

Apoyo y Análisis en las Actividades de Exploración para el Frente de Perforación #2, en el  
Proyecto Minero La Concepción, Ubicado en el Título Minero QEE-08041.

Juan Sebastián Riaño Velásquez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Angélica Álvarez Naranjo

PhD. Geología Estructural y Tectónica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías fisicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de a mi madre, por todo el apoyo y paciencia a lo largo de este proceso, en donde a pesar de las adversidades siempre estuvo presente durante todo mi recorrido universitario y personal, a ella toda mi gratitud y respeto.

## **Agradecimientos**

A mi madre Liliana Velásquez Monroy, quien hizo posible que llegase a este punto de mi vida, sin duda alguna su arduo trabajo fue determinante a lo largo de todo este proceso.

A mi familia, Alicia Monroy, Román Ospino, Gabriela Uribe y Ámbar Ospino, pilares importantes de mi vida.

Agradezco a Paula Ximena Rojas, mi compañera de vida, por la incondicionalidad y compañía en todo este proceso, por acompañarme y siempre creer en mí.

A la docente PhD. Angélica Álvarez Naranjo, por la paciencia sobrehumana que tuvo, la orientación en momentos cruciales de la carrera, las observaciones y aportes en el desarrollo del proyecto de grado y por inculcarme un gusto especial por las ciencias de la tierra.

A la compañía GEOTERRA INGENIERIA S.A.S. y su equipo de geología, en cabeza del ingeniero geólogo Yesid Galvis Huertas, por todos sus aportes en el desarrollo de la práctica y tener la mejor disposición en el momento de resolver inquietudes.

A todos mis compañeros de estudio y colegas de trabajo que hicieron parte de esta etapa que culmina.

A la Universidad Industrial de Santander, por la formación profesional y personal.

A todos ustedes, ¡Gracias totales!

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	11
1. Justificación .....	12
2. Objetivos.....	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3. Localización.....	14
4. Marco geológico .....	15
4.1 Geología regional .....	15
4.1.1 Rocas Metamórficas .....	15
4.1.1.1 Neis de San Lucas .....	15
4.1.1.2 Filitas y Esquistos de Pinillos .....	16
4.1.2 Rocas Ígneas .....	17
4.1.2.1 Complejo volcánico de Noreán (J1npe, J1na, J1ned, J1nha).....	17
4.1.2.2 Granito de Norosí .....	18
4.1.2.3 Diorita de Segovia .....	18
4.1.2.4 Unidad Extrusiva de las Brisas.....	19
4.1.3 Depósitos Cuaternarios.....	19
4.1.3.1 Depósitos Fluviales de Canal (Q2fc).....	19
4.1.3.2 Depósitos de Llanura de Inundación (Q1Q2fal) .....	20
4.2 Geología estructural .....	20
4.2.1 Dominio Estructural N-S .....	21
4.2.1.1 Sistema de Fallas de Palestina.....	21
4.2.1.2 Falla El Bagre.....	22
4.2.1.3 Falla Ariza.....	22
4.2.2 Dominio Estructural NE .....	22
4.2.2.1 Falla de Las Brisas.....	23
4.2.2.2 Falla Jogajoga.....	23
4.2.2.3 Falla Ororia .....	23
4.2.2.4 Falla La Honda .....	23
4.2.3 Lineamientos.....	23

4.3 Geomorfología Regional .....	24
4.4 Geología local .....	25
4.4.1 Complejo volcánico de Noreán (J1npe) .....	26
4.4.2 Complejo volcánico de Noreán (J1ned) .....	26
5. Geología del yacimiento .....	27
5.1 Mineralización .....	29
5.2 Tipo de depósito .....	30
6. Metodología .....	32
6.1 Búsqueda y síntesis del material bibliográfico. ....	32
6.2 Documentación metódica de las actividades y descubrimientos geológicos.....	33
6.3 Llevar a cabo labores de logueo con base a testigos rocosos. ....	33
6.4 Seguimiento a las labores de avance en la excavación del túnel. ....	34
6.5 Actualización del modelo geológico del yacimiento en Leapfrog 3D. ....	34
6.6 Elaboración del documento final. ....	34
7. Resultados .....	35
7.1 Documentación de las actividades y descubrimientos geológicos realizados .....	35
7.1.1 Seguimiento operativo para el frente de perforación #2.....	36
7.1.2 Registro de los hallazgos geológicos en plataforma .....	37
7.1.3 Georreferenciación de collars de perforación. ....	38
7.2 Logueo detallado con base a los testigos rocosos obtenidos en el frente de perforación #2...41	
7.2.1 Resultados logueo geológico detallado – Litología. ....	41
7.2.2 Resultados logueo geológico detallado – Alteraciones. ....	42
7.2.3 Resultado logueo geológico detallado – Mineralizaciones.....	43
7.2.4 Resultados logueo geológico detallado – Logueo geotécnico .....	44
7.3 Seguimiento a las labores de avance en la excavación del túnel. ....	46
7.4 Actualización del modelo geológico del yacimiento en Leapfrog 3D. ....	50
7.4.1 Modelo de superficies litológicas.....	51
7.4.2 Modelo numérico RQD .....	52
8. Conclusiones.....	55
Referencias .....	57

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Formato de logueo geológico para los testigos rocosos obtenidos.....	33
Tabla 2. Formato de logueo geotécnico para los testigos rocosos obtenidos .....	33
Tabla 3. Formato de reporte diario o logueo rápido en plataforma, para el frente de perforación #2 .....	35
Tabla 4. Consumos por turno para el frente de perforación #2 .....	37
Tabla 5. Información por pozo realizado en el frente de perforación #2 .....	40
Tabla 6. Base de datos para RQD .....	44
Tabla 7. Resumen de los hallazgos del túnel más relevantes durante el tiempo transcurrido de la práctica empresarial .....	46
Tabla 8. Calidad de la roca, volumen y porcentaje que ocupan en el modelo numérico de RQD	54

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa de localización para el contrato de concesión minera QEE-08041 .....	14
Figura 2. Mapa estructural regional asociado al título minero QEE-08041 .....	20
Figura 3. Mapa geomorfológico regional para el contrato de concesión QEE-08041 .....	24
Figura 4. Mapa geológico regional para el título QEE-08041 .....	26
Figura 5. Tobas de cristales y líticos encontradas en el proyecto minero La Concepción .....	28
Figura 6. Estilo de las estructuras mineralizadas en el proyecto minero la concepción .....	29
Figura 7. Ubicación relativa del título con respecto a la posición de Santa Rosa del Sur .....	30
Figura 8. Estructuras mineralizadas de epitermales de intermedia sulfuración.....	31
Figura 9. Diagrama de las fases metodológicas para el actual proyecto .....	32
Figura 10. Avance diario para la semana del 04 de mayo hasta el 10 de mayo, para el frente de perforación #2, en el proyecto minero La concepción. ....	36
Figura 11. Registro fotográfico en plataforma.....	38
Figura 12. Georreferenciación de collars con equipo de estación total. ....	39
Figura 13. Vista en planta de las ubicaciones de los pozos realizados por el frente de perforación #2.....	39
Figura 14. Procedimiento de logueo geológico y geotécnico.....	41
Figura 15. Tobas de cristales y líticos compuestos por fragmentos de lapilli, contrastando con una sección de tobas de ceniza. ....	42
Figura 16. Comportamiento de las distintas zonas de alteración hidrotermal, para una zona de alteración propilítica y fílica.....	43
Figura 17. Zonas de interés económico, con marcación de intervalos de muestreo .....	44

Figura 18. Acompañamiento en las labores de avance en el frente del túnel (A) y muestra de mano de la litología en el frente (B) .....	46
Figura 19. Mapeo geológico según el avance de la excavación. ....	48
Figura 20. Estereograma para cada plano medido en el frente de la labor. ....	49
Figura 21. Modelo de superficies litológicas.....	51
Figura 22. Target Concepción 3 (rojo) y las estructuras sub-paralelas a la misma.....	52
Figura 23. Modelo numérico de RQD sobre el bloque de exploración de concepción 3.....	53
Figura 24. Perfil paralelo al eje de avance del túnel Concepción 3 (resaltado en amarillo) y la calidad de la roca proyectada para las distintas fases de avance del túnel.....	54

## Resumen

**Título:** Apoyo y análisis en las actividades de exploración para el frente de perforación #2, en el proyecto minero la concepción, ubicado en el título minero QEE-08041. \*

**Autor:** Juan Sebastián Riaño Velásquez\*\*

**Palabras Clave:** Yacimiento epitermal, Serranía de San Lucas, Modelamiento geológico, Testigos rocosos, Labores subterráneas.

**Descripción:** El Proyecto Minero La Concepción, ubicado en la Serranía de San Lucas, Bolívar, se desarrolla en un depósito epitermal de intermedia sulfuración, con minerales de alto valor económico como esfalerita, calcopirita, pirita, galena y oro. Aprovechando estas condiciones geológicas favorables, este trabajo de grado, realizado entre enero y junio de 2024 en GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S., se centró en el seguimiento integral de las actividades de exploración en el frente de trabajo #2. Las labores incluyeron la supervisión de la perforación diamantina, la descripción sistemática de los testigos rocosos para identificar áreas de interés mineral, y el procesamiento de la información utilizando el software Leapfrog para optimizar el modelo geológico del yacimiento. Además, se realizaron informes periódicos sobre el avance del túnel de exploración lo cual garantizó una toma de decisiones apropiadas a lo largo de la excavación.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Angélica Álvarez Naranjo. PhD.

### Abstract

**Title:** Support and Analysis in Exploration Activities for Drilling Front #2 in La Concepción Mining Project, Located in the Mining Title QEE-08041. \*

**Author:** Juan Sebastián Riaño Velásquez\*\*

**Keywords:** Epithermal deposit, Serranía de San Lucas, Geological modeling, Drill cores, Underground operations.

**Description:** La Concepción Mining Project, located in the Serranía de San Lucas, Bolívar, is developed in an intermediate-sulfidation epithermal deposit, containing economically valuable minerals such as sphalerite, chalcopyrite, pyrite, galena, and gold. Taking advantage of these favorable geological conditions, this thesis, conducted between January and June 2024 at GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S., focused on the comprehensive monitoring of exploration activities at Drilling Front #2. The tasks included supervising diamond drilling, systematically describing drill cores to identify areas of mineral interest, and processing of the gathered data using Leapfrog software to optimize the geological modeling of the deposit. Additionally, periodic reports were generated on the progress of the excavation of the tunnel, ensuring appropriate decision-making throughout the excavation.

---

\* Degree work.

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Academic program. Director: Angélica Álvarez Naranjo. PhD.

## **Introducción**

Este proyecto de grado se realizó a través de la modalidad de práctica empresarial durante los meses de enero a junio de 2024, en la empresa GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S. Esta empresa, establecida desde 2022, se dedica principalmente a la realización de ensayos y análisis técnicos durante las labores de exploración geológica, y se encuentra actualmente brindando apoyo al Proyecto Minero La Concepción (título QEE-08041) en el área de geología.

El Proyecto Minero La Concepción, ubicado en la Serranía de San Lucas en el Departamento de Bolívar, representa una oportunidad relevante para la extracción de minerales valiosos. Este proyecto se sitúa en un depósito epitermal de intermedia sulfuración, destacado por la presencia de minerales como esfalerita, calcopirita, pirita, galena y oro, todos ellos de importancia económica considerable.

El enfoque de este informe se basó en las labores operativas y técnicas, orientadas a una serie de actividades realizadas durante los procesos de exploración. Esto incluyó la supervisión de las operaciones de exploración, la gestión de la perforación diamantina y el procesamiento de todos los datos recopilados mediante software de modelado tridimensional.

## 1. Justificación

La razón subyacente de este proyecto se sustentó en la necesidad imperativa de mejorar y consolidar las actividades de prospección en el Proyecto Minero La Concepción, ubicado en la concesión minera QEE-08041, en la Serranía de San Lucas, Departamento de Bolívar. La relevancia estratégica asociada a la extracción de minerales en esta región (esfalerita, calcopirita, pirita, galena y oro nativo), junto con la complejidad geológica inherente a un depósito epitermal de intermedia sulfuración, además de su contribución al desarrollo económico local, resalta la pertinencia fundamental de dichas actividades. En este contexto, la existencia de un respaldo técnico-geológico emergió como un componente fundamental para garantizar la eficiencia en cada fase del proceso de exploración.

Este trabajo tuvo como objetivo realizar un seguimiento integral de las actividades de exploración en el frente de trabajo #2, dentro de la concesión minera La Concepción. Se enfocó en la supervisión de la perforación diamantina, la descripción detallada de los testigos rocosos para identificar sistemáticamente áreas de interés mineral y el procesamiento de toda la información recopilada utilizando software 3D, específicamente Leapfrog, con el fin de optimizar la interpretación y comprensión del modelo geológico del yacimiento. Además, se generaron informes periódicos sobre el avance del túnel, que no solo facilitaron la toma de decisiones, sino que también jugaron un papel fundamental en garantizar el cumplimiento de las normativas de seguridad, fomentando prácticas responsables y sostenibles en este proyecto minero.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Acompañar de manera activa las actividades de exploración para el frente de perforación #2, en el proyecto minero La Concepción, ubicado en el título minero QEE-08041, en la Serranía de San Lucas, Departamento de Bolívar.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Documentar de manera metódica las actividades y descubrimientos geológicos en el proyecto minero La Concepción.

Llevar a cabo labores de logueo con base a los testigos rocosos obtenidos en el frente de perforación #2 del proyecto minero La Concepción.

Seguir las labores de avance en la excavación del túnel en el proyecto minero La Concepción.

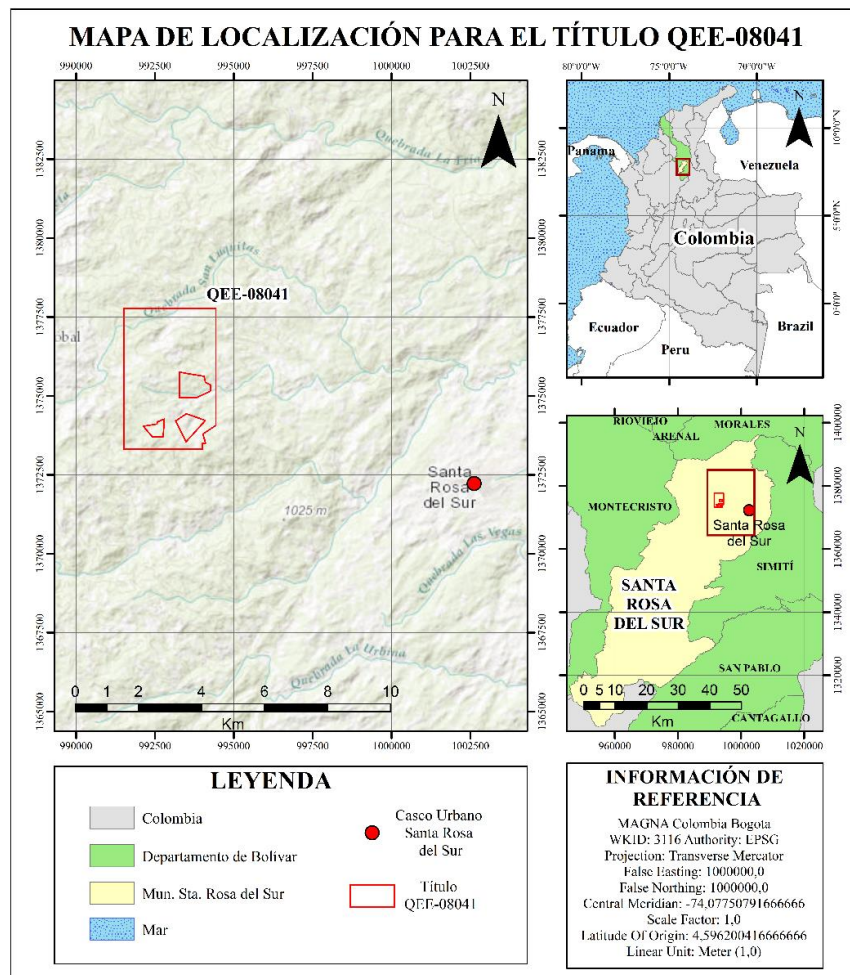
Actualizar el modelo geológico del yacimiento en Leapfrog 3D.

