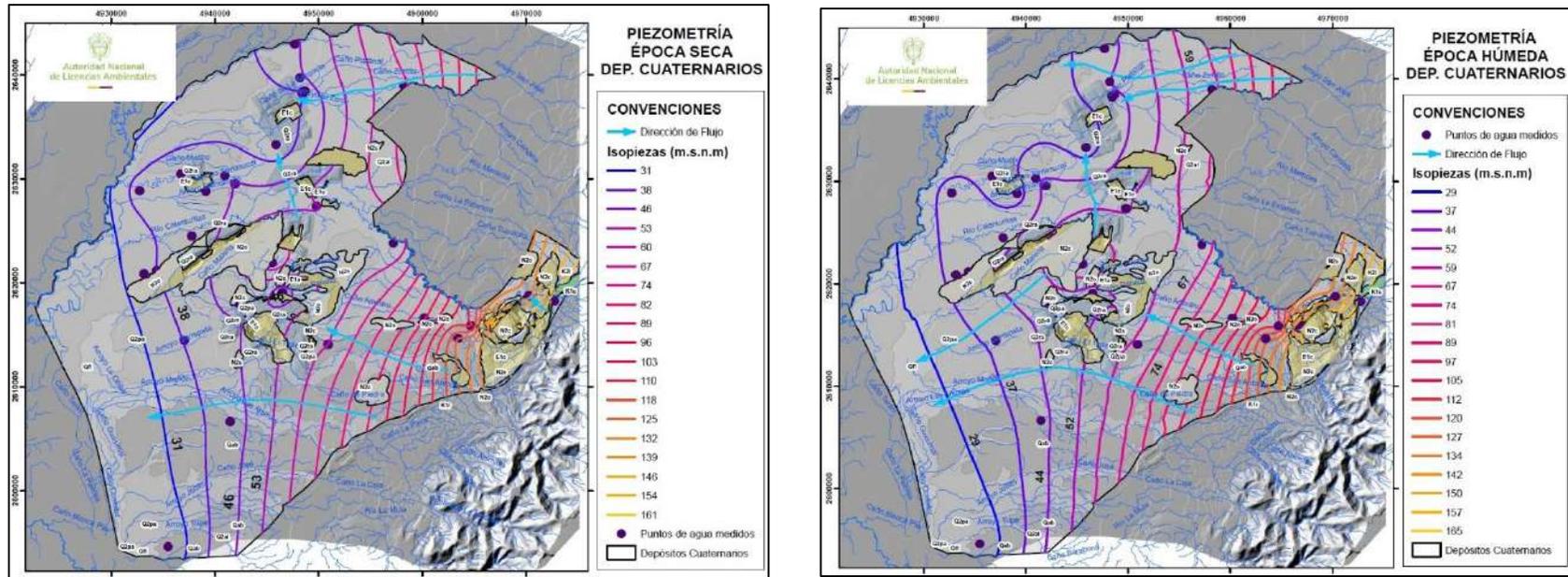


superficial y el subterráneo identificado en el MHCR (radicado 2017075891-1-000 del 15 de septiembre de 2017).

Respecto a la superficie piezométrica del acuífero de la Formación Cuesta (**Ilustración 23**) se observa que esta oscila entre los 32 y 55 m.s.n.m., en el área más extensa de afloramiento, el flujo subterráneo está posiblemente direccionado localmente hacia los tajos mineros y retrolenados, constituyéndose estos probablemente en pequeñas áreas de descarga del acuífero. Si bien, en esta zona coinciden el trazo de las fallas La Loma, El Tigre y El Hatillo se desconoce la incidencia de estas estructuras en el comportamiento hidráulico del acuífero dado que no se cuenta con un cubrimiento de puntos de agua suficiente en esta área para poder obtener una distribución más detallada de la superficie piezométrica y de la dirección de flujo. Por lo cual, se recomienda hacer un análisis del comportamiento hidráulico del acuífero con un mayor cubrimiento de puntos de agua asociado a las estructuras tectónicas, con el fin de confirmar la incidencia de estas en el flujo del agua subterránea, aspecto que será verificado y solicitado a los proyectos involucrados en la estrategia a través de la Subdirección de Seguimiento de Licencias Ambientales - SSLA.



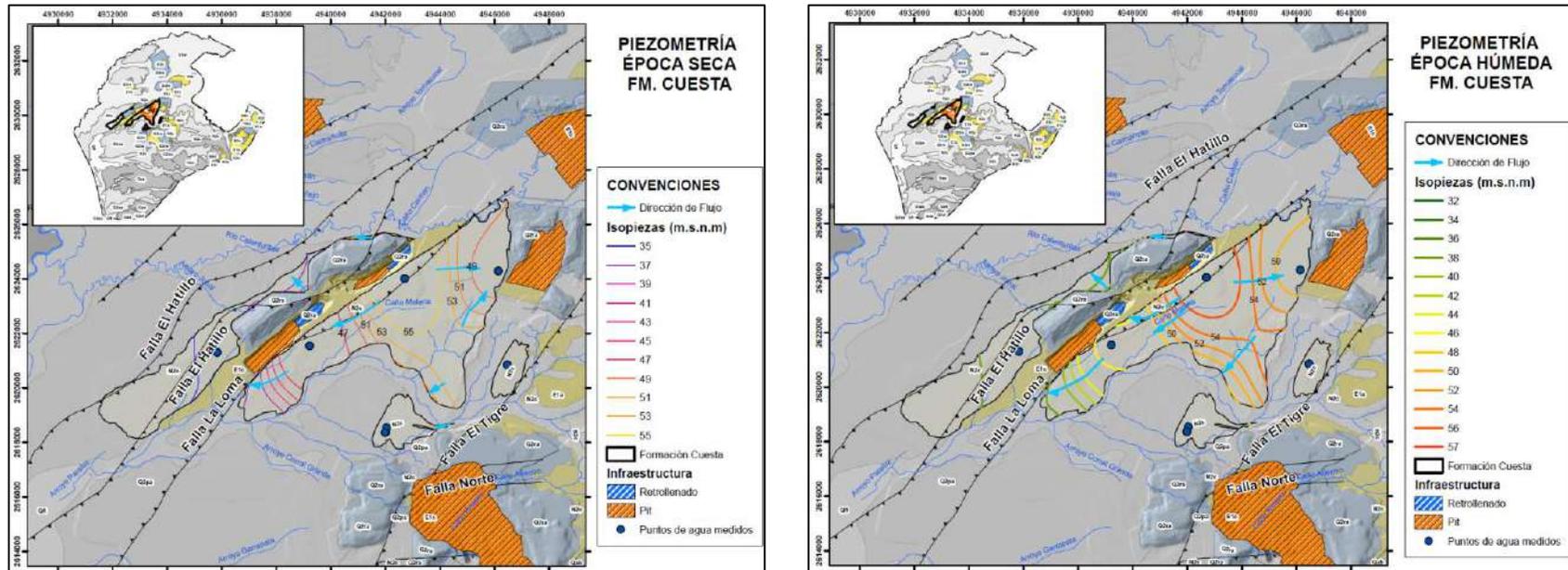
Ilustración 22. Piezometría – Acuíferos cuaternarios, época seca (izquierda) y época de lluvias (derecha)



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



Ilustración 23. Piezometría – Formación Cuesta, época seca (izquierda) y época de lluvias (derecha)



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

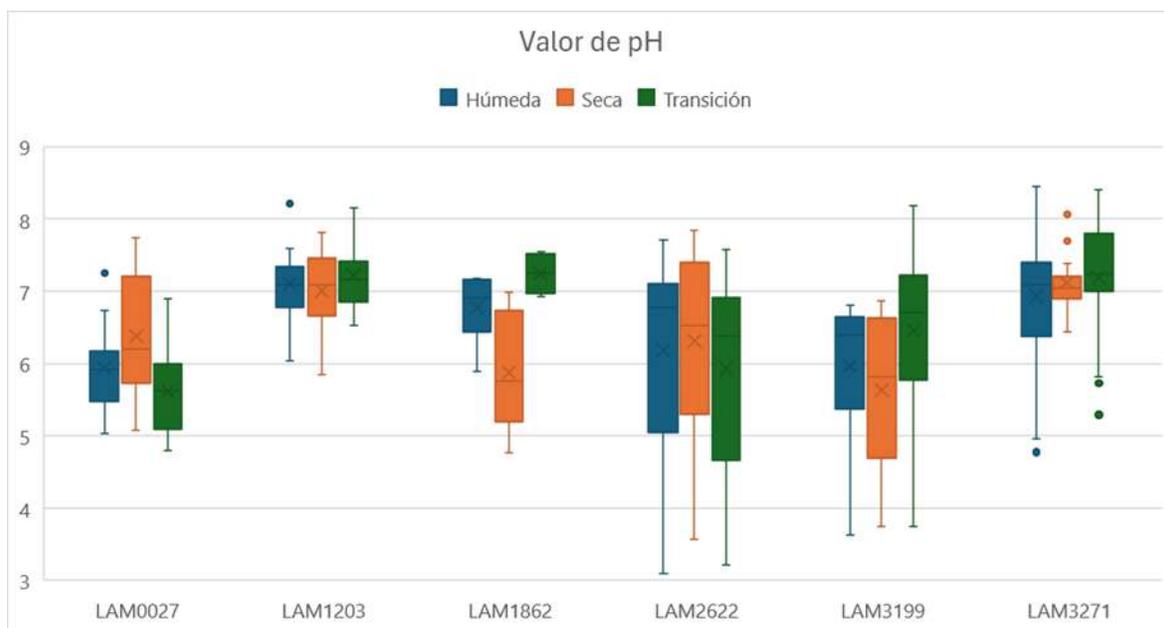




5.4 pH

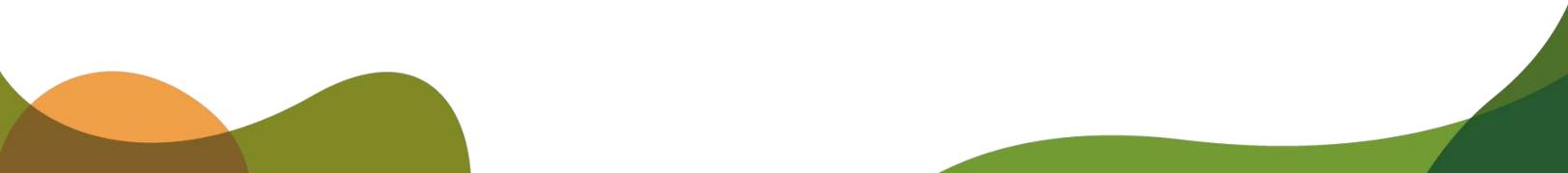
En la Ilustración 24 se presenta el análisis del pH para el periodo 2023, en las tres temporadas y teniendo en cuenta el comportamiento por expediente.

Ilustración 24. Valor de pH en el año 2023



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

De acuerdo con lo observado, se puede indicar, que en la zona de estudio para el periodo de análisis los valores de pH están entre 5.0 y 7.5 unidades, manteniendo una tendencia indiferenciada para todas las épocas climáticas, por lo que no se evidencian posibles afectaciones al agua subterránea relacionadas con los registros de este parámetro. No obstante, se identifican valores con tendencia fuera del promedio en los expedientes LAM2622 muestra MSB-LAM2622-006 Concentración 2.3, temporada húmeda, LAM3199 muestra MSB-LAM3199-004, temporada transición y LAM3271 muestra MSB-LAM3271-0013, temporada húmeda, información que es concordante con el análisis del año 2022 presentado en el documento “ESTRATEGIA DE MONITOREO REGIONAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR, ANÁLISIS REGIONAL PRIMER AÑO DE MONITOREO, MARZO 2023”. Dicha situación puede deberse a posibles mezclas de aguas provenientes de los yacimientos mineros explotados, cuya composición de minerales tal vez resulte 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.

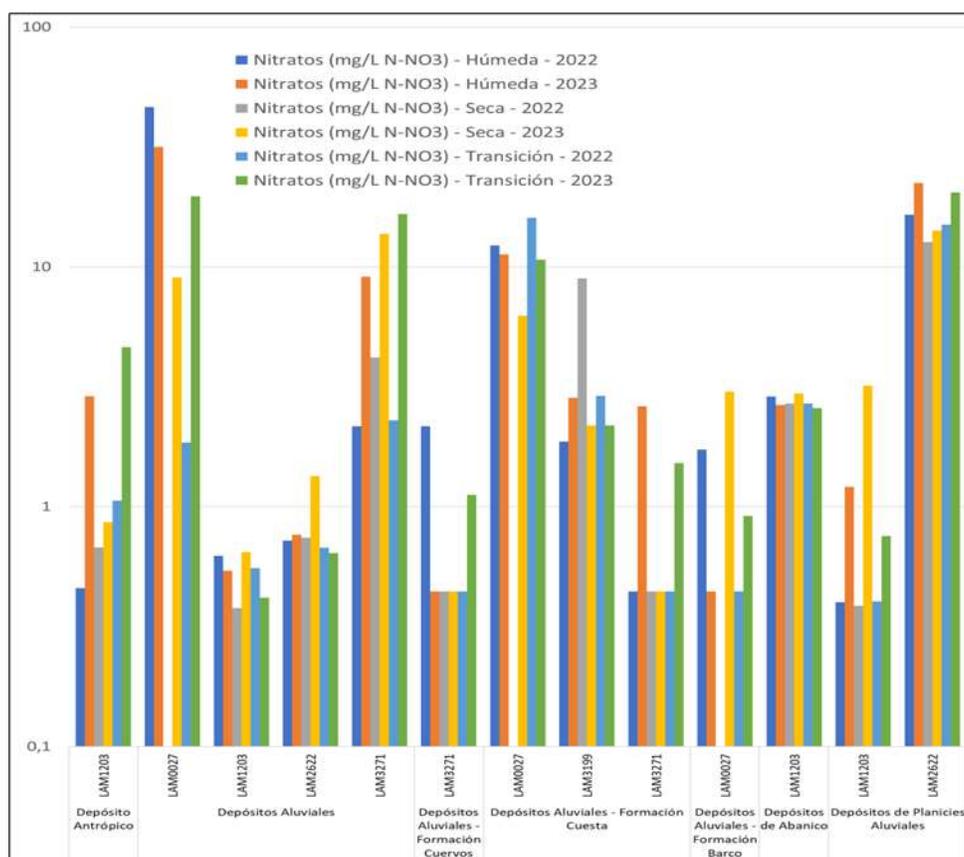




5.5 Nitratos y nitritos

A partir de los monitoreos considerados en el presente análisis regional, se evidenció que los nitritos, en la mayoría de los datos reportados por las empresas mineras, no excede el límite de cuantificación, mostrando que no se presenta una alteración en la calidad del agua por la presencia de estos compuestos a nivel regional. Por otro lado, para el periodo analizado (2022-2023), el parámetro de nitratos presenta valores por encima del límite permisible establecido en el Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 (10 mg/L), específicamente en las unidades Depósitos Aluviales y Depósitos Aluviales - Formación Cuesta, en los expedientes LAM0027 y LAM3271, así como en la unidad Depósitos de Planicies Aluviales en el Expediente LAM2622, tal como se observa en la **Ilustración 25**.

Ilustración 25. Concentraciones de nitratos (2022-2023) – Depósitos Cuaternarios



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

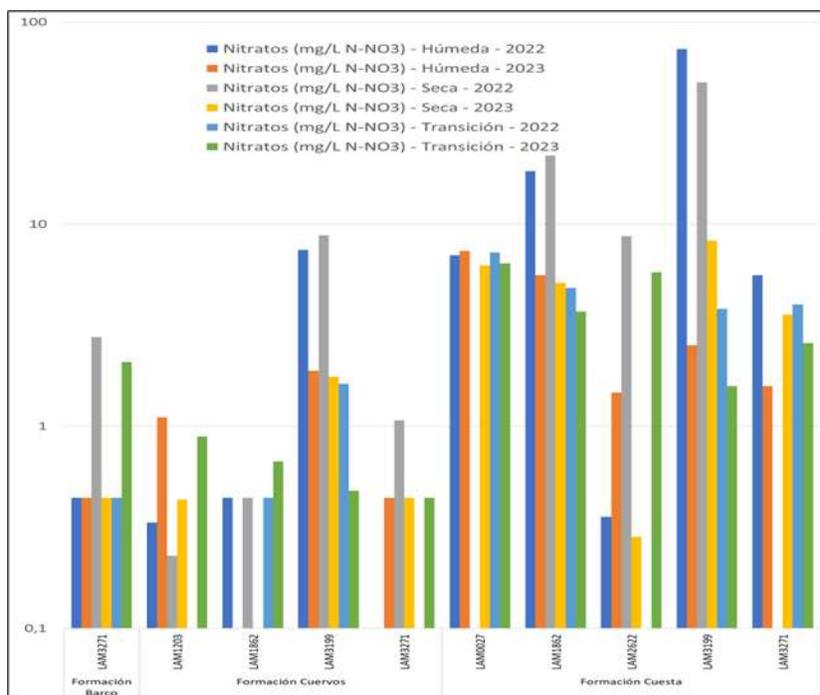
Teniendo en cuenta la tendencia al aumento del parámetro nitrógeno en las unidades superficiales en el periodo analizado, es importante solicitar a los licenciarios el análisis para determinar las posibles causas de estas concentraciones.





Para los puntos que captan de las unidades del Terciario se presentan concentraciones superiores al límite permisible establecido en el Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 (10 mg/L), específicamente en el año 2022 para la unidad Formación Cuesta (temporadas humedad y seca), en los expedientes LAM1862 y LAM3199; no obstante, se observa un decrecimiento de dicha concentración para las mismas temporadas en el año 2023 (Ilustración 26).

Ilustración 26. Concentraciones de nitratos (2022-2023) – Formaciones Terciarias



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

5.6 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 los años 2022 y 2023. 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, de planicies aluviales y antrópicos.
- Depósitos Aluviales - Formación Barco.
- Depósitos Aluviales – Formación Cuervos.
- Depósitos Aluviales – Formación Cuesta.
- Formación Barco.
- Formación Cuervos.
- Formación Cuesta.

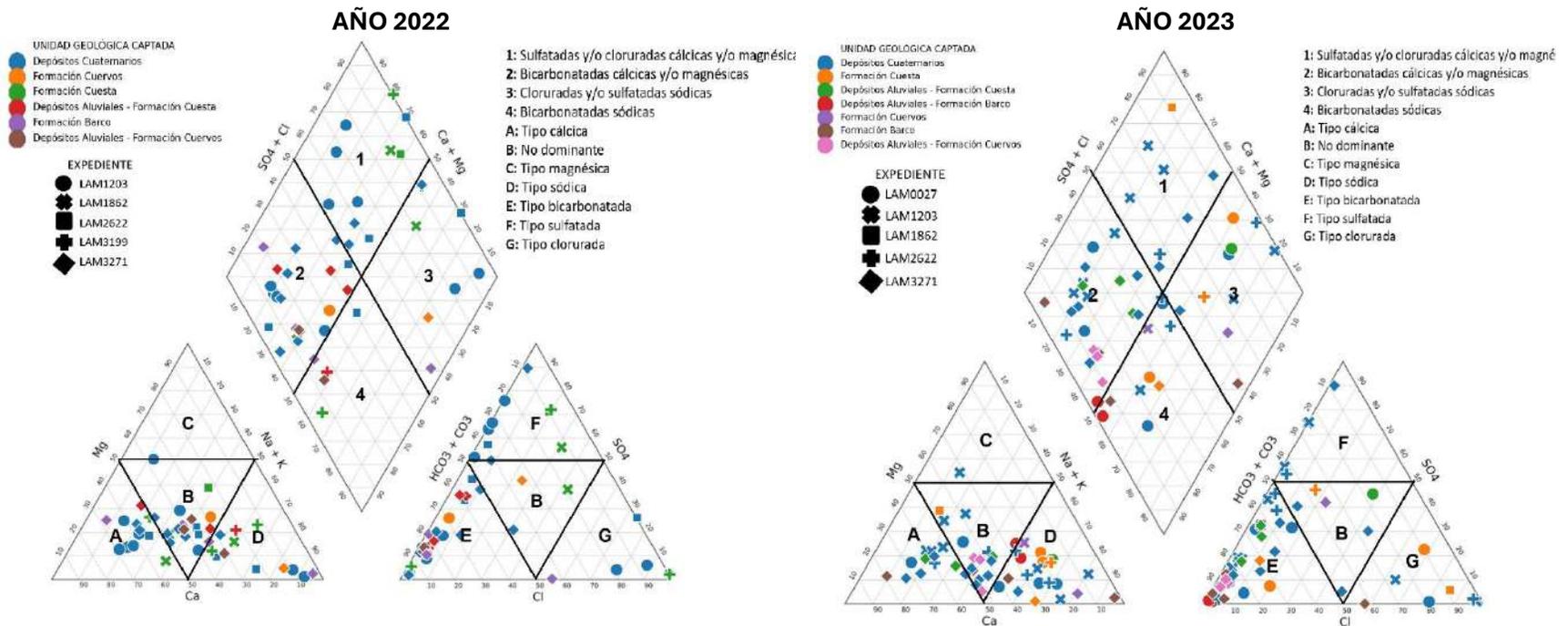
Con el fin de sintetizar el análisis, primero se muestran los diagramas de Piper por cada temporada climática, para cada uno de los años analizados, y posteriormente, en la **Tabla 3** se describen las composiciones hidrogeoquímicas predominantes del agua subterránea en el área de la estrategia, haciendo una discusión por cada una de las unidades geológicas analizadas.





5.6.1 Temporada seca (diciembre – marzo)

Ilustración 27. Diagramas de Piper para la temporada seca - Monitoreo años 2022 y 2023

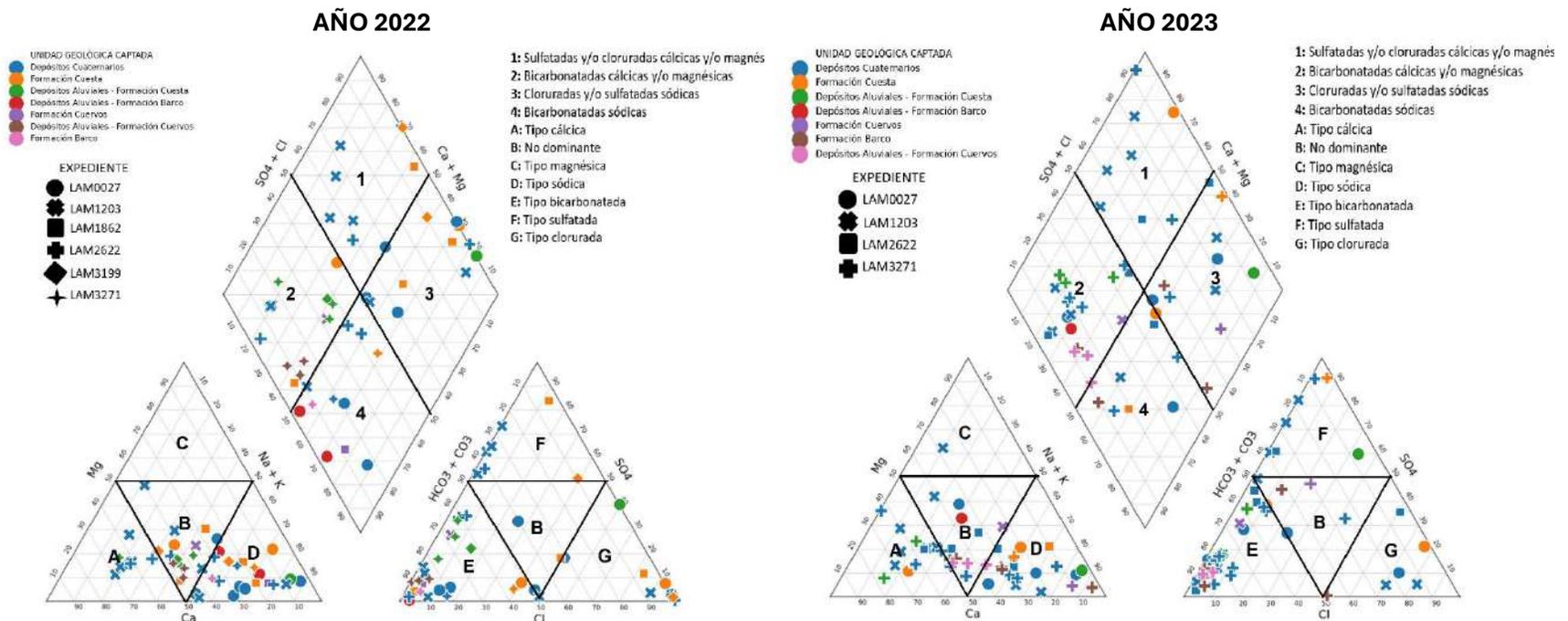


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024.



