

Soporte y Evaluación Integral de las Operaciones Exploratorias en el Frente de Perforación #1 del Proyecto Minero la Concepción de la Compañía Geoterra, en el Título Minero Qee-08041, Departamento de Bolívar

Paula Ximena Rojas Pinzón

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geóloga

Director:

Angélica Álvarez Naranjo

PhD Geología Estructural y Tectónica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de fisicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental a lo largo de este proceso. Su amor y motivación me han brindado la fortaleza necesaria para enfrentar los desafíos.

A Sebastián, mi complemento, por ser mi pilar a lo largo de estos 6 años de carrera, gracias por estar a mi lado, por creer en mí y por ayudarme a alcanzar este importante logro.

Agradezco profundamente a mi directora de tesis, la Dra. Angélica Álvarez Naranjo, por su valiosa orientación y dedicación. Su experiencia y consejos han sido clave para el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, agradezco al tutor Yesid Hernando Galvis Huertas por su apoyo constante y su disposición para compartir su conocimiento. Su contribución ha sido esencial para la realización de este proyecto.

A todos ustedes, ¡muchas gracias!

Tabla de Contenido

Introducción	10
1. Justificación	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. Localización	13
4. Marco Geológico	14
4.1 Geología Regional	14
4.1.1 Rocas Metamórficas	14
4.1.2 Rocas Ígneas	14
4.1.3 Depósitos Cuaternarios.....	15
4.2 Geología Estructural	17
4.3 Geología Local.....	19
4.4 Geomorfología Local.....	20
4.5 Geología del Depósito.....	22
4.5.1 Tipo de Depósito.....	23
4.5.2 Mineralización y Alteración.....	25
5. Metodología	26
5.1 Recopilación y análisis de fuentes bibliográficas.....	28
5.2 Registrar de manera sistemática las actividades y hallazgos geológicos significativos durante las operaciones de exploración.	28
5.3 Descripción geológica detallada a partir de testigos rocosos en perforación diamantina.....	28
5.4 Medición de los pozos con el dispositivo REFLEX.....	30
5.5 Enriquecimiento del modelo geológico del yacimiento usando Leapfrog Geo.	30
5.6 Elaboración del documento final.	30
6. Resultados.....	31
6.1 Registro Sistemático de Actividades y Hallazgos Geológicos.....	31
6.1.1 Control operativo de perforación.....	32
6.1.2 Seguimiento del testigo de perforación en plataforma.....	33
6.2 Descripción geológica detallada de testigos rocosos en perforación diamantina.	34
6.2.1 Recolección de información geotécnica para modelo RQD (Rock Quality Designation).....	36

6.3	Medición de los pozos mediante el dispositivo REFLEX	38
6.3.1	Datos obtenidos del dispositivo Reflex Gyro de los pozos perforados	39
6.4	Correlación e interpretación del modelo geológico del yacimiento usando	41
6.4.1	Importación y organización de datos.	41
6.4.2	Generación de superficies geológicas.	41
7.	Conclusiones	43
	Referencias Bibliográficas	45

Lista de Tablas

Tabla 1. Formato de logeo para los testigos rocosos obtenidos durante la perforación diamantina en el frente de perforación #1	29
Tabla 2. Formato de recolección de información geotécnica para los testigos rocosos obtenidos durante la perforación diamantina en el frente de perforación #1	29
Tabla 3. Datos de metraje de los pozos realizados por el frente de exploración #1	31
Tabla 4. Tabla de control de consumos para perforación.....	33
Tabla 5. Formato de reporte diario del "quick logging"	34
Tabla 6. Descripción litológica de testigos rocosos	35
Tabla 7. Tabla de Características Estructurales (Vetas, vetillas).....	36
Tabla 8. Registro de variación en desviación de Azimut y Dip del pozo CON-127.....	39

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de Localización del Título Minero QEE-08041	13
Figura 2. Mapa de geología regional del título QEE-08041	16
Figura 3. Mapa Estructural del área cercana al título minero QEE-08041	18
Figura 4. Núcleo 118 caja 27 y 28 desde 75.87 m hasta 81.45 m. Roca caja del área de estudio identificada como Toba	20
Figura 5. . Núcleo 113 (metros 172.33 - 178.05). Roca caja del área de estudio identificada como Toba.....	20
Figura 6. Mapa Geomorfológico del área cercana al título minero QEE-08041	21
Figura 7. Términos de roca final para fragmentos piroclásticos (Fisher, 1966 c)	22
Figura 8. Estructura Concepción 3 en el Pozo CON-079 desde 253.8 hasta 255.4 m.....	23
Figura 9. Estructuras epitermales de sulfuración intermedia relacionadas a mineralización de oro – plata – metales base, en el área del Contrato de Concesión QEE-08041	24
Figura 10. Fotografía muestra de mano de estructura mineralizada con sus característicos minerales: galena, esfalerita de variedad marmatita, calcopirita y piritita.....	25
Figura 11. Fotografías de las estructuras epitermales de sulfuración intermedia relacionadas a mineralización de oro – plata – metales base, en el área	26
Figura 12. Esquema de la metodología utilizada	27
Figura 13. Reporte diario del pozo CON-141.....	32
Figura 14. Muestra del testigo de perforación en plataforma	33
Figura 15. Foto procedimiento de logueo	35
Figura 16. Perfil de eje del túnel en el modelo en Leapfrog Geo 3D de RQD	37
Figura 17. Procedimiento de medición de desviación de pozo en el frente de exploración	38

Figura 18. Grafica de desviación en función de la profundidad del pozo CON-127.....	40
Figura 19. Ortofoto con la ubicación de los pozos perforados	40
Figura 20. Vista de los contactos, suelo, saprolito y estructura mineralizada principal en el modelo 3D.....	41
Figura 21. Vista de los contactos, suelo, saprolito y estructura mineralizada principal en el modelo 3D.....	42

Resumen

Título: Soporte y evaluación integral de las operaciones exploratorias en el frente de perforación #1 del proyecto minero la concepción de la compañía Geoterra, en el título minero QEE-08041, departamento de Bolívar ¹.

Autor: Paula Ximena Rojas Pinzón ².

Palabras Clave: Serranía de San Lucas, Yacimiento epitermal, Testigos rocosos, Logueo, REFLEX, Modelo geológico.

Descripción: El Proyecto Minero La Concepción, localizado en la Serranía de San Lucas, Bolívar, bajo el título minero QEE-08041, se enfoca en la exploración de un yacimiento epitermal de sulfuración intermedia, rico en minerales como oro, esfalerita, calcopirita, galena y pirita. Este proyecto, tuvo como objetivo optimizar las operaciones exploratorias mediante el uso de distintos métodos de prospección geológica y de softwares de modelamiento. Durante la práctica empresarial de cuatro meses en la empresa GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S., se llevaron a cabo varias actividades clave, las cuales incluyeron: monitoreo de las operaciones de perforación diamantina, descripción geológica de testigos rocosos, medición de pozos con el dispositivo REFLEX, y el uso del software Leapfrog Geo para mejorar el modelo geológico tridimensional del depósito.

¹ Trabajo de Grado.

² Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Angélica Álvarez Naranjo. Geóloga PhD. Tutor: Yesid Hernando Galvis Huertas. Geólogo.

Abstract

Title: Comprehensive support and evaluation of exploratory operations at drilling front #1 of the La Concepción mining project by Geoterra company, under mining title QEE-08041, Bolívar Department ¹.

Author: Paula Ximena Rojas Pinzón ².

Keywords: Serranía de San Lucas, Epithermal deposit, Rock core samples, Logging, REFLEX, Geological model.

Description:

La Concepción Mining Project, located in the Serranía de San Lucas, Bolívar, under the mining title QEE-08041, focuses on the exploration of an intermediate-sulfidation epithermal deposit rich in minerals such as gold, sphalerite, chalcopyrite, galena, and pyrite. The present project had as main goals to optimize the exploratory operations through the use of various geological prospecting methods and modeling software. During the four-month internship at GEOTERRA INGENIERÍA S.A.S., several key activities were carried out, including monitoring diamond drilling operations, geological description of rock cores, borehole measurement with the REFLEX device, and the use of Leapfrog Geo software to enhance the three-dimensional geological model of the deposit.

¹ Undergraduate Thesis.

² Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Academic Program. Director: Angélica Álvarez Naranjo, PhD Geologist. Tutor: Yesid Hernando Galvis Huertas, Geologist.

Introducción

El Proyecto Minero La Concepción, localizado en la Serranía de San Lucas en el Departamento de Bolívar, se presenta como una oportunidad significativa para la extracción de minerales de alto valor. Este proyecto se encuentra en un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración, caracterizado por la presencia de minerales como Esfalerita, Calcopirita, Pirita, Galena y Oro, todos ellos de relevancia económica significativa.

El foco del presente informe es abordar las labores operativas y técnicas, las cuales estuvieron dirigidas hacia una serie de actividades realizadas durante los procesos de exploración, como monitoreo de las operaciones de exploración, supervisar la ejecución de la perforación diamantina y procesar toda la información recopilada mediante un software de procesamiento tridimensional. Este proyecto de grado se ejecutó mediante la modalidad de práctica empresarial desarrollada en los meses de enero a mayo del año 2024, en la empresa GEOTERRA INGENIERIA S.A.S. Esta empresa lleva constituida desde el 2022 cuya actividad principal es la realización de ensayos y análisis técnicos que actualmente da acompañamiento en el proyecto minero La Concepción (título QEE-08041) en el área de geología.

1. Justificación

La justificación de este proyecto se fundamenta en la necesidad de optimizar y fortalecer las operaciones de exploración en el Proyecto Minero La Concepción, ubicado en el título minero QEE-08041, en la Serranía de San Lucas, Departamento de Bolívar. La importancia estratégica de la extracción de minerales en esta región (esfalerita, calcopirita, pirita, galena y oro nativo), debido a su potencial contribución al desarrollo económico local, y la complejidad geológica que contiene un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración, subrayan la relevancia de esta investigación. En este contexto, la presencia de un respaldo técnico geológico se erige como un pilar esencial para garantizar la eficiencia y efectividad en todas las etapas de exploración.

