

**Apoyo en Actividades de Exploración y Cartografía en el Yacimiento Aurífero Vetiforme de
la Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A, Tolima.**

Laura Valentina Navarro Merchán

Trabajo de grado en modalidad de práctica empresarial para optar el título de Geóloga

Director

Carlos Alberto García Ramírez

Ph.D. en Geología y Mineralogía

Tutor de práctica

Juan David Jurado Jaramillo

Geólogo

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A lo más preciado que tengo, mi mamá: mi cómplice y voz de aliento. En dedicación a su amor incondicional y sacrificio infinito.

A mi papá y a Juan Pablo, mi segundo papá, quienes a su manera me apoyaron durante el desarrollo de mi carrera.

A mi prima, Luisa María, y a mi tía, Omaira, quienes me aconsejaron y me mantuvieron en sus oraciones para llegar a este punto.

Agradecimientos

A la empresa El Gran Porvenir del Líbano S.A, por brindarme las herramientas para crecer personal y profesionalmente.

A mi director de proyecto, el profesor Carlos Alberto García, por confiar en mí, por su guía, sus enseñanzas y apoyarme cuando requería de su ayuda.

A los geólogos Daniel Duque, Juan David Jurado, William Castañeda, Andrés López, Jose Sandoval y la geóloga Maria Camila Bolaños, quienes me instruyeron y enseñaron con paciencia.

A mis colegas practicantes, Christian Padilla, Daniela Trejo, Cathalina Rojas, Kevin Parra y Camila Bonilla, por ser mi hogar en medio de la lejanía familiar.

A Gustavo Gutierrez, Juan Miguel Gutierrez, Robinson Bustos, Fredy Cuellar y Jose Cuervo, por el acompañamiento durante los días de muestreo y su disposición para trabajar en equipo.

A las amistades que conservo desde el colegio y que construí a lo largo de este camino: Hillary Zárate, Natalia Duarte, Paola Perilla, Angie Uribe, Sergio Díaz, Ronald Araque, Andrés Sánchez, y Maria Fernanda Delgado. Gracias por escucharme, aconsejarme y hacerme reír.

A los capítulos SEG y SGA por llevarme lejos, hacer retarme y porque conocí personas maravillosas.

A los profesores de la Escuela de Geología, por contribuir a mi proceso formativo y estar dispuestos a compartir sus conocimientos.

Gracias a ti, mamita.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos Específicos.....	12
2. Descripción de la Empresa.....	12
3. Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A.	13
3.1 Localización.....	13
3.2 Estudios realizados.....	14
3.3 Contexto Geológico Regional.....	16
3.3.1 Estructuras.....	17
3.3.1.1 Falla Palestina.	17
3.3.1.2 Falla Mulatos.	18
3.4 Geología Local.....	20
3.4.1 Litologías Aflorantes	20
3.4.2 Estructuras.....	22
3.4.3 Mineralización	26
4. Actividades Realizadas durante la Práctica	30
4.1 Exploración y Descripción Geológica	30
4.2 Control de Leyes y Muestreo.....	35
4.2.1 Muestreo aleatorio	36
4.2.1.1 Muestreo de Canal.	36

4.2.1.2 Muestreo manual o de Grab	36
4.2.2 Muestreo sistemático	37
4.3 Supervisión de Perforación Diamantina	38
4.4. Cartografía Geológica Subterránea.....	38
4.5 Direccionamiento de labores.....	40
4.6 Uso de programas especializados para la visualización de datos	41
4.6.1 AutoCAD 3D	41
4.6.2 Leapfrog Geo	42
5. Resultados obtenidos	42
5.1 Exploración y Descripción de núcleos.....	42
5.2 Control de Leyes y Muestreo	47
5.3 Supervisión de perforación diamantina	48
5.4. Cartografía Geológica subterránea	49
5.5 Direccionamiento de labores.....	51
5.6 Uso de programas especializados para la visualización de datos	52
5.6.1 AutoCAD 3D	52
5.6.2 Leapfrog Geo	54
6. Conclusiones	56
Referencias Bibliográficas	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Formato para la descripción de parámetros geotécnicos.</i>	31
Tabla 2 <i>Clasificación de la calidad de la roca según el índice RQD.</i>	31
Tabla 3 <i>Formato para el diligenciamiento de la numeración de cajas.</i>	32
Tabla 4 <i>Formato de descripción geológica para los testigos rocosos.</i>	34
Tabla 5 <i>Total de pozos descritos</i>	43

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Organigrama de la empresa MEGPL</i>	13
Figura 2 <i>Mapa de localización de la Mina El Gran Porvenir del Líbano.</i>	14
Figura 3 <i>Ambiente geológico para la formación de los yacimientos de oro orogénico</i>	17
Figura 4 <i>Mapa y corte geológico de la mina MEGPL</i>	19
Figura 5 <i>Esquisto grafitoso y sus estructuras predominantes</i>	20
Figura 6 <i>Intercalación entre esquistos grafitosos (BSCH) y esquistos cloríticos (GSCH)</i>	21
Figura 7 <i>Diques leuco-andesíticos (DK)</i>	22
Figura 8 <i>Falla La Chucula (NW) y demás tendencias de fallas presentes en el depósito</i>	23
Figura 9 <i>Indicadores cinemáticos de una falla NW</i>	24
Figura 10 <i>Dominio de las fallas sobre la estructura mineralizada en el depósito</i>	25
Figura 11 <i>Vista de perfil y en planta del yacimiento</i>	26
Figura 12 <i>Apariencia general de las vetas de cuarzo a lo largo del depósito MEGPL</i>	27
Figura 13 <i>Arreglo en stockwork o zona de vetilleo</i>	28
Figura 14 <i>Mineralogía principal de la mena en la mina MEGPL</i>	29
Figura 15 <i>Fotografías finales de dos cajas del pozo EGP-23-DB-03 como ejemplo para señalar los primeros pasos para la descripción geológica</i>	33
Figura 16 <i>Representación del corte longitudinal realizado al núcleo de perforación diamantina</i>	35
Figura 17 <i>Muestreo de Canal y Grab</i>	36
Figura 18 <i>Representación del muestreo sistemático en un bloque potencial de explotación</i>	37

Figura 19 Metodología del muestreo	38
Figura 20 Ejemplo de la hoja cartográfica escala 1:250	39
Figura 21 Direccionamiento de labores por interpretación de dimensiones para control de tenor	40
Figura 22 Metodología de ubicación de muestras en AutoCAD 3D.....	41
Figura 23 Plan de perforación Bloque Chucula Sur	44
Figura 24 Intercepto de veta en pozos del Bloque Chucula Sur	45
Figura 25 Descripción litológica del pozo EGP-BCHS-24-003 en la sección transversal	46
Figura 26 Mapa subterráneo de la mina MEGPL con los diferentes sectores	47
Figura 27 Registro en libreta de la supervisión de muestreo	48
Figura 28 Supervisión de la máquina de perforación diamantina	49
Figura 29 Cartografía geológica subterránea	51
Figura 30 Direccionamiento de labores subterráneas.....	52
Figura 31 Bocamina “El Sirpe”	53
Figura 32 Muestreo y plano interno de la bocamina El Sirpe	54
Figura 33 Filtro de consulta para los pozos de perforación en el programa Leapfrog Geo	55
Figura 34 Visualización del plan de perforación Bloque Chucula Norte en el programa Leapfrog Geo	56

Resumen

Título: Apoyo en Actividades de Exploración y Cartografía en el Yacimiento Aurífero Vetiforme de la Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A, Tolima.*

Autor: Laura Valentina Navarro Merchán**

Palabras Clave: Minería subterránea, Explotación de oro vetiforme, Exploración geológica, Oro orogénico, Yacimiento aurífero, Práctica profesional en minería.

Descripción: Este trabajo presenta las actividades realizadas durante el periodo de práctica empresarial en la Mina El Gran Porvenir del Líbano (MEGPL). Durante el proyecto, se proporciona una visión general del contexto geológico regional y local, incluyendo las litologías predominantes y las principales estructuras que controlan la mineralización. Entre las actividades destacadas se incluyen la descripción de núcleos de perforación, supervisión de muestreo y control de leyes en frentes de explotación, mapeo detallado de galerías subterráneas, direccionamiento de labores y seguimiento la estructura mineralizada. Asimismo, se emplearon herramientas tecnológicas avanzadas para la digitalización y visualización de los datos geológicos en 3D, como AutoCAD 3D y Leapfrog Geo, facilitando la actualización del modelo geológico del yacimiento y la identificación de nuevas estructuras. Este trabajo no solo contribuyó al entendimiento del depósito, sino también al desarrollo de habilidades prácticas en exploración y explotación subterránea.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García Ramírez. Ph.D. en Petrografía y Vulcanología. Tutor de práctica: Juan David Jurado Jaramillo. Geólogo.

Abstract

Title: Support in Exploration and Mapping Activities at the Vein-Type Gold Deposit of the El Gran Porvenir del Líbano S.A. Mine, Tolima.*

Author(s): Laura Valentina Navarro Merchán**

Key Words: Underground mining, Vein gold exploitation, Geological exploration, Orogenic gold, Gold deposit, Professional internship in mining.

Description: This work presents the activities carried out during the internship period at the El Gran Porvenir del Líbano Mine (MEGPL). The project provides an overview of the regional and local geological context, including the predominant lithologies and the main structures controlling the mineralization. Notable activities include core description, sampling supervision, and grade control in mining fronts, detailed mapping of underground galleries, work direction, and monitoring of the mineralized structure. Advanced technological tools were also used for the digitization and visualization of geological data in 3D, such as AutoCAD 3D and Leapfrog Geo, facilitating the update of the geological model of the deposit and the identification of new structures. This work not only contributed to the understanding of the deposit but also to the development of practical skills in underground exploration and exploitation.

* Degree Work.

**Faculty of Physicochemical Engineering. Department of Geology. Advisor: Carlos Alberto García Ramírez, Ph.D. in Petrography and Volcanology. Internship Supervisor: Juan David Jurado Jaramillo. Geologist.

Introducción

El presente proyecto se desarrolló durante la práctica empresarial llevada a cabo entre el 15 de febrero y el 15 de agosto de 2024, gracias al convenio de colaboración entre la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander y Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. (MEGPL), ubicada en el municipio del Líbano, Tolima. Este convenio brinda la oportunidad de establecer conexiones e interacciones directas con el entorno empresarial a través de actividades específicas en el área de exploración y explotación de oro. A su vez, fortalece las habilidades personales y profesionales mediante el intercambio de conocimientos y experiencias entre la academia y el sector minero.

En el contexto nacional, la minería de oro desempeña un papel crucial en el desarrollo económico de Colombia. Hasta 2022, esta actividad generó aproximadamente 69.46 millones de dólares en regalías, recursos destinados a áreas como educación, ciencia, tecnología y proyectos sociales. Sin embargo, el sector enfrenta importantes retos, como la extracción ilegal de oro, una problemática histórica en regiones como el municipio del Líbano, al norte del departamento del Tolima. En este marco, la mina MEGPL es una empresa 100% colombiana con más de 12 años de experiencia, ha adoptado prácticas mineras sostenibles y cumplido con las normativas regulatorias vigentes.

Durante esta práctica empresarial, se realizaron actividades como exploración geológica, supervisión de perforaciones, cartografía subterránea y orientación de labores en los frentes de operación. A través de estas acciones, se recopiló y organizó información clave que sirvió de base para que el equipo de geólogos pudiera generar modelos precisos del depósito, facilitando la comprensión integral de su estructura y contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Brindar acompañamiento y apoyo en actividades de exploración, cartografía y direccionamiento de labores subterráneas que se encuentran en producción y desarrollo.

1.2. Objetivos Específicos

Describir los núcleos de perforación como apoyo a los planes de exploración y continuidad de las estructuras.

Realizar seguimiento de la estructura mineralizada por medio de muestreo geológico y cartografía subterránea.

Integrar información disponible para interpretar, reportar y direccionar labores subterráneas.

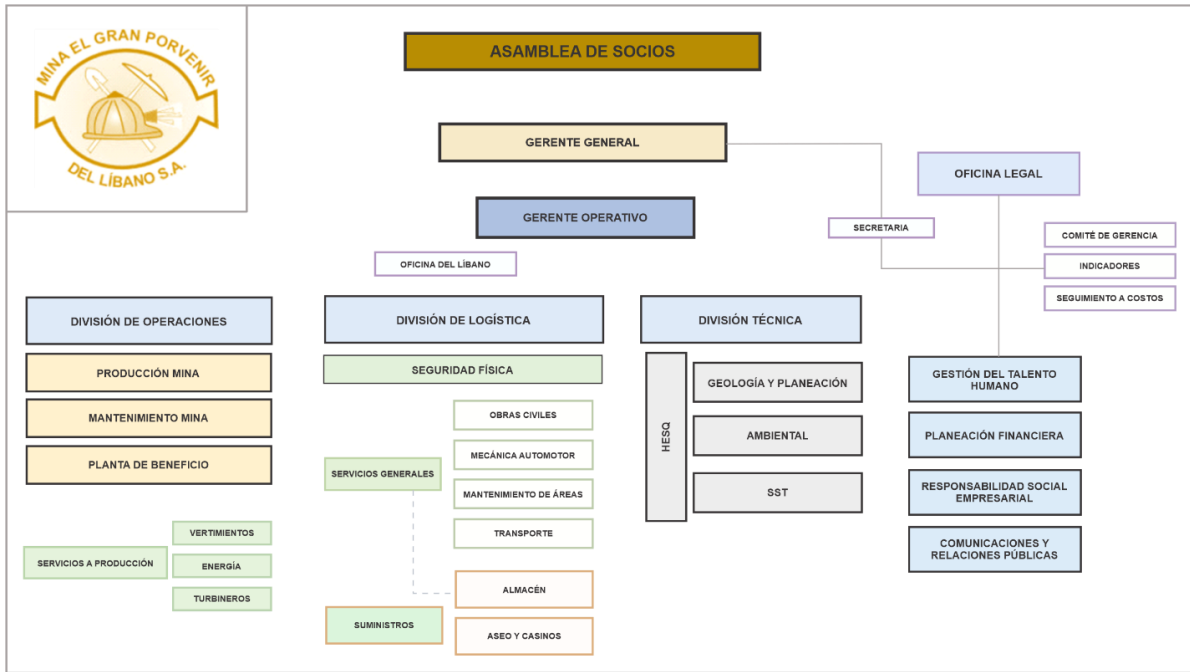
2. Descripción de la Empresa

La empresa Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A es de capital colombiano con sede administrativa en Medellín, cuyas operaciones mineras se desarrollan en jurisdicción de los municipios del Líbano, Villahermosa y Falán, en el departamento del Tolima. Esta empresa se dedica principalmente a la exploración, explotación y el proceso de beneficio de depósitos de mineral aurífero y sus elementos asociados.