5.6.2 Temporada húmeda (abril – junio)

Ilustración 28. Diagramas de Piper para la temporada seca - Monitoreo años 2022 y 2023



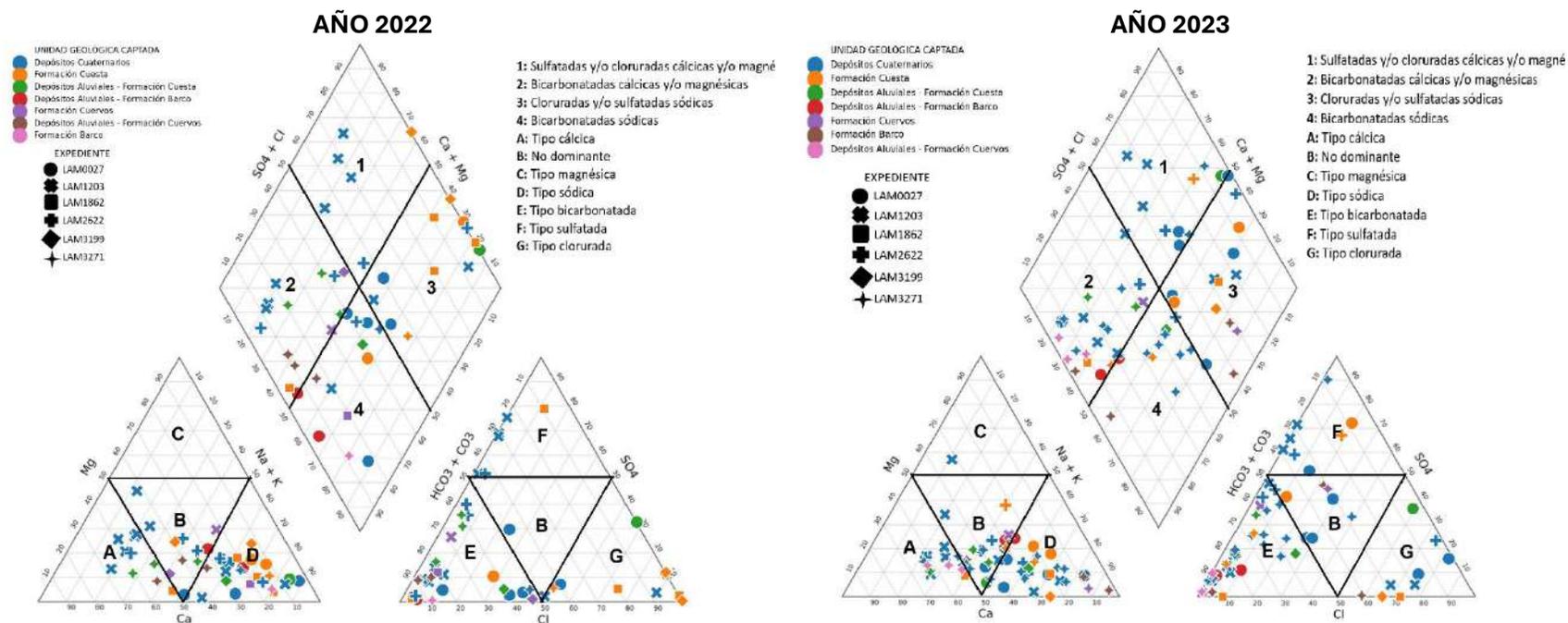
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024.





5.6.3 Temporada transición (julio – agosto)

Ilustración 29. Diagramas de Piper para Piper para la temporada de transición - Monitoreo años 2022 y 2023



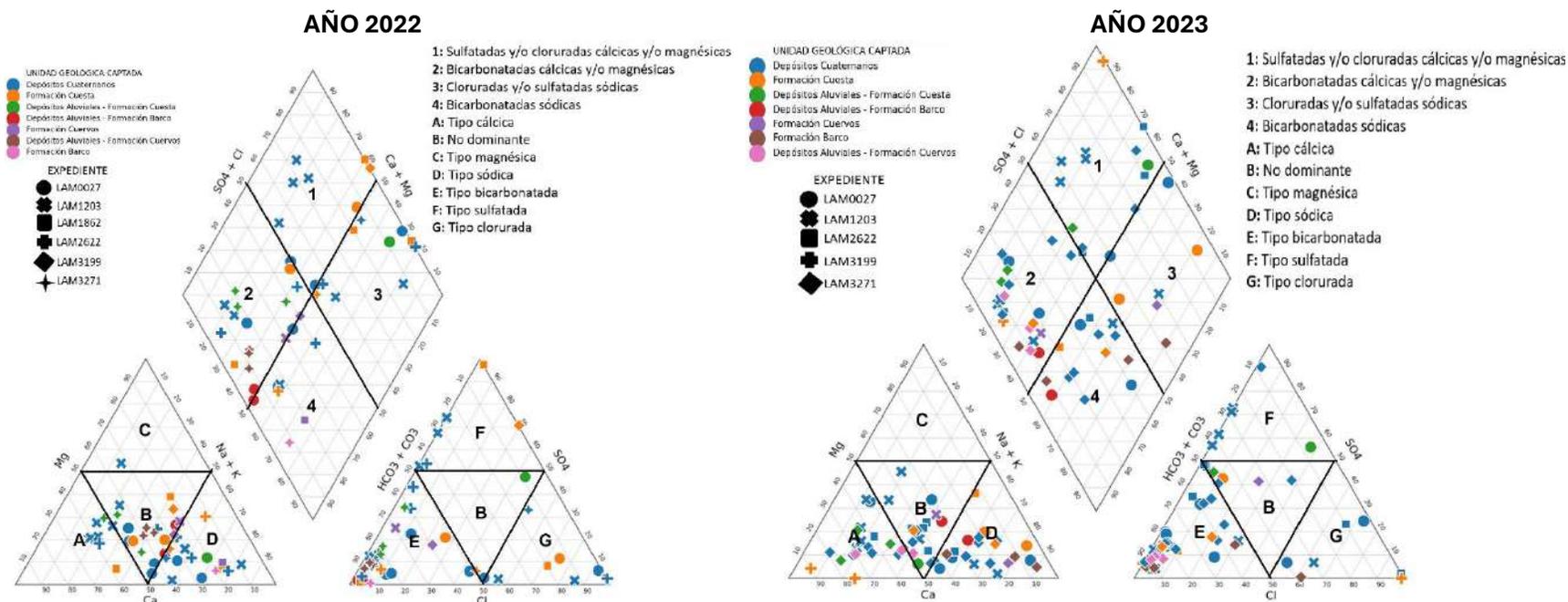
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024.





5.6.4 Temporada húmeda (septiembre – noviembre)

Ilustración 30. Diagramas de Piper para la segunda temporada húmeda - Monitoreo años 2022 y 2023



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





Tabla 3. Resumen de la composición hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de la estrategia, descrita de acuerdo con la unidad geológica captada

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	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Seca	Diciembre - Marzo	Bicarbonatada cálcica y sulfatada-clorurada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica y sulfatada-clorurada cálcica	Ninguna muestra cumple con criterio de error analítico	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica y sulfatada sódica	Bicarbonatada cálcica y clorurada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada sódica	Bicarbonatada cálcica y sulfatada sódica	Sulfatada cálcica y bicarbonatada cálcico-sódica	Clorurada sódica y bicarbonatada sódica	
Húmeda	Abril - Junio	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcica y clorurada sódica	Bicarbonatada cálcica y sulfatada sódica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada sódica-cálcica y clorurada-sulfatada sódica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada sódica y sulfatada sódica	Clorurada sódica y bicarbonatada cálcico-sódica	Clorurada-sulfatada cálcico-sódica y bicarbonatada sódica
Transición	Julio - Agosto	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada cálcico-sódica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada sulfatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada sulfatada sódica	Clorurada sódica y bicarbonatada cálcico-sódica	Clorurada-sulfatada sódica y bicarbonatada cálcico-sódica
Húmeda	Septiembre - Noviembre	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada cálcica y clorurada-sulfatada sódica	Bicarbonatada cálcica y clorurada-sulfatada cálcica	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica y clorurada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica	Bicarbonatada cálcica y sulfatada sódica	Clorurada-sulfatada cálcico sódica y bicarbonatada cálcico sódica	Bicarbonatada cálcica- sódica y clorurada cálcico sódica

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





Una vez se analizan en conjunto los diagramas de Piper para todas las campañas de monitoreo realizadas, se pueden establecer algunas generalidades y conclusiones respecto a la composición hidroquímica del agua subterránea en la ZMCC, las cuales se resumen a continuación y fueron igualmente resumidas en la Tabla 3.

- El agua subterránea de los Depósitos Cuaternarios a lo largo de los años hidrológicos 2022 y 2023 no presentó una clasificación hidroquímica marcada, pues para todas las campañas de monitoreo se registraron composiciones variadas, si bien se observa un predominio de aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas 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 registraron composiciones de tipo cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas.
- La mezcla de agua de los Depósitos Aluviales - Formación Barco para la mayoría de las temporadas analizadas de los años 2022 y 2023 mostró una composición hidroquímica predominante de tipo bicarbonatada cálcica y sódica. Por su parte, la mezcla de agua de los Depósitos Aluviales - Formación Cuervos, para este mismo periodo registró una composición predominante de tipo bicarbonatada cálcica y en algunas campañas del año 2022 también sódica. Ahora bien, la mezcla Depósitos Aluviales - Formación Cuesta, a diferencia de las dos anteriores, si bien también presenta en algunos puntos una composición de tipo bicarbonatada cálcica y sódica, en la mayoría de las campañas varios puntos resultaron ser de aguas cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas, es decir que en esta última mezcla no hay un comportamiento marcado en la composición del agua subterránea.
- El agua subterránea de la Formación Barco y la Formación Cuervos a lo largo del año 2022 presentó una clasificación predominante de tipo bicarbonatada sódica y cálcica, y si bien para el año 2023 varios puntos registraron esta misma composición, también se registraron aguas de tipo cloruradas y sulfatadas sódicas.
- El agua subterránea de la Formación Cuesta a lo largo de los años hidrológicos 2022 y 2023 no presentó una clasificación hidroquímica predominante, pues se observaron aguas de tipo clorurada y sulfatada cálcica y sódica, como también composiciones de tipo bicarbonatada cálcica y sódica.

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

- En la mayoría de los casos, la composición hidroquímica del agua subterránea de los Depósitos Cuaternarios permite establecer que se trata de flujos de agua con recorridos y tiempos de almacenamiento cortos, como es de esperarse en estos niveles más someros, los cuales están directamente influenciados por la infiltración directa de la precipitación. No obstante, también se registraron composiciones en donde predominan los iones cloruros y sulfatos, los cuales pueden indicar ya sea





tiempos de recorrido mayores y por ende un mayor tiempo de residencia del agua dentro de los niveles acuíferos, o alguna afectación por actividades antrópicas en superficie, condición que se puede verificar a través de los análisis de tendencia de otros parámetros, como conductividad, pH, metales y metaloides, que indiquen valores superiores a los identificados en la línea base o que estén por encima del promedio regional, lo cual se analiza en el numeral 5.10 del presente documento y se verifica de manera específica en los seguimientos ambientales correspondientes.

- En cuanto a las mezclas de agua, en el caso de los Depósitos Aluviales - Formación Barco y Depósitos Aluviales - Formación Cuervos es posible evidenciar que la composición del agua subterránea está mayormente influenciada por los aportes de los niveles más someros, pues hidroquímicamente son aguas de recorridos y tiempo de almacenamiento cortos. Ahora bien, la mezcla Depósitos Aluviales - Formación Cuesta, a diferencia de las dos anteriores, si bien también presenta influencia de los niveles someros, en donde predominan las aguas bicarbonatadas, hay varios puntos donde prevalece la composición de la unidad más profunda, dado que hidrogeoquímicamente se trata de aguas algo más evolucionadas dentro del ciclo hidrológico, donde las concentraciones de los iones cloruros y sulfatos son mayores.
- La composición hidroquímica del agua subterránea de la Formación Barco y la Formación Cuervos permite establecer que en estas unidades prevalecen los flujos locales o de recorridos más cortos, condición que puede deberse al afloramiento de estas formaciones en superficie o su disposición muy cerca de esta, dado que por ser unidades más antiguas se esperarían aguas que en su composición reflejaran tiempos de residencia mayores dentro del acuífero.
- No se observó una clasificación clara que determinara la composición hidroquímica del agua subterránea de la Formación Cuesta, registrándose aguas cloruradas y sulfatadas, como también bicarbonatadas. Es importante aclarar que en el diagrama de Piper se muestran concentraciones relativas, y si bien se registran composiciones variadas, al analizar los diagramas de Stiff de esta unidad se destaca que el grado de mineralización del agua subterránea de la Formación Cuesta es muy bajo; es decir que las aguas de tipo cloruradas y sulfatadas no necesariamente están indicando tiempos de recorrido más largos y/o un tiempo de almacenamiento mayor dentro del acuífero. En tal sentido, es necesario analizar los otros parámetros monitoreados en el marco de la estrategia, como conductividad, pH, compuestos nitrogenados, metales y metaloides, de tal manera que sea posible establecer si la composición hidroquímica de la Formación Cuesta está o no influenciada por actividades antrópicas desarrolladas en superficie.





5.7 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, los cuales fueron realizados directamente por parte del Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo de la ANLA.

Si bien el análisis se realiza en el presente numeral, los diagramas agrupados por unidad geológica captada se encuentran en el Anexo 3. Es importante resaltar que la totalidad de los diagramas tienen la misma escala, definida de acuerdo con las concentraciones iónicas de las muestras consideradas y procurando la mejor visualización de los datos analizados, de esta manera el valor máximo en las gráficas es de 10 meq/L.

5.7.1 Depósitos Cuaternarios

Al igual que se observó con los diagramas de Piper, para estos depósitos se determinaron composiciones variadas, no obstante, existe un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas y sódicas, y si bien también existen muestras con composiciones cloruradas y sulfatadas, en la mayoría de los casos los grados de mineralización son bajos, como es de esperarse en estos niveles más someros, los cuales están influenciados por la infiltración directa de la precipitación y en donde los recorridos del flujo y tiempos de residencia dentro de las unidades acuíferas son cortos

No obstante, existen algunos puntos que presentan altos grados de mineralización, con composiciones de tipo cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas, localizados en el área de los proyectos mineros La Jagua - LAM1203 (puntos: MSB-LAM1203-0007 (PZ-41), MSB-LAM1203-0008 (PZ-42), MSB-LAM1203-0009 (PZ-46) y MSB-LAM1203-0103 (AJ-52)), Calenturitas - LAM2622 (MSB-LAM2622-0101 (PZ-8)) y El Descanso - LAM3271 (MSB-LAM3271-0036 (PZ28) y MSB-LAM3271-0055 (41-III-B-Santa Eulalia 2)), estos altos niveles de mineralización no son típicos de este tipo de depósitos, por lo tanto, sus causas deberán ser analizadas en el marco de los seguimientos de los proyectos respectivos.

5.7.2 Depósitos Aluviales - Formación Barco

A Para esta mezcla de agua la composición hidroquímica es de tipo bicarbonatada sódica y en menor proporción cálcica, con grados de mineralización bajos, lo cual permite deducir que en estos puntos existe una mayor influencia de los niveles acuíferos más someros.





5.7.3 Depósitos Aluviales - Formación Cuervos

Para esta mezcla de agua la composición hidroquímica es de tipo bicarbonatada cálcico - sódica, con grados de mineralización medios, con influencia tanto de los depósitos someros como de la formación más antigua.

5.7.4 Depósitos Aluviales - Formación Cuesta

Para esta mezcla de agua la composición hidroquímica es de tipo bicarbonatada cálcica y en menor proporción sódica, con grados de mineralización bajos y medios, con influencia tanto de los depósitos someros como de la formación más antigua.

El predominio de una composición bicarbonatada en las tres (3) mezclas antes descritas 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.

5.7.5 Formación Barco

En esta formación el agua subterránea es principalmente de tipo bicarbonatada sódica y cálcica, con grados de mineralización de medios a altos. Se resalta que el punto MSB-LAM3271-0016 (PZ08) del proyecto Mina El Descanso es el que registra mayor grado de mineralización, con un agua de tipo clorurada sódica.

5.7.6 Formación Cuervos

En esta formación el agua subterránea es principalmente de tipo bicarbonatada sódica, con grados de mineralización que van desde muy bajos a altos. Se resalta que el punto MSB-LAM3271-0048 (PZ48) del proyecto Mina El Descanso registra una composición de tipo sulfatada sódica.

5.7.7 Formación Cuesta

En el agua subterránea de esta formación no hay una composición hidroquímica predominante, no obstante, se destaca que en la mayoría de los puntos el grado de mineralización es muy bajo. En el punto MSB-LAM3199-002 (47-II-B-08 POZO) del proyecto Mina La Francia el agua es de tipo clorurada cálcica y el grado mineralización es intermedio.

5.8 Diagramas de Gibbs

Con las concentraciones medidas de los iones mayoritarios se establecieron relaciones interparamétricas que indican la proporción de los iones Na^+ y 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 mostrados en las **Ilustraciones 31 y 32**, los cuales fueron generados para cada uno de los años hidrológicos analizados (2022 y 2023),





agrupando los datos dentro de cada gráfica 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, tampoco se observan cambios significativos al comparar los años analizados. Así pues, de manera general, no se identifica en estos diagramas que los procesos geoquímicos se ajusten dependiendo del régimen de precipitación del área.

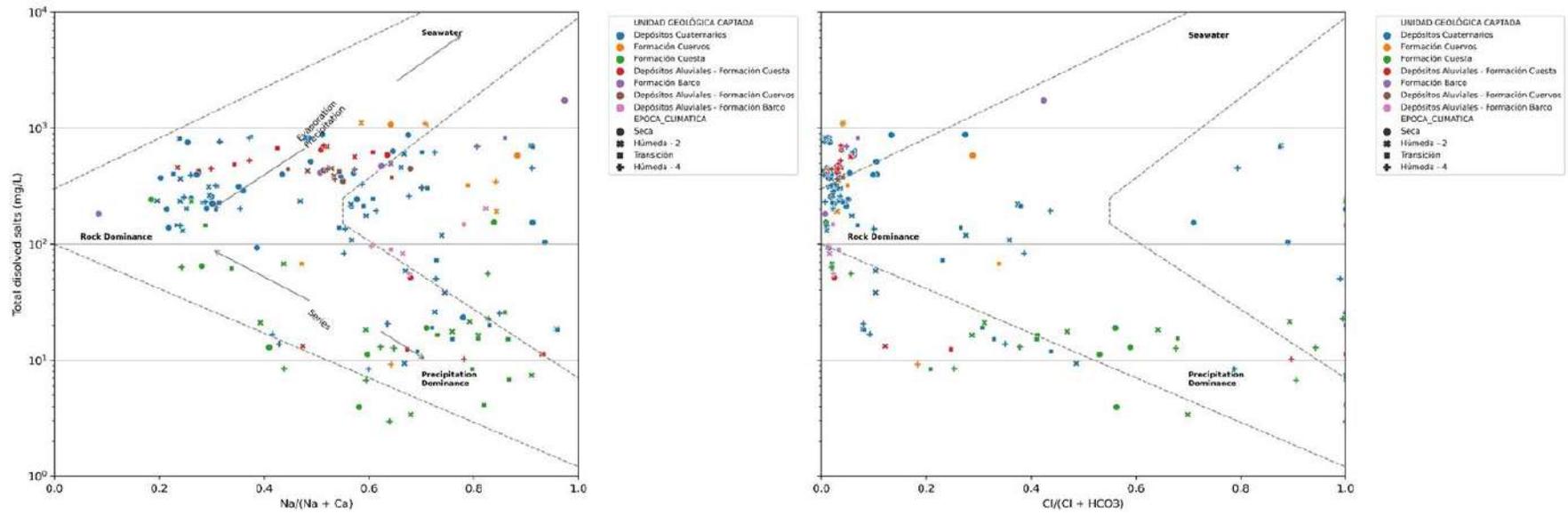
Sin embargo, si los datos son analizados de acuerdo con la unidad captada, es posible observar algunas agrupaciones que permiten deducir ciertos procesos en el comportamiento del agua subterránea dentro de cada formación geológica:

- **Depósitos Cuaternarios:** para los años 2022 y 2023 es posible identificar dos (2) procesos ocurrentes en la dinámica del agua subterránea. En primer lugar, está el proceso de intemperismo (interacción agua-roca), que es el dominante, y en segundo lugar está el proceso de precipitación meteórica (lluvia y su rápida infiltración).
- **Mezclas de agua Depósitos Aluviales - Formación Barco, Depósitos Aluviales - Formación Cuervos y Depósitos Aluviales - Formación Cuesta:** en estas mezclas de agua para los años 2022 y 2023 el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es el intemperismo (interacción agua-roca). No obstante, a partir del diagrama se puede observar que la mezcla con las formaciones Cuervos y Cuesta tienen un grado de mineralización mayor, reflejado en mayores valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT), en contraste con la mezcla de la Formación Barco, donde la mineralización es menor y existe una mayor influencia de los procesos de precipitación. Este aspecto diferencial en el grado de mineralización de las mezclas de agua subterránea también fue posible identificarlo en los diagramas de Stiff.
- **Formación Barco:** para los años 2022 y 2023 en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es el intemperismo (interacción agua-roca), adicionalmente, se puede observar influencia de procesos de evaporación.
- **Formación Cuervos:** para los años 2022 y 2023 en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es el de evaporación, aunque también se observa influencia de procesos de intemperismo (interacción agua-roca).
- **Formación Cuesta:** para los años 2022 y 2023 en esta formación el proceso dominante en la dinámica del agua subterránea es la precipitación meteórica (lluvia y su rápida infiltración), con influencia de procesos de intemperismo (interacción agua-roca), aspecto que es coherente con lo evidenciado en los diagramas de Stiff, en los cuales el bajo grado de mineralización de las muestras permite deducir la influencia que tiene la precipitación sobre estos niveles acuíferos.





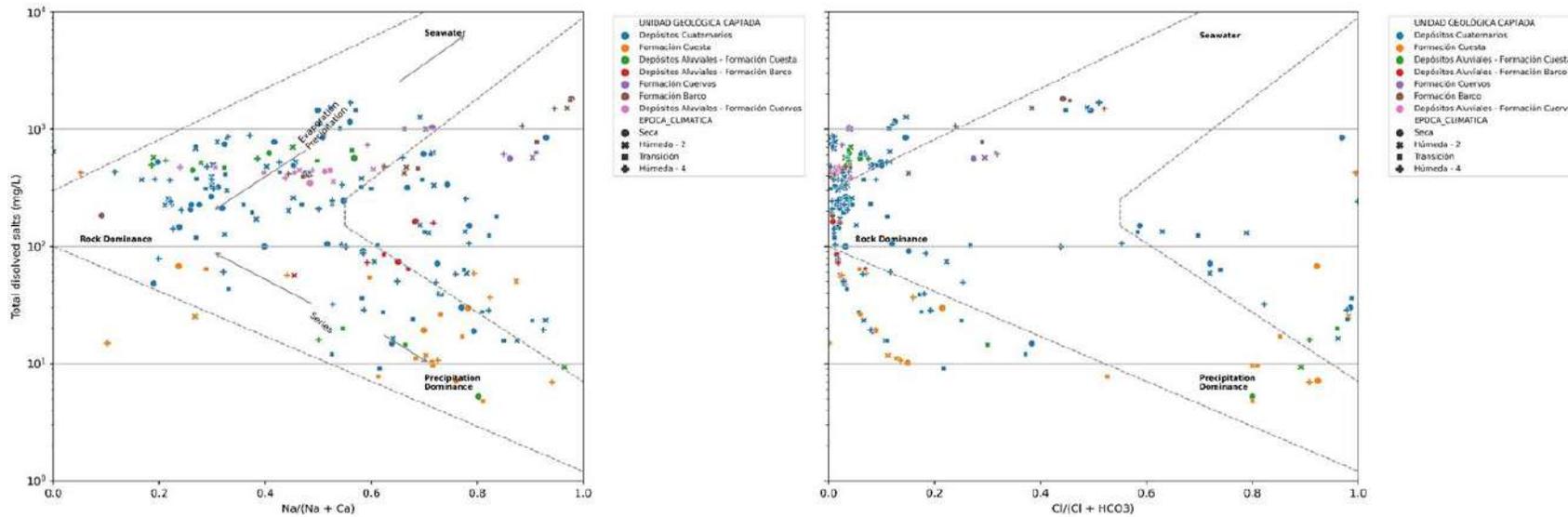
Ilustración 31. Diagrama de Gibbs para el año 2022



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



Ilustración 32. Diagrama de Gibbs para el año 2023



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





5.9 Diagramas de Mifflin

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

En el presente informe se realizaron diagramas de Mifflin para cada uno de los años hidrológicos analizados (2022 y 2023), agrupando los datos dentro de cada gráfica de acuerdo con la unidad geológica captada y las temporadas climáticas consideradas (seca, húmeda y transición), tal como se observa en la **Ilustración 33**.

A continuación, se realiza un análisis para cada una de las unidades geológicas consideradas:

- **Depósitos Cuaternarios:** para los años 2022 y 2023, los puntos de agua subterránea localizados sobre los Depósitos Cuaternarios en su mayoría captan flujos locales producto de la recarga directa por infiltración de la precipitación; no obstante, varios puntos captan flujos intermedios e incluso regionales, estos últimos en su mayoría correspondientes con el año 2023, en donde se identificó puntualmente el aumento de concentración en algunos iones como cloruros, nitratos y metales, que en el año 2022 presentaban valores inferiores. Este aspecto también pudo ser identificado mediante los diagramas de Piper y Stiff.
- **Mezclas de agua Depósitos Aluviales - Formación Barco y Depósitos Aluviales - Formación Cuervos:** en estas mezclas de agua para los años 2022 y 2023 los flujos captados son de tipo local, en concordancia con lo evidenciado en los diagramas de Piper y Stiff, a partir de los cuales se determinó la composición predominantemente bicarbonatada y los bajos grados de mineralización del agua subterránea.
- **Mezcla de agua Depósitos Aluviales - Formación Cuesta:** en esta mezcla de agua, para ambos años analizados, la mayoría de los puntos realizan captación de flujos locales, no obstante, también hay captaciones de flujos intermedios.
- **Formación Barco:** para el año 2022 se observa principalmente captación de flujos locales, además de un (1) punto captando flujos intermedios y un (1) punto captando flujo regional. Posteriormente, en el año 2023, si bien la mayoría de los puntos continúa captando flujos locales e intermedios, se evidencia que aumenta el número de puntos que captan flujos regionales. Este último aspecto guarda relación con lo identificado en los diagramas de Piper y Stiff, a partir de los cuales se determinó una mineralización de media a alta y en un (1) punto el agua resultó ser de tipo clorurada sódica (flujo regional).
- **Formación Cuervos:** para los años 2022 y 2023, los puntos de agua subterránea de esta formación captan en su mayoría flujos intermedios, para el año 2022 se observa un mayor número de puntos captando flujos locales.