### 3. Localización

La concesión minera identificada con el código QEE-08041 se encuentra localizada al sur del departamento de Bolívar, en el municipio de Santa Rosa del Sur, En *figura 1*. Este título tiene una extensión total de 1.150,9293 hectáreas distribuido en una zona y tres exclusiones según lo celebrado por la Agencia Nacional de Minería (ANM). La zona de extracción se encuentra aproximadamente a 18 kilómetros desde el casco urbano de Santa Rosa del Sur, y se accede por medio de una vía terciaria carreteable que dirige hacia el corregimiento de Fátima.

**Figura 1**

*Mapa de localización para el contrato de concesión minera QEE-08041.*



## 4. Marco geológico

La Serranía de San Lucas es un bloque tectonoestratigráfico ubicado en la parte más septentrional de la Cordillera Central de Colombia, esta, al igual que la sección norte del Valle Medio del Magdalena y la estribación noroeste de la Cordillera Oriental, fue formada por 8 eventos tectonoestratigráficos que configuraron su evolución geológica de esta forma (Clavijo et al., 2008).

### 4.1 Geología regional

El contrato de concesión minera QEE-08041, se encuentra contenida dentro del área ocupada por la plancha 84 – Los Canelos, del Servicio Geológico Colombiano, esta comprende parte de los municipios de Santa Rosa del Sur, Montecristo, Morales, Arenal, San Jacinto del Cauca y Río Viejo, en el departamento de Bolívar y el Bagre y Nechí en el departamento de Antioquía (González et al., 2015b). Sus unidades aflorantes comprenden litologías metamórficas, ígneas y sedimentarias no consolidadas, enmarcadas dentro de la evolución geológica de la serranía de San Lucas (Clavijo et al., 2008).

#### 4.1.1 Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas aflorantes en el área de la plancha 84 – Los Canelos, corresponden al Neis de San Lucas y las Filitas y Esquistos de pinillos (González et al., 2015b) con las siguientes características:

**4.1.1.1 Neis de San Lucas.** Se encuentra ubicado al oriente del Departamento de Antioquia y hacia el sur de Bolívar, en el extremo norte de la Cordillera Central. Es un bloque que se definió como “terreno” San Lucas por Etayo et al., (1983). La litología dominante exhibe características de un granofels compuesto por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, con un color que varía entre blanco y gris con algo de bandeamiento, ocasional textura augen y de grano fino a grueso

(González et al., 2015b). Por otro lado, Royero (1996), hizo una descripción de una secuencia metamórfica constituida por neises cuarzo-feldespáticos, hornbléndicos y biotíticos, anfibolitas y granulitas, que afloran en las estribaciones norte de la Serranía de San Lucas, en adición, Mantilla et al., (2006b) propone la denominación formal para esta unidad, tomando como base los afloramientos de la Plancha 64 – Barranco de Loba, ubicada al Norte de la Plancha 84, en donde se exhiben rocas del cinturón metamórfico de alto grado, de facies granulita-anfibolita alta.

El evento de metamorfismo regional que dio lugar al Neis de San Lucas se sitúa en un evento tectonotermal del Mesoproterozoico, esto según la datación U-Pb efectuada en circones detríticos, los cuales arrojaron edades de  $1124 \text{ Ma} \pm 22 \text{ Ma}$ , esto se relaciona con la orogenia Grenvilliana durante la consolidación del Supercontinente Rodinia (García et al., 2009).

**4.1.1.2 Filitas y Esquistos de Pinillos.** Las Filitas y Esquistos de Pinillos se refieren a un conjunto de rocas metamórficas que consisten principalmente en filitas y esquistos cuarzo sericíticos grafitosos. Estas rocas, que ocasionalmente contienen andalucita, cuarcitas y metalimolitas, se encuentran ubicadas en el sector occidental de la Plancha 84 – Los Canelos, al oeste de la Falla Palestina (González et al., 2015b). El nombre geográfico proviene del municipio de Pinillos, en el Departamento de Bolívar, y fue adoptado por Mantilla et al. (2006b) para denominar la Unidad Metamórfica de Pinillos. Esta unidad está compuesta por dos conjuntos distintos: los Esquistos de Armenia en la base y las filitas, junto con algunas cuarcitas, conocidas como Filitas de Tapoa, que se encuentran en menor proporción. Estas rocas afloran en los cerros que se elevan sobre la Ciénaga del Rosario y el sistema de ciénagas del Brazo de Loba.

El grupo metamórfico se compone de rocas esquistosas que varían en tonos de gris medio a claro y verde oscuro, presentando intercalaciones de metalimolitas y rocas cuarzo-feldespáticas en forma de bandas y lentes, que muestran un color blanco. Entre las variedades más frecuentes se

encuentran las filitas, esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos grafitosos, ocasionalmente cuarcitas y metalimolitas (González et al., 2015b).

#### **4.1.2 Rocas Ígneas**

Las rocas ígneas aflorantes en el área de la plancha 84 – Los Canelos, corresponden al Complejo volcánico de Noreán, Granito de Norosí, Diorita de Segovia y a la unidad extrusiva de las brisas (González et al., 2015b). Esta es la principal litología aflorante en el área de estudio cuyas características son descritas de esta forma:

**4.1.2.1 Complejo volcánico de Noreán (J1npe, J1na, J1ned, J1nha).** Clavijo (1995a) introdujo el concepto de Formación Noreán para formalizar una unidad geológica que incluye areniscas y lutitas líticas subarcósicas, así como piroclastitas, lavas y tufitas mayormente compuestas de andesita con cuerpos hipoabisales como silos y diques, los cuales fueron sugeridos por Royero et al. (1994). En la memoria explicativa de la plancha 84 – Los Canelos, González et al. (2015b), utiliza el término de complejo Noreán como una unidad litodémica, en la cual no fue posible determinar el techo ni la base, aquí se agrupa una variedad de rocas volcánicas piroclásticas y de flujo mezcladas e interdigitadas, sin embargo, Bogotá y Aluja (1981), le asigna una edad entre el Jurásico Temprano y Medio basándose en las relaciones estratigráficas con otras rocas fosilíferas situadas más al sur. Los trabajos realizados por Correa et al. (2019). Indican que el vulcanismo de esta Formación estuvo activo desde el Jurásico Inferior hasta el Jurásico Medio, con edades según U-Pb en circones de  $192,4 \pm 2,2$  Ma –  $175,9 \pm 1,1$  Ma.

En el complejo Noreán predominan tobas de lapilli y ceniza cristalolíticas, aglomerados líticos, brechas ígneas polimícticas, rocas hipoabisales y lavas de composición riódacítica. Así pues, se hace la diferenciación de cuatro conjuntos de rocas volcánicas, correspondiendo a: 1) Rocas Piroclásticas, Epiclásticas y Tobas (J1npe); 2) Brechas Volcánicas Andesíticas y Dacíticas

(J1na); 3) Rocas Efusivas y Piroclásticas Dacíticas a Riolíticas (J1ned); 4) Conjunto Hipoabisal Andesítico (J1nha) (González et al., 2015b).

**4.1.2.2 Granito de Norosí.** Bogotá y Aluja (1981) fueron los primeros en introducir una nomenclatura estratigráfica para las rocas ígneas de la Serranía de San Lucas. En su trabajo, delinearon dos cuerpos intrusivos distintos: el Batolito Occidental y el Batolito de Norosí u Oriental. Estos cuerpos están separados por una franja de esquistos y neises, cuyos límites están marcados por las fallas Palestina al este y El Bagre al oeste.

Desde el punto de vista litológico, estas rocas exhiben tonalidades que van desde gris claro hasta gris oscuro (N3), así como verde claro con motas blancas. Son holocristalinas, isotrópicas y compactas, con una textura fanerítica que varía de fina a media y granos equigranulares moteados. Su composición está dominada por cuarzo, plagioclasa, feldespato, hornblenda, biotita y clinopiroxeno. Estos cuerpos se presentan de manera masiva, irregular y fracturada, mostrando variaciones tanto en su textura como en su composición, pudiendo encontrarse dioritas, cuarzodioritas y tonalitas. Actúan como la roca encajante para mineralizaciones vetiformes que contienen altos niveles de sulfuros y óxidos de cobre. Cuando se meteorizan o se descomponen en saprolito, el granito adquiere un color que va desde marrón claro hasta rosado, debido a la presencia de óxidos de hierro y feldespato potásico (González et al., 2015b).

**4.1.2.3 Diorita de Segovia.** La Diorita de Segovia es un cuerpo intrusivo constituido principalmente por rocas intermedias, granodiorita-cuarzomozonita, localmente dioritas y gabros como facies de borde (González & Londoño, 2002), de estructura isótropa y compacta. Las rocas predominantes son faneríticas, con pátina por óxidos de hierro. Se encuentran rocas leucocráticas de color gris claro, blanco, moteado gris verdoso en ocasiones verde claro, de grano fino a medio,

compuestas por cuarzo, plagioclasa alterada, biotita y hornblenda, frecuentemente se encuentra piritita diseminada y localmente con estructura brechoide (González et al., 2015b).

**4.1.2.4 Unidad Extrusiva de las Brisas.** Mantilla et al. (2006c) denominaron Unidad Extrusiva de Las Brisas a un conjunto de “flujos lávicos y piroclásticos, domos de forma redondeada, de composición granítica a andesítica alineados o en enjambres, separados entre sí por zonas muy planas que morfológicamente aparentan ser calderas o cañones rellenos por material lávico o piroclástico tipo cenizas”.

Dataciones K-Ar efectuadas en muestras de esta unidad han revelado edades de  $107 \pm 4$  Ma y  $102 \pm 3$  Ma, las cuales se corresponden con el período Albiano. Estas edades son similares a las inferidas por su posición estratigráfica en este estudio, aunque es posible que sean más recientes considerando su expresión morfológica y la naturaleza de los suelos que se han desarrollado en esta unidad (Mantilla et al., 2006c).

### **4.1.3 Depósitos Cuaternarios**

Se identifican dos tipos de depósitos cuaternarios aflorantes en el área de la plancha 84 – Los Canelos, estos se encuentran asociados a procesos de carácter fluvial (González et al., 2015b) tal como se describe a continuación.

**4.1.3.1 Depósitos Fluviales de Canal (Q2fc).** Estos depósitos se componen de cantos que alcanzan hasta 30 cm de diámetro, dispuestos en capas ligeramente superpuestas con un espesor que varía entre 3 y 4 metros. Se localizan en áreas de baja altitud y forman llanuras de inundación durante los meses de invierno, siendo el resultado de la actividad actual de los sistemas de drenaje en la región. Los macizos rocosos de la Subprovincia de Llanuras y Sierras del Sur (SSL) son la principal fuente de estos depósitos, los cuales contienen una variedad de materiales líticos,

incluyendo rocas metamórficas, intrusiones ígneas, rocas volcánicas, piroclastos, así como fragmentos de cuarzo y chert (González et al., 2015b).

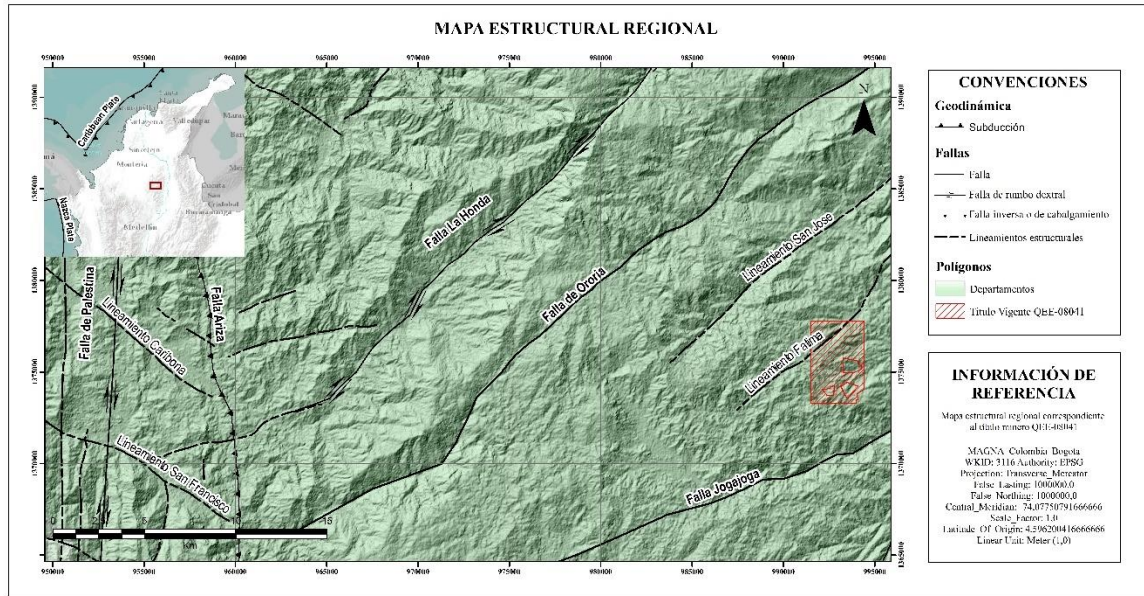
**4.1.3.2 Depósitos de Llanura de Inundación (Q1Q2fal).** Corresponden a depósitos de materiales detríticos acumulados en los alrededores de la Ciénaga Marmota, con aportes significativos de la cañada Caimán, están conformados por acumulaciones no consolidadas de arenas de grano fino a muy fino, intercaladas con capas delgadas de limos arcillosos y esporádicas capas de gravas. Los colores son marrones de diversos tonos, hasta grises, dependiendo del contenido de materia inorgánica (González et al., 2015b).

## **4.2 Geología estructural**

La disposición regional de las fallas geológicas en la zona muestra dos dominios diferentes: el primero está definido por fallas longitudinales de dirección Norte - Sur, configurando una estructura de flor positiva con la Falla Palestina como falla central, seguido por las fallas El Bagre (Oeste) y Ariza-Colorado (Este) (García y Velandia, 2020), por otro lado, según lo descrito por Clavijo et al. (1992), la Serranía de San Lucas está configurada con varias fallas paralelas con dirección NE, lo cual establece el segundo dominio estructural para la región, con las fallas La Honda, Ororia, Jogajoga y Las Brisas, tal como se muestra en la *figura 2*.