La Figura 1 muestra el organigrama de la empresa MEGPL, donde se detalla su estructura organizacional y los diferentes niveles jerárquicos existentes.

Figura 1

Organigrama de la empresa MEGPL



Nota. HESQ corresponde a las áreas de *Health, Environment, Safety, and Quality* (Salud, Medio Ambiente, Seguridad y Calidad), y SST hace referencia a Seguridad y Salud en el Trabajo.

Tomada de Mejía Paba (2023).

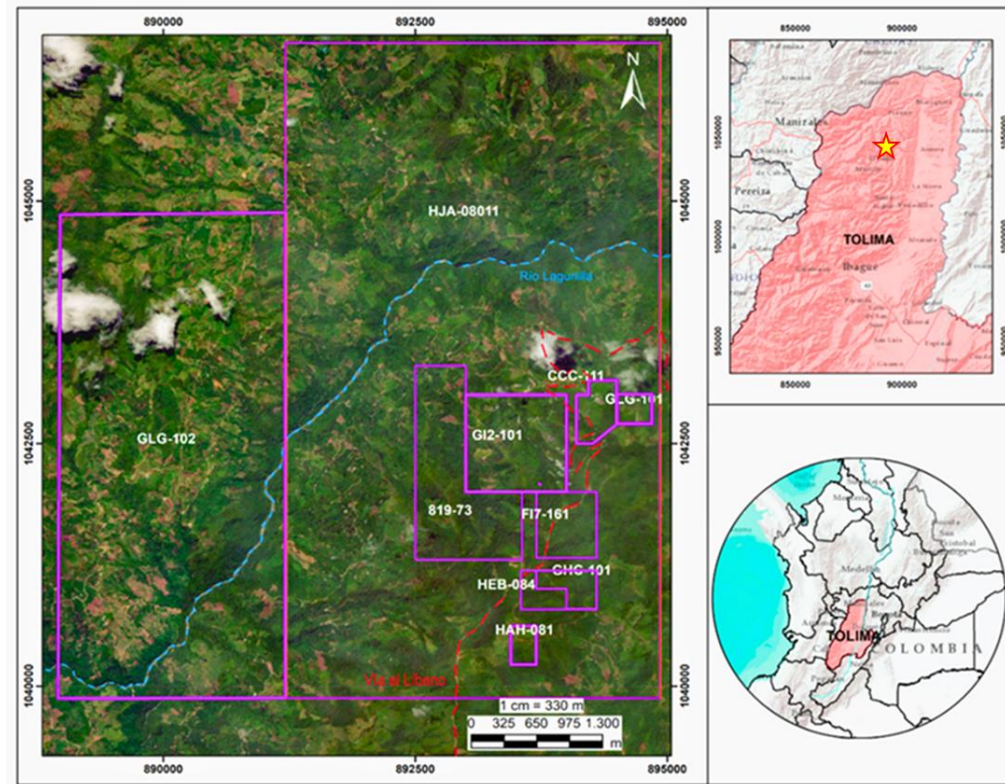
3. Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A.

3.1 Localización

La mina MEGPL es un proyecto ubicado en el municipio del Líbano, al norte del departamento del Tolima (Figura 2), sobre el flanco oriental de la Cordillera Central de los Andes. Este depósito comprende trece títulos mineros bajo modalidad de contratos de Concesión, con un total de 5.379 Hectáreas otorgadas, y tres aplicaciones para un total de 1.836 Hectáreas.

Figura 2

Mapa de localización de la Mina El Gran Porvenir del Líbano.



Nota. Tomada de la presentación corporativa "Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. - Actualizada al 24 de mayo de 2024".

3.2 Estudios realizados

López-Isaza *et al.* (2018) ubican la mina MEGPL en la franja Tolima-Huila, dentro de la provincia central andina, específicamente en el distrito minero de Au-(Ag) Santa Isabel-Líbano, según la clasificación de Leal-Mejía (2011). Ramírez (2014) identificó que el mineral mena predominante es la galena (50%), seguido por la pirita (30%) y la esfalerita (15%). Los minerales accesorios son, tetraedrita, calcopirita, pirrotina y oro principalmente asociado con galena, en forma de inclusión bifásica o en fracturas, y en menor medida asociado a pirita y esfalerita. El contenido de Au y Ag no guarda relación directa con el espesor de la veta y destaca la naturaleza errática del

depósito, con una alta variabilidad en los tenores de Au (de 0.4 a 20.26 g/ton) y Ag (de 48.4 a 351.45 g/ton) en los frentes de producción. Durán (2018) definió cuatro eventos de mineralización en la mina MEGPL. El primero se caracterizó por la inyección de fluidos hidrotermales, lo que permitió la posterior cristalización de cuarzo, pirita cúbica, scheelita y carbonatos.

El segundo evento formó vetas bandeadas con la cristalización de wolframatos, carbonatos, pirita y esfalerita. El tercero corresponde a la precipitación tardía de oro, acompañado de sulfuros como pirita, esfalerita, galena, arsenopirita y pirrotina. Finalmente, el cuarto evento se caracteriza por la presencia de plata nativa, sulfosales (pirargirita, polibasita y tenantita–Ag), acompañado por cuarzo, pirita, esfalerita rica en cadmio y galena. Finalmente, se produjo un enriquecimiento supérgeno de minerales de cobre que resultó en la formación de malaquita. En su trabajo, Durán (2018) determinó el sistema composicional del fluido mineralizante como $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$, con temperaturas de homogenización entre 250°C y 320°C, una densidad de 0.8 g/cm³ y tendencias de evolución de fluidos principalmente de tipo mezcla isotermal.

Inicialmente, el depósito de la mina MEGPL fue clasificado como relacionado a intrusión (*intrusion-related*), debido a la proximidad del Batolito El Bosque en la franja metalogénica Tolima-Huila (Leal-Mejía 2011; López-Isaza *et al.*, 2018). Sin embargo, investigaciones más recientes (Angée, 2022 y Durán, 2018), permitieron su reclasificación como de tipo oro orogénico. Esta interpretación se basa en resultados de microtermometría y espectrometría Raman, que muestran fracciones fluidas de CO₂ relativamente altas, característico de este tipo de depósitos. Además, los valores isótopos de $\delta^{34}\text{S}$ en galena, pirita y esfalerita varían entre -4,1 y -11%, lo cual indica una fuente de azufre asociada a ambientes metamórficos y sedimentarios, compatible con las características geológicas del depósito. Por último, los resultados isotópicos de plomo sugieren una fuente heterogénea, relacionada con orógenos que aportaron metales de la corteza superior.

3.3 Contexto Geológico Regional

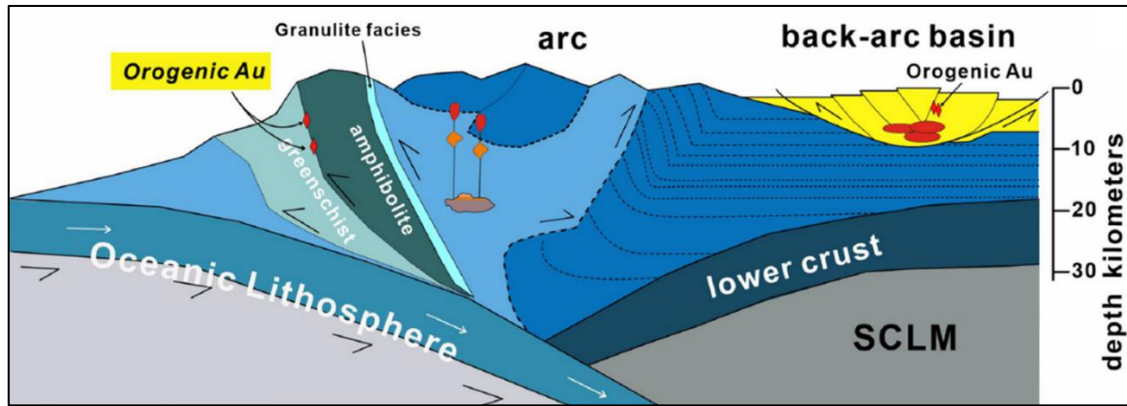
La mina El Gran Porvenir del Líbano está ubicada en un contexto geológico controlado por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana y la influencia de la placa del Caribe al norte. Estos procesos tectónicos han configurado los Andes del Norte, un sistema montañoso compuesto por las cordilleras Occidental, Central y Oriental, formadas por fases de acreción y colisión desde el Paleozoico (Restrepo & Toussaint, 1988; Cediel *et al.*, 2003).

La Cordillera Central, donde se localiza la mina MEGPL, está limitada por los sistemas de fallas Cauca-Romeral y Otú-Pericos. Este sector comprende principalmente rocas metamórficas, como esquistos, cuarcitas y anfibolitas agrupadas en el Complejo Cajamarca (Figura 4a). Estas rocas han sido intruidas por cuerpos plutónicos de diversas edades, como el Batolito de Ibagué, de edad Jurásica, y el Stock de Mariquita, de edad Cretácica. Posteriormente, los cuerpos del Batolito El Bosque y el Stock El Hatillo intruyeron estas rocas en el paleógeno. En cuanto al Stock de Santa Isabel, su edad ha sido interpretada de manera variable, aunque estudios recientes lo sitúan también en el Cretácico (López *et al.*, 2018).

Los depósitos de oro orogénico asociados a esta región se forman a partir de procesos metamórficos en la corteza terrestre, típicamente durante las etapas de orogénesis (Figura 3). Estos depósitos se desarrollan durante eventos de colisión tectónica, cuando ocurre el levantamiento y la exhumación de rocas de facies de esquistos verdes (Groves *et al.*, 2003). De otro lado, la presencia de estructuras como fallas, pliegues y contactos de diferentes unidades litológicas es muy común en este tipo de depósitos (Goldfarb *et al.* 2001), cuyo modelo estructural dominante corresponde a un desarrollo sintectónico en un régimen transpresivo (Sibson *et al.*, 1988).

Figura 3

Ambiente geológico para la formación de los yacimientos de oro orogénico



Nota. El modelo muestra la formación del oro en contextos metamórficos de antearco y retroarco, típicamente a profundidades de 6-12 km. Tomada de Goldfarb (2023).

3.3.1 Estructuras

Este depósito se encuentra enmarcado entre dos sistemas de fallas principales. Hacia el flanco oriental de la Cordillera Central con dirección N-S a N30°E, destacan las fallas de Palestina, Chapetón – Pericos, Mulatos; y hacia las estribaciones occidentales se encuentra el otro sistema que tiene tendencia Este-Oeste (N60°E a E-W), como las fallas de Ibagué y Cucuana (Núñez, 2001).

3.3.1.1 Falla Palestina. Es una falla de rumbo dextralateral, de más de 300 km de longitud, con dirección entre N10° - 30°E, al occidente de la mina MEGPL (Figura 4a). Esta falla desplaza las rocas metamórficas cristalinas y plutónicas mesozoicas del basamento de la Cordillera Central y sobre ella se asocian los volcanes del Complejo del Ruiz-Tolima (INGEOMINAS, 2001). Según Collins et al. (1981), en algún momento del Cenozoico Tardío, esta falla experimentó reorientaciones importantes, lo cual se evidencia por un cambio en el tipo de desplazamiento: de un movimiento dextral predominante durante el Paleógeno, a un desplazamiento sinistral en el Cuaternario.

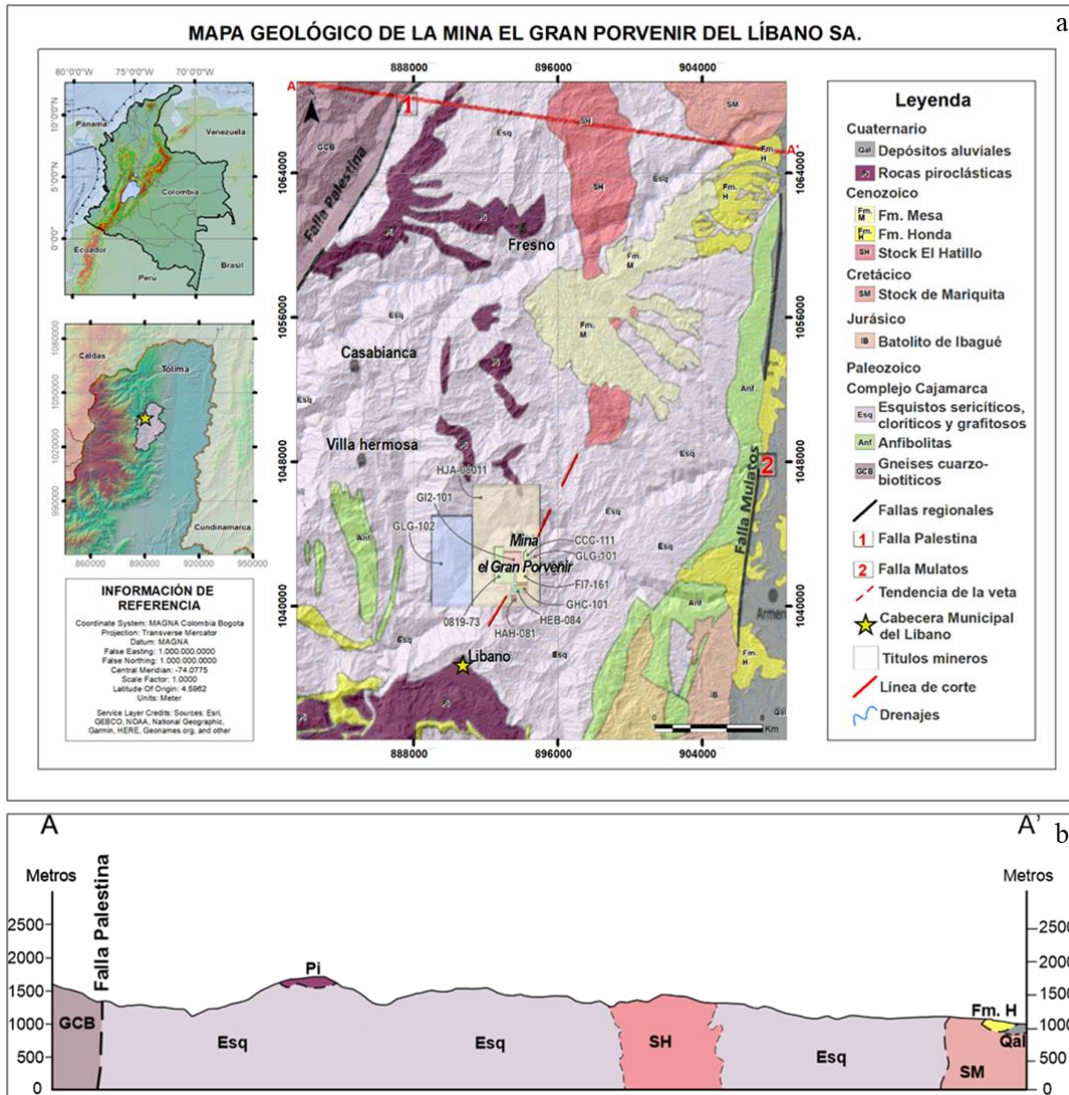
Esta falla cumple un importante papel en términos metalogénicos debido a su extensión como conducto para la circulación de fluidos hidrotermales profundamente arraigados, y la posterior precipitación de los minerales de interés (Durán, 2018).