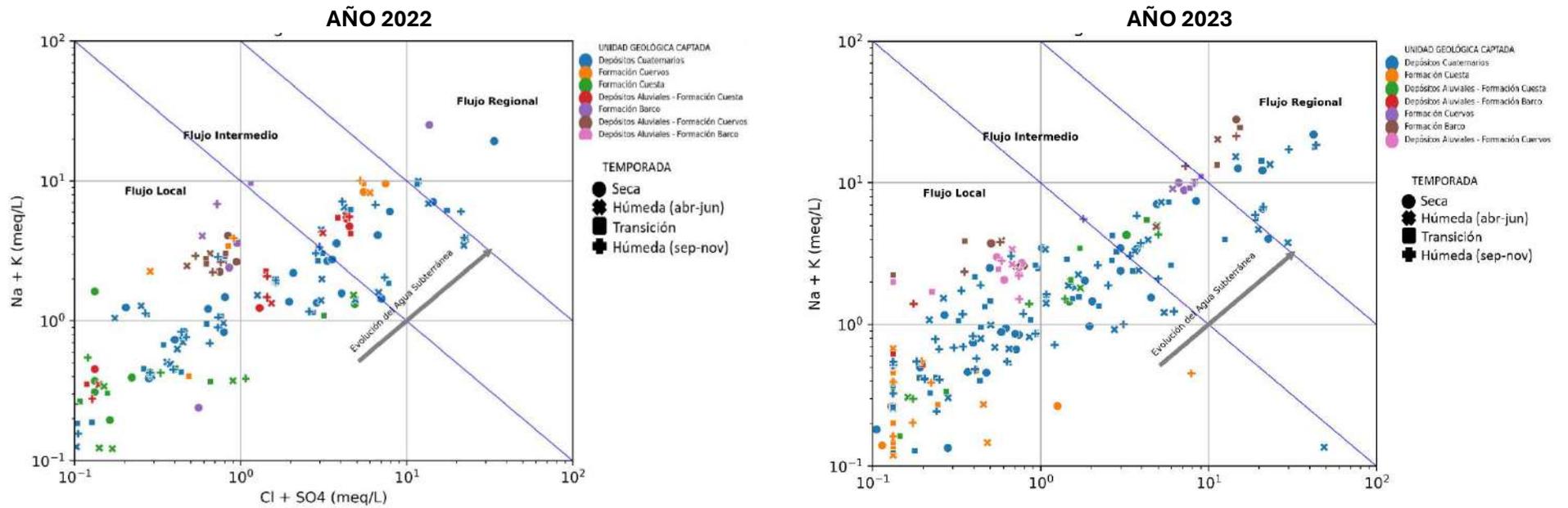


- **Formación Cuesta:** para los años 2022 y 2023, la totalidad de los puntos de agua subterránea de esta formación captan flujos locales, aspecto que guarda relación con lo observado en los diagramas de Stiff, en los cuales para esta unidad se determinaron grados de mineralización muy bajos.





Ilustración 33. Diagrama de Mifflin para los años hidrológicos 2022 y 2023



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



5.10 Metales y metaloides

Teniendo en cuenta las características de las formaciones que están siendo objeto de aprovechamiento minero en el área de análisis, se incluyó dentro del monitoreo de agua subterránea la determinación de concentraciones de elementos asociados a metales y metaloides (aluminio, bario, cadmio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc), cuyo comportamiento se presenta según la variación climática.

A continuación, se presenta el análisis realizado para cada uno de los metales y metaloides monitoreados.

5.10.1 Aluminio

Durante 2023, este elemento se presentó en concentraciones superiores a los límites de detección y cuantificación en el 22% de los monitoreos realizados, las cuales, en todos los casos, superaron también los valores de referencia establecidos para consumo humano en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 (0,2 mg/l). En los puntos asociados a acuíferos cuaternarios, se identificaron valores máximos de hasta 24,87 mg/l en época húmeda y 20,33 mg/l en época seca, los cuales fueron identificados en el punto MSB-LAM1203-0007, adicionalmente, el mayor valor identificado para en época de transición corresponde al medido en el punto MSB-LAM1203-0007 donde se reportó un valor de 24,73 mg/l; es de anotar que los puntos anteriormente mencionados captan de depósitos de origen antrópico, asociados a los botaderos del proyecto Mina La Jagua, por lo cual, la presencia de este elemento puede estar influenciada por la liberación asociada a la meteorización de rocas estériles que favorecen su migración a través de las aguas que se infiltran y atraviesan dicha unidad, con lo cual, se hace necesario solicitar información adicional respecto a las condiciones de las rocas en estos depósitos que permita corroborar o descartar dicha hipótesis.

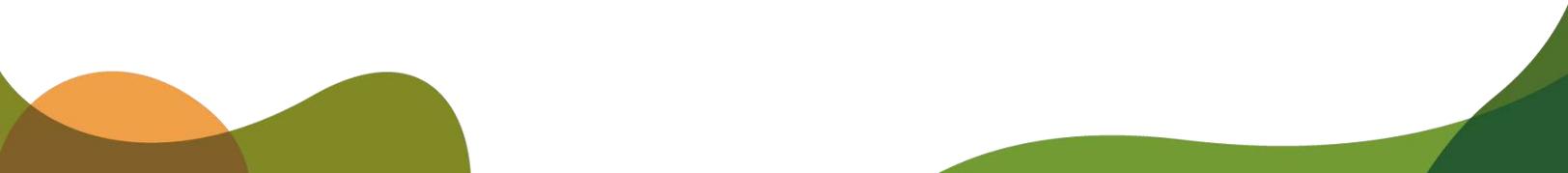
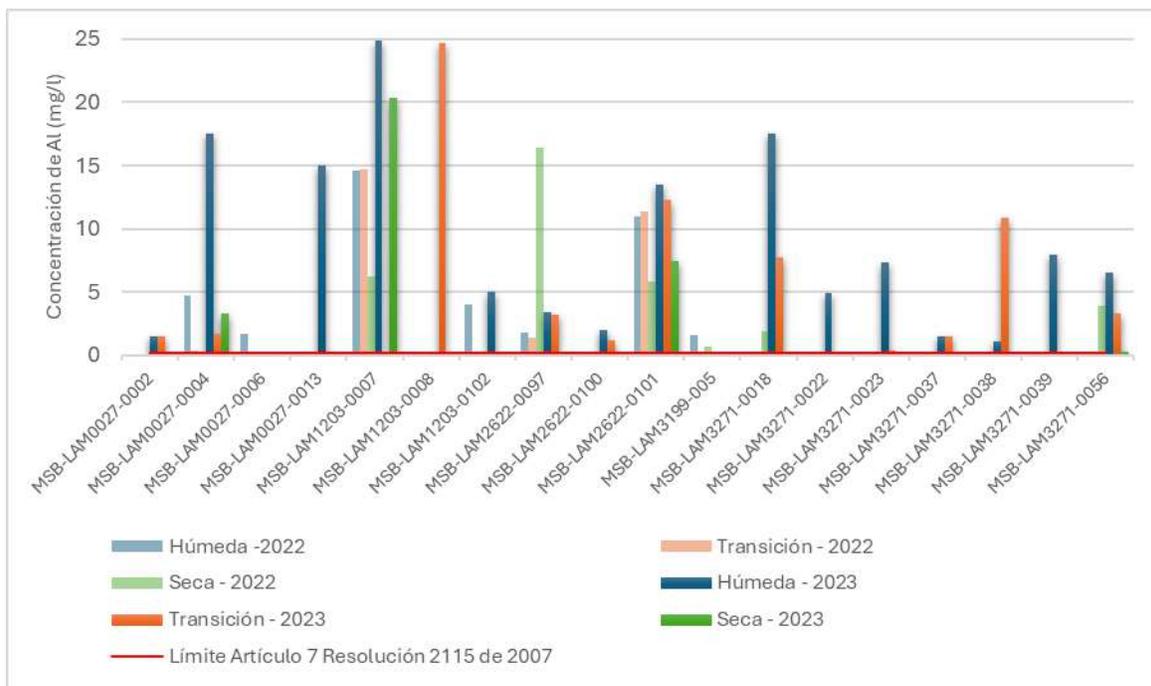




Ilustración 34. Concentraciones de aluminio identificadas en acuíferos cuaternarios



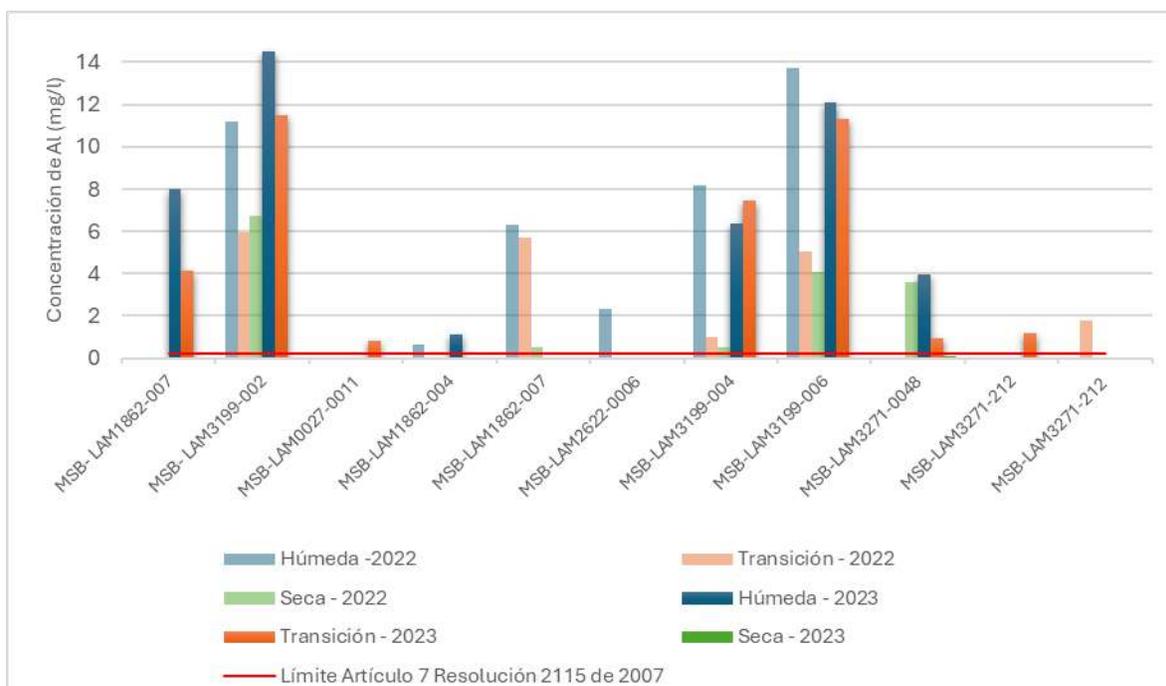
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Para el caso de los puntos que captan de acuíferos terciarios, se observaron valores máximos en los puntos MSB- LAM3199-002 y MSB-LAM3199-006, donde se reportaron valores de 14,5 mg/l en época húmeda y 11,48 mg/l para época de transición en el primero y 12,09 mg/l en época húmeda y 11,31 mg/l en época de transición para el segundo, no encontrándose datos reportados para la época seca. En dichos puntos se evidenció la presencia de aguas fuertemente ácidas, de acuerdo con los valores de pH de hasta 3.75 allí también registrados, lo cual favorece la migración de algunos metales y metaloides como el aluminio, al incrementar su grado de ionización y su solubilidad en el agua.





Ilustración 35. Concentraciones de aluminio identificadas en acuíferos terciarios



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

5.10.2 Bario

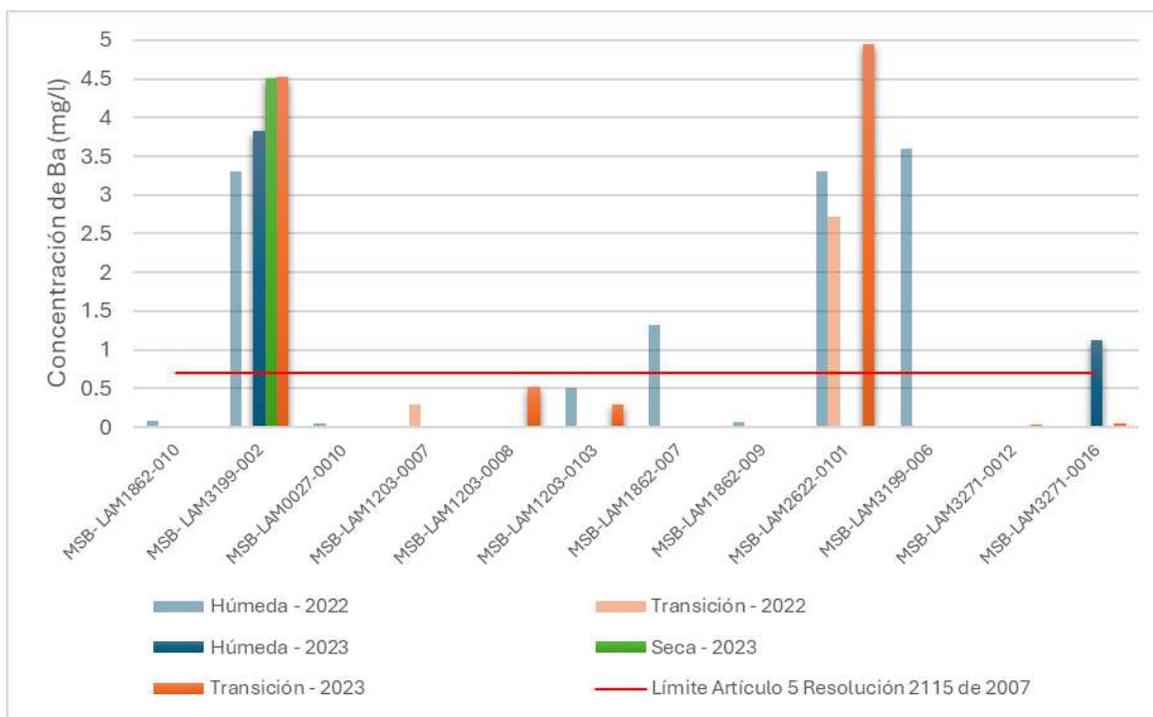
Para este elemento se identificaron valores superiores a los límites de detección y cuantificación en 12 puntos monitoreados, 3 de ellos reportaron durante 2023 concentraciones superiores a límite establecido para este elemento en el artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007 (ver Ilustración 36). Las concentraciones máximas fueron evidenciadas en los puntos MSB-LAM3199-002 y MSB-LAM2622-0101, en el primero fue detectada la presencia de bario en agua subterránea en concentraciones entre 3,82 mg/l (época húmeda) y 4,53 mg/l (época de transición), identificando también que este punto había presentado para el año 2022 una concentración de 3,30 mg/l en época húmeda y valores de pH que 3,75 que se mantienen hasta 2023, que evidencia la presencia de aguas fuertemente ácidas, lo cual puede incidir en la presencia de este elemento en el agua subterránea. En el segundo punto, se identificó una concentración de 4,94 mg/l en época de transición de 2023, no detectando presencia de este metal en los demás monitoreos realizados ese año, sin embargo, en 2022 fueron reportadas concentraciones de hasta 3,30 mg/l en época húmeda y 2,72 mg/l en época de transición, por lo cual es importante verificar el comportamiento de este metal en este punto en los monitoreos de 2024.

A su vez, se identificó que en el punto MSB-LAM3271-0016 se presentaron concentraciones de 1,11 mg/l en época húmeda de 2023, no habiendo reportado concentraciones superiores al valor de referencia en los demás monitoreos realizados durante 2022 y 2023, por lo cual, se considera una anomalía a la cual vale la pena hacer seguimiento respecto a su



comportamiento durante los monitoreos de 2024, a fin de determinar si la presencia de este elemento en dicho punto obedece a un fenómeno puntual o genera una tendencia.

Ilustración 36. Concentraciones de bario identificadas en área de la ZMCC



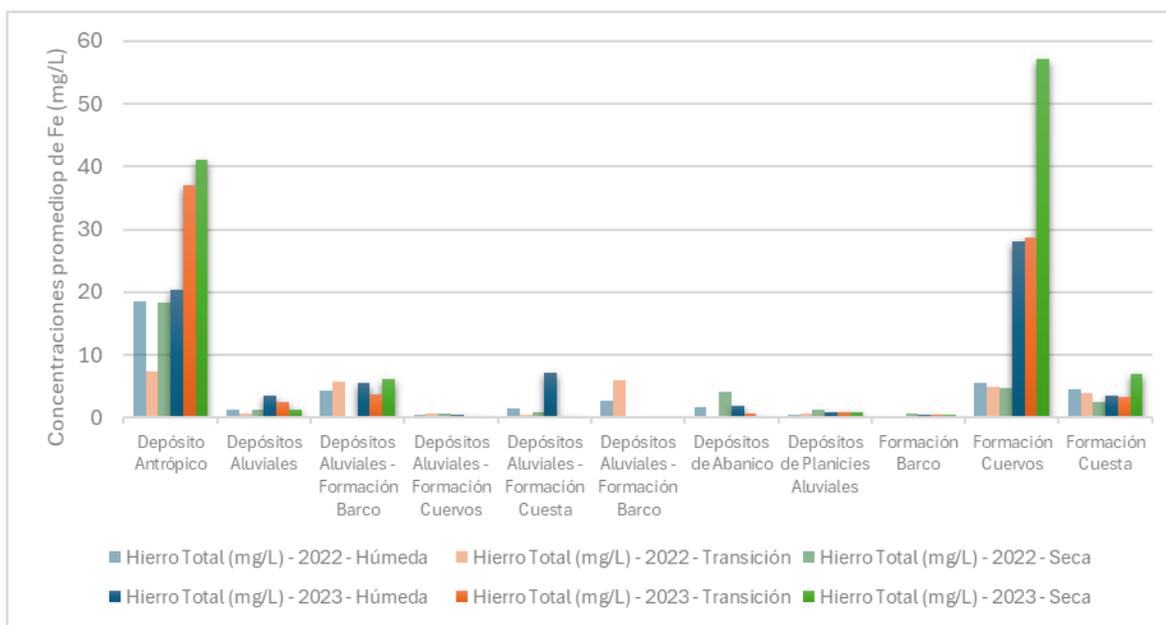
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

5.10.3 Hierro

El hierro se encuentra presente en la mayoría de los puntos monitoreados, identificándose en 52 puntos de la red regional en concentraciones superiores a los límites de detección y cuantificación, los cuales presentan sus mayores concentraciones en los puntos que captan de la Formación Cuervos, donde en promedio se evidencian registros de 28,1 mg/l en época húmeda, 28,7 mg/l en transición y 57 mg/l en época de estiaje, seguido de los depósitos antrópicos, que presentan en 20 mg/l en época húmeda, 37 mg/l en transición y 41 mg/l en época seca, tal y como se muestra en la Ilustración 37.



Ilustración 37. Concentraciones promedio de hierro identificadas por unidad geológica



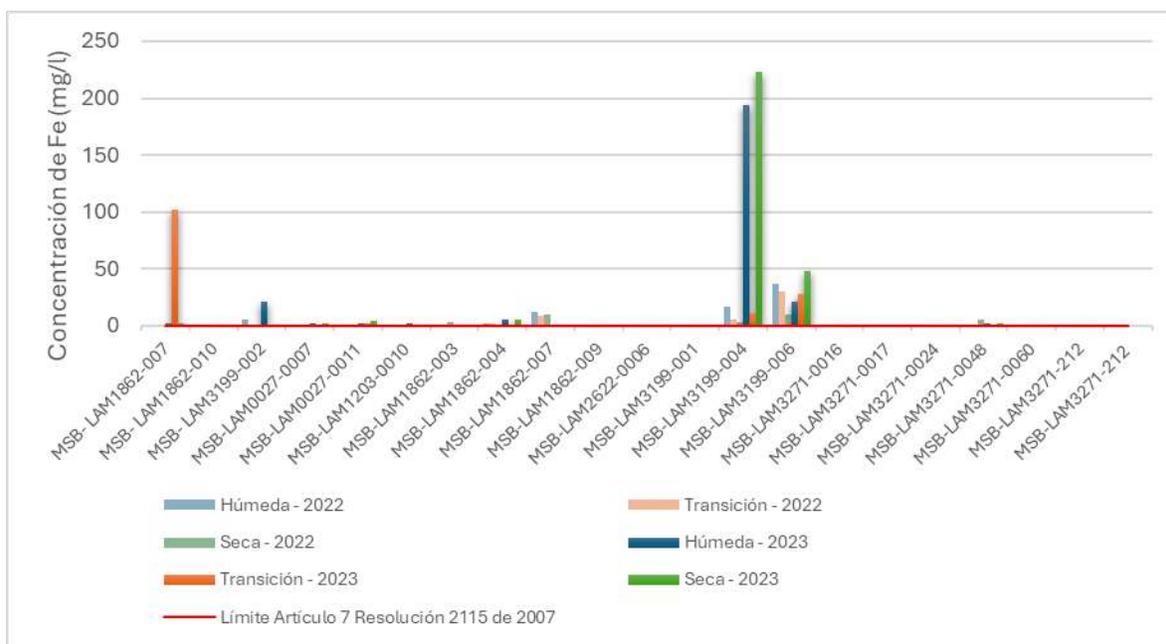
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Es importante tener en cuenta que la Formación Cuervos, al ser una unidad del terciario, puede almacenar agua con mayores recorridos dentro de los acuíferos, que favorecen la disolución de rocas ferrosas, no obstante, los resultados de los análisis del hierro en esta formación se ven principalmente influenciados por los registros obtenidos en el año 2023 en el punto MSB-LAM3199-004, donde se identificaron concentraciones de 194 mg/l en época húmeda y 223 mg/l en época seca, y en el punto MSB-LAM1862-007, donde se registró 101 mg/l en época de transición, situación que se aparta de la tendencia de los demás puntos que captan de la misma unidad, los cuales no superan los 10 mg/l, tal como se puede observar en la Ilustración 38.





Ilustración 38. Concentraciones de hierro identificadas en puntos asociados a acuíferos terciarios



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

En relación con los depósitos antrópicos, al ser una mezcla heterogénea de materiales que con variables contenidos de minerales ferrosos expuestos a la acción del clima y a la presencia de oxígeno, se pueden facilitar procesos de movilización de este metal influenciados por la meteorización de las rocas y el arrastre por la infiltración de las aguas lluvias hacia el acuífero, no obstante, es importante que dicha hipótesis sea verificada a través de la tendencia de dicho elemento en los monitoreos de los años por venir.

Es importante indicar que los resultados de hierro fueron comparados con el límite establecido en el artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007 (0,3 mg/l), sin embargo, el análisis sobre dicha comparación no se considera relevante al evidenciarse la presencia de hierro en concentraciones superiores a dicho valor en la mayoría de los puntos objeto de análisis y al tener en cuenta que dicho límite se asocia principalmente a sensaciones organolépticas del agua (sabor y olor), que por implicaciones o riesgos a la salud humana o al ambiente².

5.10.4 Manganeso

Respecto al manganeso, en el año 2023 se reportaron concentraciones superiores a los límites de detección y cuantificación en 38 de los 70 puntos monitoreados, cuyas concentraciones promedio por unidad geológica evidenciaron que en los Depósitos de Planicies Aluviales se identificaron las mayores concentraciones de este elemento, donde se identificaron 0,72 mg/l en época húmeda, 1,27 mg/l en transición y 0,61 mg/l en época seca, dichos valores se ven influenciados por los registrados en el punto MSB-LAM2622-0101,

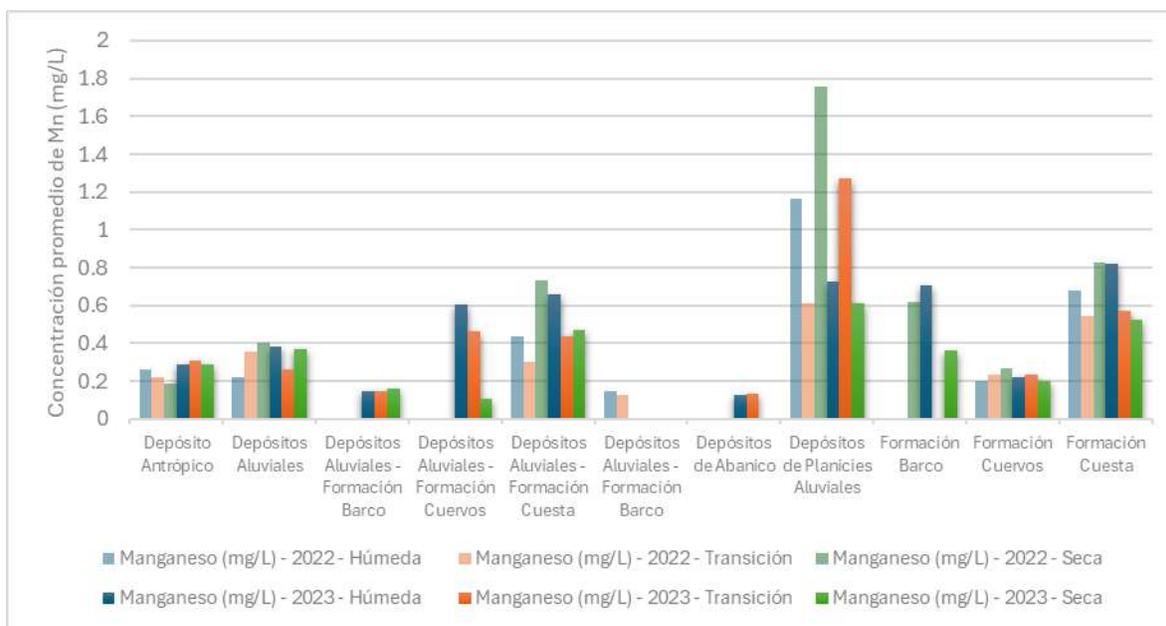
² OEA, ARMONIZACION DE LOS ESTANDARES DE AGUA POTABLE EN LAS AMERICAS, Disponible en <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>





donde las máximas concentraciones se registraron en época húmeda (1,43 mg/l). De igual manera, se identifica que en la Formación Cuesta se registran valores promedio de 0,81 mg/l en época húmeda, esto se debe a que en el punto MSB-LAM3199-002 se reportaron valores máximos de 2,3 mg/l en dicha temporada climática, los cuales son los mayores registrados en el año 2023. El comportamiento anteriormente descrito para el manganeso se observa en la Ilustraciones 39.