El propósito principal de este informe es mostrar las actividades llevadas a cabo de las operaciones de exploración en curso en el frente de perforación #1 del proyecto minero La Concepción. Se prioriza la supervisión de la perforación diamantina y la descripción detallada de las muestras de rocas. Estas actividades son esenciales para analizar sistemáticamente zonas con potencial interés mineral. Además, se empleó un software de procesamiento tridimensional, específicamente Leapfrog, para optimizar la correlación e interpretación del modelo geológico de la reserva, lo que contribuyó a una mejor planificación y gestión de recursos. Asimismo, se realizó la medición de los pozos utilizando el dispositivo REFLEX, con el objetivo de obtener datos precisos sobre la desviación y profundidad alcanzada durante las actividades de perforación, lo que garantizó la eficiencia en las operaciones de exploración.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Asistir de manera integral las operaciones exploratorias en el frente de perforación #1 del Proyecto Minero La Concepción en el título minero QEE-08041, Departamento de Bolívar.

2.2 Objetivos Específicos

Registrar de manera sistemática las actividades y hallazgos geológicos significativos durante las operaciones de exploración a cargo del frente de perforación #1 en el proyecto minero La Concepción.

Realizar una descripción geológica detallada a partir de testigos rocosos en perforación diamantina del frente #1, con el fin de identificar y validar nuevas zonas de interés mineral.

Llevar a cabo la medición de los pozos mediante el dispositivo REFLEX con el propósito de obtener información detallada acerca de la desviación y la profundidad alcanzada durante las actividades de perforación en el frente de exploración #1 del proyecto minero La Concepción.

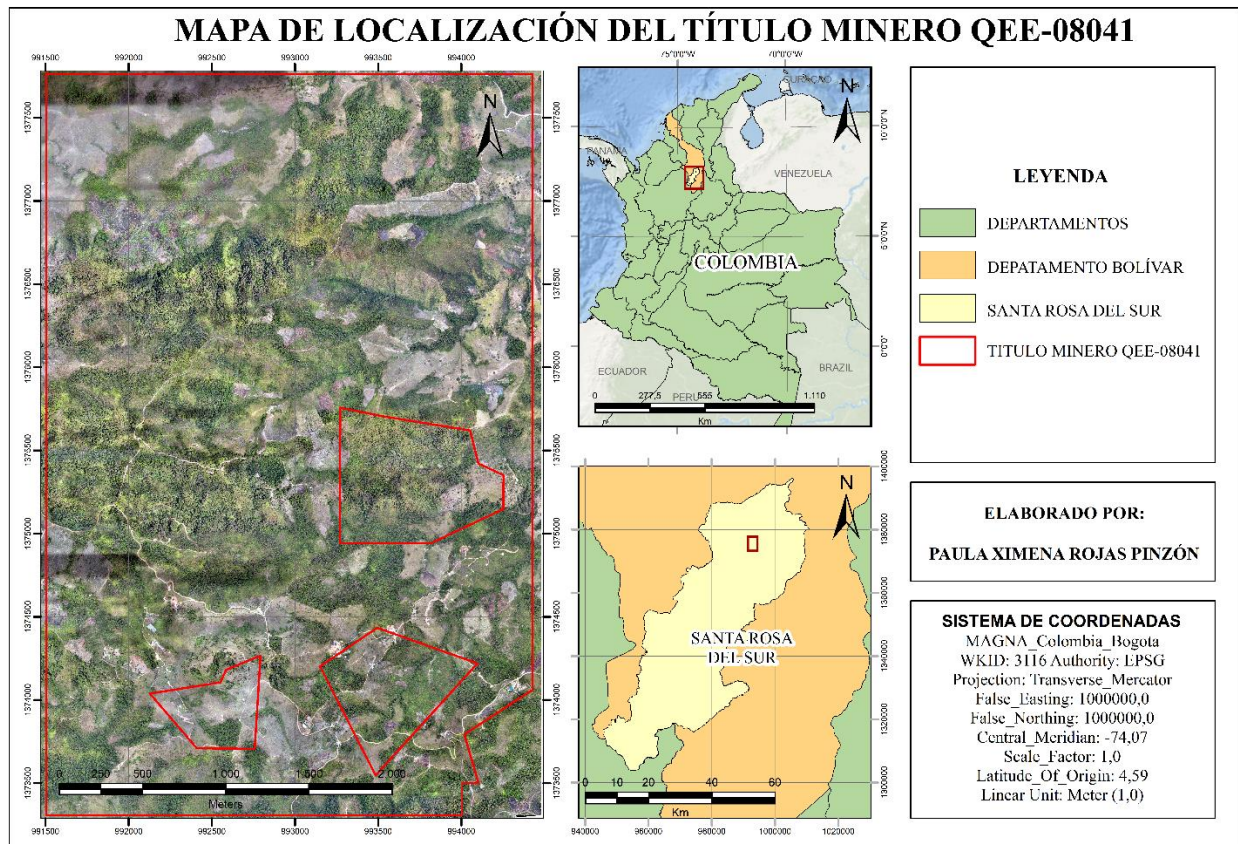
Optimizar la correlación e interpretación del modelo geológico del yacimiento usando herramientas de software 3D, que permita una comprensión más precisa del subsuelo.

3. Localización

El contrato de concesión (L 685), también conocido como título minero QEE-08041, se ubica en el departamento de Bolívar, específicamente en el municipio de Santa Rosa del Sur con coordenadas $7^{\circ}58'8.40''N / 74^{\circ}7'10.20''O$. Este título abarca una superficie de 1149,5395 hectáreas y se localiza a unos 10 km del centro urbano de Santa Rosa del Sur. El acceso a esta zona se logra mediante una vía carretable que se desprende de la ruta principal que conecta Santa Rosa del Sur con el corregimiento de Fátima.

Figura 1

Mapa de Localización del Título Minero QEE-08041.



4. Marco Geológico

4.1 Geología Regional

El área del título minero QEE-08041 se encuentra ubicado en la Serranía de San Lucas al sur del Departamento Bolívar (Figura 1). Según la estratigrafía de la Plancha 84 - Los Canelos, esta área es influenciada por los procesos geológicos que formaron la Serranía de San Lucas (SSL) y exhibe una variedad de unidades rocosas que abarcan rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias desde el Precámbrico hasta el Cuaternario.

4.1.1 Rocas Metamórficas

- Neis de San Lucas (MPnsl): Son rocas metamórficas ubicadas al oriente de Antioquia y al sur de Bolívar. Principalmente consisten en granofels compuesto por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Se formaron durante el Mesoproterozoico debido a la orogenia Grenvilliana (González et al., 2015b).
- Filitas y Esquistos de Pinillos (PZfep): Localizadas en el sector occidental de la Plancha 84 – Los Canelos, estas rocas incluyen filitas y esquistos cuarzo sericíticos grafitosos. Tienen tonalidades de gris medio a claro y verde oscuro, con intercalaciones de metalimolitas y rocas cuarzo-feldespáticas (González et al., 2015b).

4.1.2 Rocas Ígneas

- Complejo volcánico de Noreán (J1npe, J1na, J1ned, J1nha): Se caracteriza por la predominancia de tobas de lapilli y ceniza cristalolíticas, aglomerados líticos, brechas ígneas polimícticas, rocas hipoabisales y lavas de composición riodacítica. Se distinguen

cuatro conjuntos de rocas volcánicas: 1) Rocas Piroclásticas, Epiclásticas y Tobas (J1npe); 2) Brechas Volcánicas Andesíticas y Dacíticas (J1na); 3) Rocas Efusivas y Piroclásticas Dacíticas a Riolíticas (J1ned); y 4) Conjunto Hipoabisal Andesítico (J1nha) (González et al., 2015b). Bogotá y Aluja (1981) le asignaron una edad del Jurásico Temprano al Medio basándose en relaciones estratigráficas con rocas fosilíferas al sur. Estudios de Correa et al. (2019) señalan que el vulcanismo de esta formación estuvo activo desde el Jurásico Inferior hasta el Medio, con dataciones U-Pb en circones de $192,4 \pm 2,2$ Ma a $175,9 \pm 1,1$ Ma.

- Granito de Norosí (J1gn): Ubicado en la Serranía de San Lucas, este granito presenta una composición dominada por cuarzo, plagioclasa, feldespato, hornblenda, biotita y clinopiroxeno se encuentra separado del Batolito Occidental por una franja de esquistos y neises, cuyos límites están marcados por las fallas Palestina al este y el Bagre al oeste (Bogotá y Aluja, 1981). Este batolito sirve como roca encajante para mineralizaciones vetiformes que contienen altos niveles de sulfuros y óxidos de cobre. (González et al., 2015b).

4.1.3 Depósitos Cuaternarios

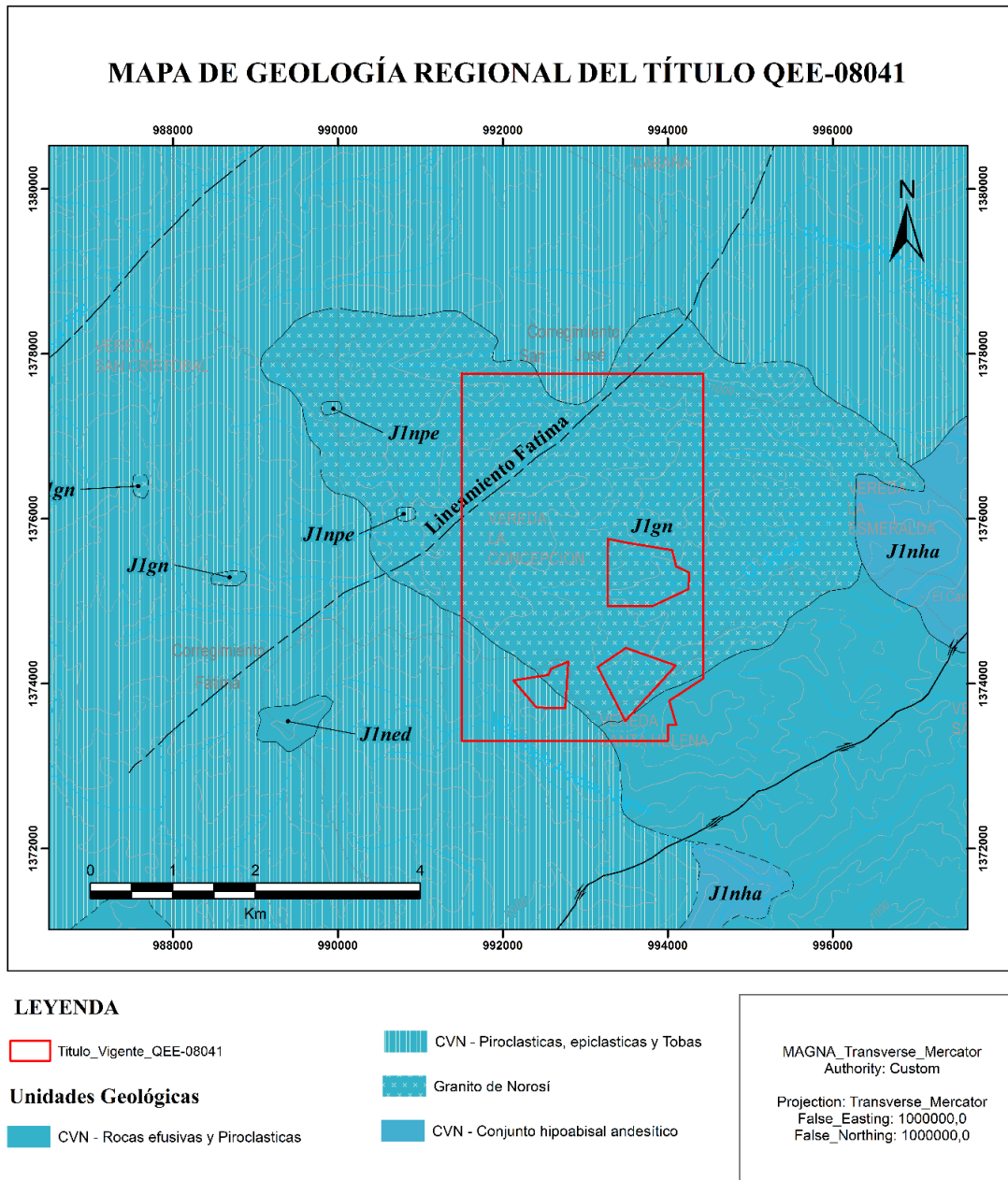
- Depósitos Fluviales de Canal (Q2fc): Se componen de cantos dispuestos en capas ligeramente superpuestas, formando llanuras de inundación durante los meses de invierno. Proceden de la actividad actual de los sistemas de drenaje en la región y contienen una variedad de materiales líticos.