3.3.1.2 Falla Mulatos. Esta falla tiene un desplazamiento dextralateral de más de 15 Km de longitud (Feininger et al., 1972), se ubica al oriente de la mina EGPL, y limita la depresión del Valle medio-alto del Magdalena en la Cordillera Central, donde controla la acumulación de abanicos aluviales (Vergara, 1989). El trazo de la falla Mulatos es de dirección N5°E, y su movimiento ha sido motivo de discusión debido a que algunos autores como Feininger et al. (1972) consideran que es dextralateral, mientras otros autores como París et al. (2000), consideran que su movimiento es sinistral.

Duque (2021) presenta un corte geológico a lo largo de la línea A-A', que muestra las características estructurales y litológicas de la zona estudiada (Figura 4b).

Figura 4

Mapa y corte geológico de la mina MEGPL



Nota. a) Mapa geológico a escala 1:80.000; b) Corte geológico en cercanías de la mina MEGPL.

Las unidades geológicas están representadas por las siguientes abreviaturas: Gneises cuarzo-biotíticos (GCB), Esquistos sercíticos, cloríticos y grafitosos (Esq), Rocas piroclásticas (Pi), Stock el Hatillo (SH), Stock de Mariquita (SM), Formación Honda (Fm. H), Depósitos aluviales (Qal).

Tomada y modificada de Barrero y Vesga (1976).

3.4 Geología Local

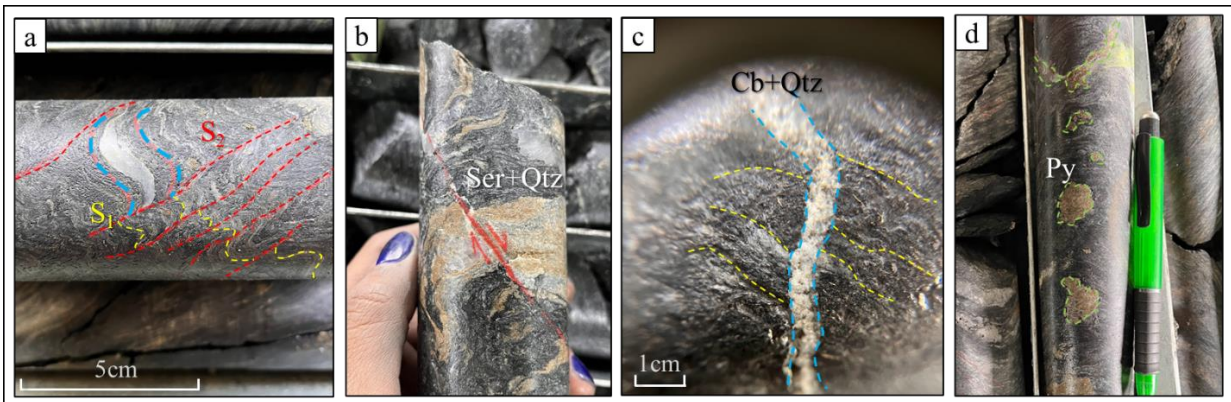
La mineralización de oro y plata consiste en venas de cuarzo que cortan el basamento cristalino de rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, con edades del Pérmico-Triásico y Jurásico. Mineralógicamente, este depósito presenta contenidos variables de sulfuros de Fe, Pb, Zn, Cu, carbonatos, wolframatos y teluros, asociado a venas de cuarzo hidrotermales (Duque, 2011).

3.4.1 Litologías Aflorantes

La litología predominante son esquistos grafitosos (BSCH), de grano fino y altamente deformados, con plegamientos, crenulación, lentes de cuarzo milonitizados (Figura 5a) y microfallas (Figura 5b). Se observan vetillas de carbonato y cuarzo cortando la foliación (Figura 5c), y en cercanías de la estructura mineralizada, parches y vetillas de pirita (Figura 5d).

Figura 5

Esquisto grafitoso y sus estructuras predominantes

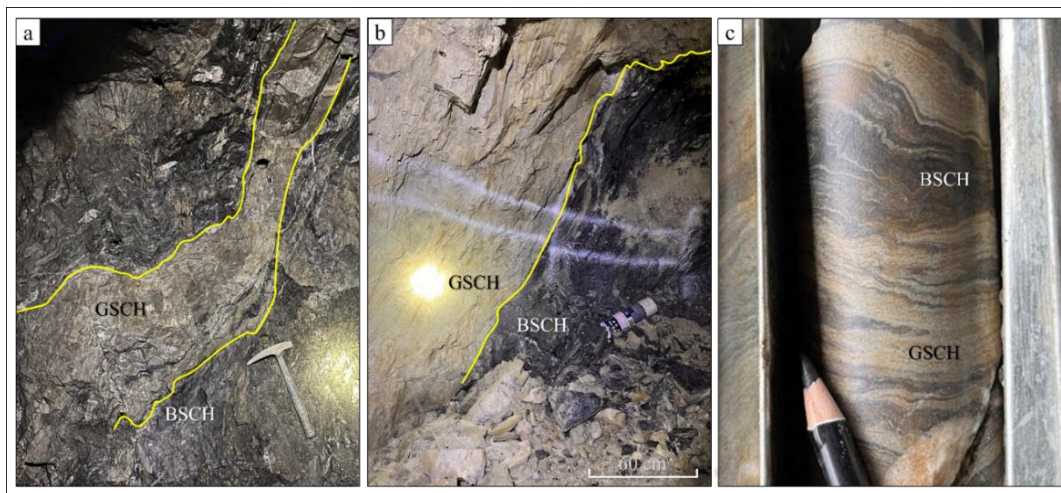


Nota. a) Esquisto grafitoso con un lente de cuarzo deformado (líneas azules), plegamiento (líneas amarillas), y crenulación (líneas rojas); b) Esquisto grafitoso cuyas bandas de cuarzo (Qtz) y sericita (Ser) evidencian microfalloamiento de tipo normal; c) Venilla de carbonatos (Cb) y cuarzo (Qtz) cortando la foliación (en amarillo); d) Mineralización de pirita en forma de parches y vetillas.

Es común encontrar intercalaciones de esquistos grafitosos con esquistos cloríticos (GSCH) y cuarzosericíticos, los cuales presentan un alto grado de deformación. Estas intercalaciones se observan tanto en afloramientos de campo (Figuras 6a y 6b) como durante la descripción de núcleos de perforación (Figura 6a). La foliación predominante presenta direcciones N-NE, con buzamientos hacia el NW.

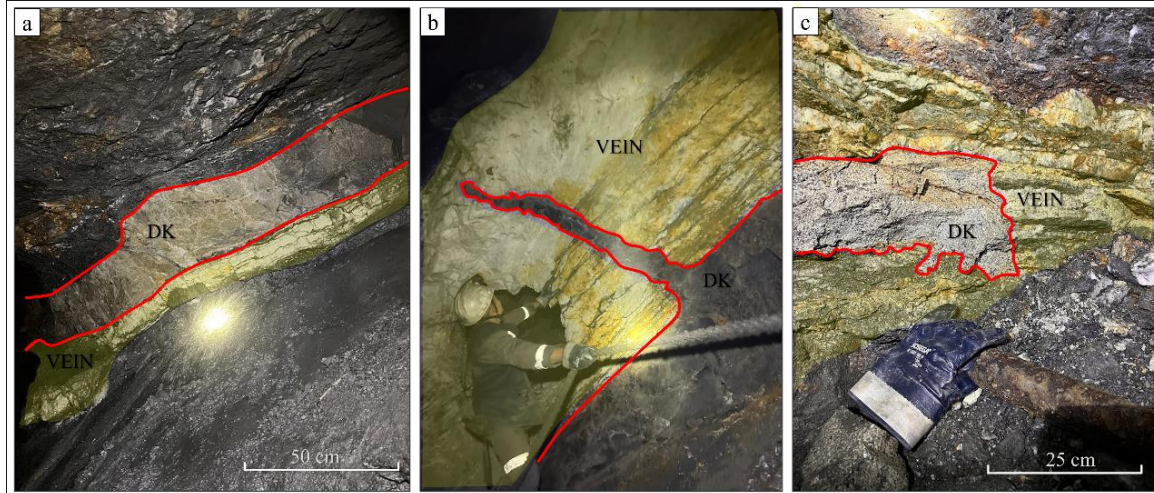
Figura 6

Intercalación entre esquistos grafitosos (BSCH) y esquistos cloríticos (GSCH)



Nota. a) Esquisto clorítico (GSCH) intercalado con esquisto grafitoso (BSCH) a escala centimétrica; b) Contacto entre el esquisto grafitoso y clorítico a escala métrica; c) Núcleo de perforación evidenciando la intercalación litológica.

A su vez, aflora un gran número de diques (DK) de composición andesítica con espesores de hasta 2m. Esta litología está dispuesta de forma paralela a la dirección de las vetas de cuarzo (Figura 7a). En ocasiones, estos diques atraviesan la estructura mineralizada (Figura 7b). Presentan coloraciones verdosas a pardo claro y de grano fino, con textura porfirítica (Figura 7c).

Figura 7*Diques leuco-andesíticos (DK)*

Nota. a) Dique (DK) dispuesto de forma paralela a las vetas de cuarzo (en amarillo); b) Dique cortando la veta de cuarzo; c) Evidencia de textura porfirítica del dique.

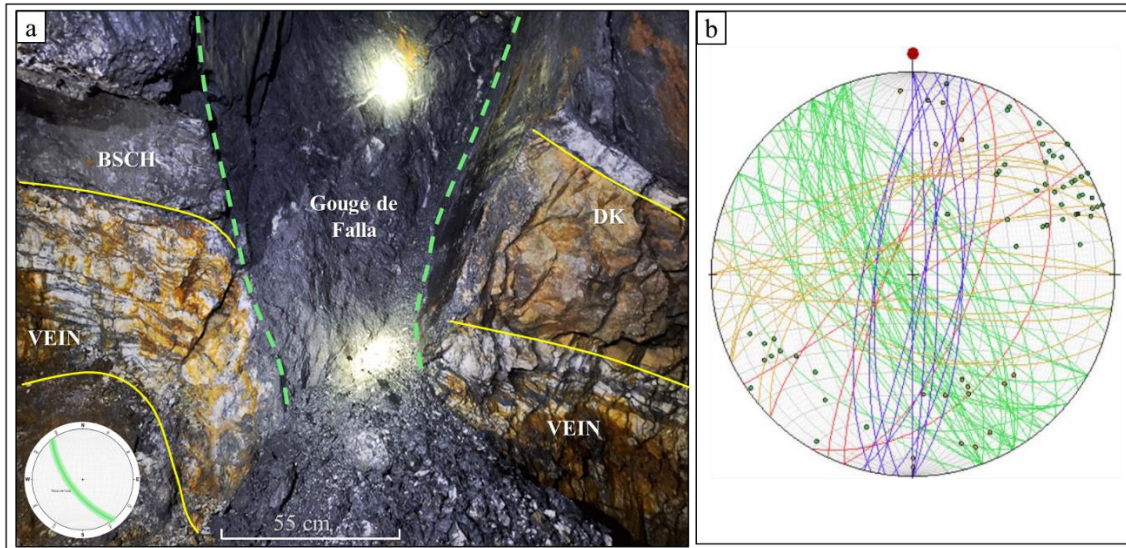
3.4.2 Estructuras

Localmente, el depósito está controlado por la Falla El Toro (Ramírez, 2014), también conocida como La Chucula (Durán, 2018) (Figura 8a), de rumbo N30°W, interpretada como una estructura satélite de la Falla Palestina. Según Duque (2021), la zona de estudio se encuentra en un área de cizalla sinistral, donde convergen cuatro sistemas de fallas (NS, NE, NW y EW) (Figura 8b), formando un sistema subsidiario del tipo Riedel.

El grupo de fallas más influyente es aquel de tendencia NW, con direcciones entre 300° y 340°, y buzamientos de alto ángulo, mayores a los 70° hacia el SW y en menor proporción al NE. Los indicadores cinemáticos directos de este grupo comprenden generalmente saltos de falla con desplazamientos de la estructura mineralizada desde escasos centímetros hasta 12 m (Duque, 2021).