### **Figura 2**

*Mapa estructural regional asociado al título minero QEE-08041.*



#### 4.2.1 Dominio Estructural N-S

Las fallas Palestina, El Bagre y Ariza-Colorado configuran entre sí una flor positiva con la falla de Palestina como falla central, al oeste y al este, se encuentran las fallas El Bagre y Ariza-Colorado respectivamente, las cuales exponen el basamento metamórfico más antiguo del Precámbrico a Paleozoico al centro de la flor (García y Velandia, 2020) hacia la zona oeste del título QEE-08041.

**4.2.1.1 Sistema de Fallas de Palestina.** El sistema de fallas de Palestina es una estructura regional de rumbo dextral con una tendencia de N10°-20°E, Compuesto por las fallas de Palestina, Amacerí, Ariza, La Honda, La Mulata y Tigüí. (González et al., 2015b; García y Velandia, 2020), la cual corta a través de la Cordillera Central. Su origen está dado como resultado de la colisión oblicua de la corteza oceánica durante el Cretácico Superior (Feininger, 1970, citado en Acosta et al., 2007), en donde la deformación por cizalla simple a lo largo de este sistema da lugar a la Serranía de San Lucas, un duplex transpresivo ubicado en el extremo norte, lo cual produjo una estructura en flor positiva (Acosta et al., 2007; García y Velandia, 2020) y fallas oblicuas laterales normales que están activas y controlan el magmatismo cuaternario en el extremo sur del sistema

(Acosta et al. 2007). Estas fallas secundarias, con dirección NE apoyan la cinemática dextral como parte de una cizalla simple NE-SW a lo largo de la estructura en flor (García y Velandia, 2020).

**4.2.1.2 Falla El Bagre.** La falla el Bagre es interpretada regionalmente como una falla de cabalgamiento, que pone en contacto al batolito de Segovia con las rocas metamórficas del precámbrico pertenecientes al Neis de San Lucas, hacia el norte de la falla se encuentran rocas sedimentarias de la Formación Caucasia, Tarazá y depósitos recientes de los ríos Nechí y Tigüí, en contraste, hacia el sureste se encuentran los depósitos volcano-sedimentarios de Segovia (Naranjo y Alvarán, 2018).

**4.2.1.3 Falla Ariza.** López et al. (2006) definió por primera vez la falla Ariza partir de lineamientos N-S en las inmediaciones del río Ariza. El trazo de esta falla en la plancha 84 – Los Canelos se encuentra definida por una componente inversa dejando una notable característica geomorfológica, alineando los filos de las montañas que se encuentra cortando. Esta falla pone en contacto rocas precámbricas del Neis de San Lucas con rocas Jurásicas del Granito de Norosí (González et al., 2015b).

#### ***4.2.2 Dominio Estructural NE***

Las estructuras pertenecientes a este segundo grupo, se encuentran ubicadas hacia el flanco Oriental de la serranía de San Lucas, los cuales afectan regionalmente rocas de edad Jurásica del Granito de Norosí, y el complejo Volcánico de Noreán (González et al., 2015b) y a su vez, configura la dirección de gran parte de la red de drenajes a lo largo de decenas de kilómetros (García y Velandia, 2020). Las fallas que responden a esta tendencia NE en el área de estudio son las fallas de Las Brisas, Jogajoga, Ororia y la Honda, con una dirección entre N20°-60°E y un componente cinemático dextral.

**4.2.2.1 Falla de Las Brisas.** Esta falla fue presentada por Mantilla et al. (2006c) como un sistema deformativo representado por un estilo estructural transpresivo dextral de dirección NE. La dirección que tiene esta falla es de N30°E, con cinemática dextral y un buzamiento subvertical a lo largo de 14 km cortando rocas del Complejo Volcánico de Noreán (González et al., 2015b).

**4.2.2.2 Falla Jogajoga.** Mantilla et al. (2006c) consideran a la falla Jogajoga como parte de un conjunto de fallas menores asociadas a la falla Las Brisas. Presenta un rumbo N60°E sobre la quebrada El Platanal y con una longitud de 35 km aproximadamente.

**4.2.2.3 Falla Ororia.** Descrita por Clavijo (1995) en la memoria de la plancha 75 – Aguachica como la falla San Francisco – La Labranza, se asume una estructura de movimiento normal con expresiones inversas, a su vez, Matilla et al. (2006) describe un componente en rumbo de carácter dextral. En la plancha 84 – Los Canelos, esta falla genera una serie de expresiones geomorfológicas como facetas triangulares, hombreras y silletas, siguiendo una dirección N40°E (González et al., 2015b).

**4.2.2.4 Falla La Honda.** Se trata de una estructura inversa dextral subvertical hacia el SE (Clavijo, 1995), la cual forma cañones en V, con facetas triangulares y silletas, siguiendo una tendencia N40°E, la cual converge contra la falla Ariza. Además, González et al. (2015b) identifica estructuras de arrastre en sentido SE-NW que indican un movimiento dextro-lateral.

### **4.2.3 Lineamientos**

Los lineamientos identificados por González et al. (2015b) están representados por las siguientes estructuras: 1) Lineamiento San Francisco, con tendencia regional NW, y una longitud de 22 km; 2) Lineamiento San José, con tendencia N40°E, asociado a cauce rectilíneo de la quebrada San José y la alineación de algunos cerros a lo largo de 19 km; 3) Lineamiento Fátima, con tendencia N50°E y una longitud de 14 km, paralelo a la dirección de la falla Ororia; 4)

Lineamiento Caribona, con tendencia N45°W, controla el cauce del río Caribona por aproximadamente 6 km.

### 4.3 Geomorfología Regional

El área ocupada por la plancha 84 – Los Canelos exhibe características geomorfológicas relacionadas principalmente a procesos denudacionales y estructurales, producto de la interacción de las fallas con orientación N-S y las fallas dispuestas en dirección NE (ver *Figura 4*). Para el área aledaña a la ubicación del título, se tiene predominancia de procesos denudativos que configuran el paisaje, seguido por procesos estructurales y en menor proporción, ambientes fluviales y antropogénico (SGC, 2015).

El ambiente denudacional está definido por cerros residuales (Dcrs), lomos denudados (Dlde, Dldebc, Dldebl, Dideml) Laderas erosivas (Die) y ondulada (Dio), montículos y ondulaciones denudadas (Dmo), Planicie colinada denudada (Dpcd) y superficies de erosión o aplanamiento (Dsa).

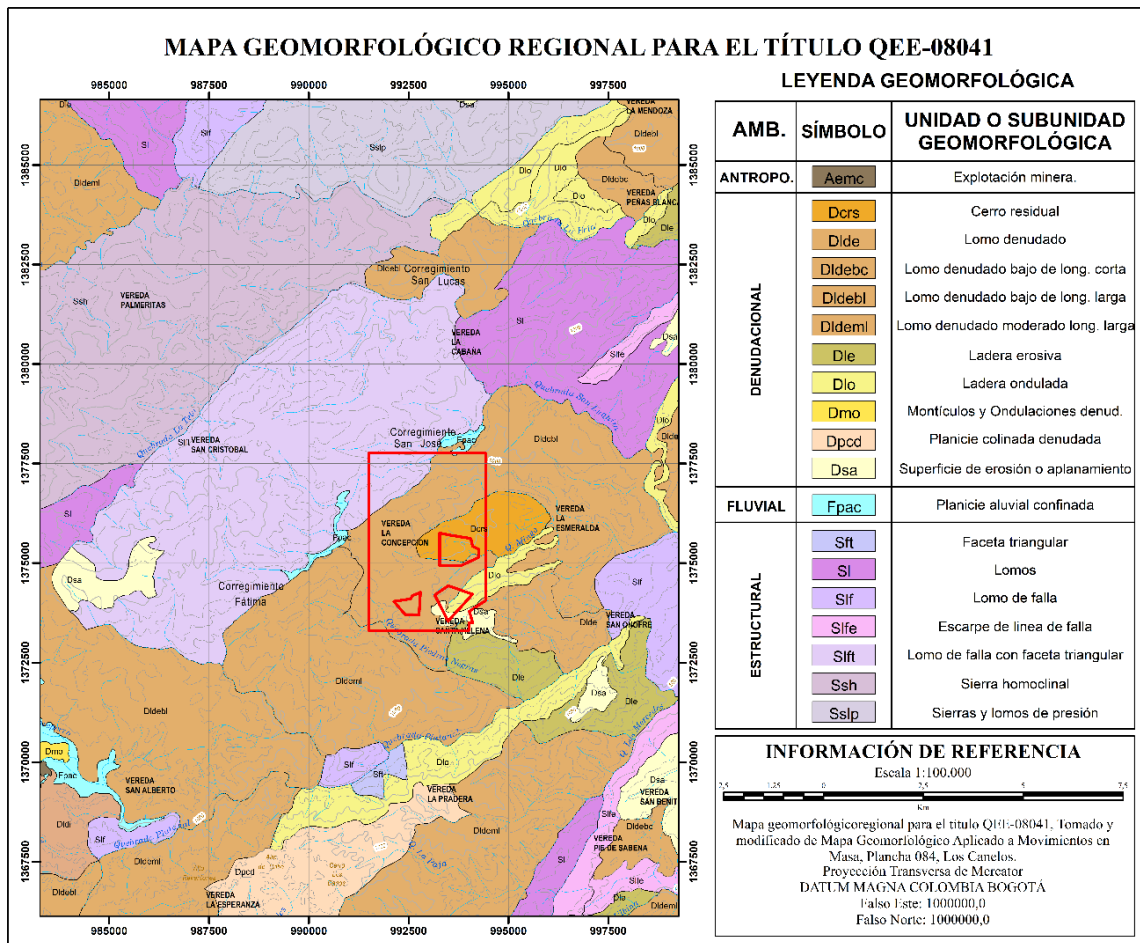
Para el ambiente estructural, se identifican facetas triangulares (Sft), lomos (Sl), lomos de falla (Slf), escarpes de líneas de falla (Slfe), lomos de falla con facetas triangulares (Slft), sierras homoclinales (Ssh) y Sierras y lomos de presión (Sslp)

Por último, se denotan procesos fluviales que modifican la morfología del área de estudio, visto en formas correspondientes a planicies aluviales confinadas (Fpac) y, por último, evidencia de la labor humana sobre el territorio de la Serranía de San Lucas con fines económicos, el cual corresponde a un ambiente antropogénico de explotación minera (Aemc).

La información anteriormente propuesta se encuentra relacionado en la *figura 3*, en un mapa geomorfológico regional, aplicado para el título QEE-08041.

### Figura 3

Mapa geomorfológico regional para el contrato de concesión QEE-08041.



Nota. Mapa geomorfológico regional para el contrato de concesión QEE-08041. Tomado y modificado de SGC en convenio con la Universidad de Pamplona. 2015.

#### 4.4 Geología local

El área ocupada por el contrato de concesión minera QEE-08041, se encuentra principalmente sobre el Granito de Norosí, anteriormente descrito, y sobre dos grupos de rocas volcánicas sobre el Complejo Volcánico Noreán, correspondiendo a unidades compuestas por rocas piroclásticas, epiclásticas y tobas (**J1npe**) y por rocas efusivas y piroclásticas Dacíticas a Riolíticas (**J1ned**) (González et al., 2015b), tal como se muestra en el mapa geológico de la figura

3.

#### ***4.4.1 Complejo volcánico de Noreán (J1npe)***

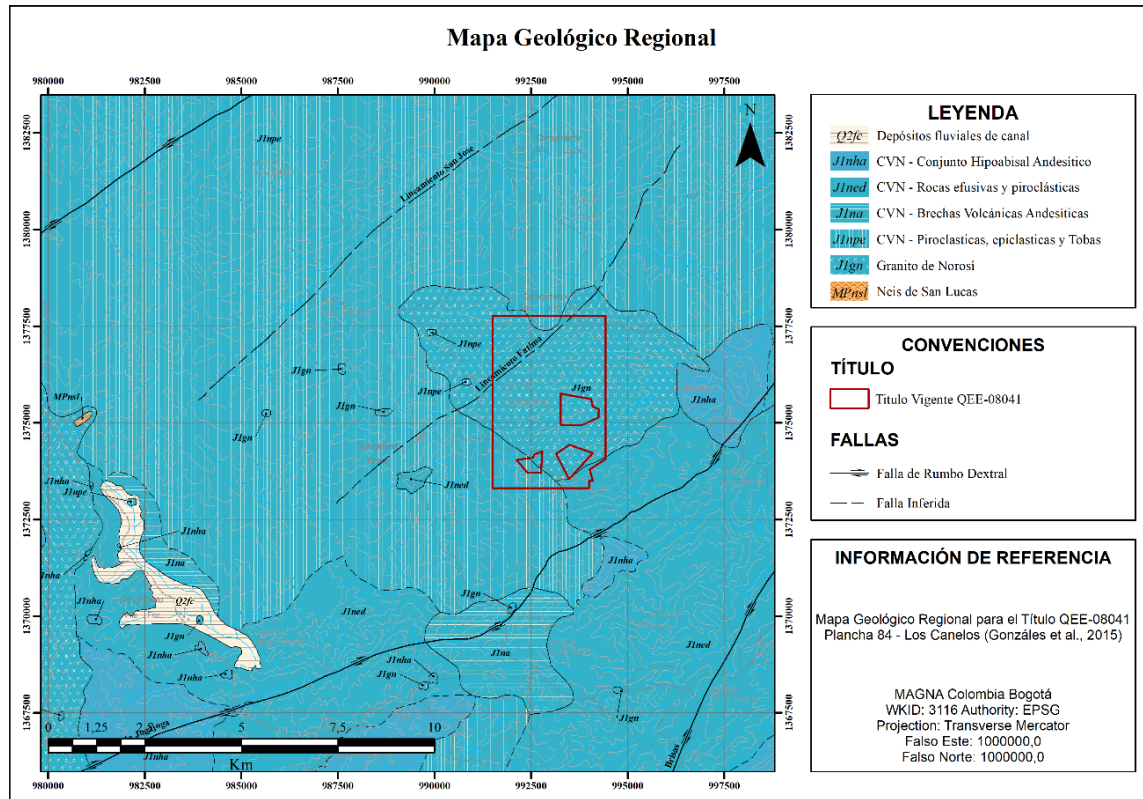
Este conjunto de litologías consiste en rocas piroclásticas porosas que exhiben una variedad de tonalidades, que van desde tonos moderadamente rosados anaranjados hasta blancos. Se observan matices como rosa grisáceo, gris claro, naranja muy pálido, naranja amarillento pálido y rosados moderados anaranjados. Predominan las tobas, principalmente compuestas por ceniza, ceniza-lapilli y lapilli. Estas tobas se caracterizan por ser cristalinas, cristalolíticas, líticas y vitro-cristalinas, con ocasional presencia de brechas. Además, es frecuente encontrar procesos de silicificación y epidotización en estas rocas (González et al., 2015b).

#### ***4.4.2 Complejo volcánico de Noreán (J1ned)***

Este grupo está compuesto por rocas con textura de flujo como andesitas, basaltos, traquitas, riocitas y tobas. Generalmente estas presentan tonalidades rojizas pálidas a moderadas, rosas y rosas naranja grisáceo, resalta además la textura de flujo en todas las muestras y un comportamiento fragmental, constituidas por Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato potásico (Sanidina), Epidota y Vidrio Volcánico, según lo descrito por González et al. (2015b).