- Depósitos de Llanura de Inundación (Q1Q2fal): Acumulaciones de arenas, limos arcillosos y gravas en los alrededores de la Ciénaga Marmota. Presentan colores que van

desde marrones hasta grises, dependiendo del contenido de materia inorgánica (González et al., 2015b).

Figura 2

Mapa de geología regional del título QEE-08041.



Nota. Adaptado de González, H., Maya, M., García, J., Gómez, J., Palacio, A., & Vélez, W. (2015b).

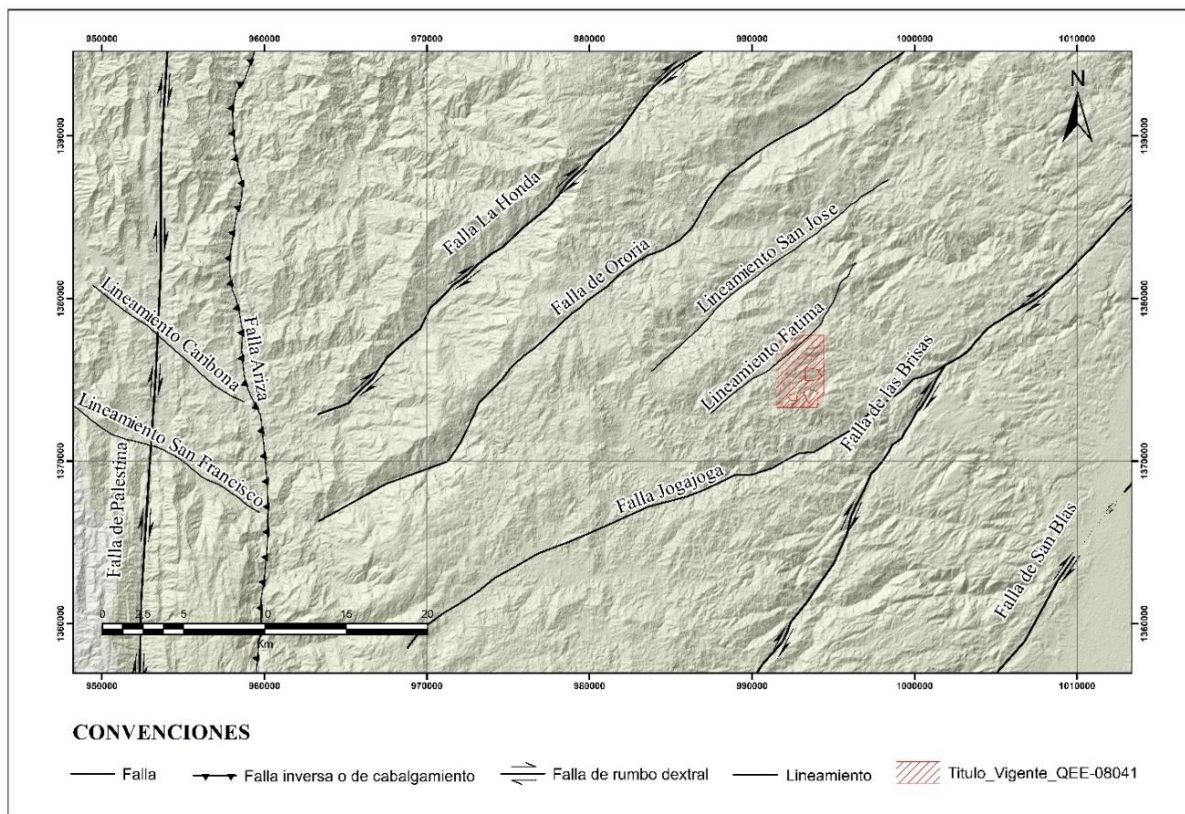
4.2 Geología Estructural

En la Serranía de San Lucas (SSL), Colombia, se relacionan diversas estructuras que reflejan los eventos geológicos involucrados en la convergencia de la placa Sudamericana y la placa del Caribe en la región noroeste de Suramérica. Las estructuras regionales más importantes son las fallas, Palestina, San Blas, El Bagre y Ariza-Colorado actúan de forma regional. El área del título también se encuentra influenciada por estructuras locales, principalmente las fallas, Las Brisas, Jogajoga, Ororia y Falla la Honda, presentan un comportamiento local, en el territorio cercano al título minero QEE-08041. La Falla Palestina es una falla regional con una cinemática dextral que se considera inactiva, a pesar de su acentuada expresión topográfica y características geomórficas distintivas, como cañones rectos y drenaje estructuralmente controlado (Feininger, 1970). La Falla San Blas, es una estructura de rumbo dextral contenida dentro de la estructura transpresiva principal de Las Brisas (Mantilla et al., 2006c). En su fase transcurrente esta estructura genera claros índices de deformación asociados a desplazamiento de relieve y una fuerte expresión de cizalla en las rocas de la Formación Noreán (Mantilla et al., 2006d). La Falla El Bagre que hace parte del Sistema de Fallas de Palestina de orientación N-S a NNE, es la estructura más importante en el área y pone en contacto al batolito de Segovia con las rocas metamórficas del precámbrico pertenecientes al Neis de San Lucas (Naranjo y Alvarán, 2018), las fallas Nús y Otú ponen en contacto unidades estratigráficas del Jurásico, Cretácico y del Paleozoico a lo largo de zonas de fracturamiento y cizalla (González et al., 2015d). La Falla Las Brisas, ubicada en el extremo sureste, presenta un estilo transpresivo dextral de dirección NE, controlando el cauce de la quebrada Las Mercedes (Mantilla et al., 2006c) y se extiende a lo largo de 14 km, atravesando las rocas del Complejo Volcánico de Noreán (González et al., 2015b). Por su parte, la Falla Jogajoga, cerca del corregimiento de Las Brisas, muestra un rumbo dextral de N60°E, influenciando el cauce

de la quebrada Platanal (Mantilla et al., 2006c). La Falla Ororia se extiende por 53 km con un movimiento de rumbo dextral, generando facetas triangulares y silletas alineadas (Mantilla et al., 2006c). Al norte, la Falla La Honda, con una longitud de 36 km y dirección N40°E, controla los cauces de las quebradas Grande y La Honda (Clavijo, 1995). En el área central, la Falla Ariza - Colorado, de dirección N-S y componente inversa, pone en contacto rocas precámbricas del Neis de San Lucas con rocas Jurásicas del Granito de Norosí a lo largo de 20 km (López et al., 2006).

Figura 3

Mapa Estructural del área cercana al título minero QEE-08041.



Nota: Adaptado y modificado de: González, H., Maya, M., García, J., Gómez, J., Palacio, A., & Vélez, W. (2015b).

Además, se encuentran algunos lineamientos dentro del área como el lineamiento de San Jose que tiene una dirección N40°E que afecta principalmente rocas del Complejo Volcánico de Noreán y formaciones sedimentarias jurásicas. El lineamiento de Fátima, que se encuentra muy cercano al título minero QEE-08041 con orientación de N50°E y una longitud de 14 km que afecta rocas del basamento metamórfico del Precámbrico, que incluye gneises y esquistos, así como intrusivos del Granito de Norosí de edad jurásica, presente en la región, también en el sector Oeste de la zona se encuentra el lineamiento Caribona en dirección N45°W, el cual controla el cauce del río Caribona por aproximadamente 6 km y afecta formaciones sedimentarias cuaternarias y recientes, además de posibles contactos entre rocas metamórficas y cuerpos intrusivos de edad variable y finalmente el lineamiento de San Francisco que afecta diversas litologías, incluyendo rocas del Complejo Volcánico de Noreán, sedimentos cretácicos y depósitos recientes, con una tendencia regional NW y una longitud de 22 km. (González et al., 2015b).

4.3 Geología Local

El título minero QEE-08041 se sitúa en el Complejo Volcánico de Noreán, el cual es un cuerpo con ciertas geometrías que siguen una tendencia N-S (Kassem y Arango, 1977). Estudios posteriores realizados por Bogota & Aluja (1981) revelaron una extensión de 150 Km de flujos de lavas ácidas, brechas volcánicas, tobas, piroclastitas y lavas básicas intruidas por lamprófidos. Más adelante, Clavijo (1995a) formalizó el término "Formación Noreán" como una unidad litodémica, basándose en una propuesta de Royero et al. (1994), que describe esta formación como compuesta por arenitas y lodolitas líticas subarcósicas, piroclastitas, lavas y tufitas mayormente de composición andesítica, con cuerpos hipoabisales (silos y diques) y brechoides efusivos asociados. Específicamente la geología en el área de estudio es clasificada en muestra de mano como rocas volcánicas de origen piroclástico, es decir, tobas de lapilli y tobas de ceniza, con un color

predominantemente gris verdoso, en ocasiones se presentan tonalidades rojizas producto de la presencia de hematita diseminada.