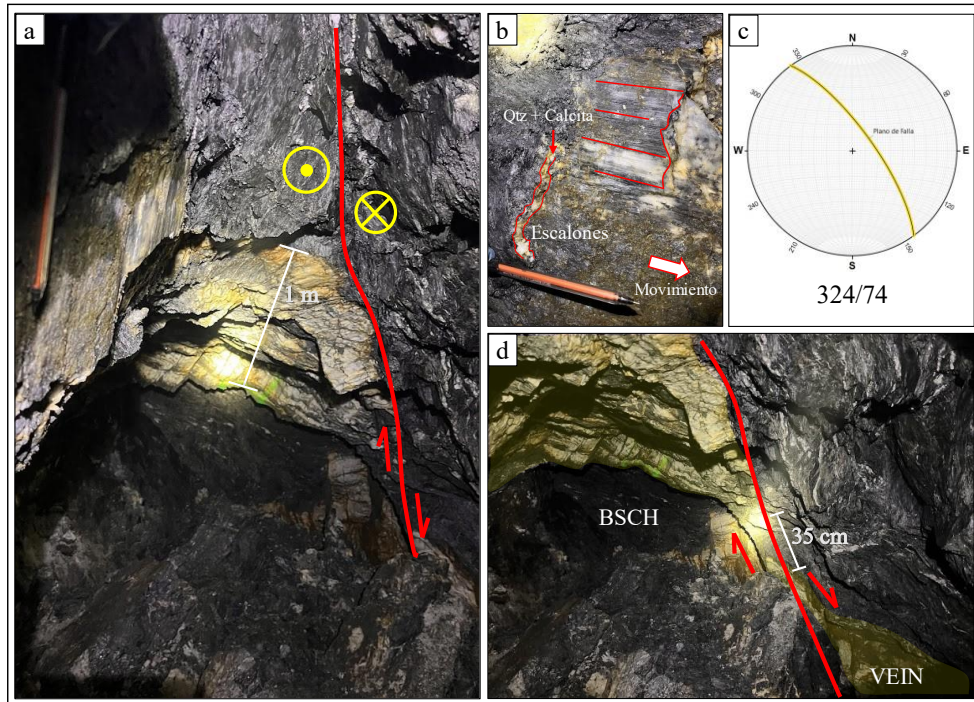
Figura 8

Falla La Chucula (NW) y demás tendencias de fallas presentes en el depósito



Nota. a) Desarrollo de *Gauge de Falla* en la zona de daño de la falla La Chucula, estructura local, subsidiaria de la Falla Palestina; b) Red estereográfica que muestra los cuatro grupos de fallas identificados por Duque (2021) en el depósito MEGPL: fallas de tendencia NW (en verde), fallas de tendencia EW (en naranja), fallas de tendencia NS (en azul) y fallas de tendencia NE (en rojo)

En la Figura 9 se observa una falla del primer grupo, de tendencia NW y buzamiento de 74° hacia el NE (Figura 9c), con un desplazamiento vertical de la veta de cuarzo de 35 cm (Figura 9d) e indicadores cinemáticos como estrías de falla y escalones de falla mineralizados con cuarzo (Qtz) y calcita (Figura 9b). Según lo anterior, en la Figura 9a se evidencia un movimiento vertical de tipo normal y horizontal de tipo sinistral.

Figura 9*Indicadores cinemáticos de una falla NW*

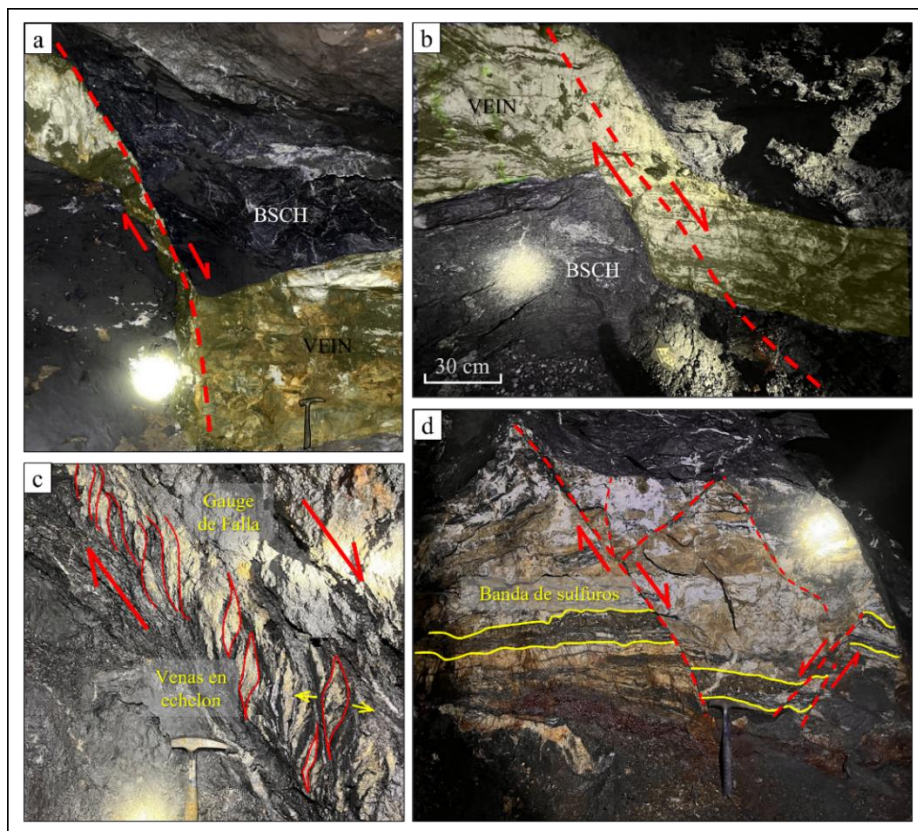
Nota. a) Típico movimiento sinistral normal de las fallas NW. El bloque SW se levanta y se mueve hacia el observador (●), mientras que el bloque SE descende y se aleja del observador (X); b) Estrías de falla y escalones de cuarzo (Qtz) y calcita dando el sentido del movimiento; c) Red estereográfica del dato estructural de la falla tomado en campo; d) Pliegue de arrastre y desplazamiento de 35cm de la veta de cuarzo (VEIN).

Otro grupo de fallas, que, al igual que las fallas NW modifican la dirección y el buzamiento de las vetas de cuarzo, corresponde al de tendencia E-W con buzamientos entre 50° y 85° hacia el NW. Su cinemática horizontal es de tipo dextral (Duque, 2021). Entre estos dos grupos de fallas descritos condicionan y dominan los rasgos estructurales más importantes del depósito, donde es común encontrar pliegues de arrastre (Figura 10a y 10b), vetas en-echelon rellenas por cuarzo y calcita (Figura 10c), alto nivel de fracturamiento y fallas normales con inclinación opuesta

generando graben (Figura 10d). A su vez, se tienen las fallas con tendencia NS, de cinemática sinistral y buzamientos mayores a 70° hacia el E y en menor medida al W. Por último, y en menor medida, se presentan ciertas fallas con tendencia NE con direcciones desde los 200° hasta 230° y buzamiento de alto grado hacia el NW, de cinemática normal-sinistral.

Figura 10

Dominio de las fallas sobre la estructura mineralizada en el depósito



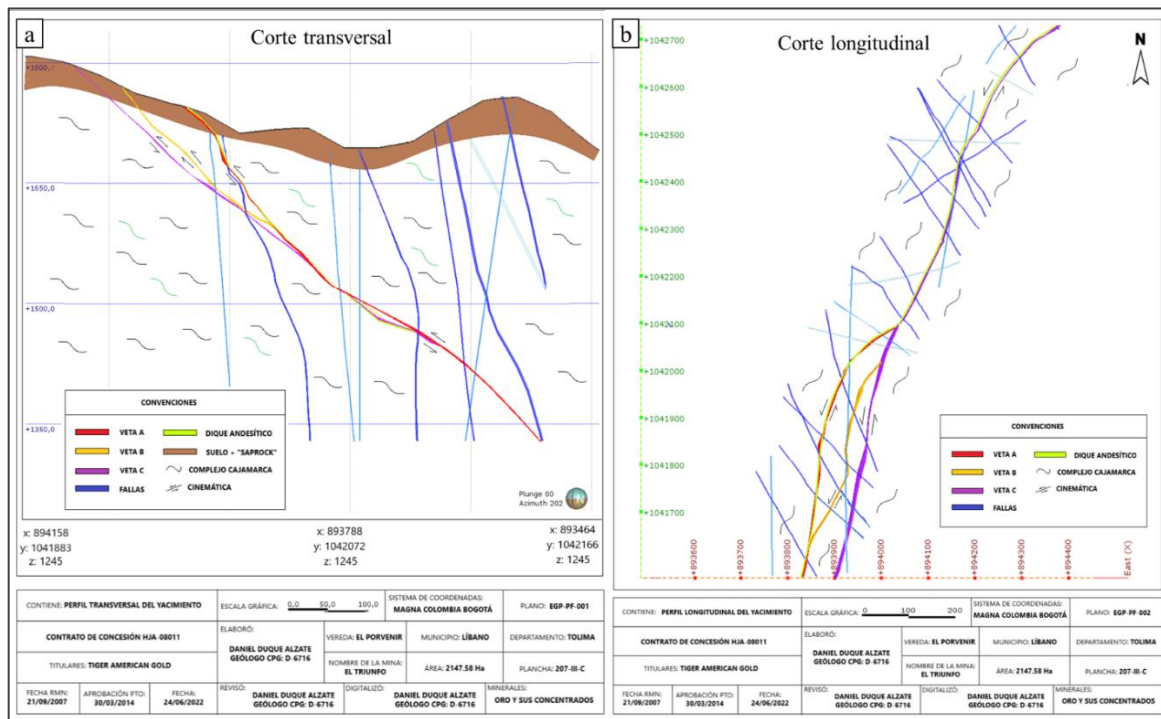
Nota. a) Cinemática normal con un pliegue de arrastre en el bloque izquierdo; b) Veta de cuarzo bandeada que ha sido desplazada por una falla de tipo normal; c) Venas en-echelon rellenas por cuarzo y calcita y *Gauge de falla* en la zona de daño de una falla normal; d) Intenso diaclasamiento y estructura en graben evidenciado por el desplazamiento de las bandas de sulfuros (en amarillo).

3.4.3 Mineralización

La mina MEGPL está dividida en diez niveles donde afloran tres cuerpos vetiformes de cuarzo (Figura 11a) emplazados en los esquistos del Complejo Cajamarca, con espesores que van de 0.2 m a 12 m con una dirección preferencial de N20°E y buzamientos desde 35° hasta 60° hacia el suroeste (Duque, 2021). A su vez, estas vetas de cuarzo se encuentran afectadas por una gran cantidad de estructuras locales a lo largo del depósito (Figura 11b).

Figura 11

Vista de perfil y en planta del yacimiento



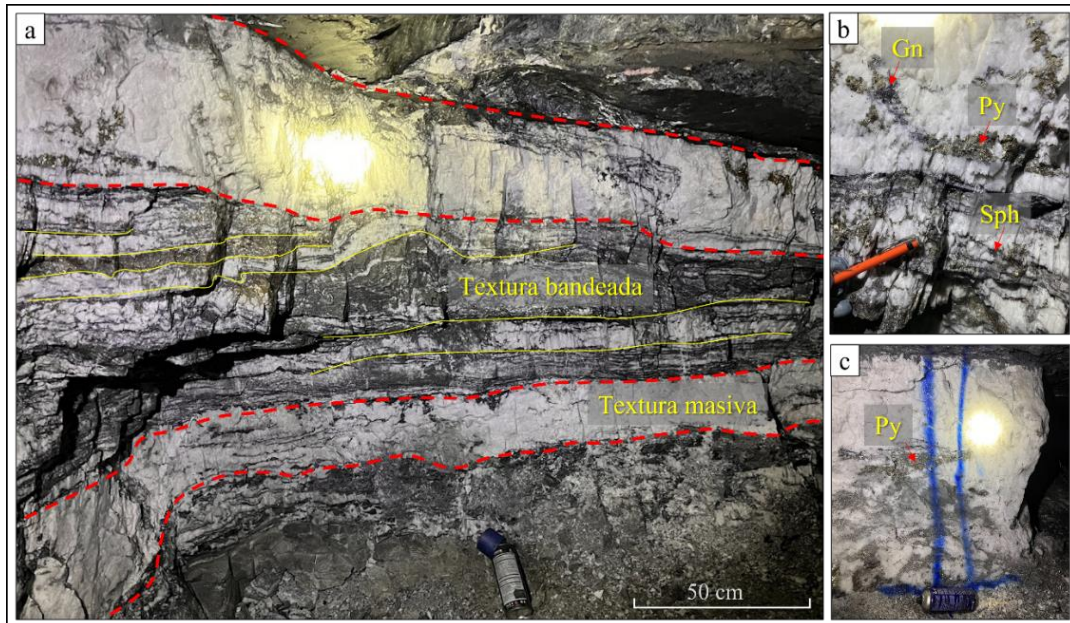
Nota: Tomada y modificada de la presentación corporativa "Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. - Actualizada al 24 de mayo de 2024".

Estas vetas de cuarzo ocurren como bandas intercaladas con BSCH y GSCH, de textura masiva o bandeada (Figura 12a). Las vetas de cuarzo con textura masiva presentan menor contenido de sulfuros de forma diseminada, como pirita (Figura 12c), ocasionalmente galena y esfalerita en

forma de parches. De otro lado, las vetas de cuarzo con textura bandeada presentan mayor contenido de sulfuros, usualmente como bandas de galena (Gn), esfalerita (Sph) y pirita (Py) (Figura 12b).

Figura 12

Apariencia general de las vetas de cuarzo a lo largo del depósito MEGPL

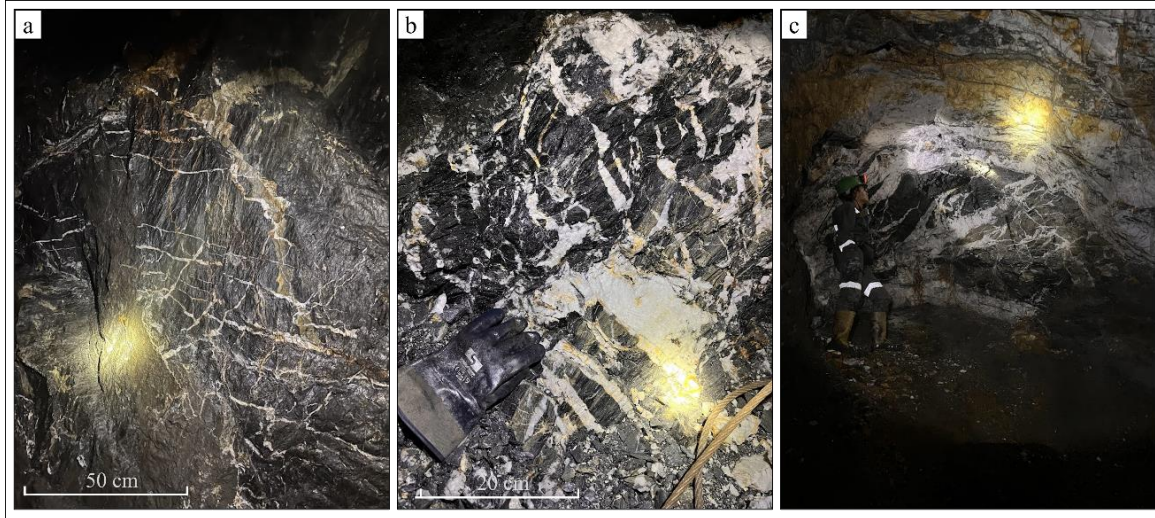


Nota. a) Textura bandeada y masiva de las vetas de cuarzo; b) Mineralización de galena (Gn), esfalerita (Sph) y pirita (Py) en las vetas de cuarzo con textura bandeada; c) Pirita (Py) diseminada, o como parches en la veta de cuarzo de textura masiva.