Ilustración 39. Concentraciones promedio de manganeso identificadas por unidad geológica



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

Es de resaltar que, en todos los casos en los que se reportaron concentraciones superiores a los límites de detección, los valores fueron superiores al valor comparativo de 0,1 mg/l, establecido en el Artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007, por lo que en aquellos puntos donde se realice captación para fines de consumo humano, se recomienda la implementación de procesos de tratamiento con el fin de reducir la concentración de este elemento.

5.10.5 Níquel

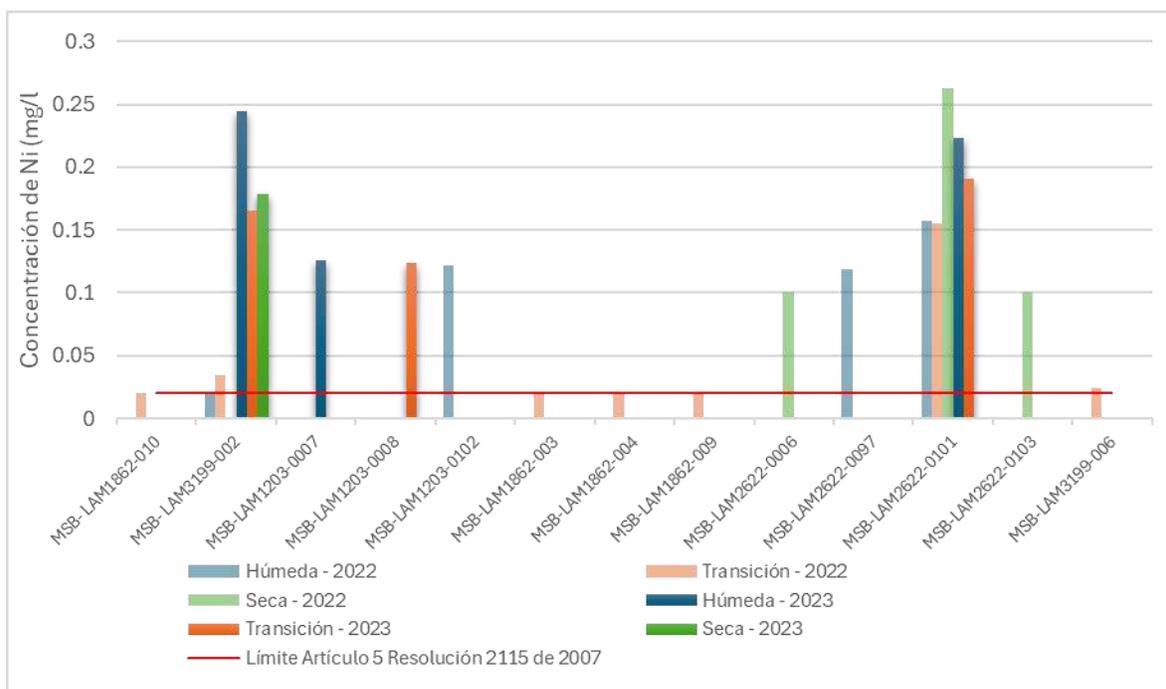
Este metal fue identificado en 4 puntos de monitoreo durante el año 2023, reportando concentraciones superiores a los límites de detección y cuantificación, en contraposición a los 11 puntos identificados en el año 2022, lo cual evidencia una disminución generalizada de la presencia de este elemento en el área de análisis (Ilustración 40). No obstante, los valores máximos reportados en el año 2023 fueron mayores a los del año 2022, estos corresponden a los puntos MSB-LAM3199-002 y MSB-LAM2622-0101, que en la época de lluvia reportaron concentraciones de 0,244 mg/l y 0,22 mg/l, respectivamente, correspondientes con concentraciones muy superiores al valor comparativo de 0,02 mg/l establecido en el Artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007, lo que hay que tener en





consideración en el momento de realizar el aprovechamiento del recurso para el consumo humano, teniendo en cuenta que el punto MSB-LAM3199-002 corresponde a un pozo para abastecimiento público.

Ilustración 40. Concentraciones de níquel identificadas en área de la ZMCC



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

5.10.6 Selenio, Zinc, Cobre y Plomo

Dentro de la información reportada para 2023 se identificaron 11 puntos que reportaron concentraciones de selenio superiores a los límites de detección y cuantificación, no obstante, solo dos (2) de ellos superan el valor comparativo de 0,01 mg/l, establecido en el Artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007, los cuales fueron reportados para la época húmeda en los puntos MSB-LAM3199-001 y MSB-LAM3271-0036, presentado concentraciones de 0,347 mg/l y 1,89 mg/l, respectivamente. Es de anotar que, tanto en los monitoreos realizados en el año 2022 como en los demás monitoreos realizados durante el año 2023, en estos puntos se reportaron valores inferiores a los límites de detección, con lo cual, no se identifica una tendencia que sugiera un aumento de la presencia de este elemento en el agua subterránea.

Respecto al zinc, si bien en el transcurso del año 2023 la cantidad de puntos donde se identificaron concentraciones superiores al límite de detección y cuantificación fue de 54, estas en ningún caso superaron los 2,8 mg/l, así pues, ninguna de las muestras tomadas durante dicho año reportó valores superiores a 3 mg/l, que es el valor de comparación establecido en el Artículo 7 de la Resolución 2115 de 2007.





Para el caso del cobre y el plomo, los puntos en los que se reportaron durante 2023 concentraciones superiores a los respectivos límites de detección y cuantificación fueron MSB-LAM1203-0009 (0,1334 mg Cu/l) y MSB-LAM3271-0016 (0,0188 mg Pb/l), que en relación con el cobre no supera el valor comparativo de 1 mg/l establecido en el Artículo 5 de la Resolución 2115 de 2007, diferente a lo sucedido para el plomo, donde se supera el valor de referencia de 0,01 mg/l establecido en el mismo artículo, sin embargo, cabe resaltar que el punto MSB-LAM3271-0016 corresponde a un piezómetro del que no se realiza aprovechamiento del recurso, ya que es un instrumento exclusivo para el monitoreo de agua subterránea.

5.10.7 Cadmio y Molibdeno

De acuerdo con los datos de monitoreo de agua subterránea reportados en 2022 y 2023, en ninguna de las muestras tomadas se reportaron concentraciones de cadmio o molibdeno que superaran los correspondientes límites de detección y cuantificación.

5.11 Parámetros microbiológicos

Teniendo en cuenta que en el área donde se encuentra implementada la estrategia de monitoreo de agua subterránea unas de las actividades industriales con mayor predominancia son aquellas asociadas al sector petrolero, se consideró importante dentro de los parámetros de análisis en el recurso aquellos asociados a la presencia de hidrocarburos, tales como los Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), fenoles, y algunos compuestos orgánicos volátiles como los BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos).

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

5.12 Parámetros microbiológicos

En las **Ilustraciones 41 y 42** están representados los parámetros microbiológicos del agua subterránea, los cuales corresponden a Coliformes Totales, Coliformes termotolerantes (fecales) y la bacteria *Escherichia Coli* (E. Coli), el análisis se realizó para cada una de las campañas de monitoreo consideradas época seca y de lluvias de los años 2022 -2023 para las unidades terciarias y para el año 2022 en las unidades cuaternaria. En cada una de las gráficas de los parámetros microbiológicos se han incluido los límites establecidos en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015. Este decreto establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico. En el caso de los coliformes totales, el límite es de 20.000 microorganismos por cada 100 ml, mientras





que para los coliformes termotolerantes (fecales) es de 2.000 microorganismos por cada 100 ml. Es importante destacar que, aunque esta normativa no establece un límite específico para la bacteria E. coli, su presencia indica contaminación fecal y representa un riesgo para la salud humana, lo que limita el uso del agua para consumo humano.

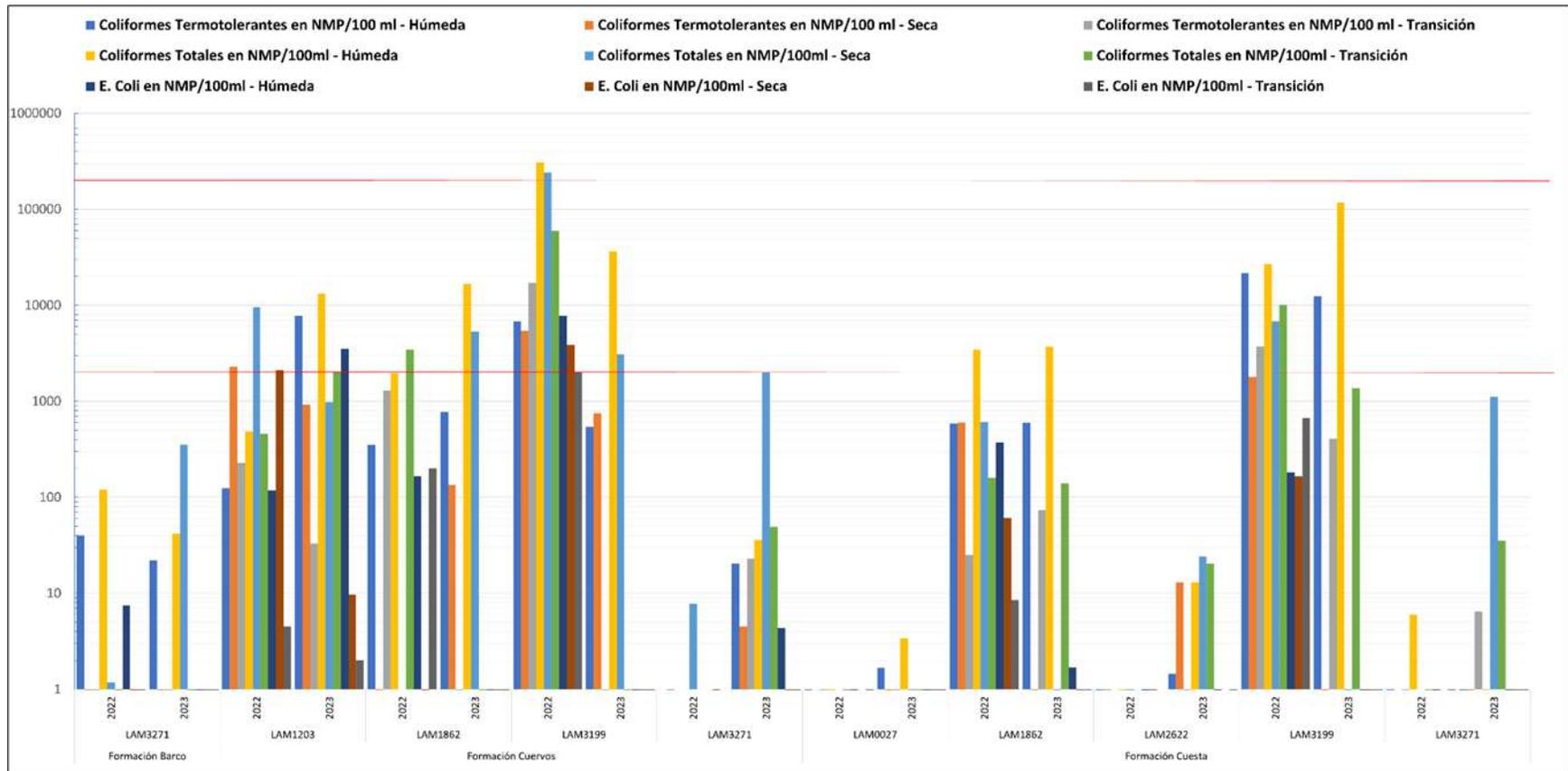
En la **Ilustración 41**, se muestran las concentraciones de los parámetros microbiológicos registrados en los años 2022 y 2023, en las tres temporadas, para las unidades terciarias presentes en el área de estudio. Según lo observado en la gráfica, para los Coliformes Totales se presentan concentraciones que superan el límite establecido en el en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, en el expediente LAM3199 en la temporada húmeda del año 2022, no obstante, para el año 2023 se presenta un decrecimiento en dicha concentración, mejorando las condiciones de calidad asociadas a este expediente. En cuanto a los Coliformes Termotolerantes, se presentan concentraciones superiores al límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 en el expediente LAM1203, con valores consistentes en los dos años analizados para la Formación Barco, en el expediente LAM3199 en la temporada húmeda del año 2022 con un decrecimiento en el año 2023 para la misma temporada, en los puntos que captan de la Formación los Cuervos, con un comportamiento similar para el mismo expediente en los puntos que captan la Formación Cuesta, dicho comportamiento debe ser analizado para verificar la posible infiltración de agua en los puntos que presentan estos valores anómalos. Respecto al parámetro E.Coli, se presentan valores anómalos por encima de 100 microorganismos por cada 100 ml en los expedientes LAM3199 y LAM1862, en la temporada humedad del año 2022 para los puntos que captan las Formaciones Cuervos y Cuesta, y en el expediente LAM1203 en la temporada húmeda de los dos años analizadas, dicho comportamiento debe ser analizado para verificar la posible infiltración de agua en los puntos que presentan estos valores anómalos, así como su correlación con los demás parámetros microbiológicos evaluados.

En la **Ilustración 42** se muestran las concentraciones de los parámetros microbiológicos registrados en el año 2023, en las tres temporadas, para las unidades cuaternarias presentes en el área de estudio. Según lo observado en la gráfica, para los Coliformes Totales se presentan concentraciones que superan el límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, en el expediente LAM3199. En cuanto a los Coliformes Termotolerantes, se presentan concentraciones superiores al límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 en el Expediente LAM1203. Respecto al parámetro E. Coli, presenta valores anómalos por encima de 100 microorganismos por cada 100 ml en los Expedientes LAM1203 y LAM2622, estos valores son consistentes con las concentraciones anómalas registradas para los mismos expedientes en el año 2022, tal como está consignado en el documento *“Estrategia de Monitoreo Regional del Recurso Hídrico Subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar, Análisis Regional primer año de monitoreo”* (ANLA, 2023). Teniendo en cuenta lo anterior, es importante realizar un análisis de las causas de la presencia de estas concentraciones en las zonas de los proyectos mencionados.





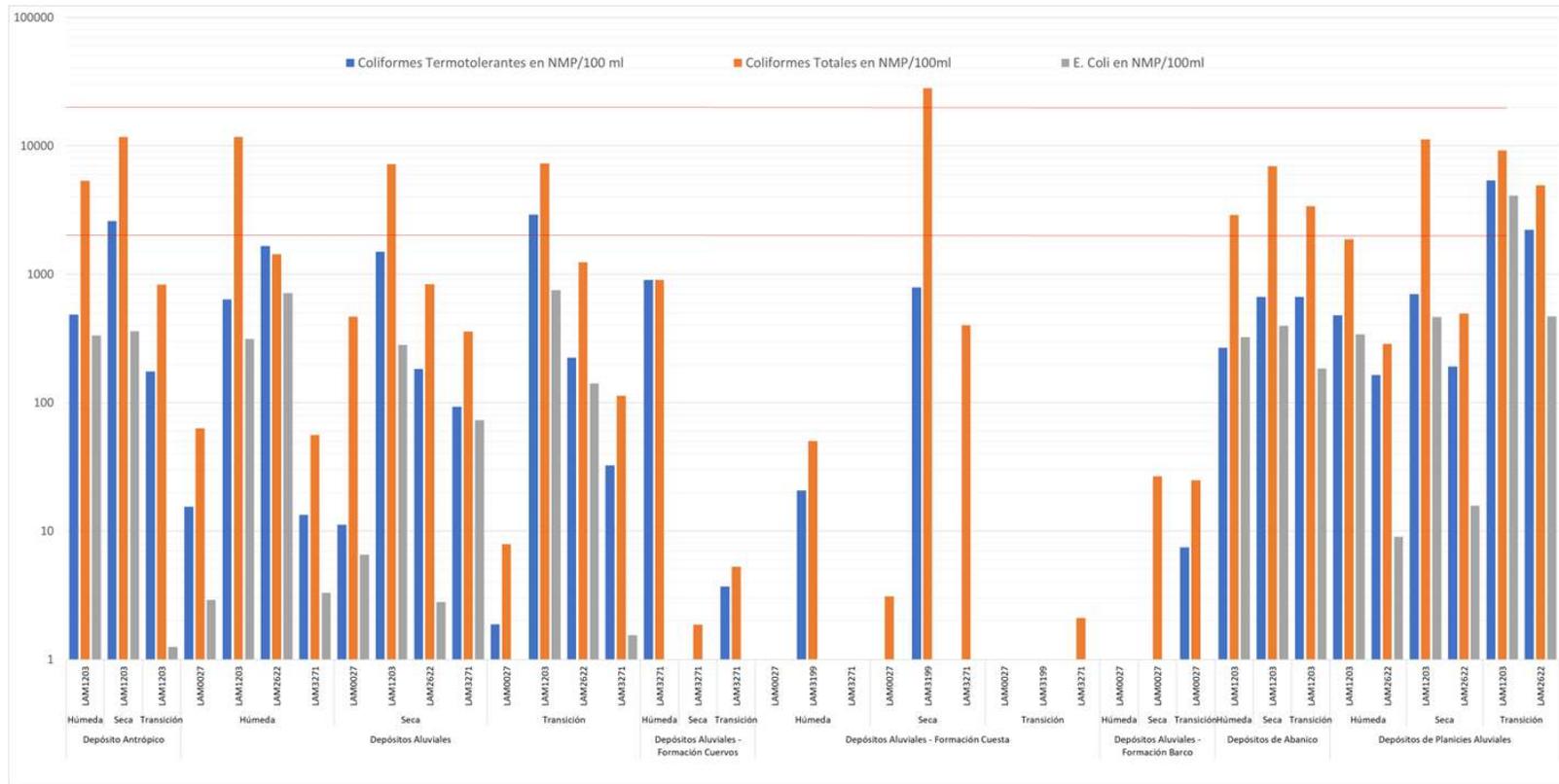
Ilustración 41. Parámetros microbiológicos cuantificados en el periodo 2022-2023 - Unidades terciarias



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



Ilustración 42. Parámetros microbiológicos cuantificados en el periodo 2023 - Depósitos cuaternarios



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



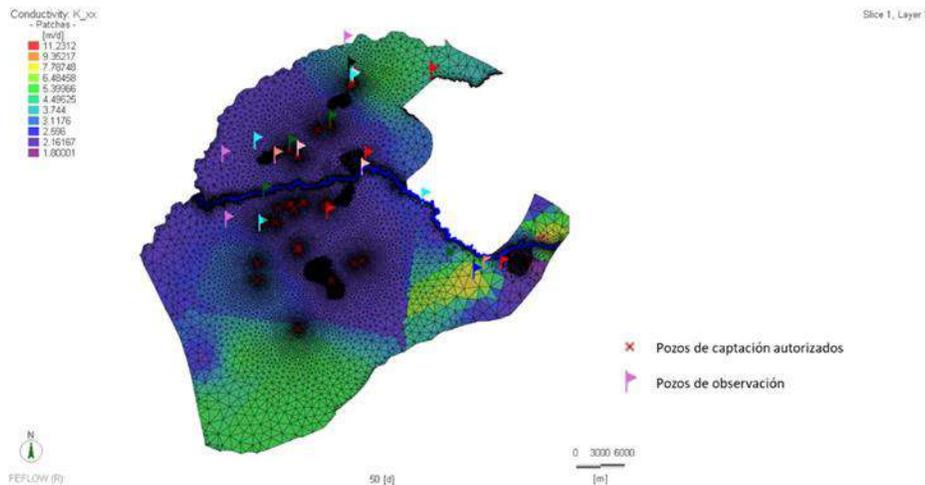


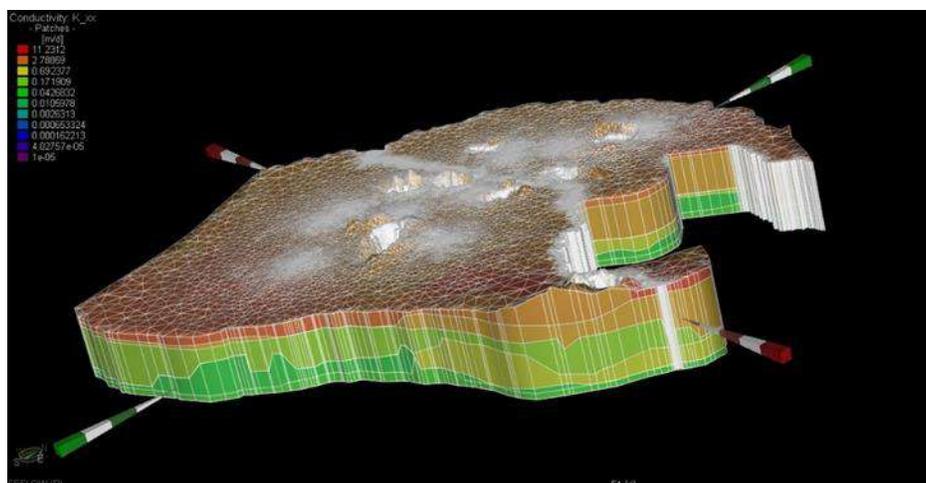
6. MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO - MHN DE LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR – ZMCC

En el marco del análisis regional de la Zona Minera del Centro del Cesar (ZMCC), se ha desarrollado un Modelo Hidrogeológico Numérico - MHN de flujo en 3 dimensiones que, a través de la información allegada por las empresas mineras (la cual consta de un Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC) y los monitoreos de niveles piezométricos reportados para los años 2022 y 2023 en los puntos de agua subterránea que hacen parte de la estrategia, representa el comportamiento del flujo subterráneo de la ZMCC como resultado de la actividad minera y del cambio climático.

Para la generación del MHN se seleccionó un área de modelación de 1453,04 Km², la cual abarca toda el área de la estrategia (ver **Ilustración 43**). El software empleado para el desarrollo de esta simulación corresponde a Feflow 8.1, donde se estableció una malla irregular triangular, con 2.746.072 elementos y 1.595.552 nodos, distribuidos en 7 capas, que van desde los 361.4 m.s.n.m. a -500 m.s.n.m.

Ilustración 43. Área considerada en el Modelo Hidrogeológico Numérico – MHN





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

Se realizó una primera simulación en régimen estacionario, el cual considera el estado de las actividades mineras al año 2017. Esto se debe a que para el año 2023 no se cuenta con actualizaciones de las elevaciones del terreno para el área de modelación. Asimismo, se construyó una piezometría inicial con los datos reportados por la red de monitoreo para el año 2022, lo que permitió establecer y corroborar las condiciones de frontera del modelo, las cuales se complementaron con la información hidrológica e hidráulica de los ríos Tucuy y Calenturitas. En lo que respecta al sistema estructural de la zona, no se cuenta con información técnica suficiente que corrobore el comportamiento hidráulico de las fallas, por lo que estas se consideraron permeables.

En relación con el comportamiento de los flujos en los tajos de extracción, estos fueron considerados acorde al estado actual de las actividades mineras, donde los tajos de las minas La Loma, El Descanso, Similoa y Rincón Hondo, El Hatillo y La Francia; al encontrarse en operación, realizan actividades de bombeo para controlar el nivel de la tabla de agua, mientras que, las minas La Jagua y Calenturitas al encontrarse en fase de cierre y abandono, se asume para efectos del modelo que no realizarían medidas de control de las aguas subterráneas, permitiendo que los tajos se inundan con el fin de observar un escenario hipotético y crítico. En cuanto, a las entradas y salidas de flujo al sistema se contempló una recarga por precipitación de 120 mm/año, los flujos regionales y las extracciones por medio de las captaciones autorizadas por esta Autoridad Ambiental, respectivamente.