Figura 4

Núcleo 118 caja 27 y 28 desde 75.87 m hasta 81.45 m. Roca caja del área de estudio identificada como Toba.



Figura 5

Núcleo 113 (metros 172.33 - 178.05). Roca caja del área de estudio identificada como Toba.



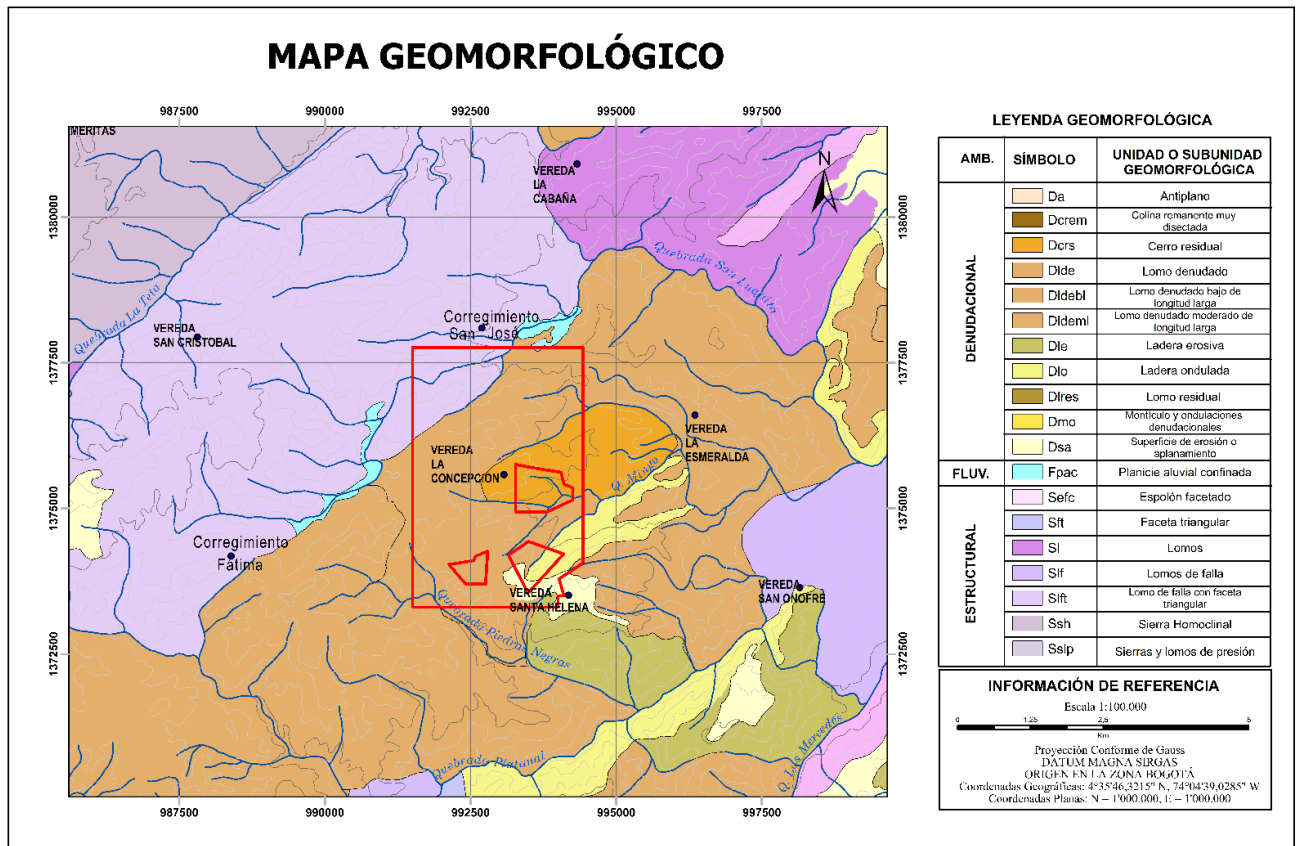
4.4 Geomorfología Local

De manera general exhibe una geomorfología influenciada por los procesos que formaron la estructura del Sistema Orogénico Andino dentro de la provincia de la Cordillera Central, (Carvajal, 2011). Se distinguen tres ambientes morfogenéticos: estructural, denudacional y fluvial según González et al. (2015b). En el ambiente estructural, dominado por procesos endógenos como

el fallamiento y plegamiento, se originan características como las facetas triangulares, cuya morfología refleja un fuerte control estructural asociado a fallas de sentido NE, las cuales exhiben laderas inclinadas y drenajes subparalelos. Por otro lado, el ambiente denudacional, resultado de procesos exógenos como la erosión, da lugar a formas como montañas residuales agudas, y montañas residuales redondeadas, desarrolladas a partir de unidades geológicas como el Neis de San Lucas y el Granito de Norosí (Carvajal, 2011). Finalmente, el ambiente fluvial, originado por la deposición de material proveniente de las unidades denudacionales, se manifiesta en unidades como planicies aluviales, asociadas a los ríos Caribona, Ariza (Carvajal, 2011).

Figura 6

Mapa Geomorfológico del área cercana al título minero QEE-08041.



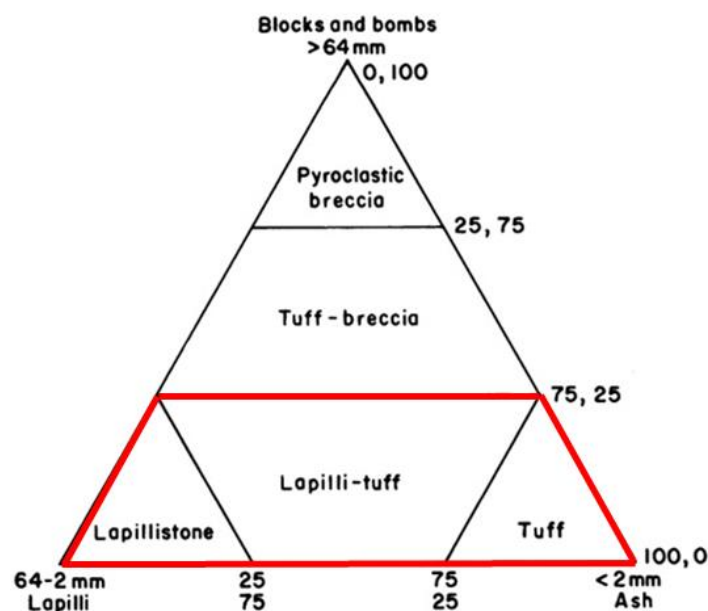
Nota. Adaptado y modificado de: Servicio Geológico Colombiano. (2015, septiembre).

4.5 Geología del Depósito

En el proyecto minero La Concepción, se han identificado en exploraciones y estudios previos, ocho estructuras mineralizadas las cuales deben su origen al fracturamiento de la roca y posterior emplazamiento de fluidos mineralizados. Las principales estructuras se conocen como Concepción 1, Concepción 2, Concepción 3 y al igual que las otras cinco, siguen una tendencia estructural principal de N40-50E y N70-75E, con buzamientos hacia el sureste. La distribución de la mineralización en el área del proyecto minero La Concepción está notablemente influenciada por la geometría y disposición del sistema de fallas de Palestina, las cuales definen los dominios estructurales en el área de estudio. La roca encajante se compone principalmente de toba cristalina y toba lítica correspondiente al Complejo volcánico de Noreán (J1npe). Debido al tamaño de los fragmentos presentes en estas tobas, podrían clasificarse como tobas lapilli y tobas de ceniza (Figura 7).

Figura 7

Términos de roca final para fragmentos piroclásticos (Fisher, 1966 c). Schmid (1981).



Nota. La imagen fue adaptada de: FISHER, R. V. and SCHMINCKE, H.-U. 1984: Pyroclastic Rocks. — Springer, Heidelberg, 474 pp. La zona resaltada en rojo corresponde al rango de clasificación en el que se encuentra la roca caja del título minero QEE-08041.

Estas tobas en su mayoría presentan un color gris verdoso, en ocasiones con tonalidades rojizas causadas por la presencia de hematita diseminada, igualmente se identifican tonalidades verdosas las cuales son atribuidas a la Clorita y epidotización que se da en zonas de alteración propilítica (Sillitoe, 2010) a lo largo de la roca caja (figura 4).

Figura 8

Estructura Concepción 3 en el Pozo CON-079 desde 253.8 hasta 255.4 m.



Nota. No fuente, fotografías de GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.

4.5.1 Tipo de Depósito

Las estructuras mineralizadas del tipo cuarzo – carbonatos – oro – plata – metales base, corresponden a lo que se conoce como epitermales de sulfuración intermedia, término que fue incluido por Hedenquist et al. 2000; Einaudi et al. 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003, sin embargo, estos depósitos son estructuralmente similares a los de baja sulfuración, pues ambos conforman el

conjunto de epitermales alcalinos según Sillitoe (1977), aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas suele guardar afinidad con los depósitos de alta sulfuración (Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003).

Figura 9

Estructuras epitermales de sulfuración intermedia relacionadas a mineralización de oro – plata – metales base, en el área del Contrato de Concesión QEE-0804.



Nota. No fuente, fotografías de GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.

En la subprovincia metalogénica de San Lucas (López-Isaza et al., 2018), se encuentran depósitos asociados a intrusivos sin clasificar, vetas/brechas alcalinas, depósitos de tipo pórfido de Au calco-alcalino, sistemas epitermales de baja sulfuración de Au-Ag, así como depósitos de placer aurífero, algunos aún sin clasificar. Hasta la fecha, el depósito correspondiente al título minero QEE-08041 se clasifica dentro de epitermales de intermedia sulfuración como se mencionó anteriormente, pues se evidencian estructuras que confirman dicha aseveración como lo son la presencia de vetas y vetillas de cuarzo calcedónico / cristalino, calcita, rodocrosita con mineralización de pirita, esfalerita, calcopirita y galena, así como oro y plata, además de la presencia de stockworks, sin embargo, el proyecto minero sigue en fase de exploración.