En cercanías de las zonas mineralizadas, el esquisto grafitoso se encuentra altamente influenciado por una gran cantidad de vetillas dispuestas aleatoriamente, entrecruzadas entre sí en un arreglo geométrico de tipo *stockwork* (Figura 13a; 13b; y 13c) intercaladas con esquisto grafitoso.

Figura 13

Arreglo en stockwork o zona de vetilleo



Nota. a) *Stockwork* en esquistos grafitosos intercalados con esquistos cloríticos; b) *Stockwork* en esquistos grafitosos altamente deformados; c) Arreglo de vetilleo aleatorio en cercanías a la veta de cuarzo.

Los minerales mena encontrados en la mina MEGPL, como pirita, galena y esfalerita, se presentan en la Figura 14a. En ocasiones, se observa un gran desarrollo del hábito cristalino, lo que da un aspecto de sulfuro masivos (Figura 14b y 14c). La pirrotina (Po) (Figura 14c), calcopirita (Cpy) (Figura 14d), y scheelita (Sch), se presentan en menor medida en el depósito, usualmente en las vetas de cuarzo de textura masiva. Además, la bornita (Bn) (Figura 14e) también es escasa, pero podría reflejar un enriquecimiento local supergénico de minerales de cobre como sugiere Durán (2018). Por otro lado, se identifican carbonatos como calcita (Figura 14f), que en ocasiones presenta crecimiento de tipo laminar (*bladed calcite*), asociado con melnikovita (Figura 14i). La melnikovita es una variedad de pirita con textura coloidal, de brillo apagado o metálico, a diferencia de la pirita botroidal (Figura 14h), que presenta un brillo metálico brillante, y está asociada con otros sulfuros como galena y esfalerita. Finalmente, la esfalerita presenta tonalidades que varían según su

composición: marrón claro debido a su bajo contenido en hierro (Figura 14g), y marrón oscuro (Figura 14a), por su gran contenido en hierro.

Figura 14

Mineralogía principal de la mena en la mina MEGPL



Nota. a) Esfalerita (Sph), pirita (Py), galena (Gn), y carbonatos (Cb) en veta de cuarzo (Qtz); b) Galena y pirita como sulfuros masivos; c) Galena, pirita, esfalerita y pirrotina (Po); d) Calcopirita (Cpy); e) Bornita (Bn), pirita y cuarzo; f) Drusa de calcita con cuarzo; g) Esfalerita pobre en hierro; h) Pirita de aspecto botroidal y *bladed calcite* (calcita en láminas); i) Melnikovita.

4. Actividades Realizadas durante la Práctica

4.1 Exploración y Descripción Geológica

Este proceso implica la descripción de núcleos que se realiza para cada uno de los pozos de perforación diamantina, e incluye los siguientes pasos:

A) Identificador del pozo: Reconocer el código del pozo de perforación. En la Figura 15 se observa un ejemplo donde:

- “EGP”: Iniciales de “El Gran Porvenir”
- “23”: Año de ejecución del plan de perforación.
- “DB”: Nombre del plan de perforación.
- “03”: Número del pozo.

B) Limpieza: Limpieza general del núcleo para exponer mejor las características de la roca. Normalmente se realiza con agua y una brocha.

C) Geotecnia: Medición de parámetros geotécnicos, como la recuperación del núcleo y la calidad de la roca RQD (por sus siglas en inglés *Rock Quality Designation*), para evaluar la calidad del macizo rocoso. Esto se registra en el formato de la Tabla 1.

- Recuperación: Relación entre el núcleo recuperado y la longitud perforada.


$$\text{Recuperación} = \frac{\text{Longitud de núcleo recuperado}}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

- Calidad de la roca RQD: Estimación de la calidad del macizo basado en la longitud de fragmentos de núcleo mayores a 10 cm.

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitudes fragmentos} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Tabla 1

Formato para la descripción de parámetros geotécnicos.

HOLE ID									
No	INTERVAL		TOTAL	CORE SIZE	REC.	R.Q.D.	% RECUP.	%RQD	
	FROM	TO	m						
1	0.00	1.00	1.00	HQ	1.00	0.00	100%	0%	
2	1.00	1.80	0.80	HQ	0.69	0.00	86%	0%	
3	1.80	2.50	0.70	HQ	0.61	0.00	87%	0%	
4	2.50	3.30	0.80	HQ	0.59	0.00	74%	0%	
5	3.30	4.00	0.70	HQ	0.61	0.00	87%	0%	
6	4.00	5.50	1.50	HQ	1.20	0.00	80%	0%	
7	5.50	7.00	1.50	HQ	1.14	0.26	76%	17%	
8	7.00	8.50	1.50	HQ	1.22	0.51	81%	34%	
9	8.50	10.00	1.50	HQ	1.20	0.56	80%	37%	
10	10.00	11.50	1.50	HQ	1.09	0.14	73%	9%	
11	11.50	12.00	0.50	HQ	0.37	0.10	74%	20%	
12	12.00	13.50	1.50	HQ	0.87	0.11	58%	7%	
13	13.50	15.00	1.50	HQ	0.62	0.00	41%	0%	
14	15.00	16.50	1.50	HQ	0.94	0.00	63%	0%	
15	16.50	18.00	1.50	HQ	1.30	0.43	87%	29%	
16	18.00	19.50	1.50	HQ	0.79	0.19	53%	13%	
17	19.50	21.00	1.50	HQ	1.20	0.78	80%	52%	
18	21.00	22.50	1.50	HQ	1.03	0.54	69%	36%	
19	22.50	24.00	1.50	HQ	1.21	0.47	81%	31%	
20	24.00	25.50	1.50	HQ	1.23	0.70	82%	47%	

Nota. *INTERVAL* es el intervalo de profundidad; *TOTAL* es el avance entre cada intervalo; *CORE SIZE* es el diámetro del núcleo (63.5 mm para HQ, 47.66 mm para NQ, y 36.5 mm BQ; *REC* es la recuperación en metros; *R.Q.D* es la calidad de roca en metros; las *%REC* y *%RQD* son las respectivas casillas divididas entre la columna *TOTAL* multiplicado por 100.

La calidad se define por parámetros y rangos que varían según el porcentaje obtenido en los cálculos. Esto permite clasificar la calidad en las siguientes categorías:

Tabla 2


Clasificación de la calidad de la roca según el índice RQD.

Calidad de la Roca	
<25%	Muy Mala
25 % - 50%	Mala
50% - 75%	Normal
75% - 90%	Buena
90% - 100%	Muy Buena

D) Numeración de las cajas: Acomodación secuencial de los núcleos en cajas, con marcadores físicos de su profundidad, consignado en el formato de la Tabla 3.

Tabla 3

Formato para el diligenciamiento de la numeración de cajas.

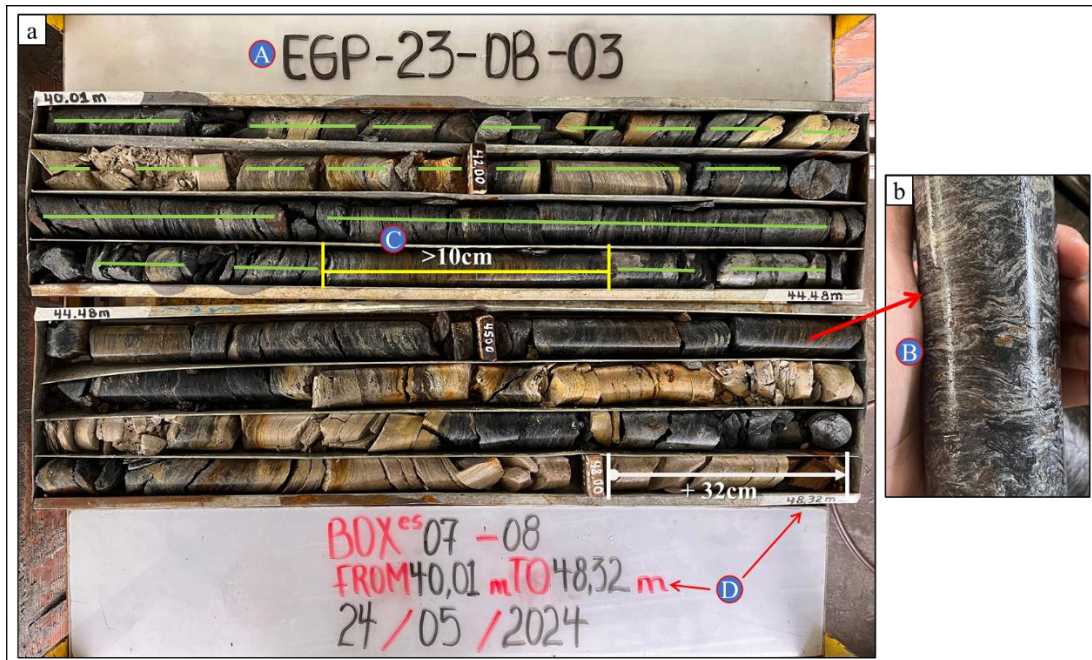
HOLE ID			
Box number	Interval		
	From	To	
1	0.00	2.93	
2	2.93	5.72	
3	5.72	8.50	
4	8.50	11.09	
5	11.09	14.05	
6	14.05	17.21	
7	17.21	20.10	
8	20.10	23.27	
9	23.27	26.20	
10	26.20	29.33	
11	29.33	31.85	
12	31.85	34.60	
13	34.60	37.42	
14	37.42	40.20	
15	40.20	43.20	

Nota. *Box number* es el número de caja según la secuencia de perforación. *INTERVAL* es el intervalo de profundidad entre cada caja.

A continuación, se presenta un ejemplo de los primeros pasos metodológicos para la descripción de testigos de perforación (Figura 15).

Figura 15

Fotografías finales de dos cajas del pozo EGP-23-DB-03 como ejemplo para señalar los primeros pasos para la descripción geológica



Nota: a) A. Identificador del pozo (*HOLE ID*), C. Medición de los parámetros geotécnicos: Recuperación (en verde) y *RQD* (en amarillo), D. Numeración de las cajas y marcador de profundidad; b) B. Limpieza del núcleo para ver sus características.

E) Descripción Geológica: En el formato de la Tabla 4 se describe cualitativa y cuantitativamente cada segmento definido a criterio del geólogo siguiendo variables como: litología, contactos, grado de fracturamiento, estructuras, tipo y proporción de mineralizaciones, y alteraciones. Para la separación de tramos se utilizan los códigos vena (VEIN), zona de falla (F/Z), esquisto grafitoso (BSCH), esquisto clorítico (GSCH), dique (DK), zona de vetilleo (V/Z), suelo (S), y saprolito (SR).

Tabla 4

Formato de descripción geológica para los testigos rocosos.

LOGGING FORMAT															
Hole Geometry as Designed			Actual Hole			General Hole Info			LITHOLOGY			COD			
Proposed Hole-ID	EGP-BCHS-24-004		Actual Hole	EGP-BCHS-24-004		Start Date	June - 2024		VEIN			VEIN			
East	893812.288		East	893812.288		Finish Date	December 2024		FAULTED/ZONE			F/Z			
North	1042066.11		North	1042066.11		Core Size	HQ - NQ		BLACK SCHIST			BSCH			
Elevation	1689.03		Elevation	1689.03		Reduced at (m)	1689.03		GREEN SCHIST			GSCH			
Az	155		Az	155		Reduced to	1492.03		DYKE			DK			
Dip	55		Dip	55		Casing	N/A		VEINLET/ZONE			V/Z			
TD m	197.00		Current Dep	197		DDM	Leapfrog Geo		SOIL			S			
Zone	Mineralized Zone		Zone	Mineralized Zone		Geologist	LVN		SAPROLITE			SR			
Section			Section												
Purpose: Explorar las estructuras mineralizadas en el Bloque Chucula Sur						Results: Se encontró una nueva estructura a 61m de profundidad con apariencia blancuzca. Contiene Py (3%) y Sph (<1%), de aprox. 1.50m de espesor									
LITHOLOGY				ALTERATION		MINERALIZATION %				STRUCTURES		CA	S	COMMENTS	
FROM	TO	LENGTH	COD	TYPE	INTENSITY	TYPE	Py	Sph	Gn	OTHER	Vein				Veinlets / m
0.00	5.72	5.72	SR												Saprolito altamente alterado, y fracturado
5.72	13.25	7.53	BSCH												BSCH, altamente fracturado, deformado y oxidado
13.25	13.50	0.25	F/Z												Zona de falla con BSCH altamente fraturado y alterado con óxidos de Fe
13.50	15.05	1.55	BSCH												BSCH altamente fracturado y oxidado
15.05	15.25	0.20	VEIN												Veta de Qtz translucido, intercalado con BSCH
15.25	18.90	3.65	BSCH	Ser	Leve	Dis (parches)	1								BSCH con lentes delgados de Qtz // S1, moderadamente fracturado
18.90	19.10	0.20	V/Z	Cb	Intermedia	Dis	<1								BSCH con lentes de Qtz en BSCH, subparalelos a S1

Nota: Proposed ID es el número de pozo propuesto antes de ser perforado, puede o no coincidir con el *Actual Hole ID* (el ejecutado); *East, North y Elevation* es el este, norte y elevación, respectivamente; *Az* es la dirección en Azimut; *Dip* es la inclinación; *TD m* son las siglas de *Total Depth*, y es la profundidad final planeada una vez completado el pozo; *Zone* es una zona específica dentro del pozo que está siendo analizado; *Section* es el perfil transversal; *Current Depth* es el avance actual de la perforación; *Reduced at* es la elevación real de altimetría; *Reduced to* es la medida ajustada a una referencia; *Casing* es el revestimiento dentro del pozo (diámetro, profundidad, y tipo de material); *DDM* es *Drillhole Data Management*, y se llena con el nombre del sistema de gestión de datos; *Geologist* es el geólogo que realiza la descripción.

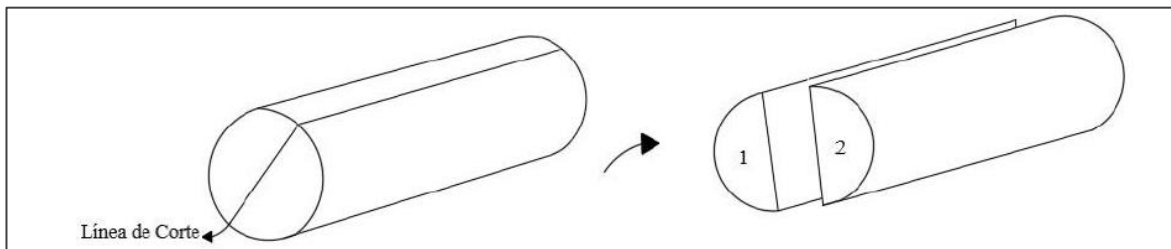
F) Definición del Muestreo: Selección y etiquetado de los intervalos mineralizados o de interés, pegando colillas codificadas en los extremos de cada tramo.