### **Figura 4**

*Mapa geológico regional para el título QEE-08041.*



*Nota.* Mapa geológico regional para el título QEE-08041. CVN = Complejo Volcánico de Noreán.  
Tomado y modificado de González et al., 2015b.

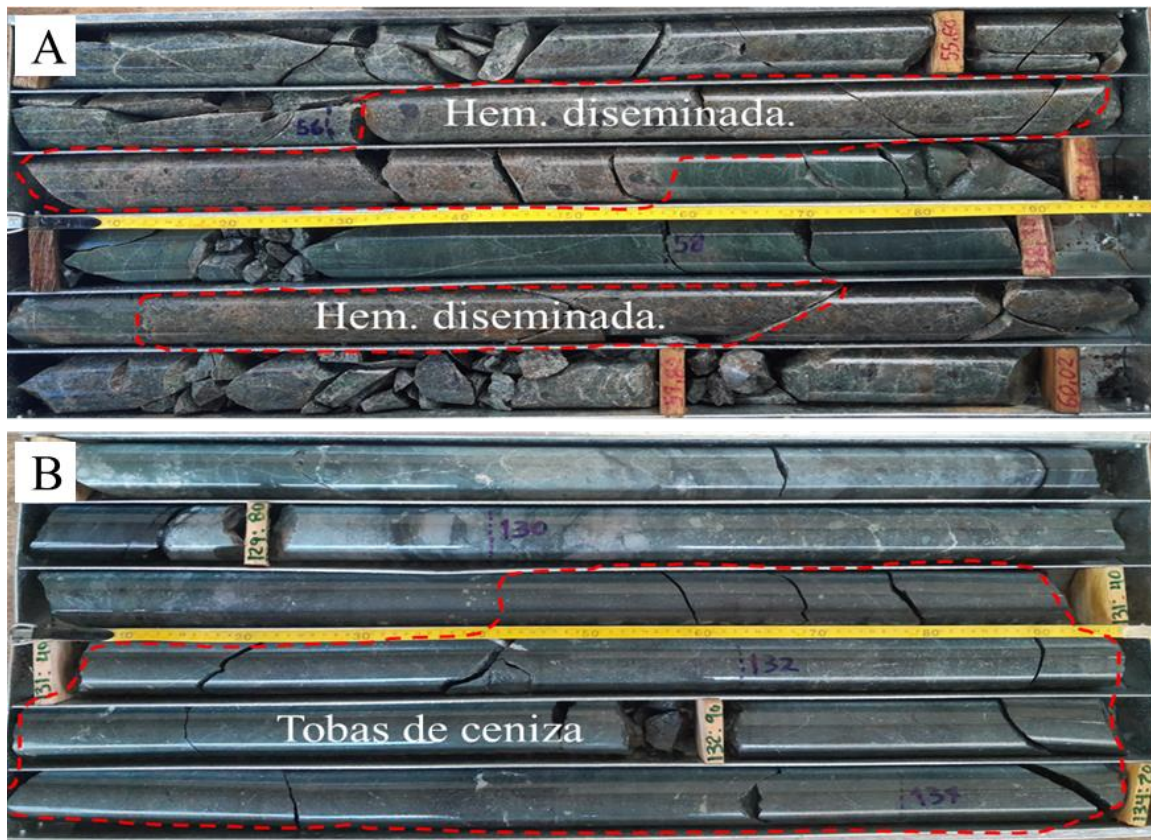
## 5. Geología del yacimiento

Las campañas de exploración por parte de la compañía GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S determina en el área de extracción del proyecto minero La Concepción una roca caja correspondiente a tobas de cristales y líticos debido a las características composicionales que esta describe (ver *figura 5a*), además de otros hallazgos según el criterio mencionado anteriormente como tobas de ceniza (ver *figura 5b*). Estas rocas piroclásticas presentan tonalidades normalmente grises verdosas, debido a procesos de alteración propilítica, lo cual resulta en la estructura de la roca con productos de alteración como clorita, epidota, albita y calcita (Sillitoe, 2010), también se

describen tobas con tonalidades más rojizas debido a interacción de Hematita diseminada en la roca (ver figura 5a).

### Figura 5

*Tobas de cristales y líticos encontradas en el proyecto minero La Concepción.*



*Nota.* Tobas de cristales y líticos (5A, 5B) en donde se señalan las principales tonalidades de Tobas en el área de extracción; 5B. Tobas de ceniza en donde se nota la "pérdida" de textura con respecto a las tobas de cristales y líticos. Tomado y modificado de GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.

Para el área del contrato QEE-08041 se hizo el reconocimiento de al menos 8 estructuras mineralizadas las cuales siguen un control estructural principal  $N40^{\circ}-50^{\circ}E$  y  $N70^{\circ}-75^{\circ}E$  y un buzamiento sub-paralelo hacia el SE. Estas tendencias están estrechamente relacionadas por el complejo de fallas asociadas a la serranía de San Lucas, las cuales fracturan la roca y permite el emplazamiento de fluidos mineralizados. A la fecha, el proyecto minero la concepción ejecuta

extensas labores de exploración sobre las estructuras descritas en labores previas, definidas por la empresa como Concepción 1, Concepción 2 y Concepción 3, las cuales corresponden a estructuras con tendencia N40°-50°E.

### 5.1 Mineralización

Las estructuras mineralizadas dentro de los límites de la concesión QEE-08041 cuentan con una composición de Cuarzo (Calcedonio/Cristalino) y Calcita (Rodocrosita) como minerales de ganga, con vetas y vetillas desde pocos centímetros hasta más de 1 metro de Oro – Plata – Galena – Esfalerita (variedad Marmatita) – Calcopirita – Pirita. Estas estructuras mineralizadas presentan espesores que varían entre 0.3 y más de 5 m, generalmente exhiben un halo de alteración centimétrico de illita - sericita y un halo exterior métrico de sericita – clorita (ver *figura 6*).

#### Figura 6

*Estilo de las estructuras mineralizadas en el proyecto minero la concepción.*



*Nota.* Estilo de las estructuras mineralizadas y su disposición con respecto a la roca caja. Adaptado de GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S.

Para el objetivo, Concepción 3, este está dispuesto en vetas y vetillas con algunos sectores describiendo texturas brechiformes, de Cuarzo – Calcita – Rodocrosita y mineralizado con Pirita, Esfalerita Calcopirita, Galena, Oro, Oro libre y Plata, alcanzando hasta un 80% de volumen en

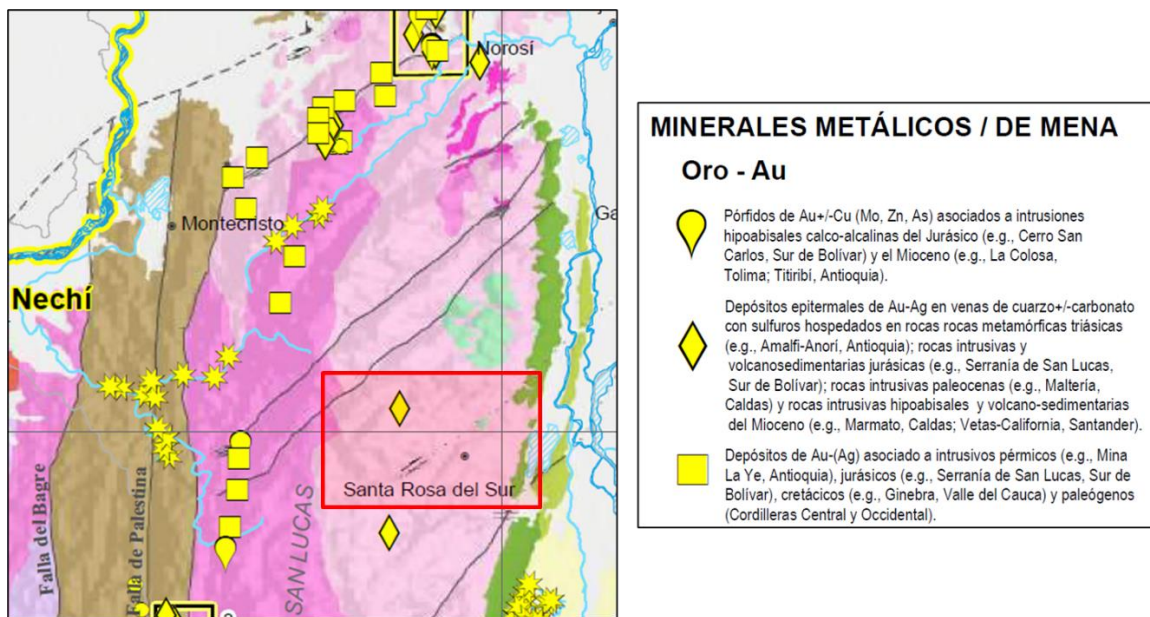
contenido de sulfuros (ver *figura 6*), los sectores mineralizados pueden comprender espesores de 0.2 y 0.5 m hasta zonas con espesores de 1.5 m, según lo observado previamente por campañas de exploración realizadas en el proyecto minero la Concepción y recopilado por GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.

## 5.2 Tipo de depósito

El Servicio Geológico Colombiano en su versión más reciente del mapa metalogénico de Colombia, versión 2020, sugiere la posibilidad de depósitos minerales asociados a epitermales de intermedia sulfuración (*figura 7*), esto debido a la circulación de fluidos hidrotermales relacionados con las fases finales de magmatismo a lo largo de las extensas zonas de fractura ubicadas entre el sistema de fallas de Palestina, Cimitarra y la Falla de Bucaramanga.

### Figura 7

*Ubicación relativa del título con respecto a la posición de Santa Rosa del Sur.*



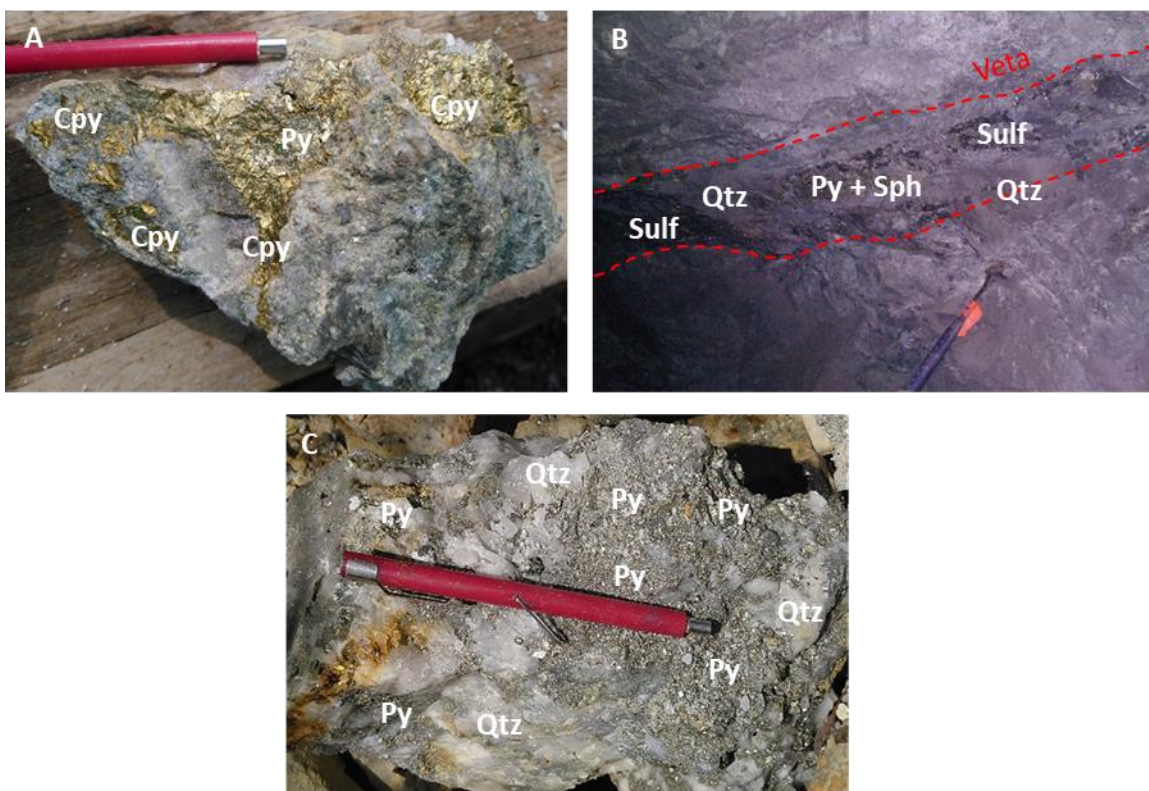
*Nota.* Ubicación relativa del título con respecto a la posición de Santa Rosa del Sur, en donde se ven los distintos depósitos encontrados en la zona, nótese el rombo contenido en el rectángulo y

su respectiva descripción en la leyenda. Tomado y modificado de Mapa Metalogénico de Colombia, SGC 2020.

Estas estructuras mineralizadas en vetas y vetillas (ocasionalmente stockworks) del tipo cuarzo – carbonatos – oro – plata – metales base, apoyados además de las evidencias de alteración propilítica producto de las labores de perforación, con minerales representativos de la misma como Clorita, Calcita, Epidota y Albita (Sillitoe, 2010), sugieren que el depósito se trata de un epitermal de intermedia sulfuración.

### Figura 8

*Estructuras mineralizadas de epitermales de intermedia sulfuración.*



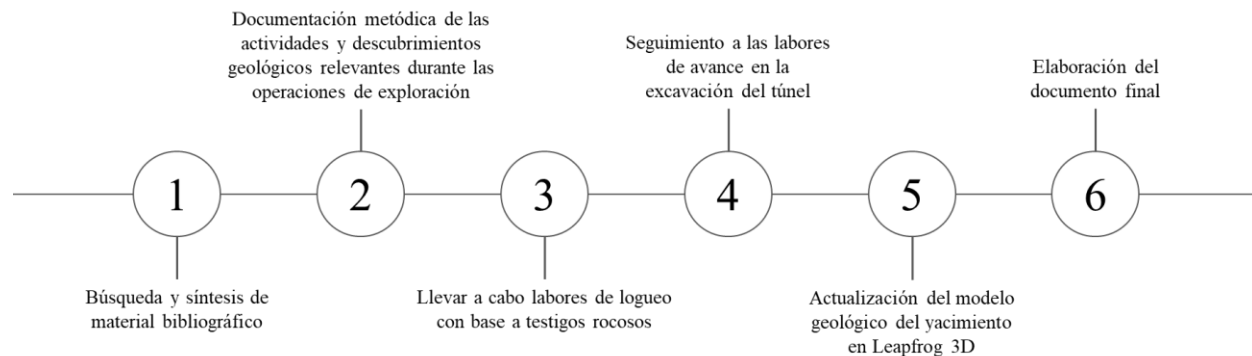
*Nota.* Fotografías de las estructuras mineralizadas epitermales de intermedia sulfuración relacionados a mineralización de Oro – Plata – Metales base (5A, 5C) y su distribución (5B) en el área del contrato de concesión QEE-08041. Tomado de GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S.