4.5.2 Mineralización y Alteración

La mineralización de las estructuras se caracteriza por la presencia de cuarzo calcedónico, cuarzo cristalino y calcita como minerales de ganga, acompañados de vetas y vetillas mineralizadas que varían en espesores que van desde centímetros hasta superar el metro. Los minerales que conforman estas vetas incluyen galena, esfalerita de variedad marmatita, calcopirita y pirita. Estos metales (Au, Py, Cpy) se generan a partir de fluidos hidrotermales derivados de magmas. Estos fluidos, ricos en volátiles y metales, ascienden a través de fracturas y fallas, donde se mezclan con aguas meteóricas, enfriándose y disminuyendo su presión. Estos cambios en las condiciones fisicoquímicas, incluyendo el pH y la redox, inducen la precipitación de los metales (Hedenquist, Arribas, y Gonzalez-Urien, 2000). Esta mineralización también se encuentra diseminada en la roca caja (tobas de cristales y líticos o de ceniza) con porcentajes que varían en rangos de <1% de sulfuros a más del 10%. Igualmente, esta asociación mineral se puede observar en brechas hidrotermales.

Figura 10

Fotografía muestra de mano de estructura mineralizada con sus característicos minerales: galena, esfalerita de variedad marmatita, calcopirita y pirita.



Los espesores de estas ocho posibles estructuras oscilan entre 0.3 y más de 5 metros, y suelen mostrar un halo de alteración de illita – sericita, perteneciente a la alteración filica producto de la transformación de plagioclasas y feldespato potásico a sericita y cuarzo secundario, esta alteración se define como pervasiva ya que afecta de manera extendida y uniforme a la roca huésped. Además, se presenta un halo externo de clorita, epidota y/o calcita, y plagioclasa albitizada, dada por la alteración propilítica, esta alteración puede variar de moderada a fuerte según sea el caso.

Figura 11

Fotografías de las estructuras epitermales de sulfuración intermedia relacionadas a mineralización de oro – plata – metales base, en el área del Contrato de Concesión QEE-08041.



Nota. No fuente, fotografías de GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.

5. Metodología

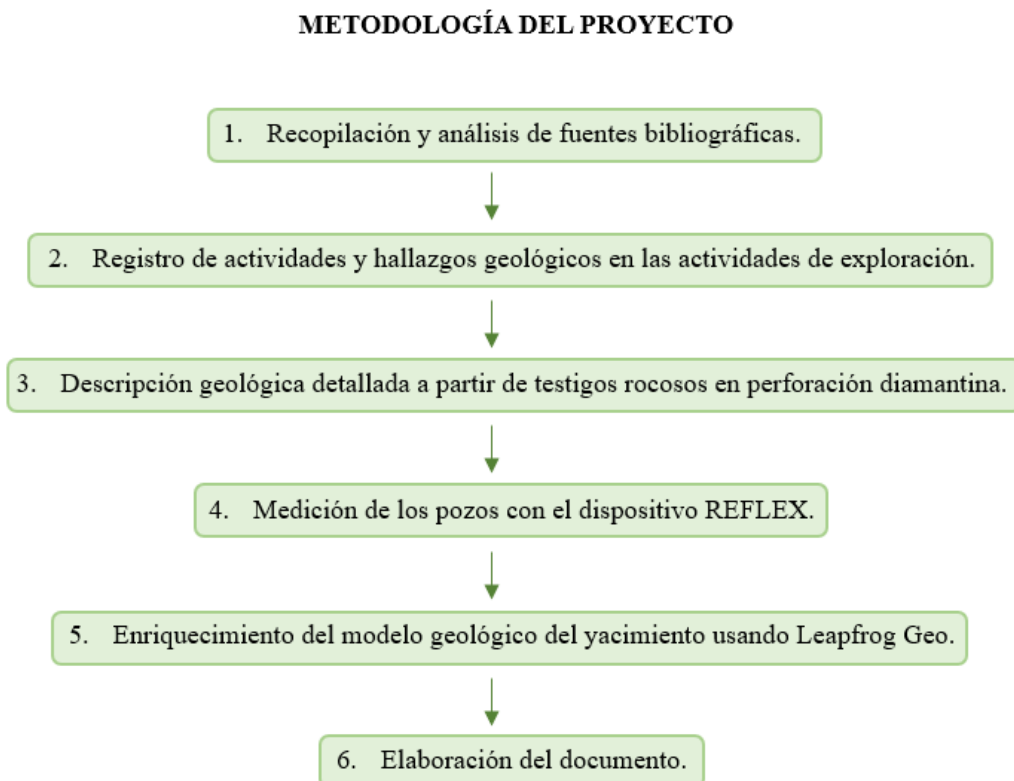
Este trabajo de grado se ejecutó mediante la modalidad de práctica empresarial desarrollada en los meses de enero a mayo del año 2024, en la empresa GEOTERRA INGENIERIA S.A.S.,

dando acompañamiento al área de geología en el título QEE-08041 del proyecto minero La Concepción, realizando apoyo y seguimiento a las operaciones mineras en actividades tales como: Recopilación y análisis de fuentes bibliográficas, registro de las actividades y hallazgos geológicos significativos durante las operaciones de exploración, descripción geológica de testigos rocosos en perforación diamantina, medición de los pozos con el dispositivo REFLEX y finalmente enriquecer el modelo geológico del yacimiento usando Leapfrog Geo.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, se planteó la siguiente metodología:

Figura 12

Esquema de la metodología utilizada.



5.1 Recopilación y análisis de fuentes bibliográficas.

Para la actividad de recopilación y análisis de fuentes bibliográficas, se realizó una búsqueda en bases de datos especializadas y revistas científicas sobre geología de yacimientos epitermales de intermedia sulfuración, así como estudios previos de la Serranía de San Lucas en Colombia. Se seleccionaron las fuentes más relevantes y se analizó objetivamente para extraer información clave sobre la geología regional y local, especialmente enfocada en el título minero QEE-08041. Esta información se sintetizó y aplicó al contexto del proyecto minero La Concepción.

5.2 Registrar de manera sistemática las actividades y hallazgos geológicos significativos durante las operaciones de exploración.

Durante las operaciones de exploración en el frente de perforación #1 del Proyecto Minero La Concepción (título minero QEE-08041), se realizó un registro detallado y sistemático de todas las actividades y hallazgos geológicos significativos. Se emplearon cuadernos de campo y registros digitales, además de formatos y listas de chequeo para documentar cada etapa del proceso, desde la preparación del sitio hasta la extracción y análisis de muestras. Este registro garantizó la trazabilidad y precisión en la documentación de las actividades exploratorias.

5.3 Descripción geológica detallada a partir de testigos rocosos en perforación diamantina.

La descripción geológica de los testigos rocosos obtenidos durante la perforación diamantina en el frente de perforación #1 se llevó a cabo siguiendo los protocolos y formatos establecidos por la empresa (Tabla 1 y 2). Se realizó una inspección visual cuidadosa de las muestras, registrando aspectos como textura, color, mineralogía y estructuras presentes. Esta

5.4 Medición de los pozos con el dispositivo REFLEX.

Para obtener información precisa sobre la desviación y profundidad alcanzada durante las actividades de perforación en el frente de exploración #1 del Proyecto Minero La Concepción, se utilizó el dispositivo REFLEX. Este equipo fue empleado de manera regular siguiendo un protocolo establecido para realizar mediciones confiables de los pozos perforados. Los datos obtenidos se registraron y almacenaron para su posterior análisis e integración en el modelo geológico.

5.5 Enriquecimiento del modelo geológico del yacimiento usando Leapfrog Geo.

Se empleó el software Leapfrog Geo para enriquecer el modelo geológico del yacimiento. Este proceso implicó la introducción de los datos recopilados, como la información geológica de los testigos de perforación, mediciones de pozos y hallazgos geológicos, para generar un modelo tridimensional detallado del yacimiento. Este modelo permitió una mejor comprensión de la distribución de los minerales de interés en el área de estudio y sirvió como una herramienta valiosa para la toma de decisiones. Se siguieron los protocolos establecidos para el uso eficiente de Leapfrog Geo, garantizando la fiabilidad de los resultados.

5.6 Elaboración del documento final.

Este documento recopiló los resultados obtenidos, los análisis realizados, las conclusiones y las recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio. La estructura y contenido del documento de tesis seguirá las normas establecidas por la institución educativa (UIS) y la empresa GEOTERRA INGENIERIA S.A.S. Este proyecto representa un resumen completo de todo el trabajo de exploración y análisis realizado en el Proyecto Minero La Concepción.

6. Resultados.

6.1 Registro Sistemático de Actividades y Hallazgos Geológicos.

Se estableció un sistema de registro diario en Excel con formatos estandarizados para documentar las actividades de perforación, observaciones geológicas y hallazgos significativos. Donde se recolectó la información proporcionada en los reportes diarios del geólogo y el perforista, incluyendo datos como metraje de perforación, cambios de brocas o repuestos, y características de la roca; litología, alteraciones y mineralización.

En los 4 meses de práctica, el frente de exploración #1 perforó 3031.30 m, en 25 pozos (tabla 3), con tiempo promedio de 3 días por pozo en condiciones ideales.

Tabla 3

Datos de metraje de los pozos realizados por el frente de exploración #1.