G) Fotografías: Registro fotográfico de los núcleos tras la descripción geológica y muestreo, garantizando la nitidez en las imágenes. A su vez, se debe indicar el Identificador de pozo, fecha, número de las cajas y sus profundidades, tal y como se muestra en la Figura 14.

H) Corte de Núcleos: Se analiza la distribución de la mineralización, alteración y particularidades de interés para indicar sobre el testigo la línea de corte, garantizando que tanto la muestra enviada al laboratorio como su gemela, sean igual de representativas (Figura 16).

Figura 16

Representación del corte longitudinal realizado al núcleo de perforación diamantina



Nota: Ilustración tomada de Simón (2007).

I) Muestreo: Empaque cuidadoso de los núcleos cortados, con su respectiva colilla codificada.

J) Digitalización. Se ingresa la información geológica obtenida en el formato electrónico de descripción de núcleos, según nomenclatura y código de color establecido.

4.2 Control de Leyes y Muestreo

En esta etapa se realizó el control de leyes para monitorear los tenores de oro y plata en las labores activas de la mina. Se utilizarán distintos tipos de muestreo, como:

4.2.1 Muestreo aleatorio

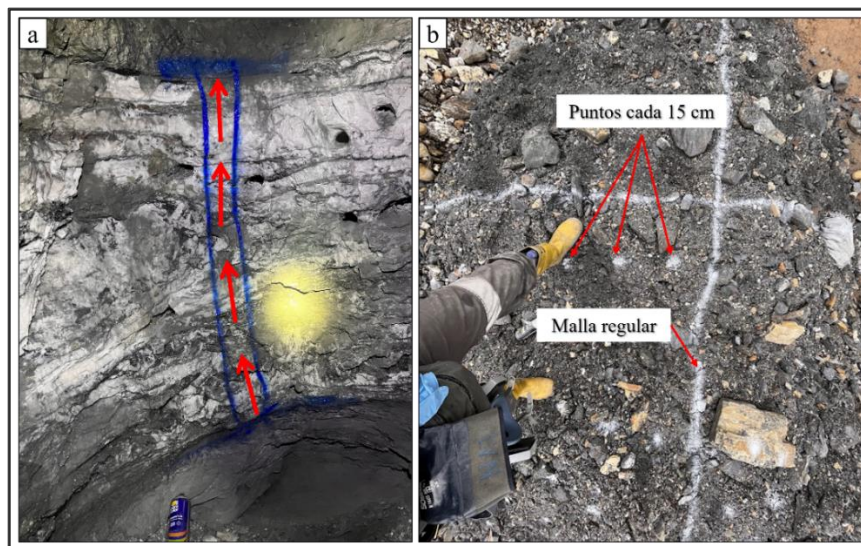
Realizado en frentes de explotación o desarrollo, para evaluar concentraciones diarias de oro (Au) y plata (Ag).

4.2.1.1 Muestreo de Canal. Consiste en excavar un canal rectangular transversal al rumbo y buzamiento de la estructura tabular (Figura 17a). Sus dimensiones suelen ser de 5-10 cm de ancho, 3-5 cm de profundidad y una longitud igual al espesor de la veta. Si la estructura supera 1.20 m de espesor o presenta mineralización distintiva, el canal puede dividirse. Los fragmentos deben ser uniformes (2-5 cm), con un peso total de 3-5 kg si la veta supera 30 cm de espesor. Finalmente, se miden las dimensiones, se rotula la muestra y se remarca el canal.

4.2.1.2 Muestreo manual o de Grab: Este método, aunque poco confiable, resulta útil cuando no se puede definir la base ni el techo de la estructura debido a la acumulación de material en el frente de avance o cuando el acceso es peligroso. En este caso, se realiza una malla de muestreo con puntos distribuidos regularmente (Figura 17b).

Figura 17

Muestreo de Canal y Grab



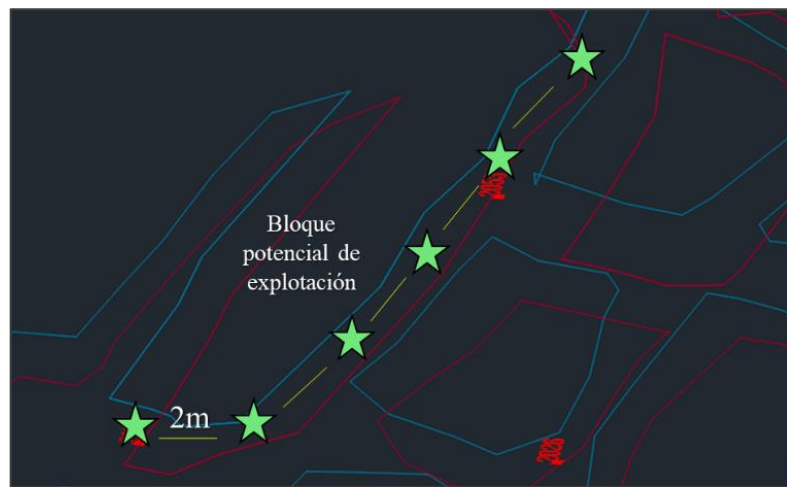
Nota: a) Muestreo de tipo canal, las flechas rojas indican la dirección en la que se debe realizar el muestreo (de abajo hacia arriba); b) Muestreo de tipo *Grab*.

4.2.2 Muestreo sistemático

Tomado en intervalos de 2 o 4 metros, para evaluar bloques pilares potenciales (Figura 18).

Figura 18

Representación del muestreo sistemático en un bloque potencial de explotación

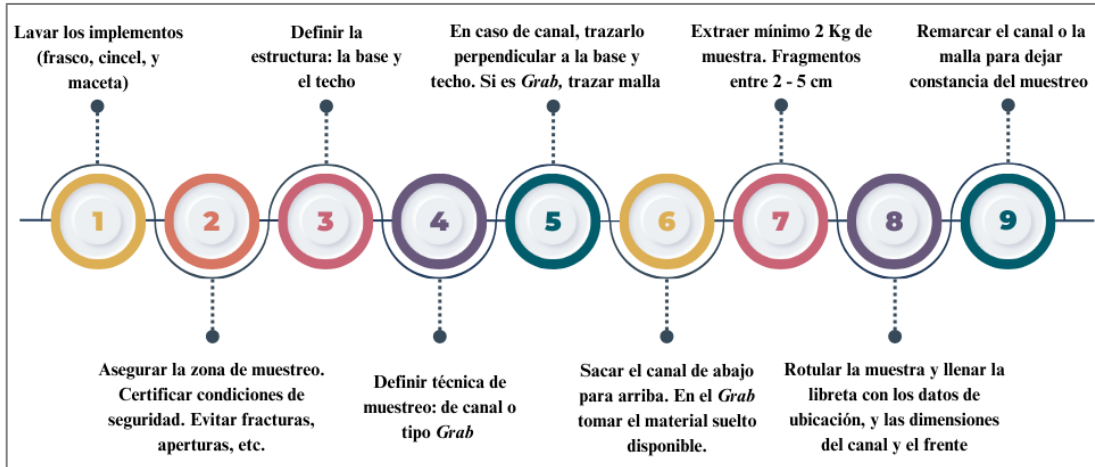


Nota: Zona de potencial explotación en la localidad conocida como “Tambor 1”. El muestreo (estrellas) es de forma sistemática cada dos metros. Las líneas azules son el techo y las rojas el piso.

En general, se deben seguir una serie de pasos durante el muestreo (Figura 19) para asegurar la integridad de los auxiliares al interior mina y extraer de forma correctamente la muestra evitando contaminación.

Figura 19

Metodología del muestreo



4.3 Supervisión de Perforación Diamantina

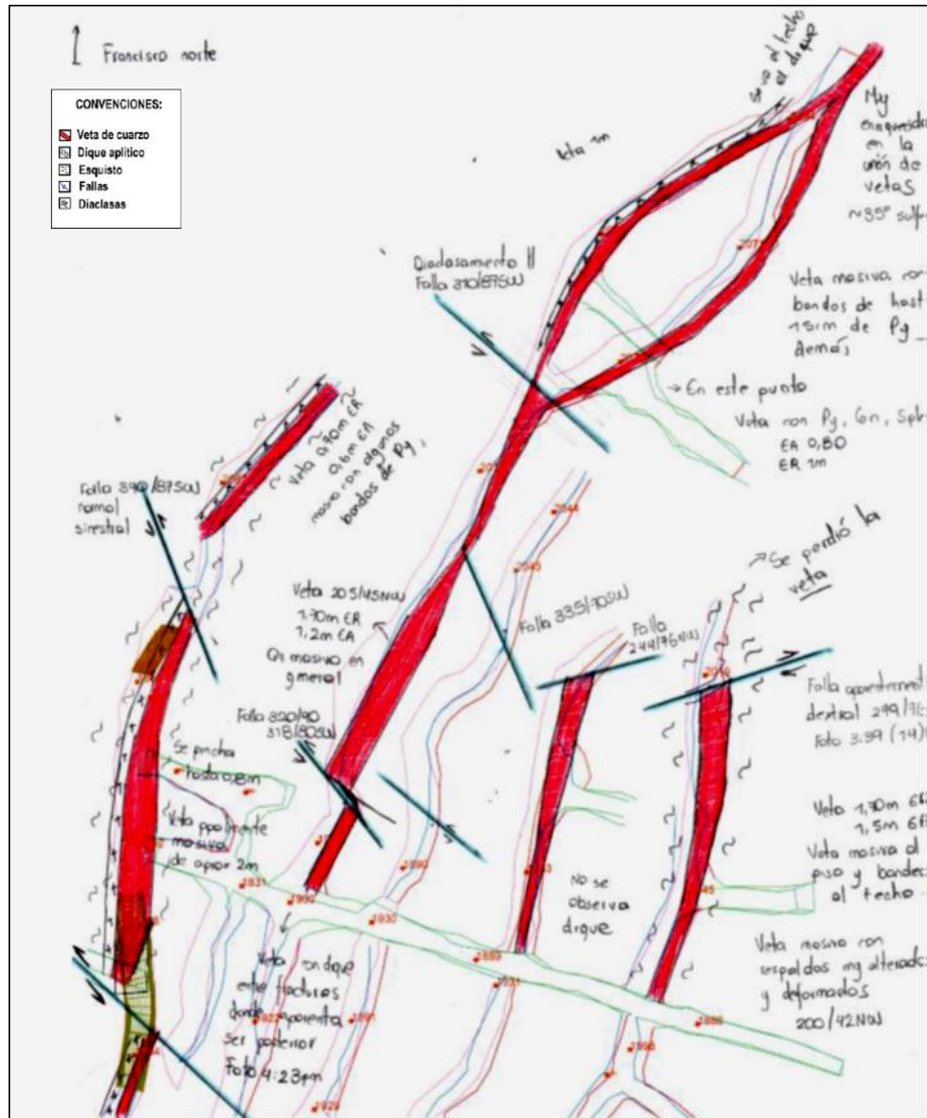
El acompañamiento en la perforación diamantina incluye tareas como supervisar el proceso de perforación para asegurar la correcta extracción de los núcleos y la calidad de los mismos. A su vez, se debe garantizar que los auxiliares etiqueten correctamente las cajas porta testigos, conserven su orientación y registren los datos de cada corrida. Finalmente, se asegura la integridad de los testigos desde la plataforma de perforación hasta el laboratorio de descripción de núcleos.

4.4. Cartografía Geológica Subterránea

Una metodología estándar para el mapeo subterráneo es el "mapeo Anaconda", descrito por Einaudi (1997), que se basa en la representación detallada de rocas alteradas y mineralizadas. Este enfoque utiliza códigos de colores para las distintas fases de alteración y mineralización, y enfatiza la observación directa y crítica de las rocas, complementando los datos cuantitativos con descripciones visuales geológicas (Figura 20).

Figura 20

Ejemplo de la hoja cartográfica escala 1:250



Nota: Hoja cartográfica tomada del trabajo de Duque (2021). Los puntos en rojo son puntos de cuatro dígitos para la ubicación al interior de la mina.

Para identificar las zonas para cartografía, se priorizan áreas con estructuras desconocidas, como vetas, fallas o diques, aunque lo ideal sería un mapeo continuo conforme avanza la explotación. Se usan puntos de control establecidos por topografía (Figura 20) para ubicar y medir

distancias con precisión. La información se valida con sondeos y perforaciones previas, y la cartografía se realiza a escalas de 1:100 o 1:250 según el detalle necesario.

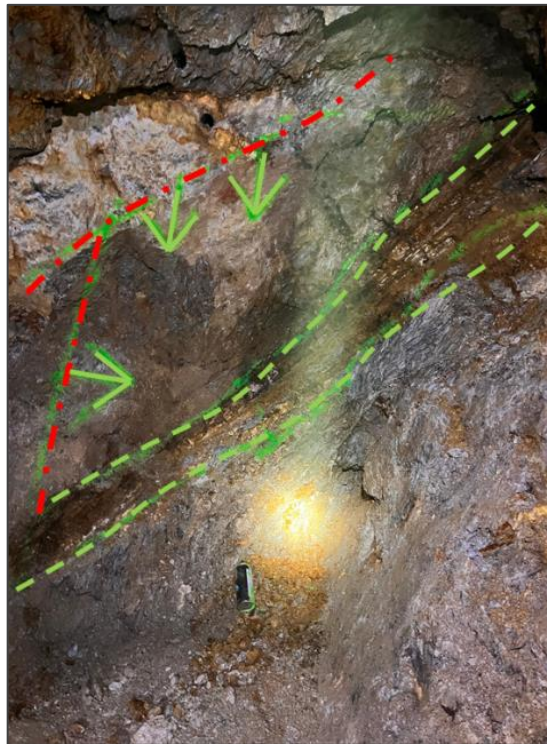
La instrumentación incluye brújula, distanciómetro láser, hojas base de tunelería, colores para representar litología y estructuras, protractor y escalímetro.

4.5 Direccionamiento de labores

Con el fin de optimizar la recuperación de mineral y reducir el material estéril (la roca caja), se realizan visitas periódicas a los frentes de explotación, donde se interpreta la disposición de las estructuras para concentrar la explotación principalmente en la estructura mineralizada y evitar el esquisto, que generalmente no contiene valores significativos de oro. Por ejemplo, en la Figura 21, se ilustra cómo se indica a los operadores la dirección en la que deben avanzar.