Esta primera simulación, permitió la calibración del modelo a través de los datos de niveles piezométricos en 40 pozos de observación; con un R^2 de 0.9115, tal como se presenta en la **Ilustración 44**. Este valor indica que la calibración es aceptable, considerado la escala regional del modelo y la heterogeneidad de la geología en el área de modelación³. Otro

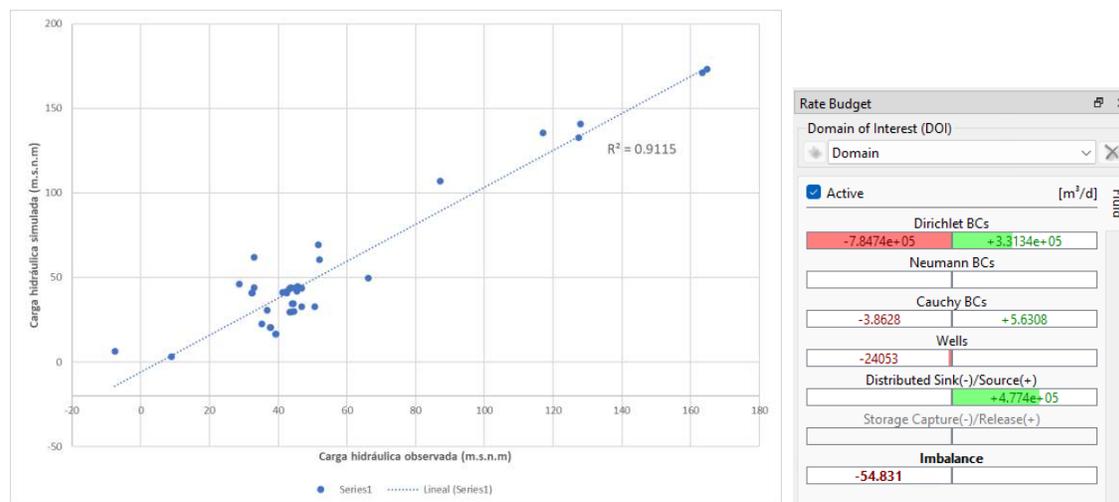
³ Nevada Division of Environmental Protection. (2018). Guidance for Hydrogeologic Groundwater Flow Modeling at Mine Sites. Bureau of Mining Regulation and Reclamation.





parámetro indicativo de los errores de la simulación es el error del balance de masas, donde se obtuvo un valor de $-54.83 \text{ m}^3/\text{día}$ (0.0068%).

Ilustración 44. Calibración y balance de masas del Modelo Hidrogeológico Numérico - MHN



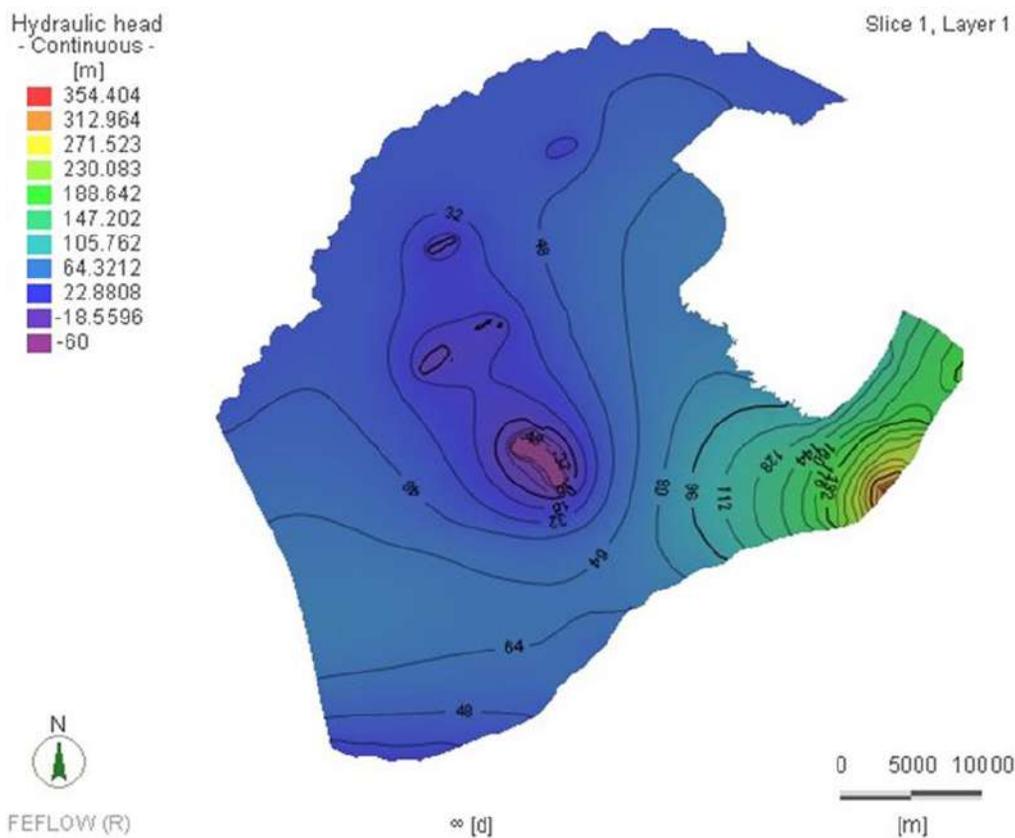
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024

Como resultado de la modelación en régimen estacionario, en la **Ilustración 45** se presenta la distribución espacial de la carga hidráulica, la cual va desde -60 m.s.n.m. a 354.40 m.s.n.m. . Se observa que los flujos presentan un comportamiento predominante con dirección E-W, siguiendo la topografía del terreno; de igual forma, se evidencia la influencia de los tajos mineros, donde las actividades de drenaje para la operación generan una disminución de la carga hidráulica en los tajos activos; mientras que, los tajos inactivos (fuera de operación), al no contar con actividades de bombeo muestran una continuidad en el flujo subterráneo (Ver **Ilustración 46**). Por otro lado, no se observa que los caudales de las captaciones autorizadas en el área de modelación ocasionen alteraciones en la piezometría de las zonas donde se localizan.





Ilustración 45. Carga hidráulica simulada en régimen estacionario – capa 1

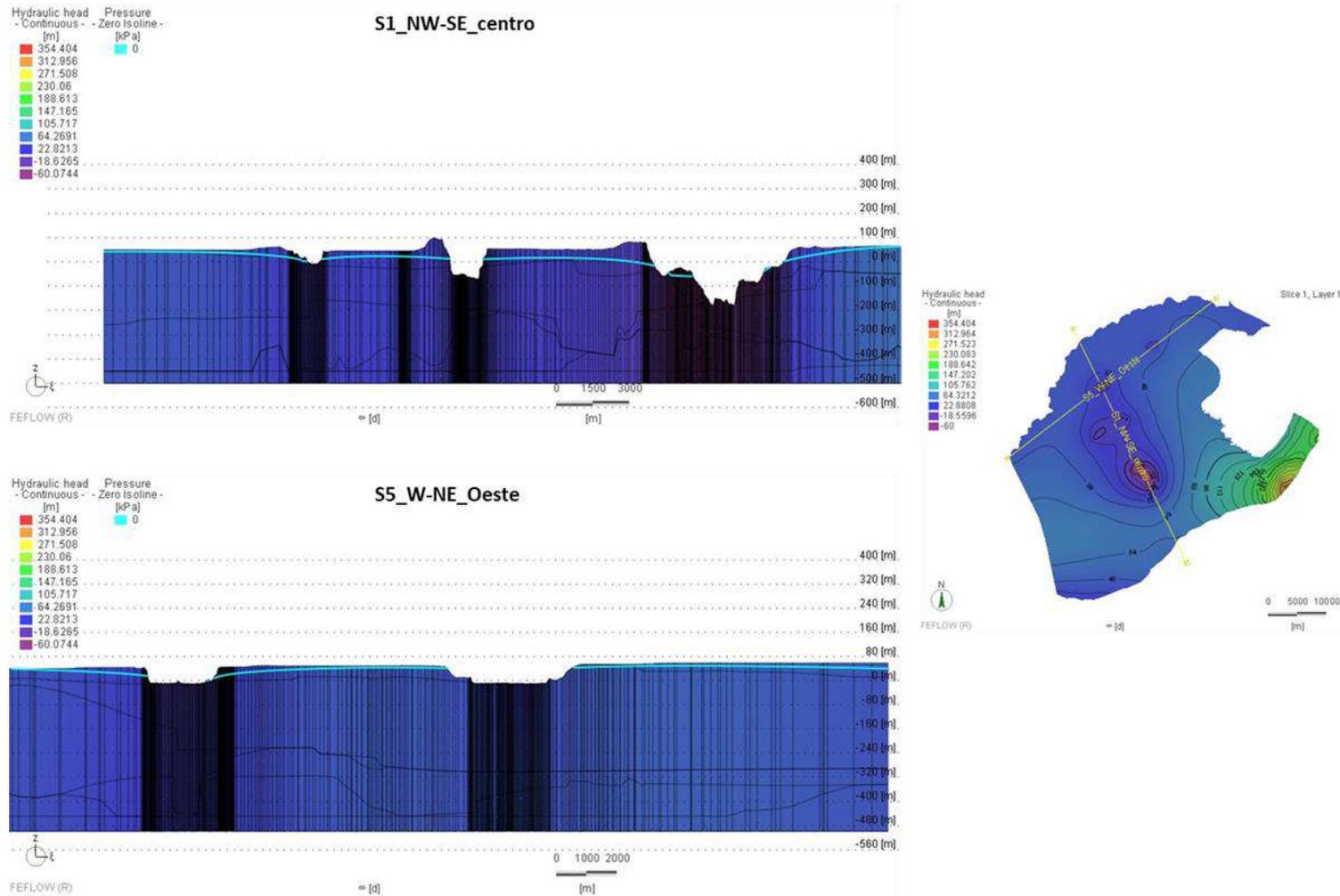


Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024





Ilustración 46. Secciones transversales de la carga hidráulica simulada en régimen estacionario



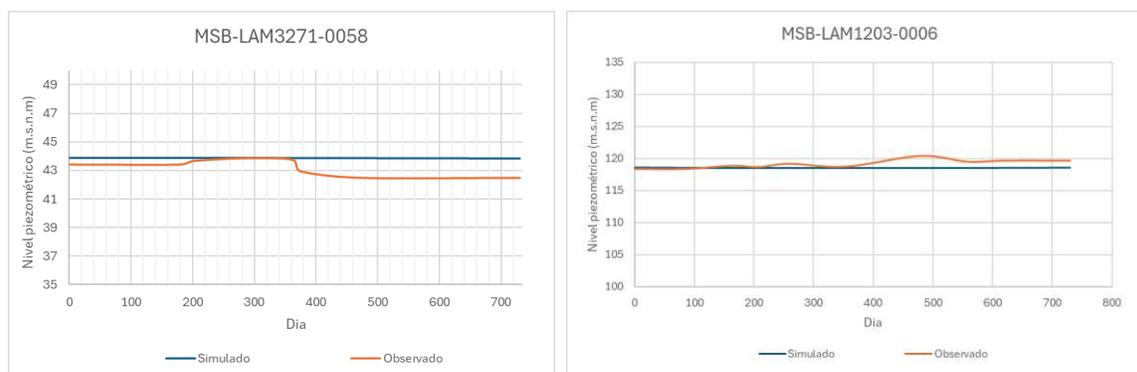
Fuente: Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo ANLA, 2024



De igual forma, se realizó una simulación en régimen transitorio por 730 días (años 2022-2023), donde se consideró una recarga del 5% de la precipitación media diaria y una extracción continua de los caudales autorizados. En los resultados de dicha simulación se observa que, para las formaciones someras, no se presentan cambios significativos en la profundidad de la tabla de agua a consecuencia de la recarga directa por precipitación.

En la **Ilustración 47** se observan los resultados de los niveles piezométricos simulados vs los observados, en los pozos de observación MSB-LAM3271-0058 y MSB-LAM1203-0006, Se ha identificado una diferencia de hasta 1.79 m entre los valores simulados y observados que reflejan los resultados de la calibración del modelo, los cuales podrían atribuirse a cambios ocurridos en la topografía durante los últimos años que no lograron incluirse en la simulación. De igual forma, estas diferencias pueden ser resultado de las variaciones en los caudales bombeados tanto en los tajos para la operación minera, como en las concesiones de agua autorizadas. Es importante destacar que, en el modelo, estos caudales se simulan constantes en el tiempo.

Ilustración 47. Gráfico niveles piezométricos simulados vs observados 2022 – 2023, para los pozos MSB-LAM3271-0058 y MSB-LAM1203-0006



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

Para este ejercicio de modelación, los escenarios predictivos corresponden al cambio climático para los años 2040, 2070 y 2100; y al avance de la actividad extractiva de carbón en la zona, donde para dichos periodos algunos proyectos estarán en fase de cierre.

Para el análisis sobre los escenarios del cambio climático y sus posibles afectaciones en la profundidad de la tabla de agua, se utilizó el conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6 de la NASA, el cual se compone de escenarios climáticos globales reducidos derivados de las ejecuciones del Modelo de Circulación General (MCG) realizadas en el marco de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) y a través de dos de los cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero de "Nivel 1" conocidos como Vías Socioeconómicas Compartidas – SSPs (Por sus siglas en inglés). El conjunto de datos utilizado incluye proyecciones redimensionadas de ejecuciones del modelo ScenariMIP para las que se produjeron y distribuyeron escenarios diarios de precipitación a través de la





Earth System Grid Federation. Teniendo como base la información oficial, los datos de cambio climático seleccionados corresponden a un escenario crítico SSP 5.85 que contempla un incremento de la temperatura global de aproximadamente 3.2 °C.

Escenario 1

Este escenario corresponde al año 2040, donde según las proyecciones de cambio climático se contempla una recarga de 68.12 mm/año, la cual presenta una reducción del 43.23% de la recarga estima para el año 2023. La simulación en régimen transitorio para este escenario contempla una recarga equivalente al 5% de la precipitación media diaria. En relación con la actividad minera, se consideró que los tajos de las minas La Loma y El Descanso, Similoa y Rincón Hondo, continuarían en operación, lo que implicaría el manejo del agua a través de bombeo; mientras que, las minas El Hatillo, La Francia, La Jagua y Calenturitas se encontrarían en etapa de cierre y abandono, por lo que las captaciones autorizadas no operarían.

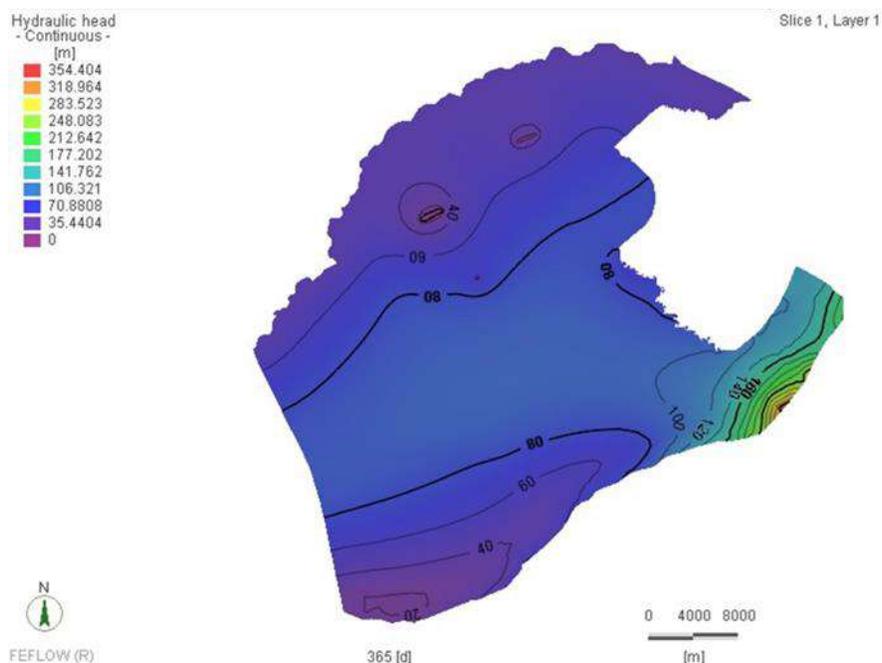
En la **Ilustración 48** se presenta la distribución de la carga hidráulica en la zona de modelación, donde se observa una distribución que va desde 0 m.s.n.m. a 354.40 m.s.n.m., presentándose los valores más bajos en los tajos de la mina El Descanso, Similoa y Rincón Hondo (único proyecto en operación para este escenario). Se evidencia que los flujos presentan un comportamiento predominante con dirección E-W, siguiendo la topografía del terreno, y generando la inundación de los tajos de las minas La Loma, La Francia y el Hatillo, y modificando las direcciones de flujo subterráneo que antes se encontraban influenciadas por las actividades de bombeo necesarias para la operación minera en el escenario del año 2023.

Por otro lado, al no contar con la influencia de las actividades de bombeo en los tajos, se identifican los abatimientos generados por algunas captaciones que aún se encuentran activas.





Ilustración 48. Carga hidráulica simulada para escenario 1 de cambio climático – año 2040



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

Escenario 2

Este escenario corresponde al año 2070, donde según la proyección de cambio climático se contempla una recarga de 78.88 mm/año, la cual presenta una reducción del 34.27% en relación con la recarga estima para el año 2023. La simulación en régimen transitorio para este escenario contempla una recarga equivalente al 5% de la precipitación media diaria. En relación con la actividad minera, se consideró que a partir de dicho momento finalizarían las actividades extractivas en la zona, por lo que no se generaría una demanda del recurso por parte de la industria minera. Sin embargo, se aclara que este escenario no contempla un plan de cierre propuesto por las empresas mineras.

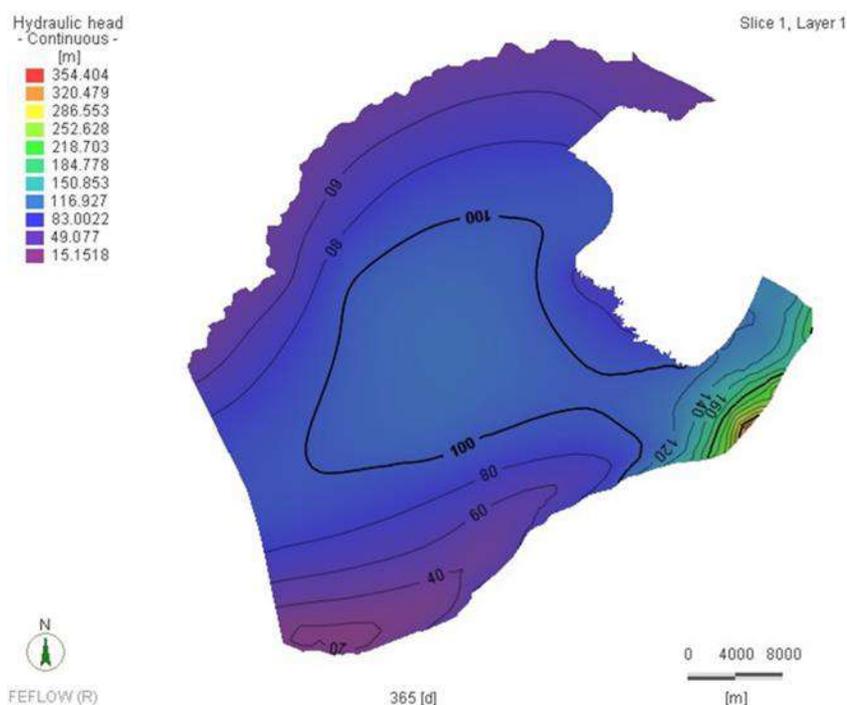
En la **Ilustración 49** se presenta la distribución de la carga hidráulica en la zona de modelación, donde se observa una distribución que va desde 15.15 m.s.n.m. a 354.40 m.s.n.m., presentándose los valores más bajos al sur del área de modelación. Se evidencia que los flujos presentan un comportamiento predominante con dirección E-W, siguiendo la topografía del terreno, y generando la inundación de la totalidad de los tajos mineros, y modificando las direcciones de flujo en la zona norte donde se encuentran los tajos de la mina El Descanso, Similoa y Rincón Hondo, que en este escenario no se están operación.

A diferencia del escenario 1, en esta simulación no se evidencian cambios puntuales en la piezometría como resultado de los permisos de captación de aguas subterráneas, ya que estas se encuentran finalizadas para el presente escenario.





Ilustración 49. Carga hidráulica simulada para escenario 2 de cambio climático – año 2070



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

Escenario 3

contempla una recarga de 89.96 mm/año, la cual presenta una reducción del 25.03% en relación con la recarga estima para el año 2023. La simulación en régimen transitorio para este escenario contempla una recarga equivalente al 5% de la precipitación media diaria. En relación con la actividad minera, se consideró que la zona de estudio no presenta desarrollo de actividades mineras. Sin embargo, se aclara que este escenario no contempla un plan de cierre propuesto por las empresas mineras.

En la **Ilustración 50** se muestra la distribución de la carga hidráulica en la zona de modelación, donde se observa una distribución que va desde 20.85 m.s.n.m. a 354.40 m.s.n.m., presentándose los valores más bajos al sur del área de modelación. Se evidencia que los flujos presentan un comportamiento predominante con dirección E-W, siguiendo la topografía del terreno, y generando la inundación de la totalidad de los tajos mineros, similar al comportamiento del escenario 2.

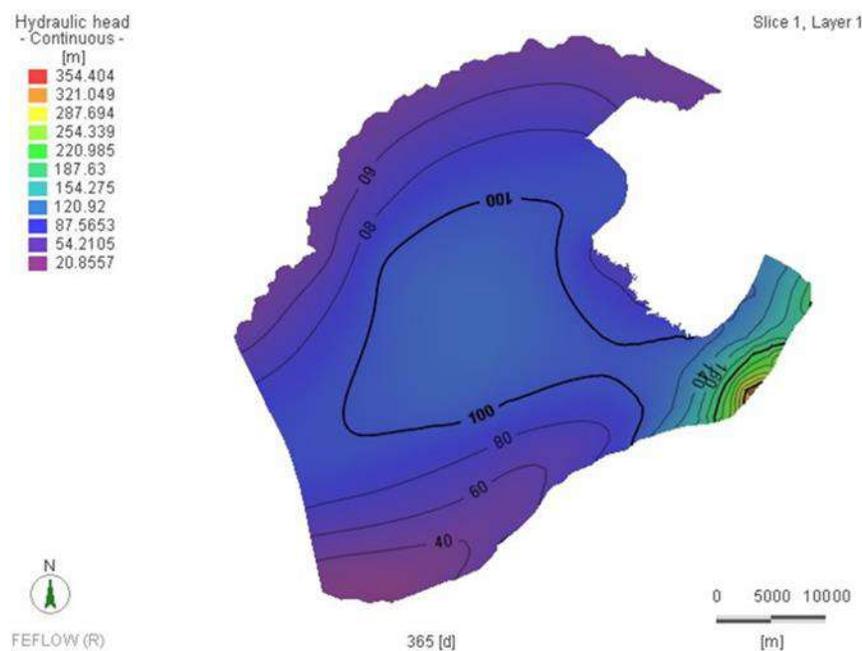
Al igual que la simulación del escenario anterior, no se evidencian cambios puntuales en la piezometría como resultado de los permisos de captación de aguas subterráneas, ya que estas se encuentran finalizadas para este escenario.

Así las cosas, debido a que no se contemplan cambios bruscos en la recarga por precipitación de los escenarios 2 y 3, el comportamiento de la carga hidráulica para ambos escenarios es similar, observando diferencias a escala milimétrica.





Ilustración 50. Carga hidráulica simulada para escenario 3 de cambio climático – año 2100



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

7. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del análisis llevado a cabo por esta Autoridad a partir de los monitoreos realizados en los años 2022 y 2023 en el marco de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC:

- Aspectos para considerar en los seguimientos ambientales de los proyectos que hacen parte de la estrategia regional:
 - ✓ En el caso de los Expedientes LAM1862 - Mina El Hatillo y LAM3199 - Mina La Francia es necesario solicitar el análisis y justificación del incumplimiento en el valor máximo de error analítico permitido en las muestras de agua subterránea, dado que entre ambos proyectos se descartaron un total de 41 análisis. De esta manera, en las siguientes campañas se podrá tener un registro continuo de la totalidad de puntos que hacen parte de la estrategia, además de contar con datos de calidad que sean representativos de las condiciones fisicoquímicas del recurso.