## 6. Metodología

Con la finalidad de completar los objetivos propuestos durante el desarrollo de la práctica empresarial, se llevaron a cabo actividades de apoyo y análisis durante las labores de exploración en la mina La Concepción, tales como la documentación metódica de los descubrimientos geológicos, labores de logueo geológico con base a testigos rocosos, seguimiento a las actividades de excavación en túnel y la actualización del modelo geológico del yacimiento, con esto, se decide llevar a cabo una metodología compuesta por 6 fases metodológicas, tal como se muestra en *figura 9*.

### Figura 9

*Diagrama de las fases metodológicas para el actual proyecto.*



### 6.1 Búsqueda y síntesis del material bibliográfico.

Esta etapa dio lugar a la búsqueda del material bibliográfico disponible, relacionado con la geología del área de estudio y temas relevantes para la labor de exploración minera. Se realizó la verificación de fuentes como bases de datos académicas, revistas especializadas, libros, material gubernamental libre, entre otros. Luego se procedió a seleccionar la literatura pertinente y se realizó una síntesis de la información obtenida para establecer una base teórica firme que guiara el desarrollo de la práctica.

## 6.2 Documentación metódica de las actividades y descubrimientos geológicos.

En el transcurso de las actividades exploratorias, se estableció un sistema de registro minucioso con el fin de documentar exhaustivamente todas las acciones y hallazgos geológicos significativos. Se concibieron formatos normalizados que permitieron la captura sistemática y eficaz de la información, garantizando la coherencia y confiabilidad de los datos recolectados. Este proceso involucró la aplicación de herramientas de georreferenciación para vincular de forma precisa la información geológica con la ubicación espacial exacta de los descubrimientos.

## 6.3 Llevar a cabo labores de logeo con base a testigos rocosos.

Se llevaron a cabo labores de logeo detallado de los testigos rocosos obtenidos durante las perforaciones exploratorias. Esto implicó la implementación de las técnicas de logeo, así como el registro meticuloso de las características litológicas, estructurales, mineralógicas (tabla 1) y geotécnicas (tabla 2) de los testigos, en los formatos dados por la empresa. La información recopilada se integró con los datos geológicos previamente obtenidos para enriquecer la comprensión del área de estudio.

### Tabla 1

*Formato de logeo geológico para los testigos rocosos obtenidos.*

FECHA:		POZO:			GEÓLOGO:		
AZIMUT:		INCLINACIÓN:			COORDENADAS:		
PROFUNDIDAD FINAL:		PROGNOSIS CORTE ESTRUCTURA:			PÁGUINA No.		
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	ALTERACIONES	MINERALIZACIÓN	STR	OBSERVACIONES	MUESTRAS

### Tabla 2

*Formato de logeo geotécnico para los testigos rocosos obtenidos*

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GEOTÉCNICA											VERSIÓN 1.2					
PROYECTO ECOGOLD											GEÓLOGO:					
POZO:		AZIMUT:		P.FINAL:		INCLINACIÓN:		Des. Estructuras			Con. Disc					
Corrida	Desde	Hasta	Avance	Recuperación	Trozos de Rocas		JRC	ER	TR	AP	TM	GM/A	IRS	Abertura	Relleno	Agua

**6.4 Seguimiento a las labores de avance en la excavación del túnel.**

Se realizó un seguimiento diario del progreso de la excavación del túnel, registrando cualquier cambio geológico significativo encontrado durante las labores de avance subterráneas. Se estableció una comunicación fluida con el equipo de ingeniería para coordinar la integración de la información geológica en el diseño y la planificación de la excavación. Esto garantizó una comprensión completa de las condiciones geológicas del área de estudio y contribuyó a la optimización de las operaciones mineras.

**6.5 Actualización del modelo geológico del yacimiento en Leapfrog 3D.**

Para esta fase de trabajo, se transfirió la información geológica recopilada a Leapfrog 3D para la actualización del modelo geológico del yacimiento, esto fue llevado a cabo con avanzadas herramientas de modelado y la integración de diversas fuentes de información para producir un modelo geológico tridimensional más preciso. Este modelo fue validado mediante la comparación con los datos obtenidos en la perforación del frente de trabajo #2, mapeo geológico y otros conocimientos adquiridos, con el fin de asegurar su precisión y su utilidad para la toma de decisiones en la exploración.

**6.6 Elaboración del documento final.**

Finalmente, se procedió a la redacción del informe final de la investigación geológica. Este documento incluyó todos los hallazgos, análisis y conclusiones derivadas del trabajo realizado,

siguiendo las pautas establecidas por la compañía y los estándares académicos. Se revisó y editó el documento para garantizar su claridad, coherencia y precisión en la presentación de los resultados, asegurando así su calidad y relevancia para la toma de decisiones en el ámbito minero.

## **7. Resultados**

### **7.1 Documentación de las actividades y descubrimientos geológicos realizados**

Con el objetivo de estandarizar las actividades de exploración en el proyecto minero La Concepción, el área de geología implementó un registro diario en formato Excel. En este se consignaron las variables clave que afectaron la perforación en el frente #2, como los parámetros técnicos, litológicos, los resultados de la recuperación de testigos rocosos y las anomalías que ocurrieron durante cada guardia de trabajo. El registro se realizó dos veces al día durante la continuidad de la práctica empresarial, con la estructura que se muestra en la tabla 3.

#### **Tabla 3**

*Formato de reporte diario o logueo rápido en plataforma, para el frente de perforación #2.*

---

**Reporte turno día 18 de marzo 2024**


---

**Pozo:** CON-136**Máquina:** 2**Geólogo:** Sebastián Riaño**Perforista:** -**Desde:** 36.50 m**Hasta:** 62.40 m**Avance:** 25.90 m**Recuperación:** 25.90 m**% de Recuperación:** 100%**Litología:**

36.50 - 41.18: Saprolito

41.18 - 62.40: Tobas de Cristales y Líticos

**Alteración:**

41.18 - 59.25: Cao (moderada) + Chl (débil)

59.25 - 62.40: Chl (moderada) + Ser (moderada)

**Mineralización:**

36.50 - 45.50: Vetillas de Limonitas (Jar&gt;Goe&gt;Hem) de 0.1/18 cm

51.50 - 55.20: Vetillas de Qtz + Limonitas + Py relictas de 0.2/10 cm

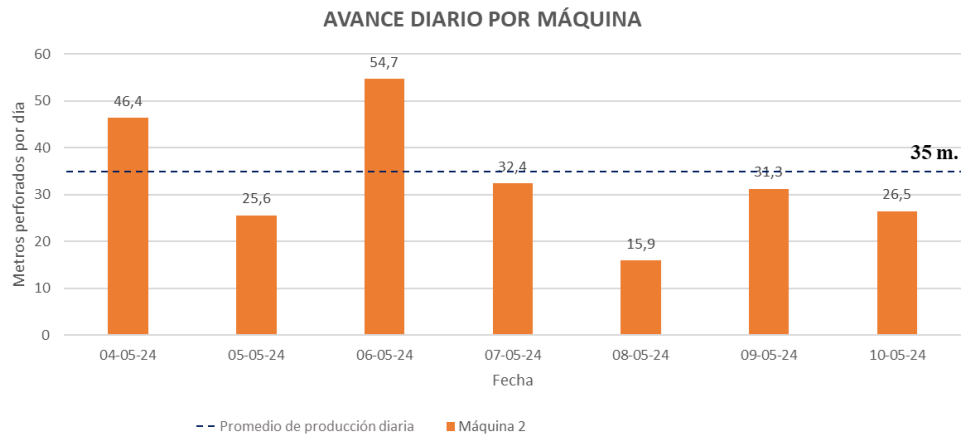
60.75 - 60.85: Vetillas de Qtz+ Py (4%) + Sph (3%) + Cpy (2%) + Gn (1%) de 0.2/2 cm

**Observaciones:****7.1.1 Seguimiento operativo para el frente de perforación #2.**

La realización del reporte diario en plataforma de perforación dio como resultado un seguimiento exhaustivo desde el inicio hasta la conclusión de cada pozo, teniendo en cuenta la relación entre los metros de avance y los consumos de materiales de perforación (combustible, aditivos, aceite y grasa) (ver *tabla 4*), además de las anomalías mecánicas u operativas propias de la labor. Estos datos fueron cruciales para evaluar la eficiencia de las operaciones y prever posibles complicaciones en futuras campañas, permitiendo generar un histórico basado en el historial de metros avanzados por día y así definir el rendimiento mínimo esperado para el frente de perforación #2 (*figura 10*).

**Figura 10**

Avance diario para la semana del 04 de mayo hasta el 10 de mayo, para el frente de perforación #2, en el proyecto minero La concepción.



**Tabla 4**

Consumos por turno para el frente de perforación #2.

CONSUMOS DE PERFORACIÓN															
FECHA	Turno	Pozo	ACPM	RD	BENTONITA	Platinium	Grasa	Grasa Rosca	Grasa Tubos	Hidraulico	Aceite Motor	Brocas	Sulfato	Yestop	
			Galones	Kilos	Kilos	Kilos	Cartuchc	kg	kg	Galones	Galones	Unidadé	Kilogram	Kilogram	
4-may-24	D	CON-126	0	6	6	6	0	1	0	0	0	0	0	0	
4-may-24	N	CON-126	60	5	5	5	2	0.5	0	0	0	0	4	0	
5-may-24	D	CON-126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-may-24	N	CON-126	0	6	6	6	1	1	0	0	0	0	0	0	
6-may-24	D	CON-126	60	5	0	2	2	0.5	0	0	0	1	0	0	
6-may-24	N	CON-126	60	6	6	6	1	0.5	3	0	0	1	6	0	
7-may-24	D	CON-126	0	4	4	2	1	0	0	0	6	0	0	0	
7-may-24	N	CON-126	60	3	4	4	0	0.5	0	0	0	1	0	0	
8-may-24	D	CON-126	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
8-may-24	N	CON-126	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
9-may-24	D	CON-126	0	4	0	2	1	1.5	0	0	0	1	0	0	
9-may-24	N	CON-126	60	6	3	6	1	0	0	0	0	0	0	0	
10-may-24	D	CON-126	0	5	0	2	1	0.5	0	0	0	0	8	0	
10-may-24	N	CON-126	60	5	0	5	1	0.5	0	0	0	1	0	0	

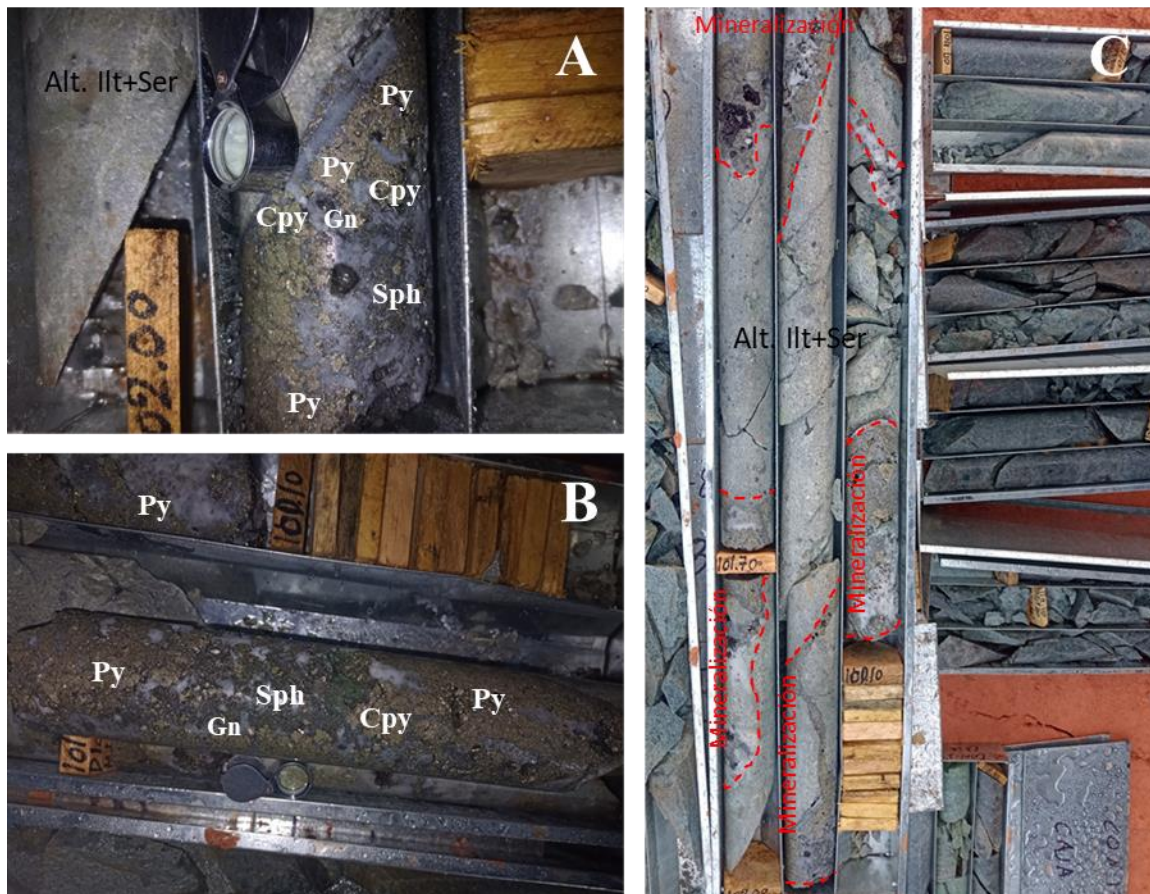
### 7.1.2 Registro de los hallazgos geológicos en plataforma

Complementando la actividad de seguimiento, desde el área de geología se emplea un logueo rápido (*ver tabla 3*) el cual consiste en un registro preliminar y rápido de las características geológicas de las muestras perforadas, tales como litología, alteración, mineralización y estructuras principales. Este procedimiento aporta importantes beneficios que optimizan la operación, mejoran la toma de decisiones y ahorran recursos, ya que, a partir de las características geológicas encontradas (*ejemplo en figura 11*), el área de geología es capaz de definir estrategias

de perforación de manera inmediata, evitar perforaciones innecesarias, integrar la información con sistemas de datos, entre otras.

### Figura 11

*Registro fotográfico en plataforma.*



*Nota.* Fotografías A y B, corresponden a una zona mineralizada con un porcentaje de sulfuros totales de aproximadamente 70%, con Pirita + Esfalerita + Calcopirita + Galena. Fotografía C, correspondiente a vista general de zona mineralizada, la cual muestra a su vez fuerte alteración de Sericita-Illita.

#### 7.1.3 Georreferenciación de collars de perforación.

Para asegurar una correcta vinculación de los hallazgos geológicos con sus ubicaciones exactas, se emplearon herramientas de georreferenciación con apoyo de una estación total (*figura*

12). Los pozos de perforación fueron registrados con precisión milimétrica, permitiendo que los datos se integraran de manera eficiente en Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que facilitó su visualización y análisis espacial en relación con otras capas de información geológica.

### Figura 12

*Georreferenciación de collars con equipo de estación total.*



El procedimiento de georreferenciación de los collars de perforación permitió generar un mapa de ubicación preciso para los pozos ejecutados durante la práctica. En total, se georreferenciaron y corrigieron topográficamente 24 pozos correspondientes al frente de perforación #2 (ver *figura 13*), estos corresponden a un total de 3331.70 metros de perforación diamantina, cuyos datos de dirección e inclinación se registraron conforme a lo mostrado en la *tabla 5*.