Figura 21

Direccionamiento de labores por interpretación de dimensiones para control de tenor



Nota: En líneas discontinuas verdes se delinea la estructura mineralizada, la cual, es delgada en esta sección, por lo que se disminuye la altura y el ancho de la labor para mayor recuperación mineral.

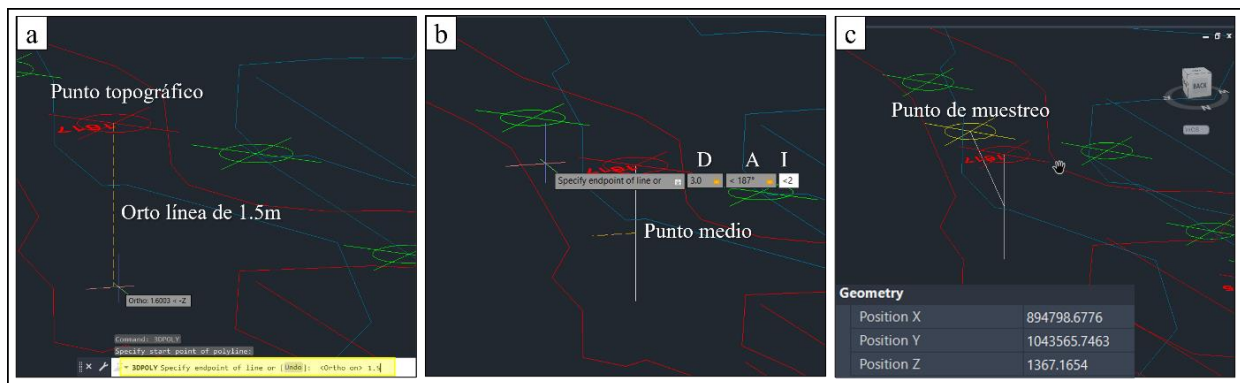
4.6 Uso de programas especializados para la visualización de datos

4.6.1 AutoCAD 3D

El programa ubica las muestras de muestreo diario registrando distancia, azimut e inclinación desde un punto topográfico, generalmente en el techo del túnel (Figura 22). En AutoCAD 3D, se traza una línea vertical de 1.50 m desde este punto utilizando el comando “3DPOLY” (Figura 22a), se ingresan los datos registrados en campo en el punto medio de la línea (Figura 22b) y se obtienen las coordenadas exactas de cada muestra (punto amarillo en Figura 22c). Finalmente, estas coordenadas, junto con las características de cada muestra, se integran a la base de datos.

Figura 22

Metodología de ubicación de muestras en AutoCAD 3D



Nota: a) Trazo de una línea vertical desde el punto topográfico con el comando “3DPOLY”; b) ingreso de los datos de distancia (D), dirección azimutal (A), e inclinación (I); c) Teniendo el punto de muestreo ubicado, se extraen las coordenadas para digitalizar en la base de datos.

4.6.2 Leapfrog Geo

Este programa se utiliza principalmente para la visualización de los pozos descritos y los programas de perforación, en relación con las estructuras que ya han sido modeladas previamente. Para la visualización de los sondajes, se deben tener los archivos Excel de el *Collar* (las coordenadas del punto de perforación), el *Survey* (la inclinación y dirección de la perforación), el *Assay* (el análisis químico), y la *Litho* (la descripción litológica) en un formato de tipo *CSV* (*Comma-Separated Values*), es decir, las columnas separadas por comas.

5. Resultados obtenidos

5.1 Exploración y Descripción de núcleos

A lo largo de la práctica empresarial se describieron 1567.16 metros de núcleos cuyos diámetros variaban entre 63.5 mm (HQ), 47.66 mm (NQ), y 36.5 mm (BQ). El principal objetivo de los planes de perforación era la continuidad de las estructuras mineralizadas y su espesor promedio en diferentes zonas de la mina. En la Tabla 5 se muestra un resumen con los pozos descritos y sus respectivos propósitos.

Tabla 5

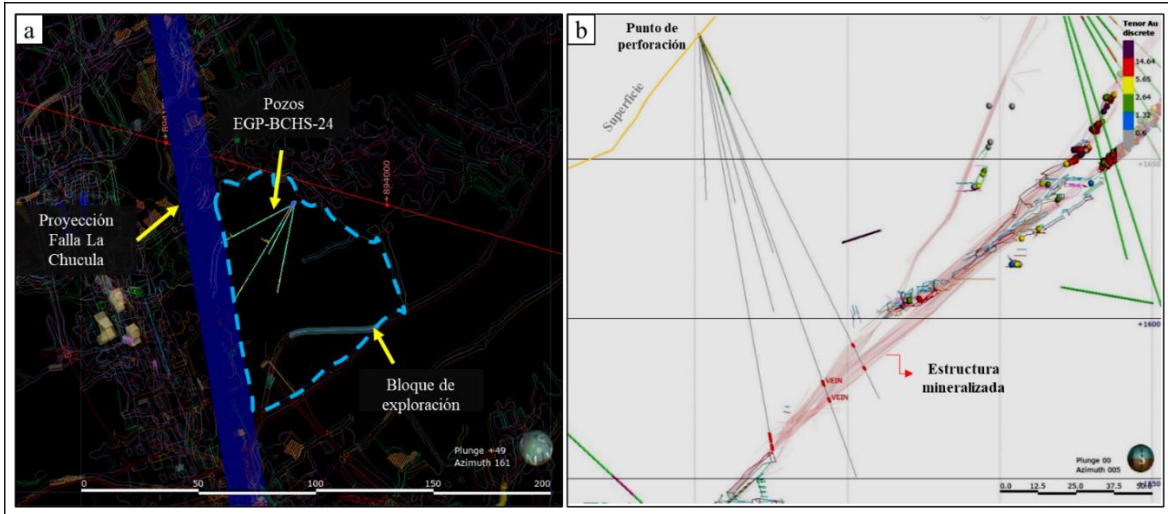
Total de pozos descritos

POZOS DESCRITOS SEGÚN EL PLAN DE PERFORACIÓN							
BLOQUE CHUCULA NORTE		BLOQUE CUCULA SUR		DUBAI		NIVELES INFERIORES	
Objetivo: Determinar la continuidad de la estructura mineralizada y su espesor promedio en la zona norte de Chucula Norte		Objetivo: Determinar la continuidad de la estructura mineralizada y su espesor promedio en la zona norte de Chucula Sur		Objetivo: Dar continuidad a la estructura mineralizada en la zona norte de Dubai		Objetivo: Dar continuidad al norte a las estructuras mineralizadas conocidas como veta externa e interna en el Avance	
HOLE ID	Metros	HOLE ID	Metros	HOLE ID	Metros	HOLE ID	Metros
EGP-23-IF-DH-04	22.70	EGP-BCHS-24-002	158.00	EGP-23-DB-03	135.50	EGP-22-DH-112	226.50
EGP-23-IF-DH-05	42.00	EGP-BCHS-24-003	160.80				
EGP-23-IF-DH-07	30.00	EGP-BCHS-24-004	197.00				
EGP-23-IF-DH-09	22.50						
EGP-23-IF-DH-11	49.00						
EGP-23-IF-DH-13	43.90						
EGP-23-IF-DH-14	48.20						
EGP-23-IF-DH-15	50.80						
EGP-23-IF-DH-18	35.26						
EGP-23-IF-DH-23	57.00						
EGP-23-IF-DH-24	65.50						
EGP-23-IF-DH-25	53.00						
TOTAL METROS	519.86		515.80		135.50		226.50
TOTAL METROS DESCRITOS	1397.66						

Nota: Tabla con el resumen de los pozos descritos según los planes de perforación: “Bloque Chucula Norte”, “Bloque Chucula Sur”, “Dubai”, y “Niveles Inferiores”.

Dentro de los planes de exploración se encuentra el realizado en la zona sur de la Falla Chucula, denominado así: Bloque Chucula Sur (Figura 23a). En este plan, se desea determinar la continuidad de la estructura mineralizada, explorar nuevas estructuras y obtener su tenor. Para ello, se propone una serie de pozos de exploración nombrados como “EGP-BCHS-24”, de los cuales, tres fueron descritos y muestreados según los parámetros metodológicos.

La ejecución de estos pozos se realiza desde una plataforma de perforación en superficie, en forma de abanico (Figura 23b), y son de tipo *Brownfield* dado que se ejecutan con el propósito de obtener nuevos recursos a partir de una zona actualmente en explotación.

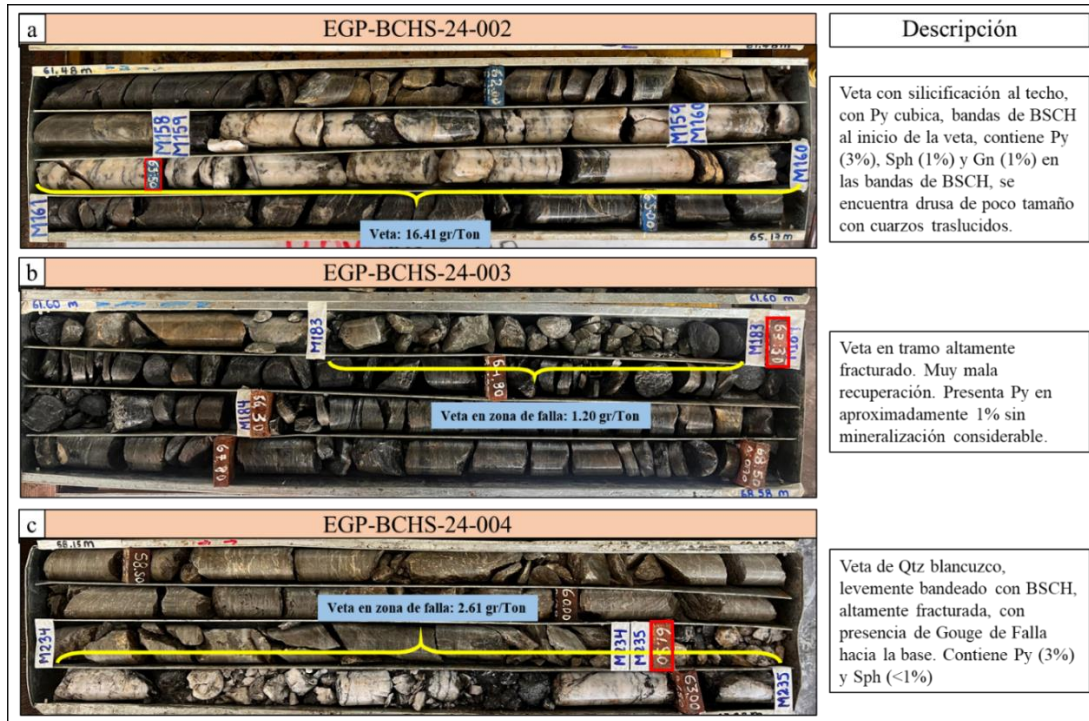
Figura 23*Plan de perforación Bloque Chucula Sur*

Nota: a) Bloque de exploración (línea azul discontinua) al sur de la Falla La Chucula (plano azul oscuro); b) Proyección de los pozos propuestos en profundidad en forma de abanico. En rojo se muestra las estructuras mineralizadas conocidas en el depósito.

Se identificó una nueva estructura en el depósito, que aflora a los 64 metros de profundidad en los tres pozos descritos (Figura 24). La veta, de aproximadamente 1.50 m de espesor, es bandeada, intercalada con BSCH (Figura 24a) y alojada en una zona de falla con alto fracturamiento y presencia de Gouge de Falla (Figura 24c). Contiene en promedio Py (3%), Sph (1%) y Gn (1%), con posibles crecimientos de cuarzo en drusa. En el pozo EGP-BCHS-24-002, la recuperación fue baja, con pocos vestigios de la veta (Figura 24b), fenómeno común al perforar zonas de falla en profundidad. Los análisis de laboratorio reportaron 16.41 gr/ton en el pozo 002, 1.20 gr/ton en el 003 y 2.61 gr/ton en el 004, lo que destaca este hallazgo como un objetivo prometedor para futuras explotaciones en la zona sur de la Falla La Chucula.

Figura 24

Intercepto de veta en pozos del Bloque Chucula Sur

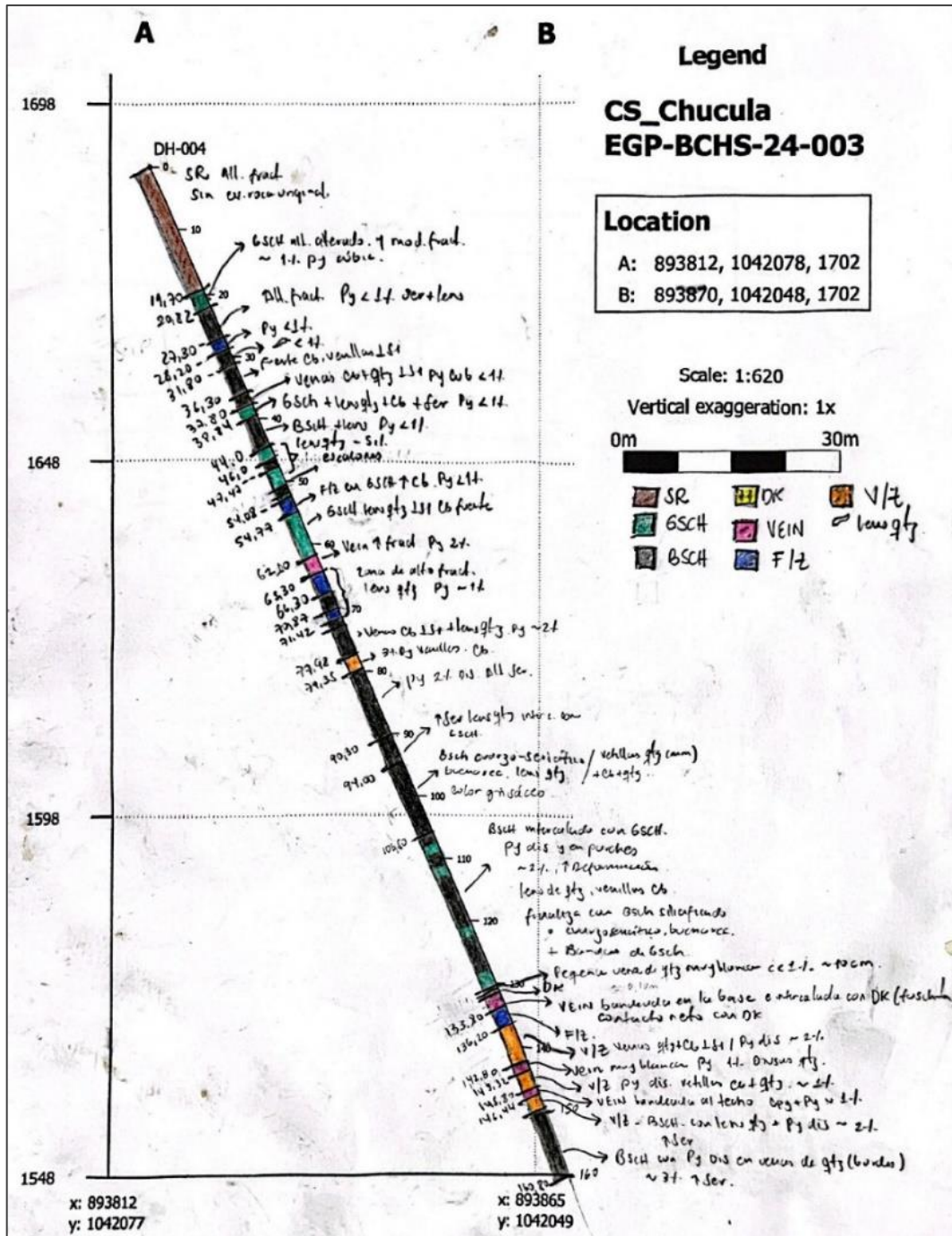


Nota: Intercepto de la veta en los diferentes pozos hacia la profundidad de aproximadamente 62m (señalado en rojo), los valores de ley, y sus descripciones. a) EGP-BCHS-24-002; b) EGP-BCHS-24-003; c) EGP-BCHS-24-004.