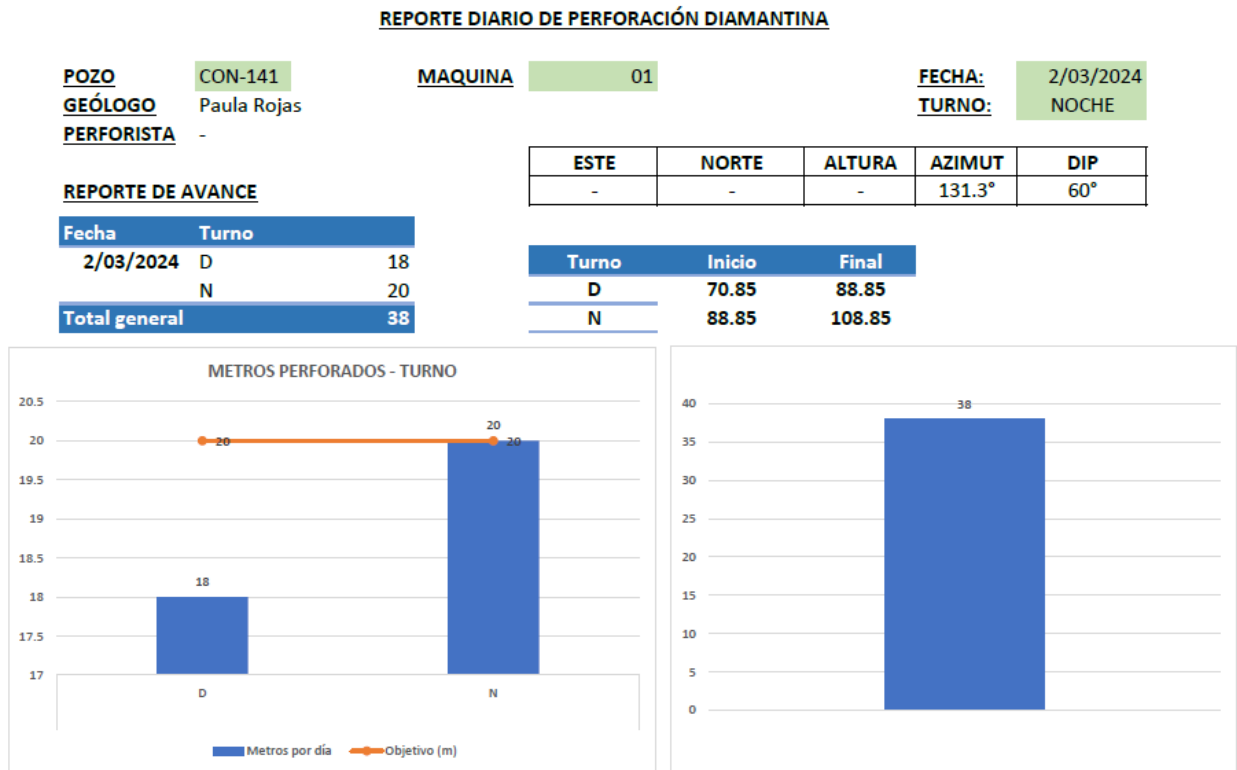
Pozo	Azimuth	Dip	Profundidad de corte (m)	Profundidad total (m)	Metros perforados	Máquina
TUN-001	130	90	-	50.00	50.00	M1
TUN-003	140	90	-	150.30	150.30	M1
CON-127	140	70	212.75	230.10	230.10	M1
CON-129	132	51	92.57	124.60	124.60	M1
CON-131	100	63	122.65	196.30	196.30	M1
CON-133	96.3	47	71.15	126.00	126.00	M1
CON-135	166.3	47	88.00	118.50	118.50	M1
CON-137	119.3	57	93.36	116.40	116.40	M1
CON-139	86.3	53	74.90	74.90	74.90	M1
CON-141	131.3	60	108.85	131.70	131.70	M1
CON-143	151.3	62	67.70	67.70	67.70	M1
CON-145	101.3	65	115.00	139.40	139.40	M1
CON-147	161.3	50	120.75	144.10	144.10	M1
CON-149	156.3	52	94.94	132.50	132.50	M1
CON-151E	157	45	-	36.40	36.40	M1
CON-151	157	45	71.80	71.80	71.80	M1
CON-153	320	57	91.80	118.10	118.10	M1
CON-155	320	65	109.85	140.50	140.50	M1
CON-157	320	70	148.20	186.20	186.20	M1
CON-159	310	45	71.70	71.70	71.70	M1
CON-161	325	55	121.70	146.50	146.50	M1
CON-163	138	41	49.50	80.00	75.90	M1
CON-165	175.66	40	49.00	134.70	134.70	M1
CON-167	175.66	52	68.73	157.00	157.00	M1
CON-169	140	52	68.00	90.00	90.00	M1

6.1.1 Control operativo de perforación.

Se realizó un seguimiento en el área de perforación, enfocándose en la producción (3031.30 metros perforados de enero a mayo del 2024), fallas mecánicas, control de aditivos y repuestos, así como en el control del inicio y final de pozo. Se estableció un objetivo basado en el historial de metros perforados por turno (10 horas), con un promedio de 18 metros, y se reportaron los resultados de manera diaria y semanal mediante informes y gráficos (Figura 13).

Figura 13

Reporte diario del pozo CON-141.



Para el control de repuestos y aditivos, se llevó un reporte diario de perforación diamantina (tabla 4), que incluye entrada y salida de brocas, consumo de aditivos para realizar la perforación, ACPM, gasolina, grasa, etc.

Tabla 4

Tabla de control de consumos para perforación.

CONSUMOS DE PERFORACIÓN												
FECHA	Turno	Pozo	ACPM Galones	GASOLINA Galones	RD Kilos	BENTONITA Kilos	Grasa Cartuchc	Brocas Unidadé	Sulfato Kilogram	Water Control Kilogramc	Yestop Kilogram	
24-abr-24	N	CON-147	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
25-abr-24	D	CON-147	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
25-abr-24	N	CON-147	60	3	3	0	1	0	0	0	0	
26-abr-24	D	CON-147	0	0	3	0	1	0	0	0	0	
26-abr-24	N	CON-147	60	3	2	0	1	0	0	0	0	
27-abr-24	D	CON-147	0	3	0.5	0	1	0	0	0	0	
27-abr-24	N	CON-147	0	0	4	0	2	0	0	0	0	
28-abr-24	D	CON-147	0	0	4	0	1	1	0	0	0	
28-abr-24	N	CON-147	0	3	3	0	1	0	0	0	0	
29-abr-24	D	CON-147	0	0	2	0	2	0	0	0	0	
29-abr-24	N	CON-147	0	3	4	0	2	0	0	0	0	
30-abr-24	D	CON-147	60	0	0	0	0	0	0	0	0	
30-abr-24	N	CON-147	0	3	0	0	3	0	0	0	0	
TOTAL POZO CON-147			180	21	27.5	0	15	1	0	0	0	
TOTAL 2024			6600	114	844	1350	230	52	76	6	21	

6.1.2 Seguimiento del testigo de perforación en plataforma.

En el frente de perforación #1, las actividades del área de geología incluyeron el seguimiento de 3031.30 m de testigos de perforación mediante la generación de un reporte diario (tabla 5) mediante un proceso de "quick logging", que consiste en la observación y registro preliminar de las principales características geológicas de las muestras, como litología, mineralización y estructuras.

Figura 14

Muestra del testigo de perforación en plataforma.



Este procedimiento permitió evaluar en tiempo real el avance de la perforación, facilitando la toma de decisiones sobre la continuidad o finalización de los pozos, así como la identificación de zonas de interés. Las observaciones se realizaron en la plataforma de perforación, adjuntándose imágenes (figura 14) que complementan las descripciones registradas en el informe.

Tabla 5

Formato de reporte diario del "quick logging".

Reporte turno día 15 de Mayo 2024
Pozo: CON-165
Máquina: 1
Geólogo: Paula Rojas
Perforista: -
Desde: 132.20
Hasta: 157.35
Avance: 25.15
% recuperación: 100%
Litología:
132.20-148.57: Tobas de cristales y liticos
149.57-149.05: Estructura mineralizada
149.05-157.35: Tobas de cristales y liticos
Alteración:
Principalmente Clorita de grado moderado+Calcita de grado débil.
Local (149.57-149.05): Sericita+Illita fuerte.
Mineralización:
149.57-149.05 Estructura. Compuesta por vetas de Qtz de 4 y 10 cm con contenido de sulfuros del 80% principalmente Sph y Py, menor Cpy y Gn. Además vetillas de Qtz+Sulfuros y Py diseminada 8%

6.2 Descripción geológica detallada de testigos rocosos en perforación diamantina.

La caracterización litológica e identificación de estructuras mineralizadas (tabla 6 y 7), complementada por análisis petrográficos y estructurales, permitió identificar nuevas zonas potenciales para la exploración, basadas en la ocurrencia de estructuras favorables y concentraciones de minerales valiosos. Asimismo, se validaron algunas de las zonas mineralizadas previamente identificadas (Concepción 3), confirmando su extensión y continuidad, lo que contribuyó a mejorar la precisión del modelo geológico existente.

Figura 15

Foto procedimiento de logueo.

**Tabla 6**

Descripción litológica de testigos rocosos.

Desde	Hasta	Litología	Alteración	Mineralización	Observaciones
0.00	19.19	Suelo	-	-	Suelo con tonalidades naranjas y beige
19.19	27.50	Saprolito	-	Vetillas de Jar>Goe	vetilleo intenso de limonitas y oxidos de manganeso
27.50	115.45	Tobas de cistales y líticos	Alteración ser(m)	Vetillas de Cal+Py	Zona intensamente fracturada
115.45	121.33	Estructura mineralizada	Alteración ser(s)+ilt(s)	Veta de Qtz+Sph+Py+Cpy	Posible zona de alta mineralización hidrotermal de Ser(s)+Ilt(s)
121.33	144.10	Tobas de cistales y líticos	Alteración chl(m)+ep(w)	Py diseminada	Zona con roca compacta

En particular, se observó alta intensidad de alteración hidrotermal (alt. Propilítica y alt. Fílica) y concentraciones de minerales económicos como el oro, plata, cobre, hierro y zinc. Además, los análisis petrográficos indicaron la presencia de minerales como calcopirita, pirita, galena y esfalerita, distribuidos en vetas y vetillas (tabla 7) principalmente con orientación N45° E.

Tabla 7

Tabla de Características Estructurales (Vetas, vetillas).

Profundidad (m)	Tipo de Estructura	Orientación (Azimut/Dip)	Ancho (cm)	Mineralización Asociada	Observaciones
45-48	Veta de cuarzo	45°/73°	3	Esfalerita, pirita	Veta continua en todo el intervalo
60-75	Vetillas y diseminado	47°/68°	0.4-0.8	Diseminación de pirita	Zona de fracturación intensa
70-82	Veta	53°/70°	8	Pirita, calcopirita	Altos % de mineralización
90 – 115	Veta	50°/76°	15	Pirita, esfalerita	Asociada a alteración potásica

6.2.1 *Recolección de información geotécnica para modelo RQD (Rock Quality Designation).*