- ✓ Se identificó que la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales presentan sus mayores valores en los puntos asociados al proyecto Mina El Descanso, asociado al expediente LAM3271, donde para el año 2023 se identificaron valores de 4033 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que representan una alta mineralización de las aguas en el sector norte del área de análisis, con lo cual, se hace necesario verificar las condiciones locales en el área de dicho proyecto que estén generando dicha situación en relación con la identificación de posibles zonas de mezcla de aguas mineralizadas con las aguas de los acuíferos cuaternarios y/o procesos de interacción agua roca en el área del proyecto.
- ✓ En el área de los proyectos mineros La Jagua (LAM1203), Calenturitas (LAM2622) y El Descanso (LAM3271), para algunos de los puntos de agua subterránea que captan los depósitos cuaternarios se registraron altos grados de mineralización y composiciones hidroquímicas de tipo cloruradas y sulfatadas cálcicas y sódicas, características que son a su vez correlacionables con valores elevados de conductividad eléctrica. Los aspectos mencionados anteriormente no son característicos de niveles acuíferos someros, en consecuencia, se recomienda solicitar a los licenciarios de los proyectos involucrados que en el marco de los seguimientos ambientales se analicen las causas de estas composiciones, los puntos a analizar son los siguientes: MSB-LAM1203-0007 (PZ-41), MSB-LAM1203-0008 (PZ-42), MSB-LAM1203-0009 (PZ-46), MSB-LAM1203-0103 (AJ-52), MSB-LAM2622-0101 (PZ-8), MSB-LAM3271-0036 (PZ28) y MSB-LAM3271-0055 (41-III-B-Santa Eulalia 2).
- ✓ De los puntos de agua subterránea que captan la Formación Barco, el piezómetro MSB-LAM3271-0016 (PZ08) del proyecto Mina El Descanso (LAM3271) es el que registra mayor grado de mineralización, registrándose una composición hidroquímica de tipo clorurada sódica, además de valores de conductividad elevados, características que no están dentro de la tendencia regional analizada para esta formación, en consecuencia, se recomienda que en el marco del seguimiento ambiental del proyecto en mención se solicite al licenciario analizar las causas de la composición atípica en este punto de agua.
- ✓ Los resultados de pH, en los expedientes LAM3271, LAM3199 y LAM2622, indica la presencia de agua subterránea ácida, registrando valores de pH entre 2 y 3 unidades, por lo que se hace imperativo solicitar análisis de condiciones locales para definir causas y descartar o verificar relación con la presencia de metales pesados en estas zonas.
- ✓ A escala regional, se puede apreciar que en la mayoría de puntos monitoreados la presencia de metales y metaloides en el agua subterránea no es significativa, pues las concentraciones evidenciadas, en muchos de los casos, no supera los límites de detección ni los valores de referencia con los que fueron comparadas, sin embargo, se identificó que en los puntos MSB- LAM3199-002 y MSB-LAM2622-0101, asociados



a los proyectos Mina La Francia (LAM3199) y Proyecto Carbonífero Calenturitas (LAM2622) respectivamente, se presentan los mayores valores de metales pesados en agua subterránea. Dicha situación es correlacionable con la condición de acidez que el agua subterránea está presentando en esas zonas, considerando que dicha condición favorece la disolución de algunos de los minerales que pueden contener dichos elementos, facilitando su migración hacia el recurso hídrico. Así pues, en los respectivos seguimientos de los proyectos mencionados, se recomienda solicitar actividades orientadas a la consecución de información que permita identificar las causas que generan los valores bajos de pH en el agua subterránea.

- ✓ Para los Expedientes LAM1203, LAM3199 y LAM2622, se recomienda solicitar análisis de causas y justificación de las concentraciones de parámetros microbiológicos que exceden los límites permisibles de acuerdo con el Decreto 1076 en las unidades cuaternarias del área regional, teniendo en cuenta que, durante los años 2022 y 2023, se registran valores superiores a los definidos por la norma.
- ✓ De acuerdo con la presencia de altas concentraciones de parámetros microbiológicos que exceden los límites establecidos en el Decreto 1076, en las Formaciones Terciarias Cuervos y Cuesta en los expedientes LAM1203, LAM3199 y LAM1862, se recomienda solicitar análisis con el fin de verificar y justificar las causas de estas concentraciones en el agua subterránea.
- ✓ Teniendo en cuenta que en los expedientes LAM1862 y 3199 se presentan valores anómalos en las concentraciones de parámetros microbiológicos y nitratos en las Formaciones Terciarias Cuervos y Cuesta se recomienda realizar análisis con el fin de descartar relación entre la presencia de dichas concentraciones y posibles aportes de materia orgánica en la zona de los proyectos.
- ✓ Como recomendación general, es importante que en todos los monitoreos se deje reposar el pozo o aljibe a monitorear, mediante el apagado de la bomba, mínimo durante 24 horas previas a la medición del nivel estático, con el fin de garantizar que durante este lapso de tiempo 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.
- Regionalmente el oxígeno disuelto se comporta consistente con el agua subterránea en la zona de los depósitos cuaternarios y las formaciones terciarias, no obstante se presenta un incremento considerable de los valores registrados en el año 2023 respecto a los del año 2022, en la unidad Depósitos Antrópicos, lo que puede estar asociado con procesos de infiltración directa, por lo que es importante tener en cuenta este parámetro, con el fin de analizar su comportamiento en esta unidad a lo largo del tiempo.
- Las profundidades del nivel estático medidas, principalmente en algunos pozos, no muestran una relación directa con la variación climática, presentan diferencias de





varios metros entre los datos medidos en las dos campañas húmedas, se presume que si es un nivel estático medido con reposo previo del pozo por un período mínimo de 24 horas, las profundidades deben ser aproximadas entre sí; no obstante, se evidencia que no corresponden debido posiblemente a que no se está dando cumplimiento con el apagado del pozo 24 horas antes de realizar la medición, por lo cual, algunos de los datos acá presentados probablemente corresponden con niveles dinámicos o de recuperación. Así mismo, se evidencia que el comportamiento descrito se refleja en algunos piezómetros lo cual puede ser generado a partir de la extensión de los conos de abatimiento de los pozos.

- A partir de los diagramas hidrogeoquímicos es posible establecer que el agua subterránea de los Depósitos Cuaternarios corresponde con flujos de recorridos y tiempos de almacenamiento cortos, como es de esperarse en estos niveles más someros, los cuales están directamente influenciados por la infiltración directa de la precipitación. No obstante, 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, situación que se confirma con el análisis conjunto de otros parámetros como la conductividad, pH, metales y metaloides.
- En cuanto a las mezclas de agua, en el caso de los Depósitos Aluviales - Formación Barco y Depósitos Aluviales - Formación Cuervos la composición del agua subterránea está mayormente influenciada por los aportes de los niveles más someros, pues hidroquímicamente son aguas de recorridos y tiempo de almacenamiento cortos. La mezcla Depósitos Aluviales - Formación Cuesta, a diferencia de las dos anteriores, si bien también presenta influencia de los niveles someros, en donde predominan las aguas bicarbonatadas, hay varios puntos donde prevalece la composición de la unidad más profunda, dado que hidrogeoquímicamente se trata de aguas algo más evolucionadas dentro del ciclo hidrológico, donde las concentraciones de los iones cloruros y sulfatos son mayores. El predominio de una composición bicarbonatada en las tres (3) mezclas antes descritas 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.
- A partir de los diagramas hidrogeoquímicos se observó que en el agua subterránea de la Formación Barco y la Formación Cuervos prevalecen los flujos locales o de recorridos cortos, condición que puede deberse al afloramiento de estas formaciones en superficie o su disposición muy cerca de esta, dado que por ser unidades más antiguas se esperarían aguas que en su composición reflejaran tiempos de residencia





mayores dentro del acuífero, no obstante, en algunos puntos si se evidencian mayores mineralizaciones, con aguas cloruradas y sulfatadas sódicas.

- Para el agua subterránea de la Formación Cuesta no se observó una clasificación clara que determinara una composición hidroquímica predominante, registrándose aguas cloruradas y sulfatadas, como también bicarbonatadas, no obstante, se destaca que el grado de mineralización del agua subterránea de esta formación es muy bajo, y se interpreta la captación de flujos locales; es decir que las aguas de tipo cloruradas y sulfatadas no necesariamente están indicando tiempos de recorrido más largos y/o un tiempo de almacenamiento mayor dentro del acuífero.
- A partir de los resultados de las simulaciones generadas en el Modelo Hidrogeológico Numérico para la ZMCC, se evidencia una dirección de flujo subterráneo predominante de Este a Oeste, la cual se observa directamente influenciada por la actividad minera en la zona.
- No se evidencian cambios en la piezometría como resultado de las captaciones autorizadas en la zona; sin embargo, el manejo de las aguas subterráneas en los tajos necesario para el desarrollo de la operación, si muestra un abatimiento representativo de los niveles piezométricos.
- No se identifican cambios significativos en los niveles freáticos para los diferentes escenarios simulados como resultado de la variabilidad climática proyectada para los años 2040, 2070 y 2100, lo que indica que se puede estar presentando una recarga al sistema a través de flujos regionales y de los cuerpos de agua superficiales.
- Se identifica la necesidad de caracterizar la geología estructural de la zona por parte de las empresas mineras y de las entidades gubernamentales competentes, con el fin de determinar su comportamiento hidráulico y ser incluido en futuras modelaciones.
- La limitación en el acceso a información topográfica detallada y actualizada en el área de modelación, reduce el ajuste del factor de calibración del modelo, por lo que se considera necesaria una actualización de este cuando se disponga de dicha información.





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.





ID	Tipo de punto	MINA	Nomenclatura ANLA	Nombre	Este	Norte	Condición	Uso	Unidad geológica
1	Manantial	La Jagua	MSB-LAM1203-0100	MA-4	4.972.971,00	2.617.658,00	Activo	Abastecimiento doméstico	Depósitos Aluviales
2	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0003	PZ-29	4.972.715,00	2.618.269,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
3	Manantial	La Jagua	MSB-LAM1203-0101	MA-49	4.966.249,00	2.617.743,00	Reserva	NA	Depósitos Aluviales
4	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0006	PZ-38	4.964.687,00	2.615.918,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
5	Manantial	La Jagua	MSB-LAM1203-0102	MA-62	4.959.854,00	2.613.617,00	Activo	Abastecimiento doméstico	Depósitos de Abanico
6	Aljibe	La Jagua	MSB-LAM1203-0001	AJ-2	4.963.454,00	2.614.638,00	Activo	Abastecimiento doméstico	Depósitos de Abanico
7	Aljibe	La Jagua	MSB-LAM1203-0103	AJ-52	4.960.192,00	2.616.634,00	Activo	Abastecimiento doméstico	Depósitos de Planicies Aluviales
8	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0010	PZ-47	4.966.542,00	2.617.153,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuervos
9	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0007	PZ-41	4.967.050,00	2.615.975,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Antrópico
10	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0008	PZ-42	4.966.774,00	2.615.668,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Antrópico
11	Piezómetro	La Jagua	MSB-LAM1203-0009	PZ-46	4.970.272,00	2.618.760,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
12	Piezómetro	Calenturitas	MSB-LAM2622-0100	PZ-7 La Loma	4.933.168,00	2.620.901,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos de Planicies Aluviales
13	Piezómetro	Calenturitas	MSB-LAM2622-0101	PZ-8 El Hatillo	4.937.775,00	2.624.517,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos de Planicies Aluviales
14	Pozo	Calenturitas	MSB-LAM2622-0006	Pozo Nuevo	4.946.140,00	2.624.286,00	Productivo	Abastecimiento mina	Formación Cuesta
15	Piezómetro	Calenturitas	MSB-LAM2622-0097	PZ-39	4.950.213,00	2.628.795,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales



ID	Tipo de punto	MINA	Nomenclatura ANLA	Nombre	Este	Norte	Condición	Uso	Unidad geológica
16	Pozo	Calenturitas	MSB-LAM2622-0102	P-03	4.939.769,00	2.637.597,00	Productivo	Abastecimiento doméstico	Depósitos de Planicies Aluviales
17	Piezometro	Calenturitas	MSB-LAM2622-0103	PZ- 3 El Delirio 1	4.949.786,00	2.627.355,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
18	Pozo	Calenturitas	MSB-LAM2622-0104	P-24	4.957.193,00	2.623.831,00	Productivo	Abastecimiento doméstico	Depósitos Aluviales
19	Pozo	El Hatillo	MSB-LAM1862-0003	47-II-B-00	4.936.919,00	2.617.897,00	Reserva	NA	Formación Cuesta
20	Pozo	El Hatillo	MSB-LAM1862-0004	47-II-B-147	4.939.223,00	2.621.537,00	Activo	Abastecimiento mina	Formación Cuesta
21	Pozo	El Hatillo	MSB-LAM1862-0009	47-II-B-165	4.935.838,00	2.621.301,00	Activo	Abastecimiento campamento	Formación Cuesta
22	Pozo	El Hatillo	MSB-LAM1862-0010	47-II-B-173	4.933.176,00	2.620.912,00	Activo	Abastecimiento publico	Formación Cuesta
23	Piezómetro	El Hatillo	MSB-LAM1862-0007	PZ-H-18-01	4.937.283,00	2.620.435,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuervos
24	Piezómetro	El Hatillo	MSB-LAM1862-0005	47-II-B-169	4.938.584,00	2.625.020,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuesta
25	Pozo	La Francia	MSB-LAM3199-0001	48-I-A-100	4.942.698,00	2.624.011,00	Activo	Abastecimiento mina	Formación Cuesta
26	Pozo	La Francia	MSB-LAM3199-0002	47-II-B-08	4.937.778,00	2.624.498,00	Activo	Abastecimiento publico	Formación Cuesta
27	Piezómetro	La Francia	MSB-LAM3199-0004	48-I-A-28 No.1	4.945.963,00	2.621.939,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuervos
28	Piezómetro	La Francia	MSB-LAM3199-0005	PZ-H-02	4.945.530,00	2.621.978,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales - Formación Cuesta
29	Piezómetro	La Francia	MSB-LAM3199-0006	48-I-A-30 No.3	4.946.464,00	2.620.840,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuesta
30	Piezómetro	La Loma	MSB-LAM0027-0001	PZ2	4.935.485,74	2.594.598,61	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
31	Piezómetro	La Loma	MSB-LAM0027-0002	PZ3	4.950.923,83	2.614.131,13	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales





ID	Tipo de punto	MINA	Nomenclatura ANLA	Nombre	Este	Norte	Condición	Uso	Unidad geológica
32	Piezómetro	La Loma	MSB-LAM0027-0003	PZ7	4.942.562,78	2.617.694,41	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
33	Piezómetro	La Loma	MSB-LAM0027-0004	PZ6	4.946.527,96	2.619.088,84	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
34	Aljibe	La Loma	MSB-LAM0027-0005	Pozo No 1 (aljibe)	4.948.841,06	2.616.533,67	Activo	Doméstico	Depósitos Aluviales
35	Aljibe	La Loma	MSB-LAM0027-0006	Pozo No 6 (aljibe)	4.937.043,10	2.614.482,23	Activo	Doméstico	Depósitos Aluviales
36	Pozo	La Loma	MSB-LAM0027-0007	Pozo No. 8	4.942.044,84	2.618.539,35	Activo	Doméstico	Formación Cuesta
37	Pozo	La Loma	MSB-LAM0027-0008	Pozo No. 9	4.942.023,64	2.618.149,73	Activo	Industrial	Depósitos Aluviales - Formación Cuesta
38	Pozo	La Loma	MSB-LAM0027-0009	Pozo 10	4.949.195,62	2.616.807,34	Activo	Consumo humano y uso doméstico	Depósitos Aluviales -Formación Barco
39	Pozo	La Loma	MSB-LAM0027-0010	Pozo 12	4.949.766,26	2.616.840,52	Activo	Consumo humano, uso doméstico e industrial	Depósitos Aluviales - Formación Barco
40	Pozo	La Loma	MSB-LAM0027-0011	Pozo 14	4.941.999,31	2.618.357,64	Activo	Consumo humano y uso doméstico	Formación Cuesta
41	Piezómetro	La Loma	MSB-LAM0027-0013	RPZ 4 LA LOMA TOWN	4.934.371,00	2.621.180,00	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
42	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0038	PZ33	4.939.146,51	2.628.802,34	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
43	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0016	PZ8	4.948.203,10	2.639.754,70	Activo	Red de monitoreo	Formación Barco
44	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0025	PZ16	4.932.744,75	2.628.878,56	Activo	Red de monitoreo	Formación Barco
45	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0036	PZ28	4.936.708,90	2.630.528,71	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
46	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0048	PZ48	4.947.365,41	2.634.624,56	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuervos
47	Aljibe	El Descanso	MSB-LAM3271-0055	41-III-B-Santa Eulalia 2	4.958.202,41	2.639.010,33	Reserva	Inactivo	Depósitos Aluviales





ID	Tipo de punto	MINA	Nomenclatura ANLA	Nombre	Este	Norte	Condición	Uso	Unidad geológica
48	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0039	PZ34	4.939.147,51	2.628.805,33	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
49	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0017	PZ09	4.948.201,10	2.639.753,71	Activo	Red de monitoreo	Formación Barco
50	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0018	PZ10	4.948.200,10	2.639.752,71	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
51	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0022	PZ14	4.932.743,76	2.628.882,56	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
52	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0024	PZ15	4.932.743,75	2.628.880,56	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
53	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-0037	PZ29	4.936.710,88	2.630.523,70	Activo	Red de monitoreo	Depósitos Aluviales
54	Aljibe	El Descanso	MSB-LAM3271-0056	Los Almendros	4.947.696,83	2.642.974,69	Reserva	Inactivo	Depósitos Aluviales
55	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0012	PWEDN-1	4.940.958,90	2.630.327,38	Activo	Doméstico	Depósitos Aluviales - Formación Cuesta
56	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0013	PWEDN-2	4.941.953,60	2.629.536,86	Activo	Doméstico e industrial	Depósitos Aluviales - Formación Cuesta
57	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0015	PWEDN-4	4.948.414,54	2.638.381,14	Activo	Doméstico e industrial	Depósitos Aluviales - Formación Cuesta
58	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0057	PWEDN-5	4.945.883,34	2.633.282,36	Activo	Consumo humano y uso doméstico	Depósitos Aluviales - Formación Cuervos
59	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0058	PWEDN-6	4.948.668,67	2.638.488,24	Activo	Consumo humano y uso doméstico	Depósitos Aluviales - Formación Cuervos
60	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0059	PWEDN-7	4.948.446,08	2.638.248,15	Activo	Doméstico e industrial	Depósitos Aluviales - Formación Cuervos
61	Pozo	El Descanso	MSB-LAM3271-0060	PWEDN-8	4.948.686,59	2.638.466,21	Activo	Consumo humano y uso doméstico	Formación Barco
62	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-208	PZEC4R	4.944.254,00	2.603.446,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial





ID	Tipo de punto	MINA	Nomenclatura ANLA	Nombre	Este	Norte	Condición	Uso	Unidad geológica
63	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-209	PZEC2R	4.947.937,00	2.605.254,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial
64	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-210	PZEC3AR	4.943.045,00	2.605.694,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuesta
65	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-211	PZEC3BR	4.943.043,00	2.605.692,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial
66	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-212	PZEC1AR	4.941.461,00	2.606.677,00	Activo	Red de monitoreo	Formación Cuesta
67	Piezómetro	El Descanso	MSB-LAM3271-213	PZEC1BR	4.941.464,00	2.606.678,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial
68	Piezómetro	Mina la Divisa o Cerrolargo	MSB-LAM3831-0001	Terraza río Sororia	4.964.987,95	2.613.732,64	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial
69	Piezómetro	Mina la Divisa o Cerrolargo	MSB-LAM3831-0002	Caño los Naranjos	4.965.568,32	2.615.267,08	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial
70	Piezómetro	Mina la Divisa o Cerrolargo	MSB-LAM3831-0003	Caño Helenita	4.965.659,45	2.614.960,00	Activo	Red de monitoreo	Depósito Aluvial

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





ANEXO II

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





Expediente	Nombre del proyecto	Licenciatarario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Año de Monitoreo	No. Campaña	Temporada climática
LAM1203	Explotación integral de carbón del flanco occidental del Sinclinal de La Jagua de Ibirico	PRODECO S.A.	Resolución 01910 del 29/10/2021	2022182667-1-000 del 24 de agosto de 2022	2022	1	Seca
				2022219341-1-000 del 3 de octubre de 2022		2	Húmeda
				2022257750-1-000 del 17 de noviembre de 2022		3	Transición
				2023041818-1-000 del 2 de marzo de 2023		4	Húmeda
				20236200473572 del 14 de agosto de 2023	2023	1	Seca
				20236200711932 del 9 de octubre de 2023		2	Húmeda
				20236201044142 del 26 de diciembre de 2023		3	Transición
				20246200253502 del 7 de marzo de 2024		4	Húmeda
LAM2622	Exploración, construcción y montaje de carbonífera a cielo abierto - Proyecto Carbonífero Calenturitas		Resolución 01909 del 29/10/2021	2022185634-1-000 del 26 de agosto de 2022	2022	1	Seca
				2022219332-1-000 del 30 de septiembre de 2022		2	Húmeda
				2022257764-1-000 del 18 de noviembre de 2022		3	Transición
				2023042220-1-000 del 2 de marzo de 2023		4	Húmeda
				20236200467462 del 11 de agosto de 2023	2023	1	Seca
				20236200754752 del 19 de octubre de 2023		2	Húmeda
				20236201031542 del 21 de diciembre de 2023		3	Transición
				20246200306192 del 19 de marzo de 2024		4	Húmeda
LAM1862	Explotación minera de carbón - Mina El Hatillo	COLOMBIAN NATURAL RESOURCES - CNR	Resolución 01911 del 29/10/2021	2022146933-1-000 del 15 de julio de 2022	2022	1	Seca
				2022185345-1-000 del 26 de agosto de 2022		2	Húmeda
				2022225578-1-000 del 10 de octubre de 2022		3	Transición



Expediente	Nombre del proyecto	Licenciatario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Año de Monitoreo	No. Campaña	Temporada climática
				2022272358-1-000 del 2 de diciembre de 2022	2023	4	Húmeda
				20236200270072 del 26 de junio de 2023		1	Seca
				20236200516212 del 24 de agosto de 2023		2	Húmeda
				20236200703292 del 5 de octubre de 2023		3	Transición
				20236200957992 del 6 de diciembre de 2023		4	Húmeda
LAM3199	Extracción de carbón a cielo abierto - Mina La Francia		Resolución 01972 del 08/11/2021	2022146973-1-000 del 15 de julio de 2022	2022	1	Seca
				2022185338-1-000 del 26 de agosto de 2022		2	Húmeda
				2022225552-1-000 del 10 de octubre de 2022		3	Transición
				2022272498-1-000 del 2 de diciembre de 2022		4	Húmeda
				20236200269892 del 26 de junio de 2023	2023	1	Seca
				20236200516112 del 24 de agosto de 2023		2	Húmeda
				20236200703152 del 5 de octubre de 2023		3	Transición
				20236200957962 del 6 de diciembre de 2023		4	Húmeda
LAM0027	Explotación carbonífera- Mina La Loma- Pribbenow	DRUMMOND LTD	Resolución 01970 del 8/11/2021	2022222033-1-000 del 5 de octubre de 2022	2022	2	Húmeda
				2023020814-1-000 del 2 de febrero de 2023		3	Transición
				20236200038922 del 26 de abril de 2023		4	Húmeda
				20236200438332 del 3 de agosto de 2023	2023	1	Seca
				20236200837682 del 7 de noviembre de 2023		2	Húmeda
						3	Transición





Expediente	Nombre del proyecto	Licenciario	Acto administrativo que impone la estrategia	No. y fecha de radicado de información	Año de Monitoreo	No. Campaña	Temporada climática
				20246200138172 del 7 de febrero de 2024		4	Húmeda
LAM3271	Explotación carbonífera El Descanso, Similoa y Rincón Hondo		Resolución 02028 del 16/11/2021	2023033282-1-000 del 21 de febrero de 2023	2022	1	Seca
						2	Húmeda
						3	Transición
						4	Húmeda
				20236200038882 del 26 de abril de 2023	2023	1	Seca
						2	Húmeda
						3	Transición
						4	Húmeda
20236200663932 del 27 de septiembre de 2023							
20236200837762 del 7 de noviembre de 2023							
20246200138302 del 7 de febrero de 2024							

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



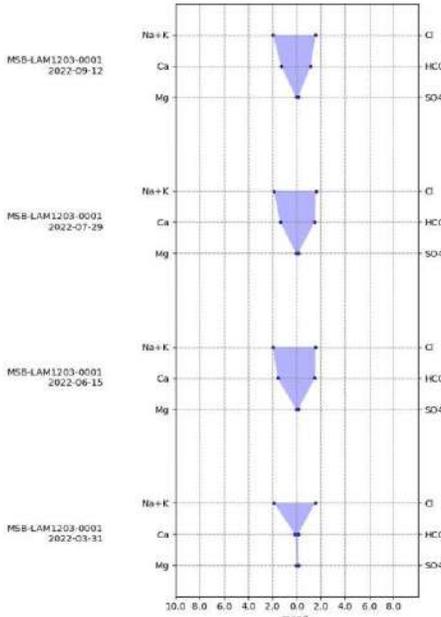
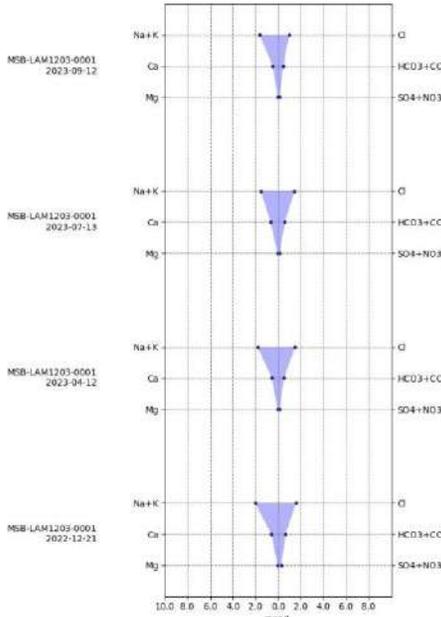


ANEXO III

Diagramas de Stiff correspondientes con el análisis de la estrategia de monitoreo regional del recurso hídrico subterráneo en la Zona Minera del Centro del Cesar - ZMCC, años 2022 y 2023





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0001	AJ-2		





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0003	PZ-29	<p>MSB-LAM1203-0003 2022-09-12</p>	<p>MSB-LAM1203-0003 2023-09-12</p>
		<p>MSB-LAM1203-0003 2022-07-28</p>	<p>MSB-LAM1203-0003 2023-07-13</p>
		<p>MSB-LAM1203-0003 2022-06-14</p>	<p>MSB-LAM1203-0003 2023-04-25</p>
		<p>MSB-LAM1203-0003 2022-03-30</p>	<p>MSB-LAM1203-0003 2022-12-21</p>