### Figura 13

*Vista en planta de las ubicaciones de los pozos realizados por el frente de perforación #2.*

**Tabla 5**

*Información por pozo realizado en el frente de perforación #2.*

Pozo	Azimuth	Dip	Profundidad de corte (m)	Metros perforados	Máquina
TUN-002	130	88	-	60.00	M2
CON-126	133	75	302.90	380.00	M2
CON-128	140	65	169.67	226.90	M2
CON-130	155	47	111.30	166.00	M2
CON-132	166.3	49	97.50	106.60	M2
CON-134	96.3	56	68.14	98.70	M2
CON-136	71.3	47	110.00	132.90	M2
TUN-004	172	90		150.00	M2
CON-138	119.3	46	71.65	100.60	M2
CON-140	86.3	47	63.90	63.90	M2
CON-142	83.3	60	86.90	146.70	M2
CON-144	171.3	49	70.60	70.60	M2
CON-146	176.3	53	82.20	132.60	M2
CON-148	187.3	45	95.75	116.50	M2
CON-150	181.3	52	119.30	176.20	M2
CON-152	320	45	103.36	130.20	M2
CON-154	320	53	113.24	143.50	M2
CON-156	320	60	145.10	164.20	M2
CON-158	332	45	103.20	127.90	M2
CON-160	343	45	85.50	85.50	M2
CON-162	133	43	86.00	115.40	M2
CON-164	110	40	94.50	94.50	M2
CON-166	138	55	123.98	187.40	M2
CON-168	140	45	78.00	154.90	M2

## 7.2 Logueo detallado con base a los testigos rocosos obtenidos en el frente de perforación #2.

El objetivo principal del logueo de testigos rocosos fue realizar una descripción detallada de las características litológicas, estructurales, mineralógicas y geotécnicas de las rocas extraídas, lo que permitió dar continuidad a la estructura principal (concepción 3), y a su vez, identificar nuevas estructuras potenciales para la exploración en el mismo bloque, mejorando el entendimiento del área de estudio. Esta técnica consistió en registrar las propiedades clave de las rocas, como la secuencia estratigráfica, la calidad de la roca (RQD) y la mineralización, lo que facilitó la interpretación geológica y la planificación de futuras perforaciones. Durante la práctica empresarial, se hizo el logueo a un total de 24 pozos, abarcando 3331,70 metros, este trabajo involucró el manejo de aproximadamente 1332 cajas para núcleos (diámetro HQ) (*figura 14*), con un aproximado por caja de 2.5 metros de muestra. Este logueo detallado brindó información clave del bloque de exploración de Concepción 3, en donde las características generales del yacimiento son presentadas a continuación.

### Figura 14

*Procedimiento de logueo geológico y geotécnico.*

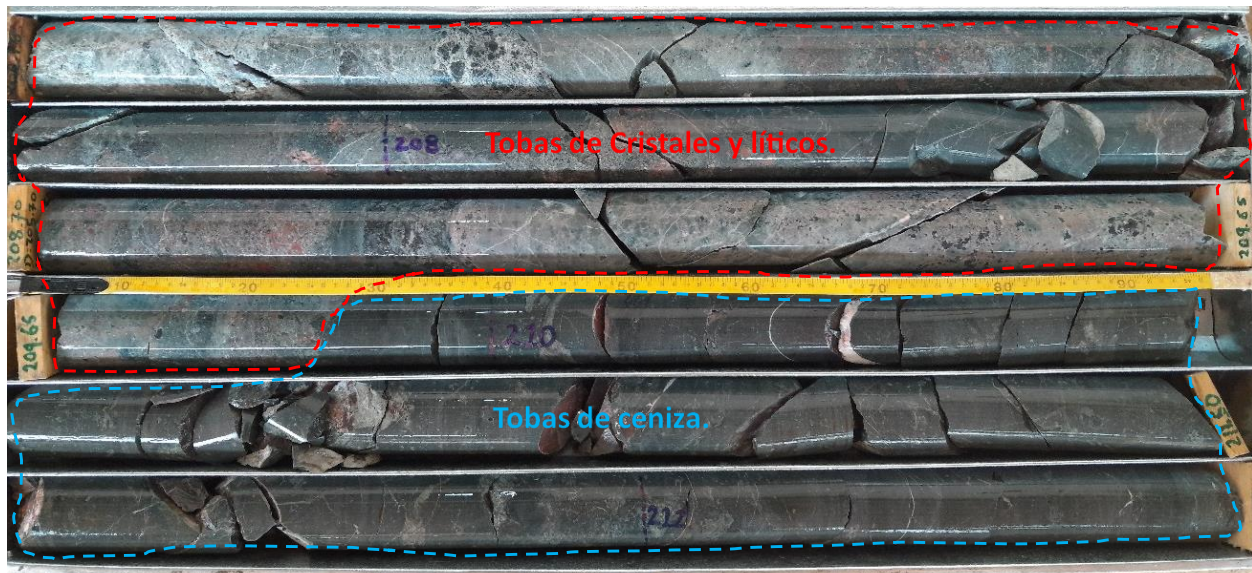


### 7.2.1 Resultados logueo geológico detallado – Litología.

Las labores de exploración realizadas en la continuidad de la práctica empresarial permitió identificar una roca caja compuesta principalmente por tobas de cristales y líticos, cuyos fragmentos corresponden a líticos del tamaño de lapilli, hasta bloques, encontrándose en menor proporción tobas de ceniza, en secciones discontinuas de los sondajes, es decir, secciones no recurrentes a lo largo del depósito, por otro lado, los cristales que componen esta toba son principalmente plagioclasas subhedralas a euhedrales y en menor proporción algunos cristales de cuarzo y máficos sin diferenciar, envueltos en una matriz de cristales mucho más fina (*figura 15*).

### Figura 15

*Tobas de cristales y líticos compuestos por fragmentos de lapilli, contrastando con una sección de tobas de ceniza.*



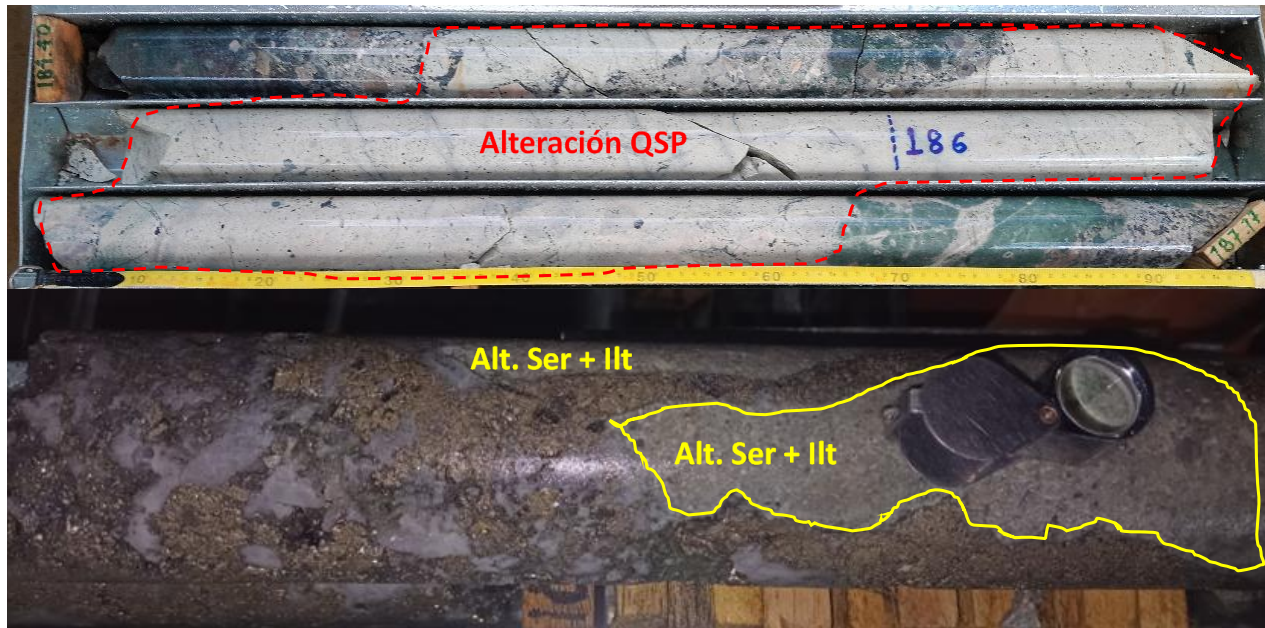
#### 7.2.2 Resultados logueo geológico detallado – Alteraciones.

Se pudo registrar una alta intensidad de alteración hidrotermal, correspondiente principalmente a una zona de alteración propilítica, conformada por minerales como clorita + Calcita + Epidota ± Albita, por otro lado, también se registran zonas que se ajustan a una zona de

alteración filica, característica por la evidencia de alteración de cuarzo + sericita + pirita (QSP), o sericita + illita, siendo esta última relacionada a zonas mineralizadas (*figura 16*).

### Figura 16

*Comportamiento de las distintas zonas de alteración hidrotermal, para una zona de alteración propilitica y filica.*



#### 7.2.3 Resultado logeo geológico detallado – Mineralizaciones.

La mineralización en el área de estudio está compuesta por minerales de interés económico como oro, plata, metales base, dados por mineralización de pirita, esfalerita, calcopirita y galena, estos son encontrados en un conjunto de vetas y vetillas, en algunos sectores con textura brechiforme, de cuarzo con textura de relleno de espacios abiertos, cuarzo calcedónico, calcita y rodocrosita los cuales siguen una tendencia N40°E – N50°E. Definidas las zonas de mineralización importantes, se definen intervalos de muestreo, teniendo en cuenta tanto la continuidad de la zona mineralizada, como la calidad de la mineralización, para evitar el factor de dilución para estas zonas enriquecidas (*figura 17*).

**Figura 17**

*Zonas de interés económico, con marcación de intervalos de muestreo.*

**7.2.4 Resultados logueo geológico detallado – Logueo geotécnico**

La realización del logueo geotécnico permite evaluar la calidad y las propiedades mecánicas de las rocas perforadas, lo que posibilita determinar la estabilidad del macizo rocoso, planificar excavaciones seguras, y optimizar diseños mineros e infraestructuras. Esta técnica ayuda a identificar fracturas, calcular la recuperación y medir indicadores como el RQD, fundamentales para tomar decisiones técnicas en minería. El índice de RQD se calcula teniendo en cuenta la relación entre las sumas de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores a 10 cm y la longitud del tramo considerado, tal como se relaciona en la siguiente fórmula para el cálculo de RQD (Deere, 1967) y relacionado posteriormente en la *tabla 6*.

$$RQD = \left( \frac{\Sigma L}{L_{total}} \right) * 100$$

Dónde:

$\Sigma L$  = Sumatoria de L corresponde a la suma de todos los fragmentos de roca que son mayores a 10 centímetros.

$L_{total}$  = Corresponde a la longitud total del tramo avanzado en perforación.

**Tabla 6**

*Base de datos para RQD.*

Sondaje	Corrida	Lito	Desde	Hasta	Ideal	Recuperación		Trozos de Roca (cm)	Total (cm)	Total (m)	Suma de trozos	RQD (%)	RQD
						Metros Porcentaje							
						(m)	(%)						
CON-154	1		0.00	1.80	1.80	1.20	66.67		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	2		1.80	4.80	3.00	0.65	21.67		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	3		4.80	6.50	1.70	0.00	0.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	4		6.50	8.20	1.70	1.60	94.12		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	5		8.20	11.20	3.00	2.40	80.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	6		11.20	14.20	3.00	2.50	83.33		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	7		14.20	17.20	3.00	3.00	100.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	8		17.20	20.20	3.00	3.00	100.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	9		20.20	23.20	3.00	3.00	100.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	10		23.20	26.20	3.00	3.00	100.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	11		26.20	29.20	3.00	3.00	100.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	12		29.20	32.20	3.00	1.70	56.67		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	13		32.20	33.70	1.50	0.20	13.33		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	14		33.70	35.20	1.50	0.30	20.00		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	15		35.20	36.70	1.50	0.70	46.67		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	16		36.70	37.70	1.00	0.60	60.00	26	26	0.26	1	26.0	Mala
CON-154	17		37.70	38.80	1.10	0.60	54.55		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	18		38.80	39.70	0.90	0.75	83.33	13	13	0.13	1	14.4	Muy Malo
CON-154	19		39.70	40.50	0.80	0.70	87.50		0	0	0	0.0	Muy Malo
CON-154	20		40.50	41.20	0.70	0.60	85.71	10	10	0.1	1	14.3	Muy Malo
CON-154	21		41.20	42.00	0.80	0.70	87.50	15	15	0.15	3	55.0	Media
CON-154	22		42.00	42.80	0.80	0.80	100.00	12	12	0.12	3	53.8	Media
CON-154	23		42.80	43.60	0.80	0.80	100.00	15	15	0.15	6	100.0	Muy Buena
CON-154	24		43.60	44.20	0.60	0.25	41.67	10	10	0.22	2	36.7	Mala
CON-154	25		44.20	45.10	0.90	0.90	100.00	16	16	0.28	2	31.1	Mala
CON-154	26		45.10	46.80	1.70	1.40	82.35	10	10	0.2	2	11.8	Muy Malo
CON-154	27		46.80	47.60	0.80	0.80	100.00	10	10	0.64	5	80.0	Buena
CON-154	28		47.60	48.70	1.10	1.10	100.00	56	56	1.04	4	94.5	Muy Buena
CON-154	29		48.70	49.60	0.90	0.60	66.67	24	24	0.59	3	65.6	Media
CON-154	30		49.60	50.40	0.80	0.80	100.00	24	24	0.73	3	91.3	Muy Buena

### 7.3 Seguimiento a las labores de avance en la excavación del túnel.

El objetivo del seguimiento diario es garantizar un registro preciso del avance del túnel y de cualquier cambio geológico significativo que afecte la planificación y seguridad de las operaciones mineras, en este sentido, desde el área de geología se implementó un sistema de registro diario, en donde se evalúan factores litológicos, estructurales, de alteración y de enriquecimiento mineral (ver *figura 18, tabla 7*). Dado que el túnel no se encuentra a la fecha en etapa de explotación mineral, no se llevan a cabo muestreos periódicos en el frente de la labor.