Se realizaron observaciones detalladas sobre las fracturas, longitud y condición de los fragmentos de roca recuperados. Posterior a ello, se aplicaron los criterios estándar para calcular el índice RQD (Rock Quality Designation), utilizando la fórmula:

$$\text{Donde: } RQD = \left(\frac{\sum L}{L_{total}} \right) * 100$$

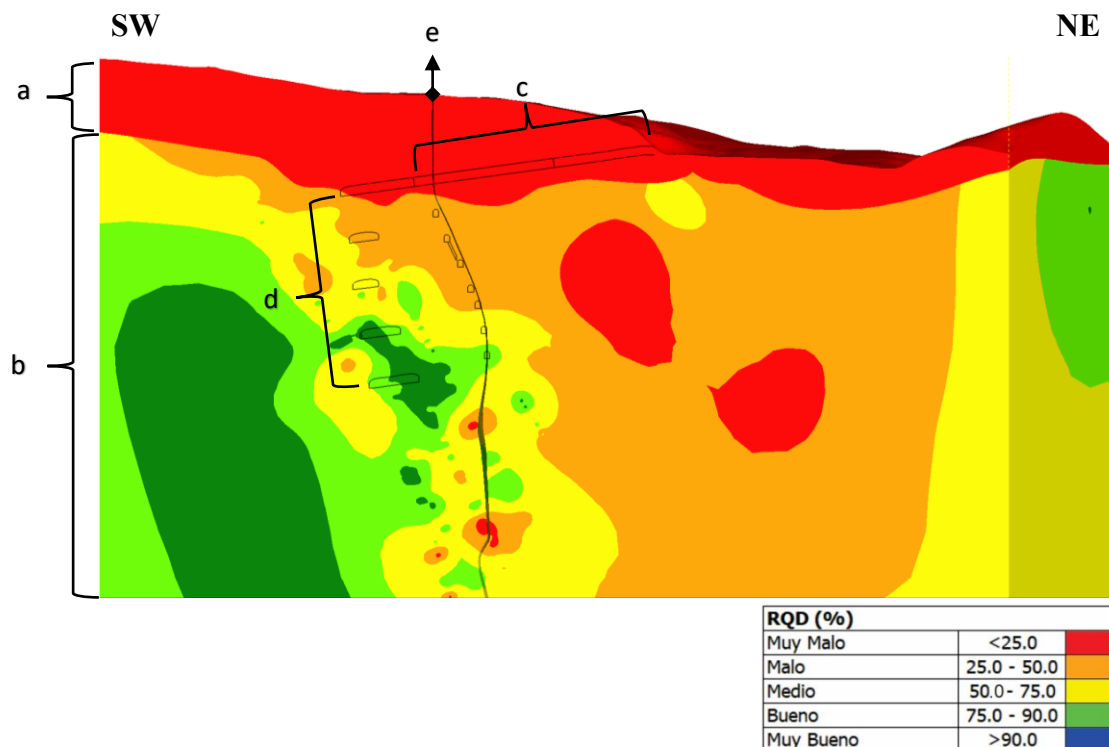
- L es la suma de las longitudes de los fragmentos de roca que son mayores o iguales a 10 cm (4 pulgadas).
- L_{total} es la longitud total del sondeo o testigo evaluado.

Los fragmentos que cumplen con la longitud mínima de 10 cm se consideran en buen estado (Deere, 1964), y aquellos más pequeños no se incluyen en el cálculo. Los valores del RQD se clasifican de la siguiente manera: 0-25% indica roca de calidad muy pobre, 25-50% pobre, 50-

75% regular, 75-90% buena y 90-100% excelente (Deere & Deere, 1989). Los datos obtenidos del RQD fueron utilizados para actualizar y optimizar el modelo geotécnico, lo que permitió mejorar la correlación con el modelo geológico y obtener una caracterización más precisa del terreno. Además, se creó un modelo tridimensional en Leapfrog Geo (figura 16) que permitió visualizar de manera detallada la condición de la roca en las proximidades de la proyección del túnel, facilitando una evaluación más completa y precisa de las condiciones geotécnicas del área de interés.

Figura 16

Perfil de eje del túnel en el modelo en Leapfrog Geo 3D de RQD (Rock Quality Designation).



Nota. En la figura se puede observar (a) Suelo y saprolito; (b) Roca caja; (c) Avance del túnel; (d) Proyección del túnel; (e) Estructura mineralizada principal.

La calidad de la roca en el área proyectada para la construcción del túnel varía desde muy mala (< 25%) hasta buena (75-90%), de acuerdo con los valores obtenidos del índice RQD (Rock

Quality Designation). Este índice es una herramienta clave para evaluar la fragmentación y competencia de la roca a lo largo del túnel (115.13 m) y proporciona información crucial para el diseño de excavaciones subterráneas. El análisis fue realizado mediante la modelación en Leapfrog Geo, lo que permitió generar un perfil geotécnico del túnel a lo largo de todo su trazado. Es importante destacar que el RQD solo se aplica a materiales rocosos. En este caso, los valores de competitividad correspondientes al suelo y saprolito no fueron considerados, ya que estos materiales residuales no se evalúan con el RQD. La ausencia de datos geotécnicos aplicables a estos materiales sugiere implementar métodos alternativos para evaluar la calidad geotécnica en suelos residuales, como ensayos de penetración estándar (SPT) o perfiles sísmicos.

6.3 Medición de los pozos mediante el dispositivo REFLEX

El dispositivo utilizado dentro del proyecto minero La concepción para la medición precisa de la desviación y profundidad de los pozos perforados en el frente de exploración #1 es el Reflex Gyro. Este instrumento permitió registrar la inclinación y orientación del pozo, ofreciendo información concreta para la creación del modelo geológico y la estrategia de explotación minera.

Figura 17

Procedimiento de medición de desviación de pozo en el frente de exploración #1.



6.3.1 Datos obtenidos del dispositivo Reflex Gyro de los pozos perforados en el frente de exploración #1.

En este apartado, se registraron los valores iniciales de azimut e inclinación, así como su variación con el incremento de la profundidad (tabla 8), con el objetivo de calcular los grados de desviación observados en cada pozo.

Tabla 8

Registro de variación en desviación de Azimut y Dip del pozo CON-127.

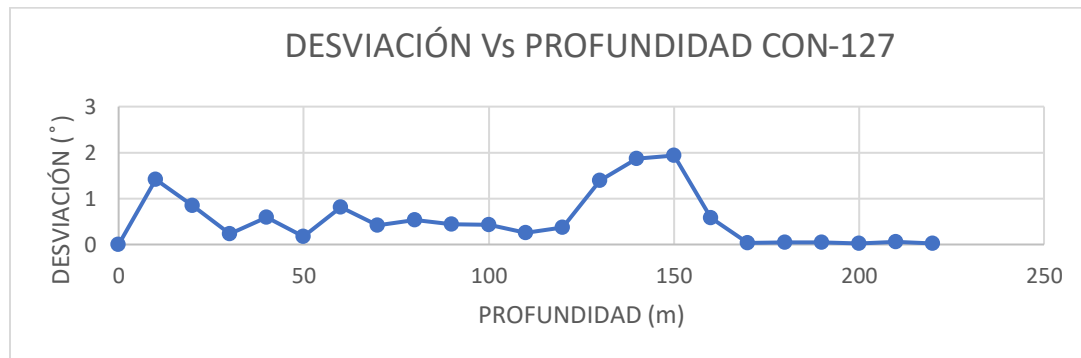
Hole_ID	Depth	Dip	Azimuth	Azimut	Dip	Desviación	Desviación acumulada
CON-127	0	71.0276	140	0	0	0	0
CON-127	10	71.0483	138.5838	-1.4162	0.0207	1.41635127	1.416351274
CON-127	20	70.6134	137.8604	-0.7234	-0.4349	0.84406491	2.260416182
CON-127	30	70.4005	137.7591	-0.1013	-0.2129	0.23577129	1.079836196
CON-127	40	70.21	138.3216	0.5625	-0.1905	0.59388256	0.829653852
CON-127	50	70.383	138.3597	0.0381	0.173	0.17714573	0.771028295
CON-127	60	70.173	139.1458	0.7861	-0.21	0.81366652	0.990812254
CON-127	70	69.9989	139.5218	0.376	-0.1741	0.41435107	1.228017594
CON-127	80	69.8226	140.0246	0.5028	-0.1763	0.53281285	0.947163918
CON-127	90	69.5351	140.3578	0.3332	-0.2875	0.44008918	0.972902031
CON-127	100	69.1876	140.604	0.2462	-0.3475	0.42587638	0.865965563
CON-127	110	68.9506	140.6868	0.0828	-0.237	0.25104749	0.676923864
CON-127	120	68.6467	140.9001	0.2133	-0.3039	0.37128439	0.622331878
CON-127	130	67.8819	142.0657	1.1656	-0.7648	1.3941099	1.765394288
CON-127	140	66.4873	143.3008	1.2351	-1.3946	1.86289591	3.257005805
CON-127	150	66.224	145.2188	1.918	-0.2633	1.93598835	3.798884259
CON-127	160	65.7043	145.4819	0.2631	-0.5197	0.58250296	2.518491311
CON-127	170	65.7173	145.4562	-0.0257	0.013	0.02880087	0.611303829
CON-127	180	65.7266	145.4066	-0.0496	0.0093	0.05046434	0.079265212
CON-127	190	65.7141	145.4484	0.0418	-0.0125	0.043629	0.094093348
CON-127	200	65.7413	145.4543	0.0059	0.0272	0.02783254	0.071461539
CON-127	210	65.7017	145.5007	0.0464	-0.0396	0.06100098	0.088833519
CON-127	220	65.7175	145.4889	-0.0118	0.0158	0.01972004	0.080721024

Por ejemplo, para el caso de pozo CON-127 alcanzó una profundidad total de 220 metros, con una desviación promedio de 0.5° cada 10 m. La inclinación inicial fue de 71° , disminuyendo gradualmente a 66° en la sección final del pozo. Estos datos fueron posteriormente graficados para evaluar la tendencia de la desviación (figura 18) la cual sugiere una ligera variación con respecto al diseño planificado del pozo, lo que puede deberse a las propiedades mecánicas del suelo o a las

condiciones de perforación. No obstante, esta desviación es considerada dentro de los márgenes aceptables para la exploración en esta etapa.

Figura 18

Grafica de desviación en función de la profundidad del pozo CON-127.



En total en el frente de perforación #1 desde el mes de enero a mayo del 2024 se perforaron 25 pozos (figura 19) con profundidades que van desde los 50 m hasta los 250 m, con desviaciones que van desde 1° a 5°.

Figura 19

Ortofoto con la ubicación de los pozos perforados por el frente de exploración #1.



6.4 Correlación e interpretación del modelo geológico del yacimiento usando herramientas de software 3D.

Para mejorar la precisión del modelo geológico del yacimiento en el proyecto minero La Concepción, se utilizó el software 3D, Leapfrog Geo. Esta herramienta permitió integrar datos geológicos y de perforación en un entorno tridimensional, facilitando la correlación e interpretación de las estructuras del subsuelo.