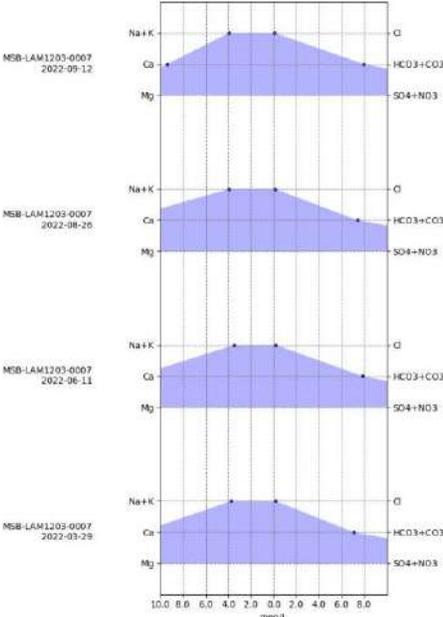
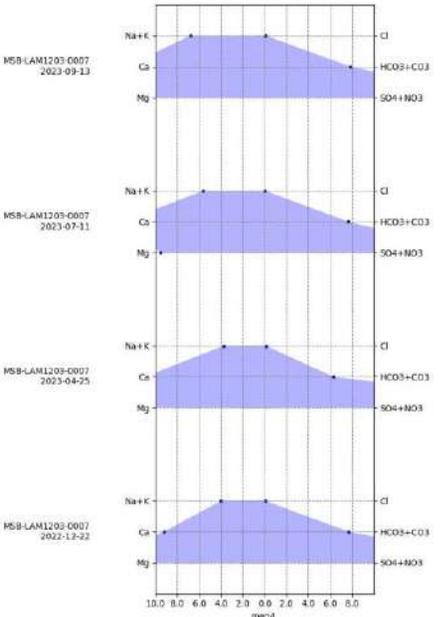




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0006	PZ-38		

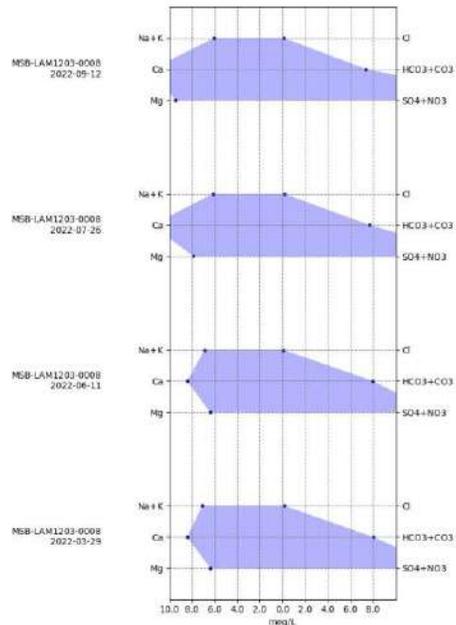
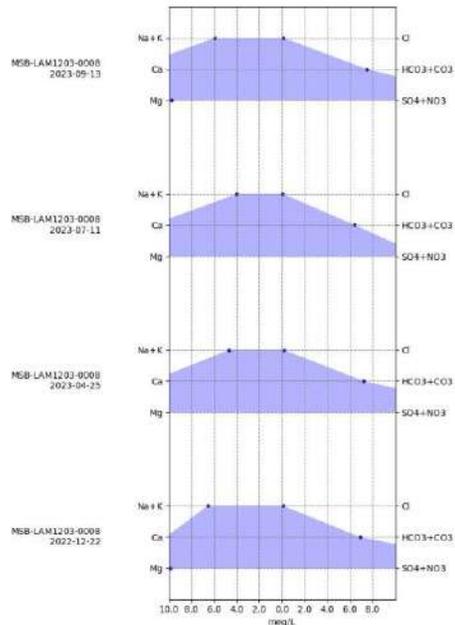




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0007	PZ -41		

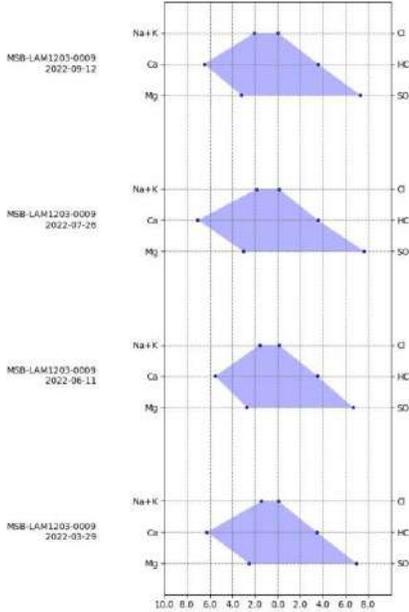
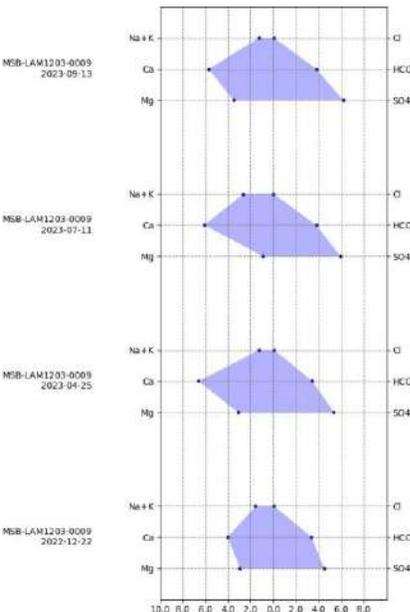




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0008	PZ-42		

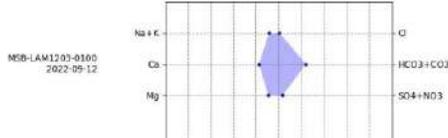
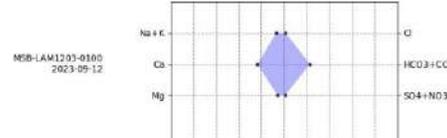
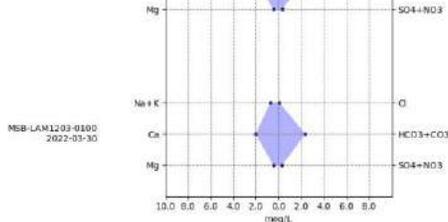
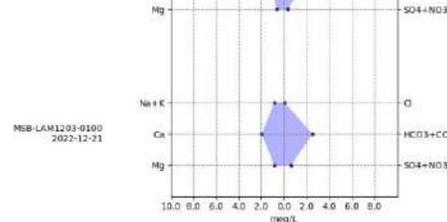




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0009	PZ-46		





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0100	MA-4		
			
			
			

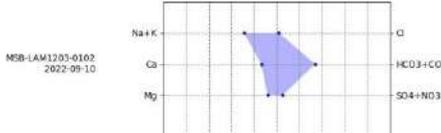
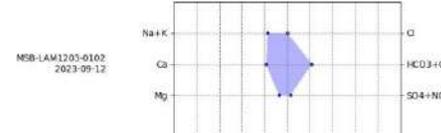
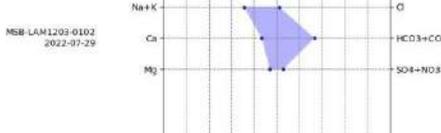
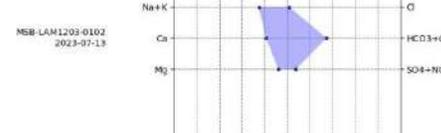
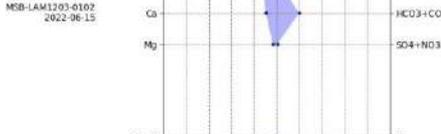
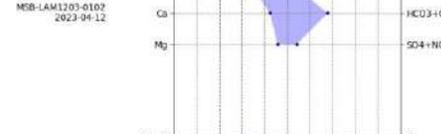
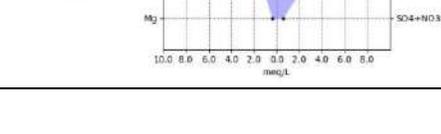
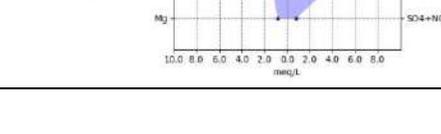




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0101	MA-49		

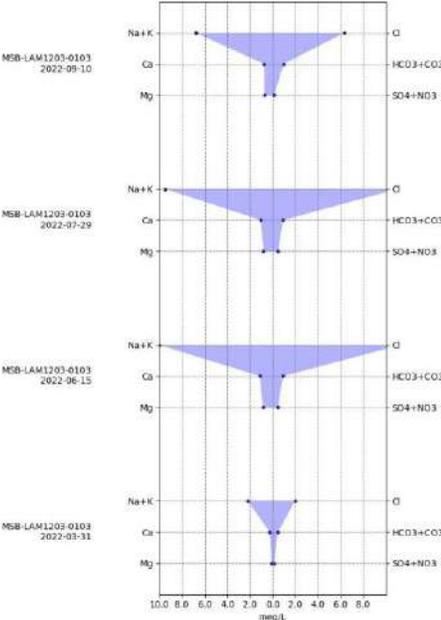
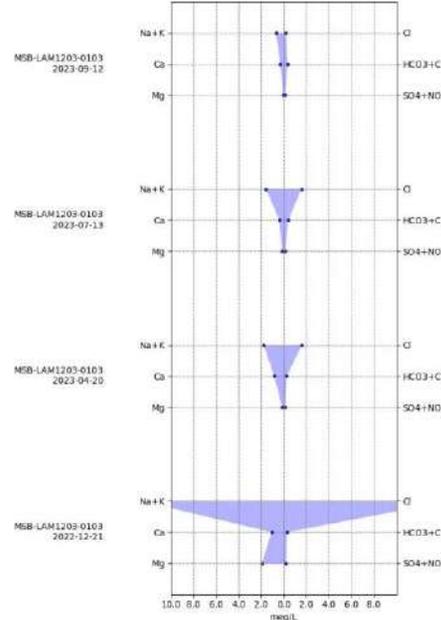




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0102	MA-62	 <p>MSB-LAM1203-0102 2022-09-10</p>	 <p>MSB-LAM1203-0102 2023-09-12</p>
		 <p>MSB-LAM1203-0102 2022-07-29</p>	 <p>MSB-LAM1203-0102 2023-07-13</p>
		 <p>MSB-LAM1203-0102 2022-06-15</p>	 <p>MSB-LAM1203-0102 2023-04-12</p>
		 <p>MSB-LAM1203-0102 2022-03-29</p>	 <p>MSB-LAM1203-0102 2022-12-21</p>





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM1203-0103	AJ-52	 <p>MSB-LAM1203-0103 2022-09-10</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2022-07-29</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2022-06-15</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2022-03-31</p>	 <p>MSB-LAM1203-0103 2023-09-12</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2023-07-13</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2023-04-20</p> <p>MSB-LAM1203-0103 2023-12-21</p>

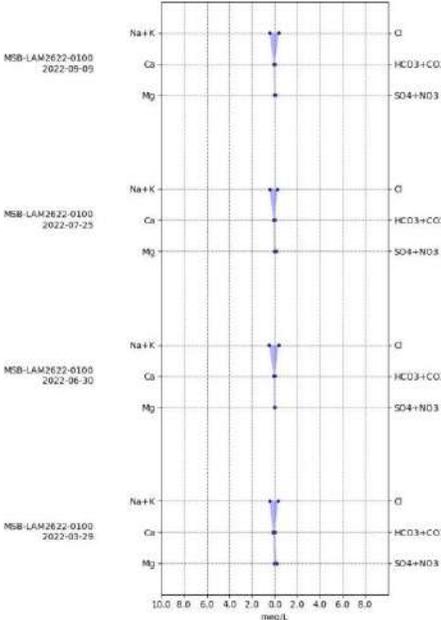
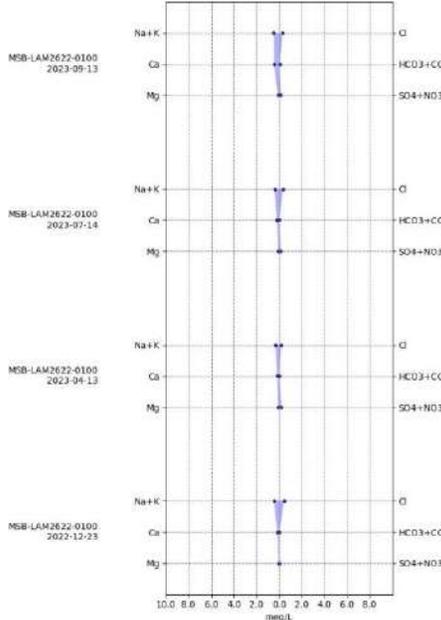




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0097	PZ-39		





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0100	PZ-7 La Loma		

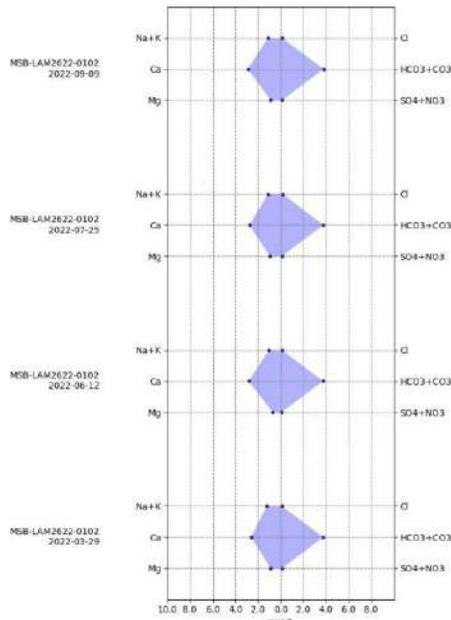
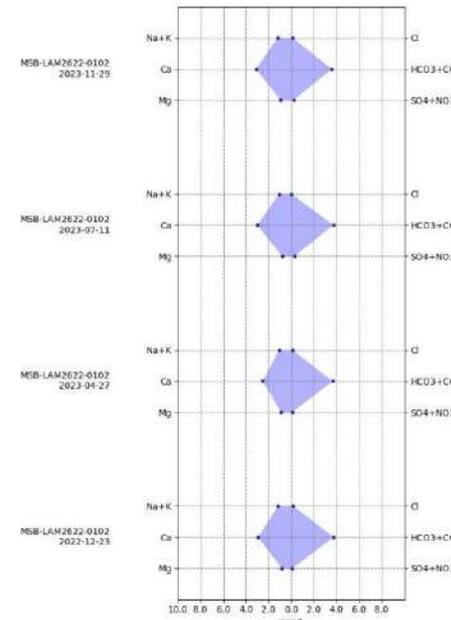




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0101	PZ-8 El Hatillo		

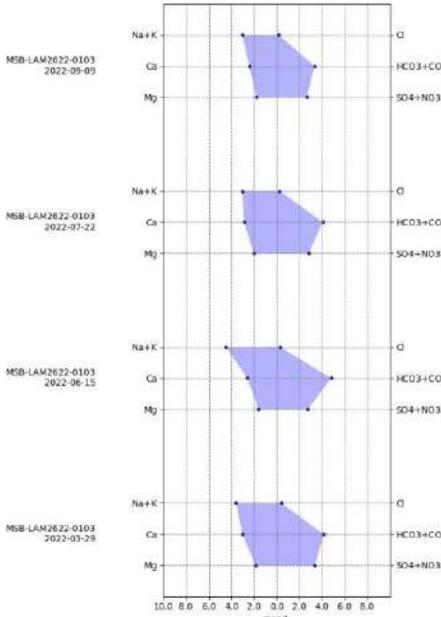
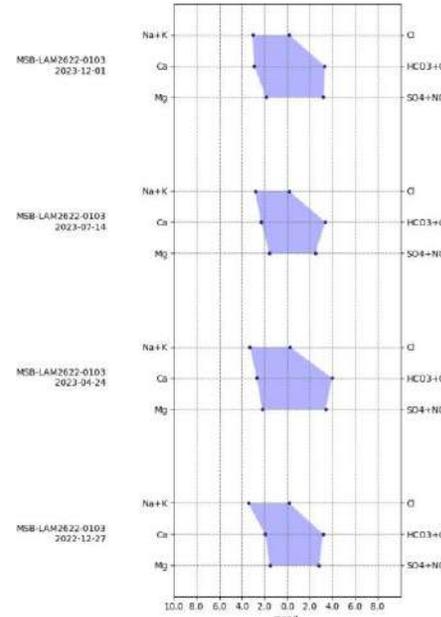


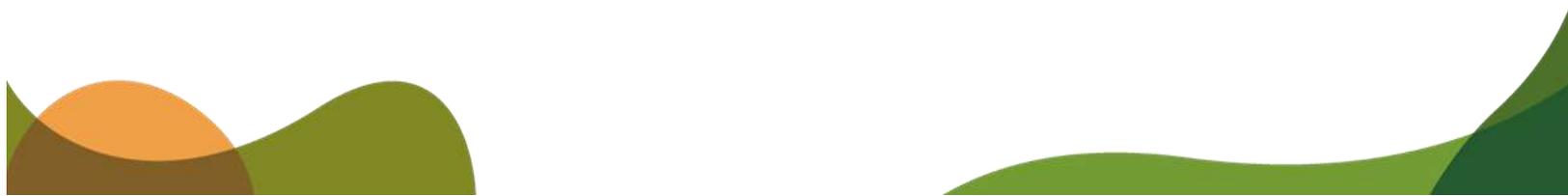


ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0102	P-03		





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0103	PZ- 3 El Delirio 1	 <p>MSB-LAM2622-0103 2022-09-03</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2022-07-22</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2022-06-15</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2022-03-28</p>	 <p>MSB-LAM2622-0103 2023-12-01</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2023-07-14</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2023-04-24</p> <p>MSB-LAM2622-0103 2022-12-27</p>

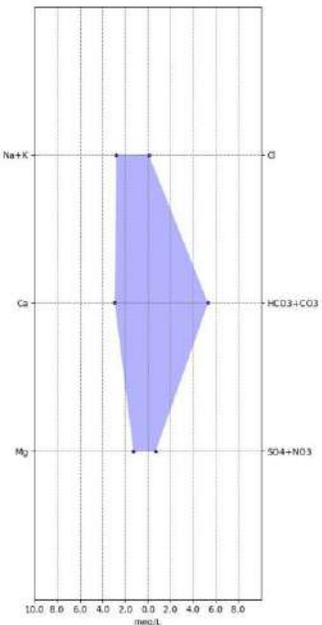
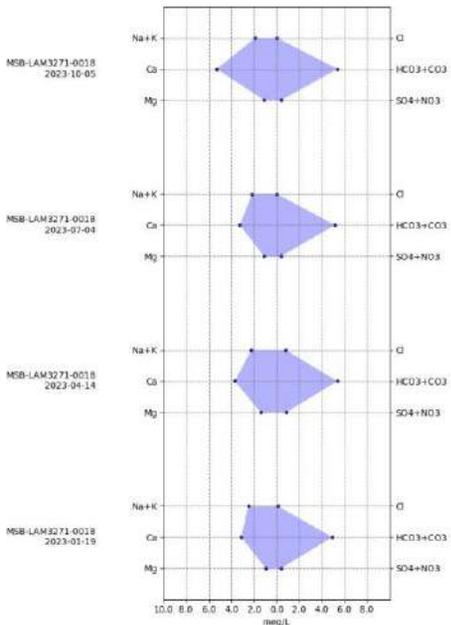




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM2622-0104	P-24	<p>MSB-LAM2622-0104 2022-09-10</p>	<p>MSB-LAM2622-0104 2023-09-14</p>
		<p>MSB-LAM2622-0104 2022-07-27</p>	<p>MSB-LAM2622-0104 2023-07-18</p>
		<p>MSB-LAM2622-0104 2022-06-27</p>	<p>MSB-LAM2622-0104 2023-04-13</p>
		<p>MSB-LAM2622-0104 2022-03-29</p>	<p>MSB-LAM2622-0104 2022-12-24</p>

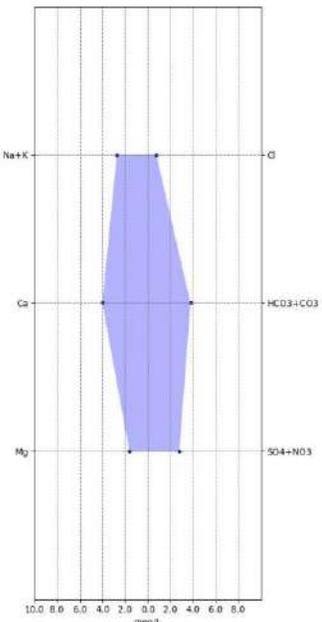
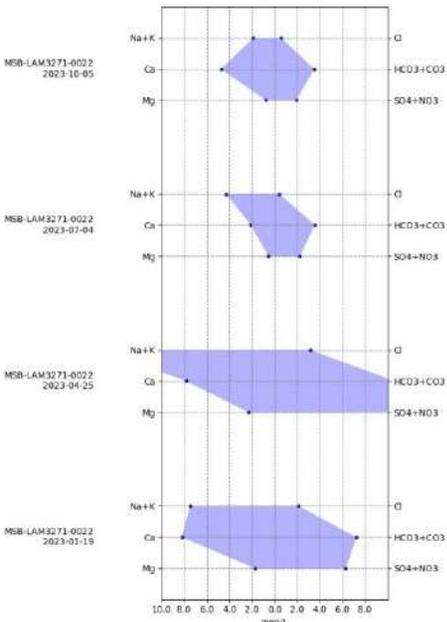




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0018	PZ10	 <p>MSB-LAM3271-0018 2022-12-30</p>	 <p>MSB-LAM3271-0018 2023-10-05</p> <p>MSB-LAM3271-0018 2023-07-04</p> <p>MSB-LAM3271-0018 2023-04-14</p> <p>MSB-LAM3271-0018 2023-01-19</p>





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0022	PZ14	 <p>MSB-LAM3271-0022 2022-12-28</p>	 <p>MSB-LAM3271-0022 2023-10-05</p> <p>MSB-LAM3271-0022 2023-07-04</p> <p>MSB-LAM3271-0022 2023-04-25</p> <p>MSB-LAM3271-0022 2023-01-19</p>

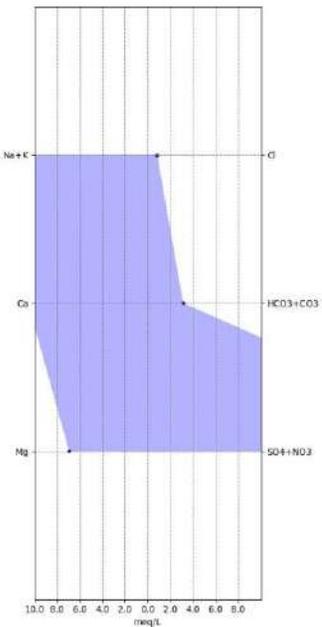
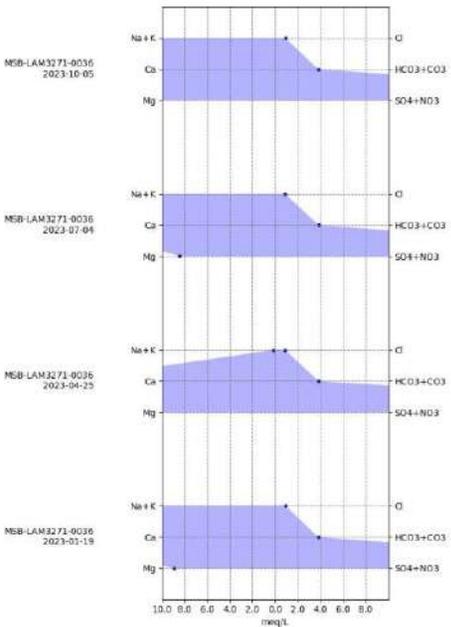




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0023	PZ15	<p>MSB-LAM3271-0023 2022-12-28</p>	<p>MSB-LAM3271-0023 2023-10-05</p> <p>MSB-LAM3271-0023 2023-07-04</p> <p>MSB-LAM3271-0023 2023-04-25</p> <p>MSB-LAM3271-0023 2023-01-19</p>

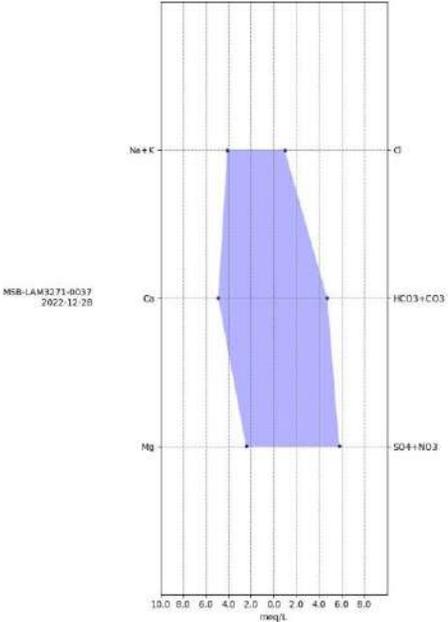
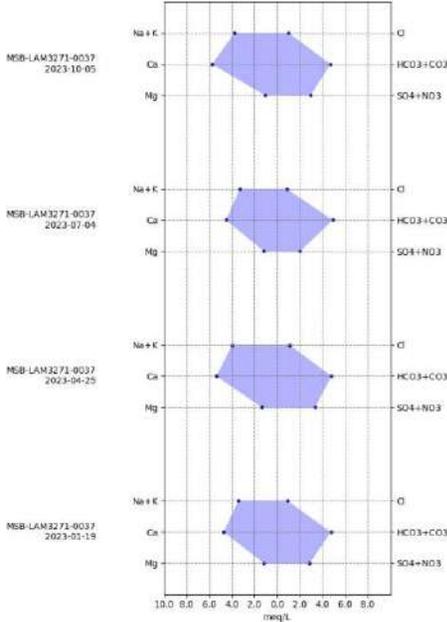