#### Figura 18

*Acompañamiento en las labores de avance en el frente del túnel (A) y muestra de mano de la litología en el frente (B).*



#### Tabla 7

*Resumen de los hallazgos del túnel más relevantes durante el tiempo transcurrido de la práctica empresarial.*

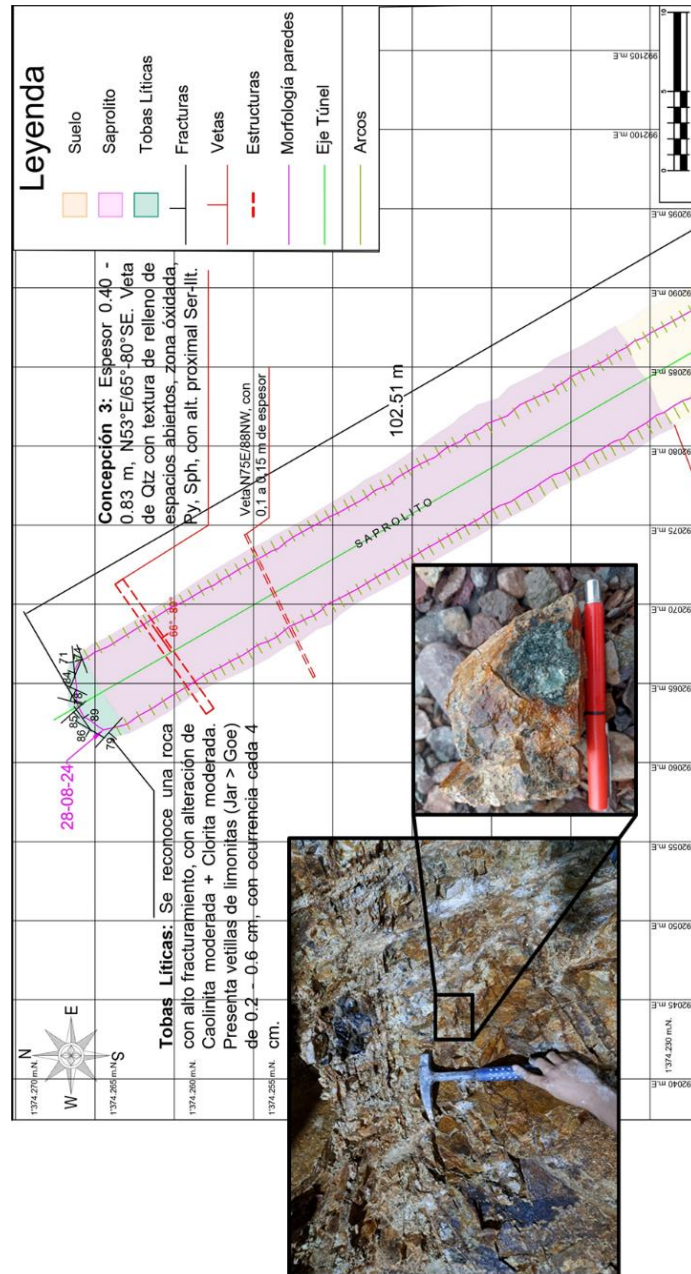
Fecha	Desde (m)	Hasta (m)	Litología	Alteraciones	Mineralización	Datos estructurales	Observaciones
21/02/2024 hasta 27/02/2024	0	22.24	Suelo	-	-	Vetillas de Kao+lit con óxidos de manganeso en una textura de enrejado o stockwork.	Terreno inestable
27/02/2024 hasta 03/03/2024	22.24	28.60	Suelo	-	-	-	Terreno inestable
03/03/2024 hasta 04/03/2024	28.60	29.30	Estructura mineralizada	Alt. Supergena fuerte	Fragmentos de veta de Qtz+limonitas+Py relicta, 0.30 m de espesor	-	Estructura vetiforme mineralizada en el techo de la excavación
04/03/2024h asta 16/03/2024	29.30	49.15	Suelo	-	-	-	Terreno inestable
16/03/2024 hasta 17/03/2024	49.15	49.85	Estructura mineralizada	Alt. Supergena fuerte	Veta de Qtz+Limonitas+Py, 0.60 m de espesor	Proyección realizada de un laboreo antiguo, con dirección N48E.	-
17/03/2024 hasta 23/03/2024	49.85	58.44	Suelo	-	-	-	Terreno inestable
23/03/2024 hasta 24/03/2024	58.44	59.14	Estructura mineralizada	Alt. Supergena fuerte	Vetas con 0.20 m de espesor, de Qtz+Py relicta+Limonitas	Az. Rumbo/Buzamiento: 220°/89°	Se encuentra sobre el contacto de Suelo - Sapolito
24/03/2024 hasta 26/04/2024	59.14	86.24	Sapolito	Caolinita (s)	-	-	Fragmentos de roca en matriz arenosa, alta inestabilidad
26/04/2024 hasta 27/04/2024	86.24	86.74	Estructura mineralizada	Alt. Supergena moderada	Veta 0.15 m de Qtz+Py	Az. Rumbo/Buzamiento: 255°/88°	-
27/04/2024 hasta 07/05/2024	86.74	94.44	Sapolito	Caolinita (s)	-	-	Terreno muy inestable
7/05/2024 hasta 08/05/2024	94.44	95.26	Target Concepción 3	Alt. Proximal lit-Ser	Veta de 0.40 a 0.83 m, de Qtz con textura de relleno de espacios abiertos, perteneciente a la zona oxidada del depósito, con Py + Sph, con alt. Proximal de lit-Ser	Az. Rumbo/Buzamiento: 053°/56°-80°	-
8/05/2024 hasta 15/04/2024	95.26	100.01	Sapolito	Caolinita (s)	-	-	Terreno muy inestable
15/05/2024 hasta 23/05/2024	100.01	115.13	Tobas de Cristales y Liticos	Cao (m/s) + Chl (m) + Ep (w)	-	Diaclasamiento en al menos 3 familias de discontinuidades distintas	Se generan cuñas con planos que siguen el avance del túnel, es decir, con sentido NNW.

Realizado el seguimiento al túnel, se desarrollaba una integración entre los planos de avance del túnel, suministrados por el área de planeamiento del proyecto minero La Concepción y toda la información geológica extraída por el equipo de geología, dando como resultado la

generación de un mapeo geológico detallado (figura 19), donde es posible ver toda esta serie de cambios a lo largo del tiempo, en donde además se discuten temas de integridad y seguridad de la labor, dado por el monitoreo de las discontinuidades en el frente del túnel.

**Figura 19**

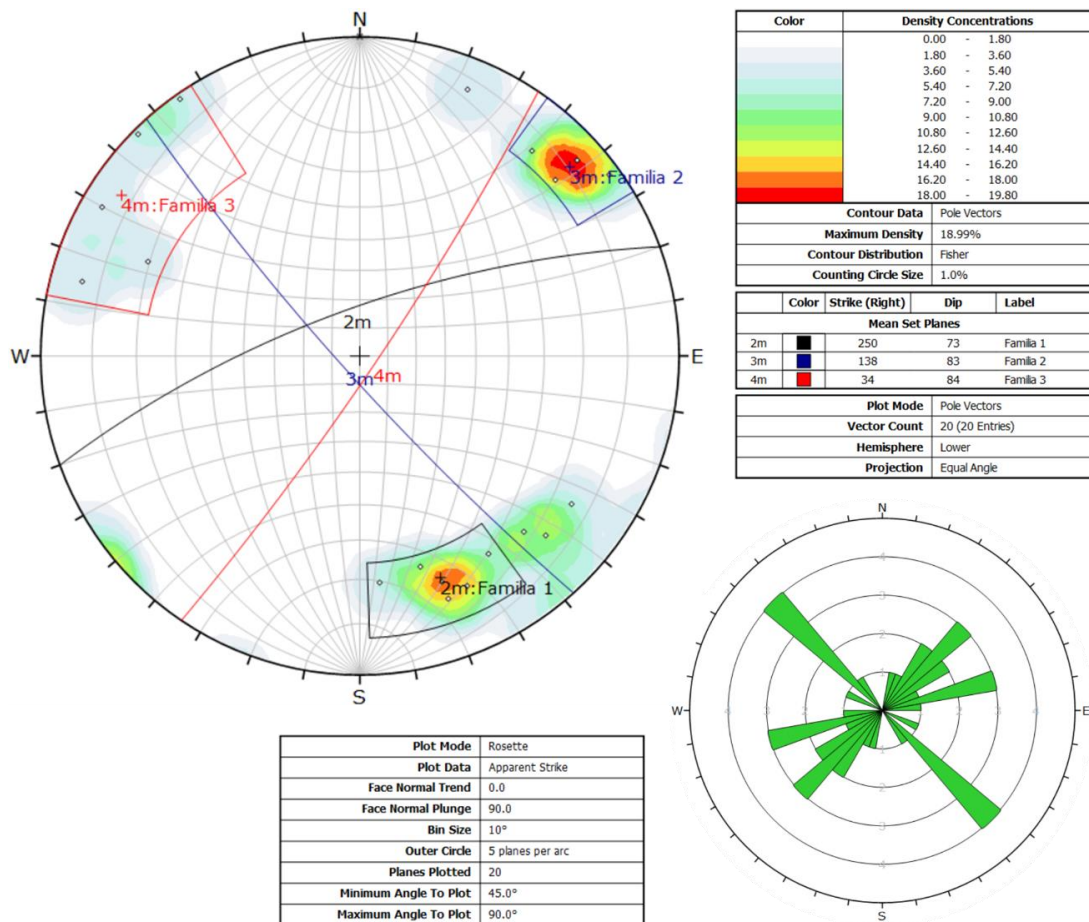
*Mapeo geológico según el avance de la excavación.*



Para facilitar la comprensión del comportamiento estructural en la medida en la que suceden las labores de avance en el túnel, toda la información se carga en el aplicativo Dips 7.0 de Rocscience (ver *figura 20*), que permite la visualización e interpretación de los datos de fracturas que afectan la integridad en el frente, siendo posible determinar zonas de acuíñamiento de manera más dinámica, a partir de los polos de cada plano medido en campo, obteniendo los siguientes resultados.

**Figura 20**

*Estereograma para cada plano medido en el frente de la labor.*



Nota. Estereograma donde se puede notar la acumulación de los polos para cada plano medido en campo, indicando al menos tres familias de diaclasas con orientaciones similares. Diagrama de rosas donde se muestra la dirección principal en la que ocurren las fracturas, siendo esta NW-SE.

El diagrama de contornos en el estereograma permitió identificar la ocurrencia de tres distintas familias de discontinuidades principales, donde, con datos de rumbo/buzamiento, la familia 1 ( $250^{\circ}/73^{\circ}$ ) y la familia 2 ( $138^{\circ}/83^{\circ}$ ) fueron interpretadas como fracturas conjugadas debido a sus relaciones angulares, siendo una situación similar a la observada entre las familias 2 ( $138^{\circ}/83^{\circ}$ ) y 3 ( $034^{\circ}/84^{\circ}$ ). Esta última familia de discontinuidades tiene una tendencia similar con la dirección de la mineralización encontrada en el bloque de exploración de Concepción 3, además del control estructural regional sobre las estructuras mineralizadas en el área del título QEE-08041 y de algunas estructuras mayores como las fallas con dirección preferencial NE (*Figura 2*), presentes en la Serranía de San Lucas. A pesar de la clara identificación de estas familias de fracturas, los datos estructurales pertenecientes a la familia de diaclasas 3, mostraron una considerable dispersión, lo cual podría haber sido consecuencia de la heterogeneidad en las labores de avance en el frente minero. Por otro lado, con el diagrama de rosas se logró visualizar la presencia estructural dominante en el frente del túnel, el cual tuvo una dirección NW-SE, perteneciente a la familia 2, en ángulo opuesto a los datos de las familias 1 y 3, cuyas tendencias fueron NE-SW.

#### **7.4 Actualización del modelo geológico del yacimiento en Leapfrog 3D.**

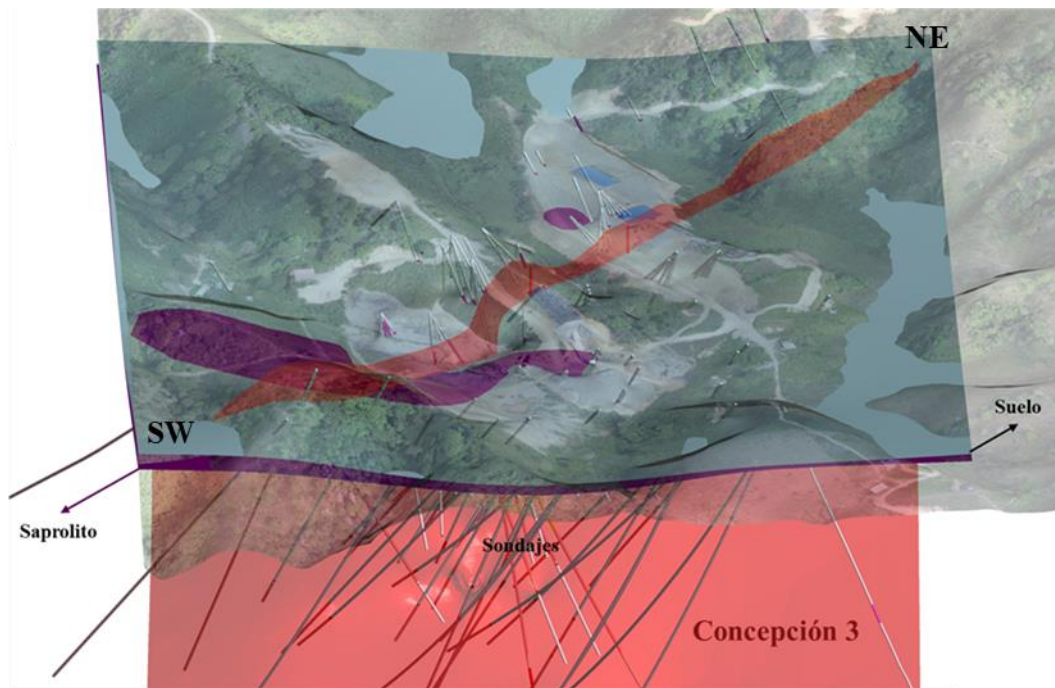
GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S utiliza el software Leapfrog 3D para validar y monitorear las distintas campañas de exploración realizadas en el proyecto minero La Concepción. Para ello, se emplea información fundamental, como datos topográficos, descripciones litológicas de los sondajes, georreferenciación de los collars, y desviaciones en la dirección o buzamiento de las perforaciones. Estas características son esenciales para una representación espacial precisa y confiable, que permita identificar con claridad los patrones estructurales y litológicos.

### 7.4.1 Modelo de superficies litológicas

Para la generación de superficies litológicas, se consideraron las bases de datos existentes y se integraron adecuadamente con los registros de sondajes obtenidos durante la práctica laboral. Se tuvo en cuenta la secuencia litológica, incluyendo el suelo, saprolito, roca fresca, así como las estructuras mineralizadas. Con esta información, y utilizando las diversas herramientas de interpolación proporcionadas por Leapfrog 3D, se generaron las superficies correspondientes al suelo-saprolito, saprolito-tobas (*figura 21*), lo que permitió definir la geometría del cuerpo rocoso, el suelo residual, el suelo y el target.