6.4.1 Importación y organización de datos.

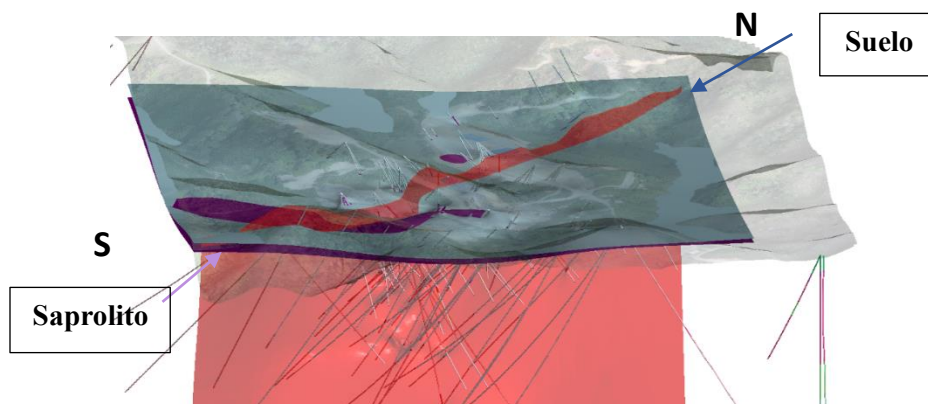
Se incorporaron registros de perforación, descripciones de núcleos, y ortofotos del título. Los datos de los pozos se cargaron con sus respectivas coordenadas, profundidades y desviaciones medidas, lo que permitió una representación espacial precisa de cada pozo en el modelo.

6.4.2 Generación de superficies geológicas.

Usando las herramientas de interpolación del software Leapfrog Geo, se crearon superficies de contacto entre las diferentes unidades litológicas presentes en el área. Este proceso implicó identificar puntos clave de contacto geológico en los pozos y proyectar las superficies (figura 20), obteniendo una imagen más precisa de la geometría de los cuerpos rocosos y los contactos del suelo y saprolito.

Figura 20

Vista de los contactos, suelo, saprolito y estructura mineralizada principal en el modelo 3D.

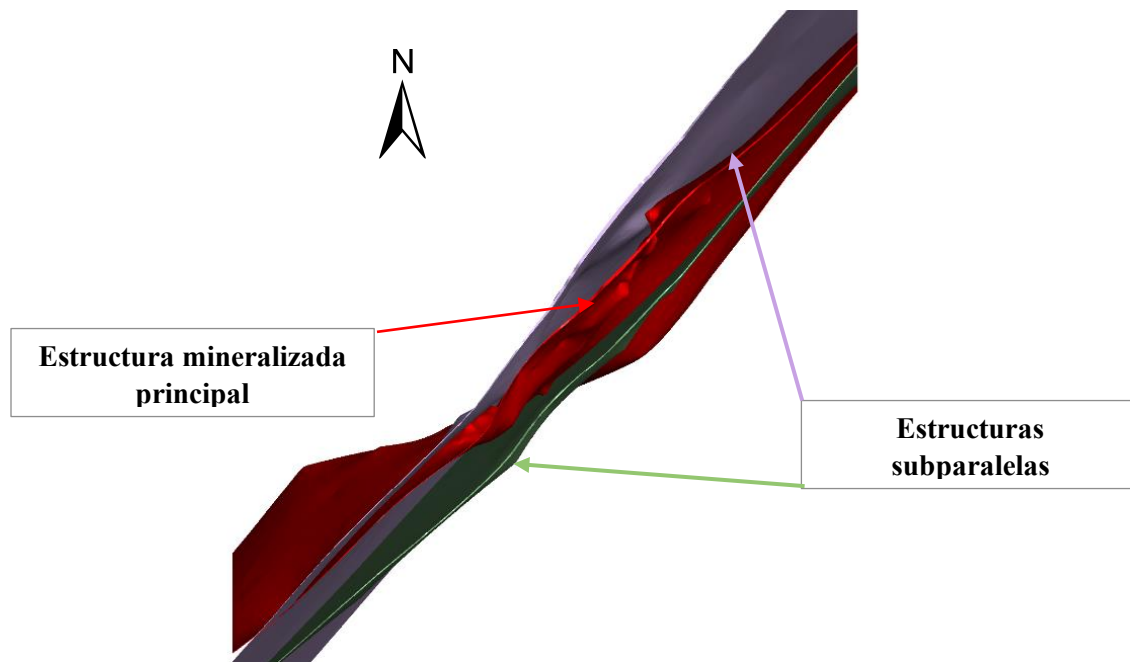


El modelo optimizado logró una correlación más precisa de las unidades litológicas y vetas entre los pozos perforados, reduciendo la incertidumbre sobre la continuidad de las vetas mineralizadas, según el análisis comparativo de los datos de perforación.

La incorporación de nuevos datos reveló la existencia de algunas estructuras subparalelas a la estructura principal (figura 21) que actúan como vías de transporte para fluidos mineralizantes, las cuales no fueron reconocidas en el modelo previo.

Figura 21

Vista de las estructuras subparalelas a la estructura principal concepción 3 en el modelo 3D.



7. Conclusiones

Se estableció un sistema de registro diario en Excel con formatos estandarizados, que ayudó en la documentación de las actividades de perforación y geología, facilitando la toma de decisiones rápidas y eficientes, mejorando el control operativo. Durante los 4 meses de práctica, se perforaron 3031.30 metros en 25 pozos, con un promedio de 3 días por pozo, evidenciando un seguimiento eficaz de las operaciones.

Las actividades de "quick logging" y la caracterización detallada de los testigos rocosos permitieron identificar zonas mineralizadas y estructuras geológicas de interés, confirmando la continuidad de cuerpos mineralizados previamente identificados. El análisis geotécnico basado en el índice RQD proporcionó información esencial sobre la calidad de la roca, que fue incorporada en el modelo geotécnico. Esto permitió una evaluación precisa del terreno en las zonas proyectadas para la construcción del túnel.

El uso del dispositivo Reflex Gyro en el proyecto minero La Concepción ha sido fundamental para obtener datos precisos sobre la desviación y la profundidad de los pozos perforados, lo que permite un control preciso de la trayectoria de cada perforación. Este equipo facilitó la medición de la inclinación y el azimut a diferentes profundidades, proporcionando información importante para la validación y ajuste del diseño planificado de los pozos.

La utilización del software 3D Leapfrog Geo para la integración de datos geológicos, de perforación y geotécnicos permitió generar un modelo tridimensional detallado del yacimiento. La

correlación entre unidades litológicas y la identificación de nuevas estructuras subparalelas mejoraron significativamente la precisión del modelo geológico existente. Este modelo optimizado facilitó la visualización de la continuidad de vetas mineralizadas, reduciendo la incertidumbre sobre su extensión y proporcionó un marco geológico más confiable para la planificación futura de la explotación minera.

Finalmente, la práctica empresarial realizada en el proyecto minero "La Concepción" permitió aplicar de manera efectiva los conocimientos adquiridos durante mi formación académica como la petrología para una descripción correcta y detallada de los núcleos de perforación, también el manejo de brújula para la orientación y proyección de las estructuras mineralizadas encontradas, interpretación de mapas y el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) para evaluar y seleccionar posibles áreas de interés para futuras exploraciones.

Referencias Bibliográficas

- Bogota, J., & Aluja, J. (1981). Geología de la serranía de San Lucas. Geología Norandina.
- Carvajal, J. H. (2011). Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Bogotá: INGEOMINAS.
- Clavijo, J. (1995). Mapa geológico de Colombia. Plancha 75-Aguachica. Escala 1:100.000. Bucaramanga: INGEOMINAS
- Clavijo, J. (1995a). La Formación Noreán: nueva evidencia de volcanismo explosivo en el Valle Medio del Magdalena (Colombia) y su correlación con otras unidades del Jurásico Norandino. IX Congreso Latinoamericano de Geología.
- Clavijo, J., Mantilla, L. C., 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), 45-62.
<http://www.redalyc.org/pdf/3496/349632019004.pdf>
- Deere, D. U., & Deere, D. W. (1989). Rock Quality Designation (RQD) after 20 Years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1, 67-81.
- Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1, 17–22.
- Etayo, F. 1985. Paleontología estratigráfica del Sistema Cretácico en la Sierra Nevada del Cocuy. In. Proyecto Cretácico, Contribuciones. XXIV (1-47). Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS, 16. Bogotá.
- Einaudi, M. & Hedenquist, Jeffrey & Inan, Esra. (2003). Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments.

- Feininger, T., 1970. The Palestina Fault, Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.* 81, 1201–1216.
- Flint, J.J., 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. *Water Resour.*
- Fisher, R. V. and Schmincke, H.-U. 1984: *Pyroclastic Rocks*. — Springer, Heidelberg, 474 pp.
- 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.
- 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 1:100 000 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., Camacho, J., Gómez, J., Cardona, D., . . . Vélez, W. (2015d). Elaboración de la cartografía geológica de un conjunto de planchas a escala 1:100 000 ubicadas en cuatro bloques del territorio nacional, identificados por el Servicio Geológico Colombiano. Memoria explicativa de la Plancha 94 – El Bagre. Bogotá: Consorcio GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS - GEMI) – Servicio Geológico Colombiano.
- Hedenquist, Jeffrey & Arribas, Antonio & Gonzalez-Urien, Eliseo. (2000). Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Reviews in Economic Geology*. 13. 245-277.
- Kassem, T., & Arango, J. L. (1977). Mapa Fotogeológico de la Serranía de San Lucas. Escala 1:500.000. INGEOMINAS.
- López, E., Bernal, L., Osorio, J., & Duarte, R. (2006). Fotogeología de la Plancha 84 - Villa Uribe. Bogotá: INGEOMINAS.

- López-Isaza., J.A., Leal-Mejía, H., Luengas B., C.S., Velásquez C., L.E., Celada A., C.M., Sepúlveda O., M.J., Prieto G., D.A., Gómez C., M., Prieto R., G. y Hart, C.J.R. (2018). Mapa Metalogénico de Colombia: Principios, conceptos y modelos de depósito y manifestaciones u ocurrencias minerales para Colombia. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano.
- Mantilla, L. C., Clavijo, J., Pinto, J. E., Paez, L. E., Pérez, A., Quintero, I., . . . Cuellar, M. (2006c). Cartografía geológica de 9.600 km² 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
- Mantilla, L. C., Clavijo, J., Pinto, J. E., Paez, L. E., Pérez, A., Quintero, I., . . .Cuellar, M. (2006d). Cartografía geológica de 9.600 km² 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 96 - Bocas del Rosario. 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.
- Rolon L. 2004. Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin-Colombia. Ms. Tesis. West Virginia University.
- Royero, J., Clavijo, J., Bernal, L., & Barbosa, G. (1994). Geología de la plancha 065-Tamalameque. BOGOTA: INGEOMINAS.
- 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.

Sillitoe, R.H., 1977. Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, en
Volcanic processes in ore genesis: Institution of Mining and Metallurgy-Geological Society
of London

Sillitoe, Richard & Hedenquist, Jeffrey. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-
fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. 10. 315-343.

Sillitoe, R.H. (2010) Porphyry Copper Systems. Economic Geology, 105, 3-41.