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0036	PZ28	 <p>MSB-LAM3271-0036 2022-12-28</p>	 <p>MSB-LAM3271-0036 2023-10-05</p> <p>MSB-LAM3271-0036 2023-07-04</p> <p>MSB-LAM3271-0036 2023-04-25</p> <p>MSB-LAM3271-0036 2023-01-19</p>

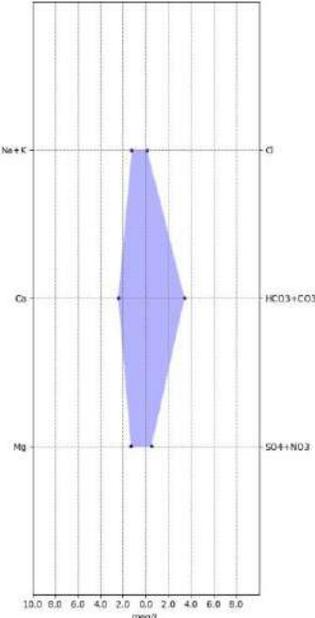
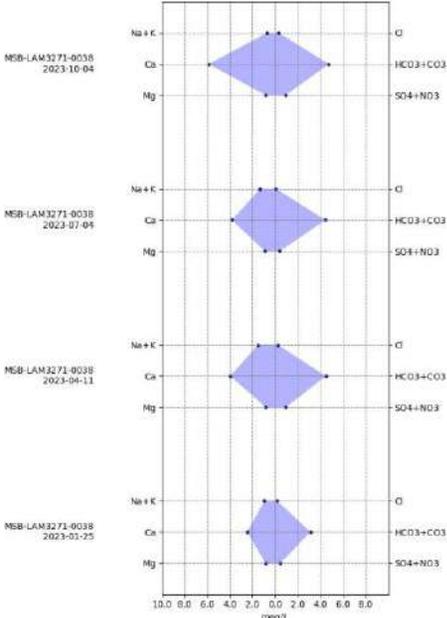




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0037	PZ29	 <p>MSB-LAM3271-0037 2022-12-28</p>	 <p>MSB-LAM3271-0037 2023-10-05</p> <p>MSB-LAM3271-0037 2023-07-04</p> <p>MSB-LAM3271-0037 2023-04-25</p> <p>MSB-LAM3271-0037 2023-01-19</p>

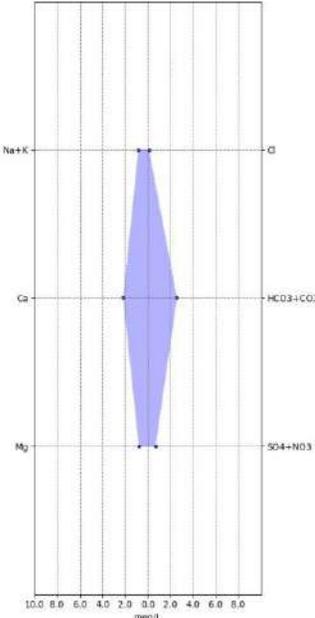
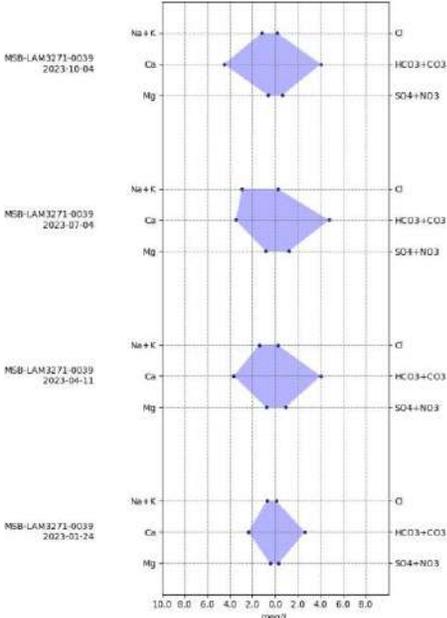




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0038	PZ33	 <p>MSB-LAM3271-0038 2022-12-29</p>	 <p>MSB-LAM3271-0038 2023-10-04</p> <p>MSB-LAM3271-0038 2023-07-09</p> <p>MSB-LAM3271-0038 2023-04-11</p> <p>MSB-LAM3271-0038 2023-01-25</p>

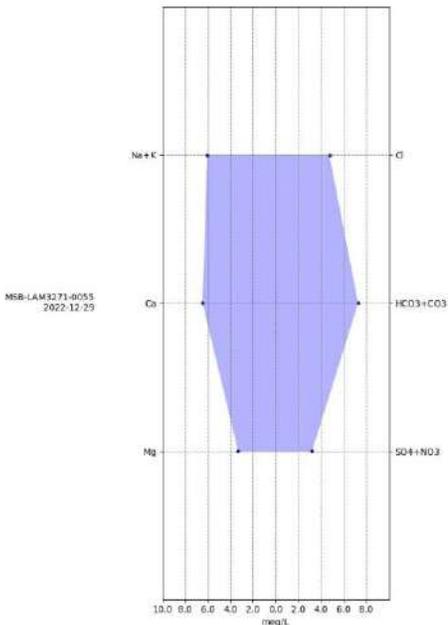
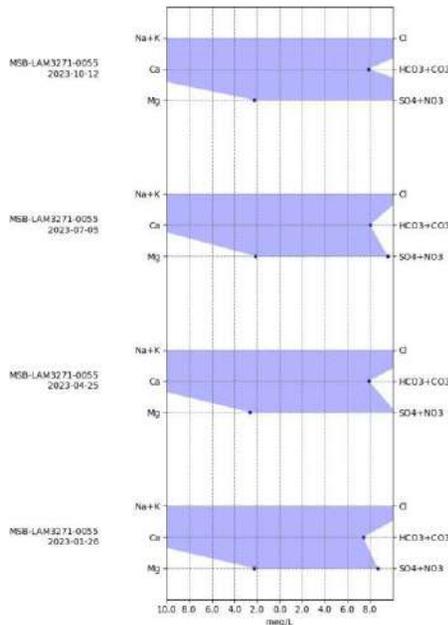




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0039	PZ34	 <p>MSB-LAM3271-0039 2022-12-20</p>	 <p>MSB-LAM3271-0039 2023-10-04</p> <p>MSB-LAM3271-0039 2023-07-09</p> <p>MSB-LAM3271-0039 2023-04-11</p> <p>MSB-LAM3271-0039 2023-01-24</p>

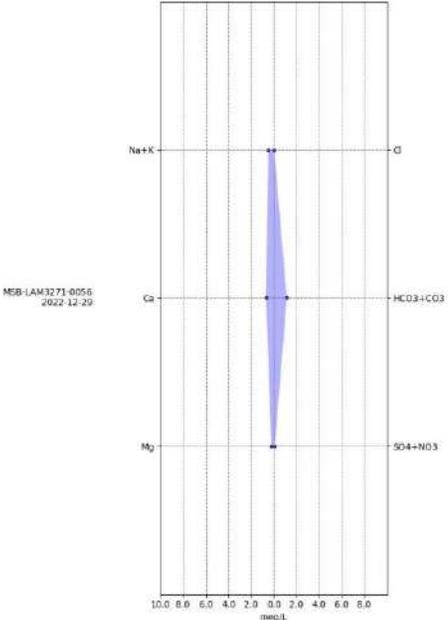
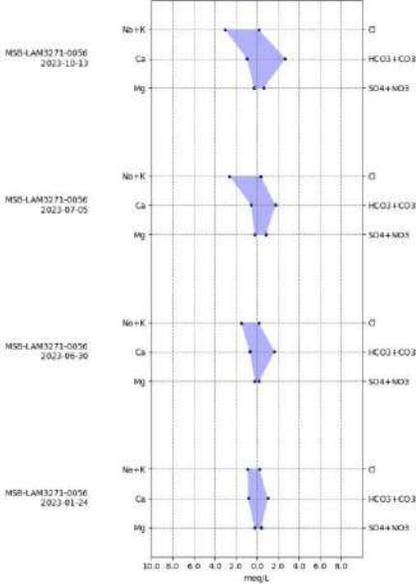




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0055	41-III-B-Santa Eulalia 2	 <p>MSB-LAM3271-0055 2022-12-29</p>	 <p>MSB-LAM3271-0055 2023-10-12</p> <p>MSB-LAM3271-0055 2023-07-05</p> <p>MSB-LAM3271-0055 2023-04-25</p> <p>MSB-LAM3271-0055 2023-01-26</p>

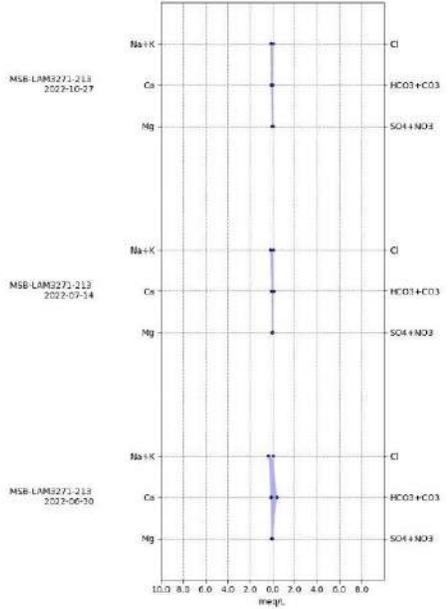
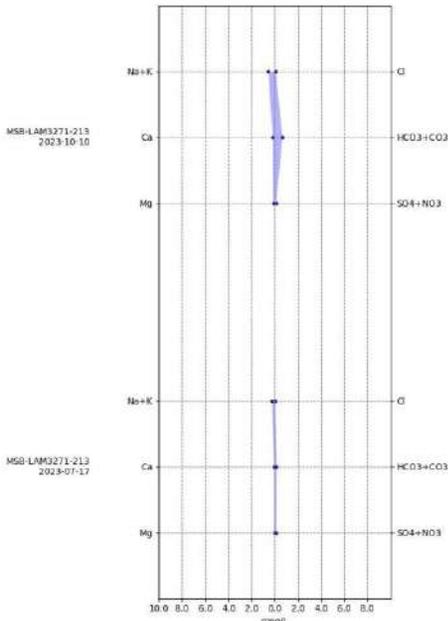




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-0056	Los Almendros	 <p>MSB-LAM3271-0056 2022-12-29</p>	 <p>MSB-LAM3271-0056 2023-10-13</p> <p>MSB-LAM3271-0056 2023-07-05</p> <p>MSB-LAM3271-0056 2023-08-30</p> <p>MSB-LAM3271-0056 2023-01-24</p>

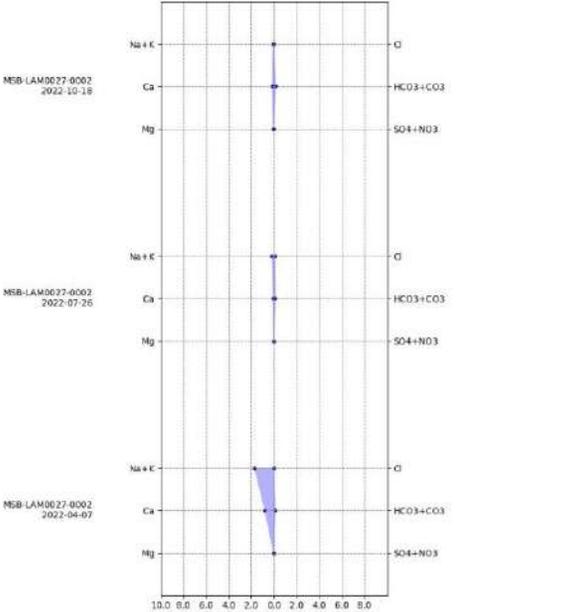
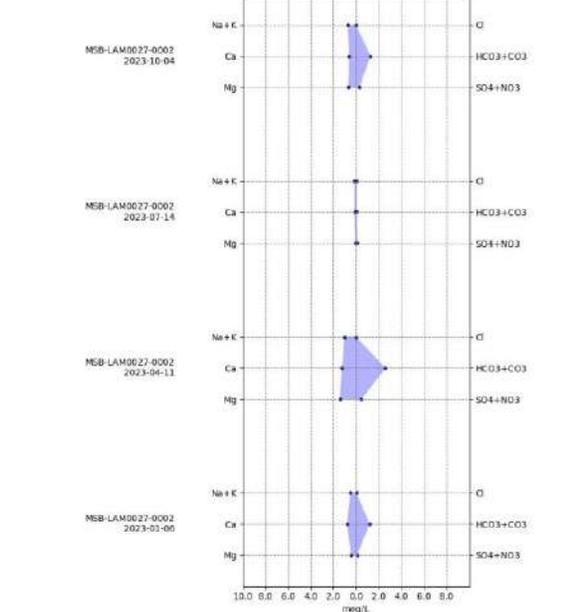




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-213	PZEC1BR		

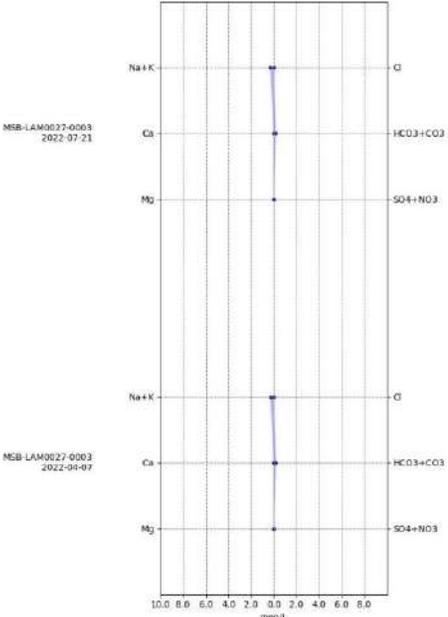
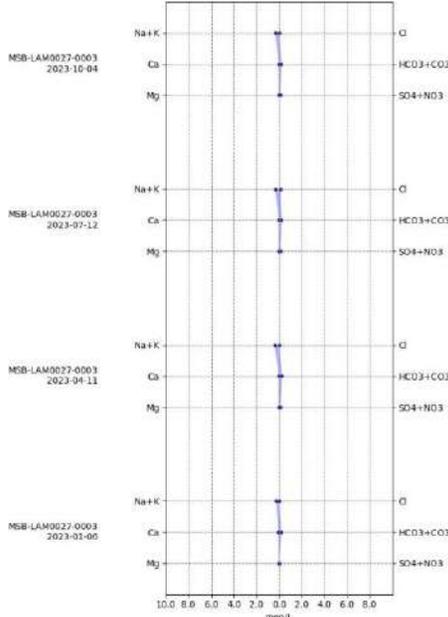




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0002	PZ3	 <p>MSB-LAM0027-0002 2022-10-18</p> <p>MSB-LAM0027-0002 2022-07-26</p> <p>MSB-LAM0027-0002 2022-04-07</p>	 <p>MSB-LAM0027-0002 2023-10-04</p> <p>MSB-LAM0027-0002 2023-07-14</p> <p>MSB-LAM0027-0002 2023-04-11</p> <p>MSB-LAM0027-0002 2023-01-06</p>

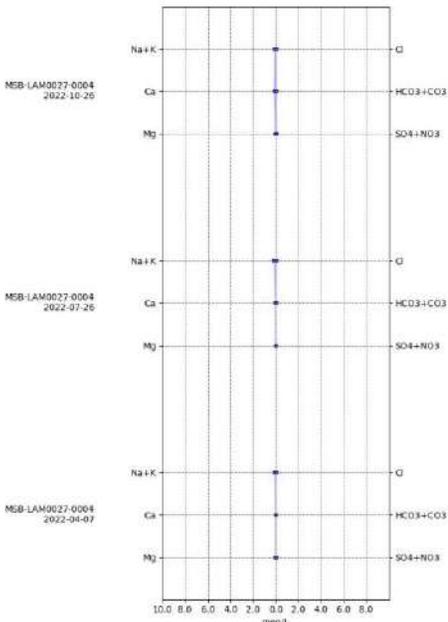
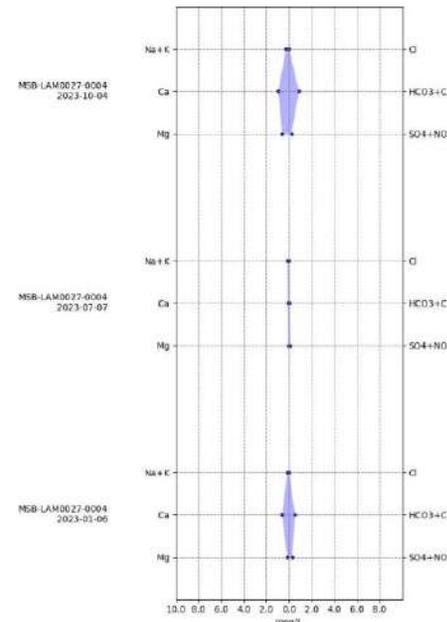




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0003	PZ7	 <p>MSB-LAM0027-0003 2022-07-21</p> <p>MSB-LAM0027-0003 2022-09-07</p>	 <p>MSB-LAM0027-0003 2023-10-04</p> <p>MSB-LAM0027-0003 2023-07-12</p> <p>MSB-LAM0027-0003 2023-04-11</p> <p>MSB-LAM0027-0003 2023-01-05</p>

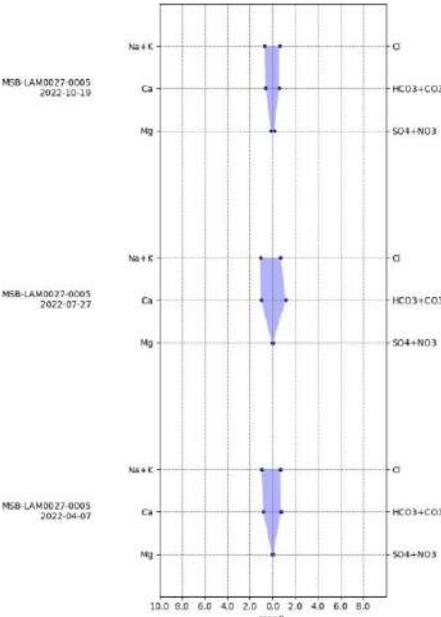
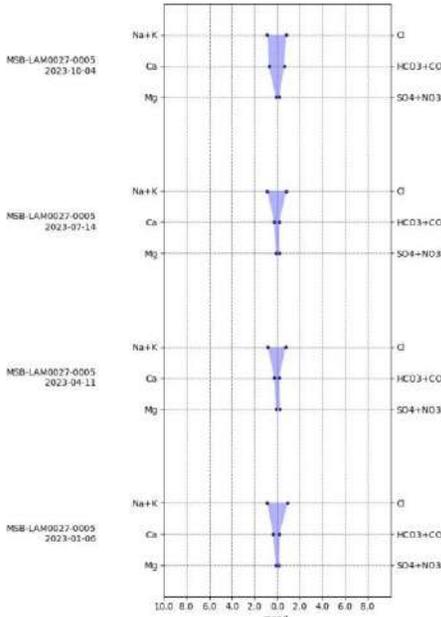




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0004	PZ6		

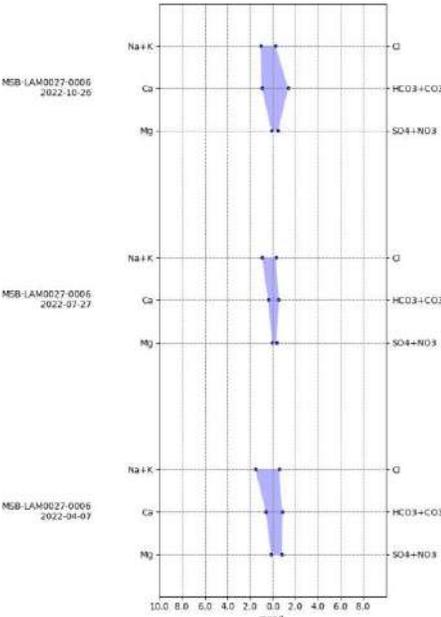
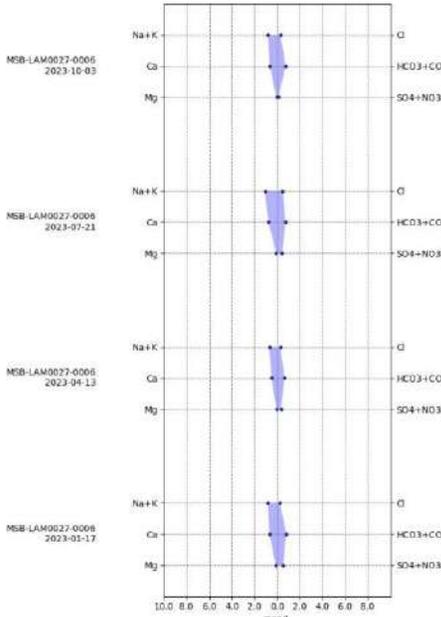




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0005	Pozo No 1 (aljibe)	 <p>Three violin plots for 2022 showing ion concentrations (Na+K, Ca, Mg) and anions (Cl, HCO₃+CO₃, SO₄+NO₃) in meq/L. The plots are for dates 2022-10-19, 2022-07-27, and 2022-04-07.</p>	 <p>Three violin plots for 2023 showing ion concentrations (Na+K, Ca, Mg) and anions (Cl, HCO₃+CO₃, SO₄+NO₃) in meq/L. The plots are for dates 2023-10-04, 2023-07-14, and 2023-04-11.</p>





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0006	Pozo No 6 (aljibe)	 <p>Three water quality charts for 2022. Each chart shows concentrations of Na+K, Ca, and Mg in meq/L for Cl, HCO₃+CO₃, and SO₄+NO₃ ions. The x-axis ranges from 10.0 to 0.0 on the left and 0.0 to 8.0 on the right.</p>	 <p>Three water quality charts for 2023. Each chart shows concentrations of Na+K, Ca, and Mg in meq/L for Cl, HCO₃+CO₃, and SO₄+NO₃ ions. The x-axis ranges from 10.0 to 0.0 on the left and 0.0 to 8.0 on the right.</p>

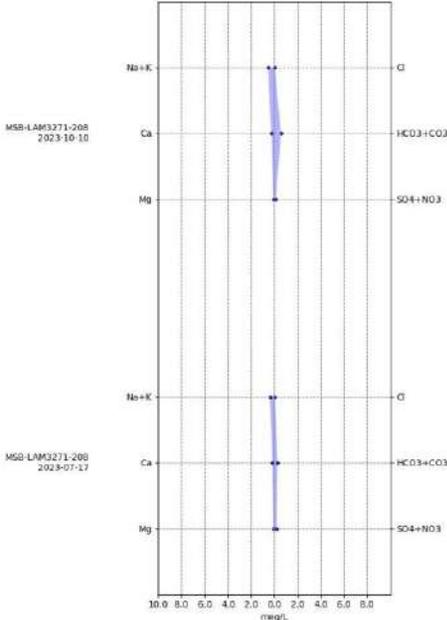




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM0027-0013	RPZ 4 LA LOMA TOWN		

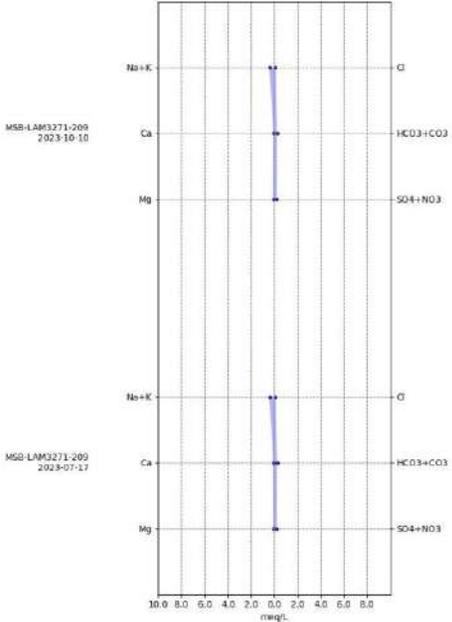




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-208	PZEC4R	No aplica	

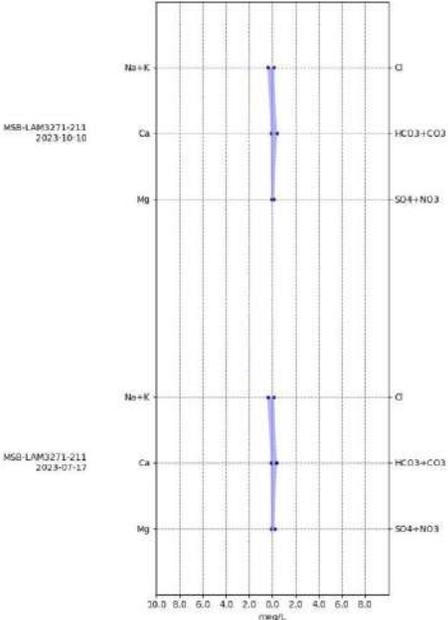




ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-209	PZEC2R	No aplica	 <p>MSB-LAM3271-209 2023-10-10</p> <p>MSB-LAM3271-209 2023-07-17</p>





ID ANLA	ID Empresa	2022	2023
MSB-LAM3271-211	PZEC3BR	No aplica	

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