#### Figura 21

##### *Modelo de superficies litológicas*



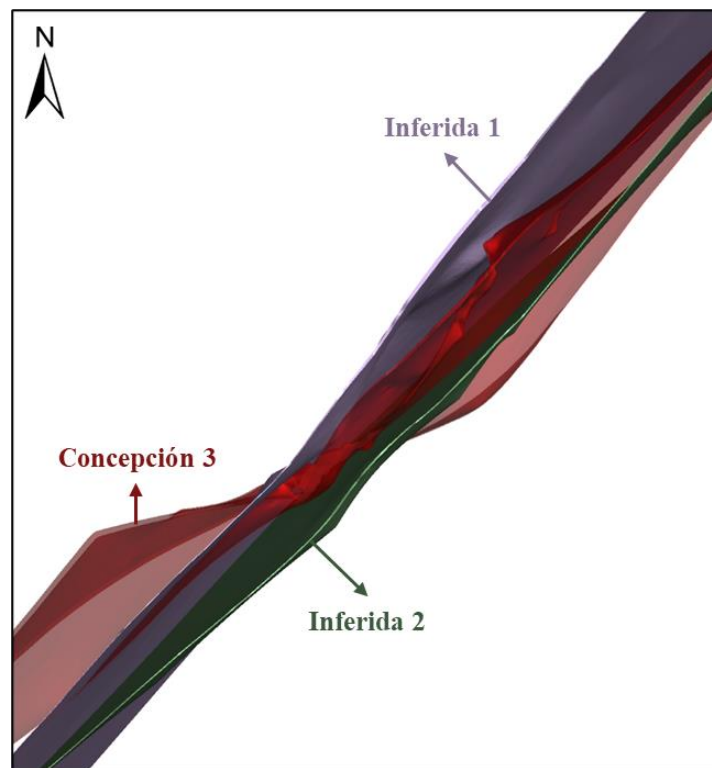
*Nota.* Modelo de superficies litológicas correspondiente a Suelo-Saprolito (azul), Saprolito-Tobas (morado) y la zona de interés, Concepción 3 (rojo).

Con base en los registros de campañas previas y su integración con los nuevos pozos realizados, se identificó el comportamiento estructural de dos targets de interés económico. Estos

targets, que son sub-paralelos a la estructura principal Concepción 3, cumplen con los criterios fundamentales para su interpretación, como la relación estructural con el control regional, la presencia de zonas mineralizadas significativas, y la continuidad tanto en dirección como en profundidad. Estos aspectos fueron incorporados en un segundo modelo el cual relaciona las trazas de las estructuras inferidas y el target (ver *figura 22*).

### Figura 22

*Target Concepción 3 (rojo) y las estructuras sub-paralelas a la misma.*



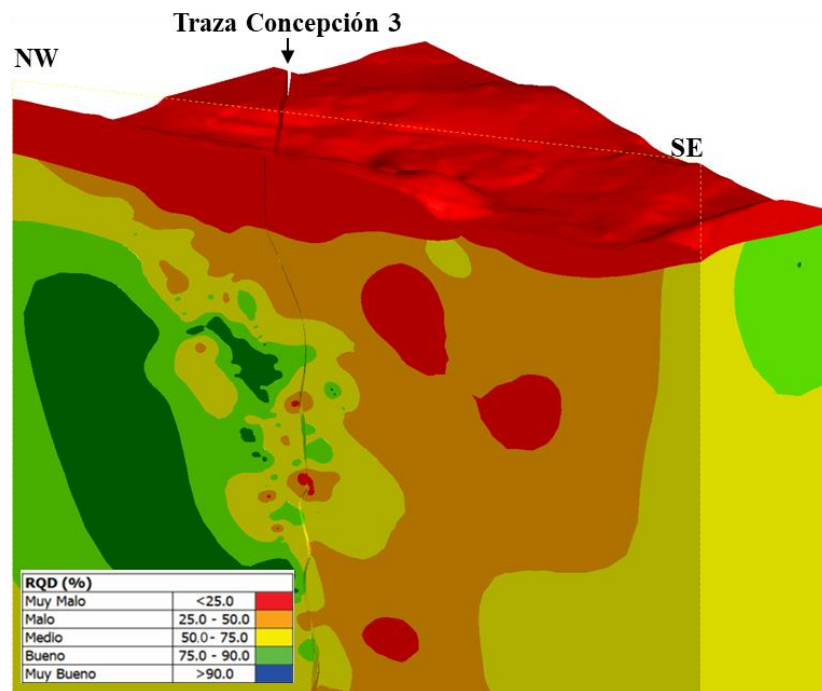
#### 7.4.2 Modelo numérico RQD

El modelo RDQ fue una de las principales aplicaciones que se derivaron de la implementación de un logeo geotécnico detallado, ya que fue posible representar de forma numérica y visual la condición de la roca en el subsuelo a partir de los sondajes previamente registrados. Este modelo se desarrolló utilizando una función de base radial, que interpola los valores de RQD para cada tramo (ver *tabla 6*), generando una superficie sólida basada en la

distancia entre los puntos a interpolar. Este modelo numérico se construyó tomando en cuenta los datos crudos de RQD obtenidos en el bloque de exploración de Concepción 3, así como la información del modelo geológico, lo que permitió mejorar la comprensión del macizo rocoso, por último, es importante mencionar que la traza de la estructura del target Concepción 3, la cual se encuentra buzando hacia el SE, marca un límite claro en las condiciones de calidad del macizo rocoso, tal como se muestra en la *Figura 23*.

### Figura 23

*Modelo numérico de RQD sobre el bloque de exploración de concepción 3.*



Con este modelo fue posible determinar el volumen de roca que se encuentra afectado por calidades geotécnicas similares, en este sentido, el volumen correspondiente al suelo y saprolito se desprecia, dado que el modelado de RQD se aplica teniendo en cuenta el macizo netamente rocoso, por lo que se asume una calidad geotécnica muy mala para suelo y saprolito, así pues, con lo presentado en la *tabla 8*, es posible observar el volumen de roca afectado por las distintas condiciones geotécnicas.

**Tabla 8**

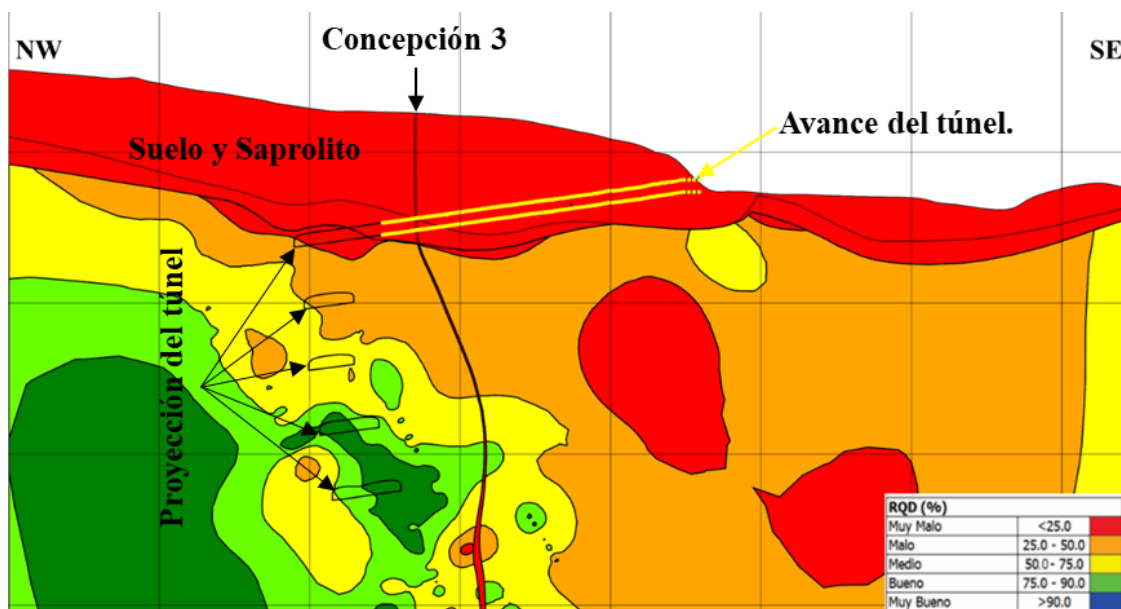
*Calidad de la roca, volumen y porcentaje que ocupan en el modelo numérico de RQD.*

RQD	Volumen en Modelo $m^3$	% de Volumen en modelo
Muy Malo	222500	0.56
Malo	8233200	20.73
Medio	21506000	54.14
Bueno	7432600	18.71
Muy Bueno	2331100	5.87
Total	93725400	100

A partir de este análisis, se desarrolló una aplicación con importantes implicaciones en los ámbitos de la ingeniería y la planificación. Esto permitió definir con mayor precisión la condición de la roca durante el avance del frente del túnel, lo que facilitó la adopción de medidas adecuadas tanto en el método de excavación como en el aseguramiento de la obra. El siguiente perfil (*figura 24*) ilustra esta aplicación en detalle, ya que hace posible visualizar la condición de RQD tanto en el frente como por encima de la labor.

**Figura 24**

*Perfil paralelo al eje de avance del túnel Concepción 3 (resaltado en amarillo) y la calidad de la roca proyectada para las distintas fases de avance del túnel.*



## 8. Conclusiones

Durante la práctica empresarial en el proyecto minero La Concepción, se implementaron procedimientos clave que estandarizaron las actividades de exploración y optimizaron la operación geológica. El registro diario de las variables que afectaron la perforación en el frente #2 permitió un seguimiento exhaustivo de cada pozo, lo que resultó crucial para evaluar la eficiencia operativa y definir el rendimiento mínimo esperado.

El uso del logueo rápido facilitó la toma de decisiones en tiempo real, mejorando la planificación de las perforaciones y evitando actividades innecesarias, de igual modo, permitió integrar los hallazgos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), asegurando una correcta interpretación espacial de la información geológica.

El logueo detallado de los testigos rocosos obtenidos en el frente de perforación #2 permitió una caracterización integral de las rocas del bloque de exploración Concepción 3, logrando descripciones precisas de las características litológicas, estructurales, mineralógicas y geotécnicas, lo que facilitó la continuidad de estructuras conocidas e identificó nuevas estructuras potenciales para futuras exploraciones.

El análisis litológico evidenció la predominancia de tobas de cristales y líticos, con fragmentos que varían desde lapilli hasta bloques, además, las alteraciones hidrotermales encontradas, principalmente de tipo propilítico y fílico, proporcionaron información clave sobre la distribución de las zonas mineralizadas de interés económico. Estas zonas, compuestas por metales base y oro, se concentraron en vetas y vetillas que siguen una clara tendencia estructural de N40°E–N50°E.

El logueo geotécnico proporcionó datos clave sobre la estabilidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RQD, esencial para la planificación de excavaciones y optimización de diseños mineros.

El seguimiento detallado de las labores de avance en la excavación del túnel permitió un análisis exhaustivo de las condiciones geológicas que afectaron la integridad y seguridad de la operación. Mediante la implementación de un sistema de registro diario, se logró documentar factores litológicos, estructurales, de alteración y mineralización.

La utilización de Leapfrog 3D en la actualización del modelo geológico del yacimiento fue clave para obtener una representación espacial precisa y confiable, que permitió identificar patrones estructurales y litológicos de interés económico. Esta herramienta facilitó la integración de datos geológicos y geotécnicos, mejorando la interpretación del subsuelo y optimizando la planificación y toma de decisiones en las actividades mineras.

La práctica empresarial en el proyecto minero La Concepción permitió aplicar los conocimientos teóricos y técnicos adquiridos durante mi formación académica en un entorno laboral. Los conceptos de petrología ígnea y sedimentaria, además de mineralizaciones y alteraciones en los yacimientos minerales fueron esenciales para describir correctamente las muestras de perforación. Asimismo, la geología estructural resultó clave para registrar estructuras mineralizadas y prever el comportamiento de discontinuidades. Por último, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) fue fundamental para planificar, evaluar y delimitar áreas de exploración. Estas competencias facilitaron el uso eficaz de herramientas avanzadas como Leapfrog 3D, permitiendo un análisis geológico preciso que optimizó la planificación de las actividades mineras.

## 9. Referencias

- Acosta, J., Velandia, F., Osorio, J., Lonergan, L., & Mora, H. (2007). Strike-slip deformation within the Colombian Andes. *Geological Society, London, Special Publications*, 272(1), 303–319. Doi:10.1144/gsl.sp.2007.272.01.16
- Clavijo, J., Mantilla, L., Pinto, J., Bernal, L., & Pérez, A. (2008). Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noroeste de la Cordillera Oriental. *Boletín De Geología*, 30(1).
- Correa-Martínez, A.M., Rodríguez, G., Arango, M.I., y Zapata-García, G. (2019). Petrografía, geoquímica y geocronología U-Pb de las rocas volcánicas y piroclásticas de la Formación Noreán al NW del Macizo de Santander, Colombia. *Boletín de Geología*, 41(1), 29-54. DOI: 10.18273/revbol.v41n1-2019002.
- Deere, D. 1967. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol. 1.
- Etayo, F., Barrero, D., Lozano, H., Espinoza, H., González, H., Orrego, A., Sarmiento, L. (1983). Mapa de terrenos Colombia. *INGEOMINAS* 14(1):235.
- Feininger, T. 1970. The Palestina Fault, Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 81, 1201- 1216
- García-Delgado, Helbert & Velandia, Francisco. (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the Northern Andes. *Geomorphology*. 349. 10.1016/j.geomorph.2019.106914.

- García R., C. A., Correa, K., Mantilla F., L. C., & Bernal, L. (2009). Aspectos petrográficos y geoquímicos de las rocas metamórficas del sector Barranco de Loba (Serranía de San Lucas). *Boletín De Geología*, 31(1).
- González, H., Maya, M., García, J., Gómez, J., Palacio, A., & Vélez, W. (2015b). Elaboración de la cartografía geológica de un conjunto de planchas a escala 1:100000 ubicadas en cuatro bloques del territorio nacional, identificados por el Servicio Geológico Colombiano. Memoria explicativa de la Plancha 84 – Los Canelos. Bogotá: Consorcio GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS - GEMI) - Servicio Geológico Colombiano.
- González, H., Maya, M., García J., Gómez, J.P., Palacio A.F., Ruiz, C.F., Camacho, J., Montero, J.E., Grimaldo, J. & Alzate, G.A. 2015. Mapa geológico de la plancha 84 Los Canelos. Escala 1:100000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.
- González, H., y Londoño, A. C. (2002). Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. Diorita de Segovia. Batolito de Segovia (Jds). Cordillera Central, Departamentos de Antioquia y Bolívar. Bogotá: INGEOMINAS.
- López, E., Bernal, L., Osorio, J., & Duarte, R. (2006). Fotogeología de la Plancha 84 - Villa Uribe. Bogotá: INGEOMINAS.
- Mantilla, L. C., Clavijo, J., Pinto, J. E., Páez, L. E., Pérez, A., Quintero, I., Cuellar, M. (2006b). Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario). Aporte a su evolución geológica. Memoria explicativa de la Plancha 64 - Barranco de Loba. INGEOMINAS.
- Mantilla, L. C., Clavijo, J., Pinto, J. E., Páez, L. E., Pérez, A., Quintero, I., Cuellar, M. (2006c). Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco),

- 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario). Aporte a su evolución geológica. Memoria explicativa de la Plancha 85 - Simití. INGEOMINAS.
- Naranjo-Sierra, E., y Alvarán-Echeverri, M. (2018). Características geológicas, isotópicas y estructurales del depósito vetiforme Los Mangos, Antioquia-Colombia. *Boletín de Geología*, 40(1), 93-108. Doi: 10.18273/revbol.v40n1-2018006.
- Restrepo-Pace, P. (1992). Petrotectonic characterization of the Central Andean. *Journal of South American earth sciences*, 97-116.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015, septiembre). Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa: Escala 1:100.000 plancha 084 – Los Canelos. Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano. (2020). Mapa metalogénico de Colombia. Dirección de recursos minerales. Bogotá,
- Sillitoe, R.H. (2010) Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.