Se representan visualmente con colores los diferentes tramos identificados en las secciones transversales de los pozos descritos, destacando detalles como litología, mineralización, estructura y profundidades (Figura 25). Esto facilita una comprensión más clara y precisa de las variaciones geológicas a lo largo del pozo.

Figura 25

Descripción litológica del pozo EGP-BCHS-24-003 en la sección transversal



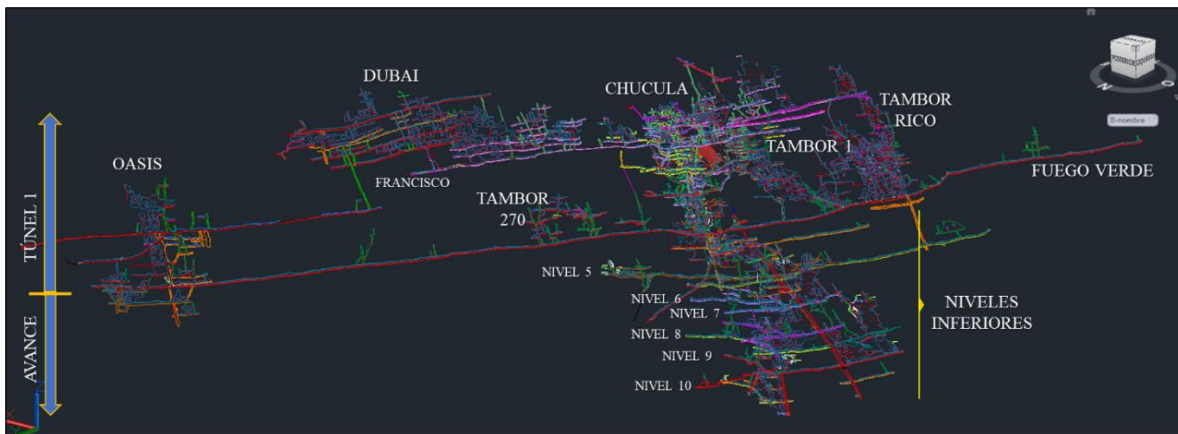
Nota: Esta sección representa por colores cada litología del pozo descrito.

5.2 Control de Leyes y Muestreo

A lo largo del periodo de prácticas, se realizaron recorridos diarios en los diferentes sectores de la mina (Figura 26), incluyendo los frentes de explotación activos. Estos recorridos se llevan a cabo con el acompañamiento de dos auxiliares de muestreo, quienes estaban al tanto de las ubicaciones subterráneas y eran responsables de extraer las muestras.

Figura 26

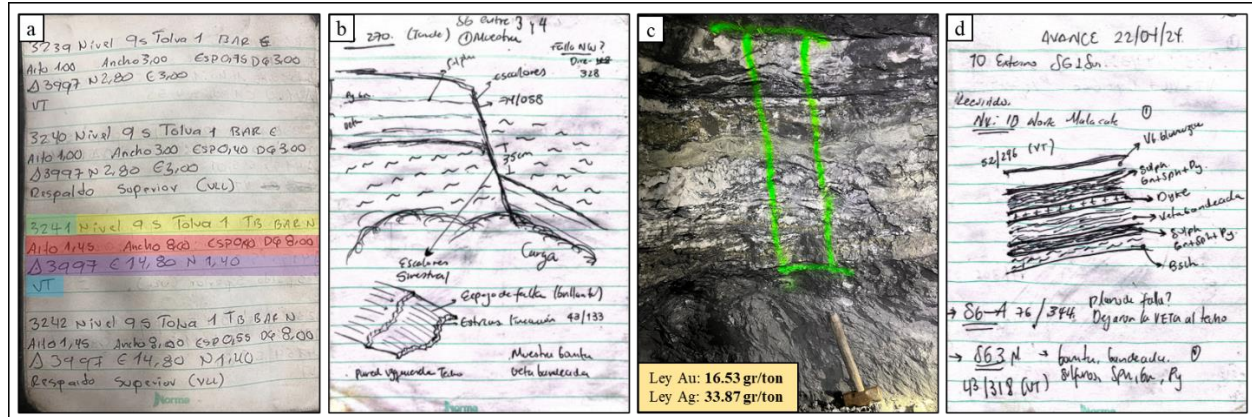
Mapa subterráneo de la mina MEGPL con los diferentes sectores



El objetivo principal de los recorridos era supervisar el muestreo para evitar contaminación y garantizar resultados confiables de Au y Ag. Esto incluía verificar datos registrados como número de muestra, ubicación, dimensiones de la labor, espesor, ubicación topográfica y tipo de estructura (Figura 27a). Además, se documentaba el estado de la estructura mineralizada mediante fotografías y/o esquemas (Figuras 27c y 27d) y se tomaban datos estructurales de vetas y planos de falla si afloraban (Figura 27b).

Figura 27

Registro en libreta de la supervisión de muestreo



Nota: a) Registro del número de muestra (en verde), ubicación (en amarillo), dimensiones (en rojo), y tipo de estructura (en azul) por parte del auxiliar de muestreo; b) Registro en la libreta de una falla desplazando la estructura; c) Veta de cuarzo bandeada con dique intermedio; d) Registro de las características más representativas de la veta con el dique intermedio.

Esta información se presentaba al final de la jornada laboral, en una reunión con el coordinador del departamento de Geología, mostrando fotografías y descripciones de mineralización o anomalías en la estructura, como adelgazamiento de la veta o fallas que la desplazaran. Finalmente, las muestras recolectadas eran entregadas al laboratorio interno de la mina para ser analizadas y tener un resultado de las leyes de Au y Ag. Al día siguiente, estos valores eran analizados entre los integrantes del departamento de Geología para tener un control sobre las variaciones y, a partir de ello, tomar decisiones a corto plazo.

5.3 Supervisión de perforación diamantina

En la mina MEGPL, específicamente en la zona de Francisco (Figura 26), se diseñó un plan de perforación con el objetivo de determinar el comportamiento de la veta más allá de la labor existente. Este plan requería de una orientación e inclinación precisos para llevar a cabo el objetivo

establecido. Por ello, se realizó un seguimiento constante a la dirección e inclinación de la máquina perforadora durante todo el proceso, verificando que se mantuvieran de 165° y 43° , respectivamente (Figura 28).

Figura 28

Supervisión de la máquina de perforación diamantina



Nota: La línea roja en la figura representa la dirección sobre las que los operadores debían dirigir la perforación. Con una brújula se medía constantemente la inclinación de 43° .

5.4. Cartografía Geológica subterránea

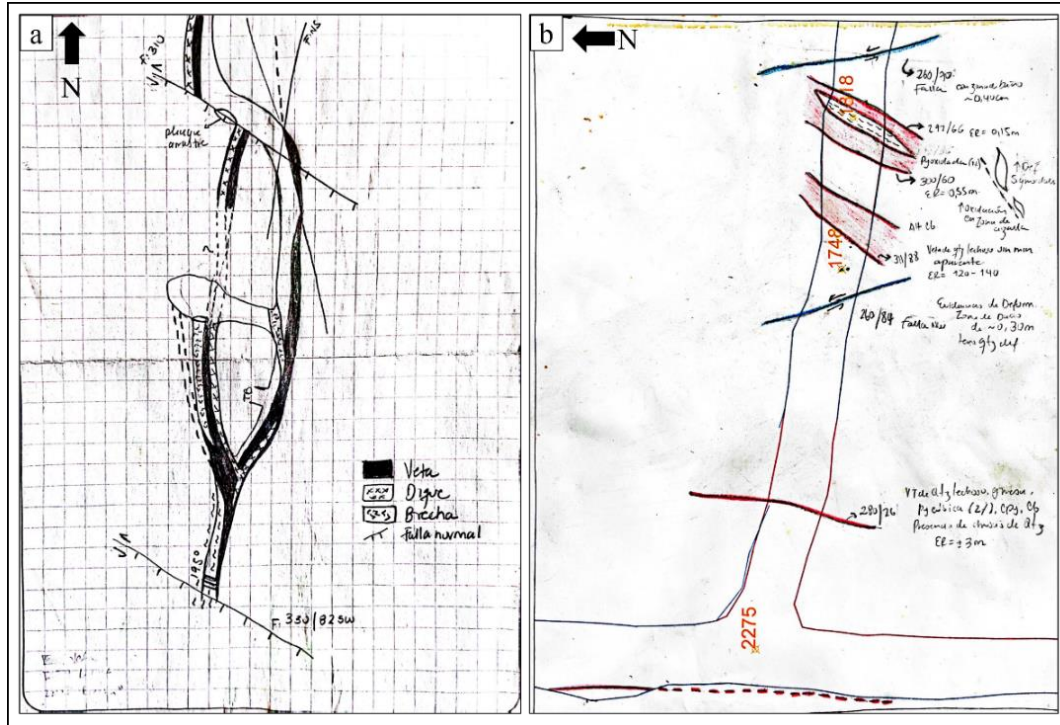
Durante las primeras semanas de la práctica empresarial, se realizaron recorridos continuos, en compañía del geólogo estructural de la mina, para identificar las litologías aflorantes, las características principales de las estructuras mineralizadas, y la influencia de las fallas sobre las vetas.

La Figura 29a es un ejemplo de un análisis realizado sobre la tunelería, en cercanías de la zona de Tambor 270, donde se descubrieron dos fallas locales de tendencia NW asociadas al primer grupo de fallas. Estas desplazan la veta y presentan una cinemática de tipo normal sinestral. En algunos tramos, debido a una falla con orientación NS, la veta se adelgazaba hasta desaparecer en el túnel. A su vez, se lograron distinguir dos vetas distintas: una acompañada por el dique leucoandesítico y otra asociada a una zona de vetilleo en la base. A partir de este reconocimiento, en el área se pudo comprender el juego de las fallas y la importancia de identificar su cinemática para orientar la tunelería según el desplazamiento de la veta.

En el Nivel 5 (Figura 26), se realizó una cartografía geológica subterránea (Figura 29b) para identificar fallas, analizar su cinemática y registrar datos estructurales. Se identificaron tres vetas: una veta occidental masiva con bajo contenido de pirita (2%) y 3 m de espesor; una veta central, sin mineralización aparente, con un espesor promedio de 1.30 m y alteración carbonática; y una veta oriental con vetilleo intermedio, sigmoides de cuarzo, oxidación y una zona de cizalla cerca del plano de falla. Los datos fueron integrados al modelo geológico existente, mejorando la continuidad de las estructuras en niveles superiores.

Figura 29

Cartografía geológica subterránea



Nota: a) Cartografía geológica subterránea cerca de la zona conocida como Tambor 270 escala 1:300; b) Cartografía geológica subterránea a escala 1:100. Los números son los puntos topográficos para la ubicación.

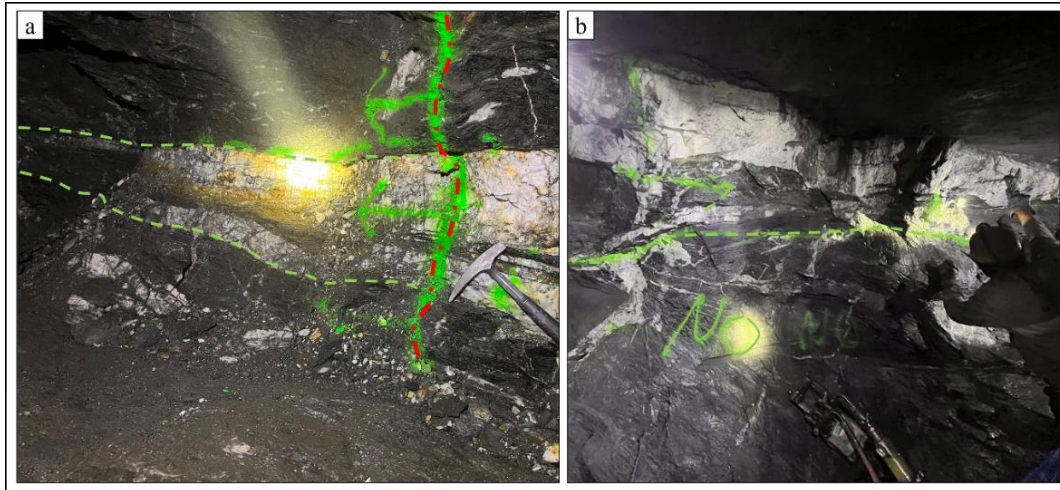
5.5 Direccionamiento de labores

Durante la exploración, se evaluó el área de Tambor 1 (Figura 26), considerada para una nueva etapa de explotación tras haberse detenido previamente por baja ley mineral. Con base en los resultados de muestreo, se seleccionaron bloques con valores de tenor entre 3-5 gr/ton y se marcaron las zonas con mejores valores de oro para guiar las perforaciones (Figura 30). En la Figura 30a se delimita la estructura y se indica la dirección de extracción. Además, en una labor cercana con gran

cantidad de esquistos grafitosos extraído (sin valores de Au), se realizaron marcas claras para optimizar la explotación y evitar material estéril (Figura 30b).

Figura 30

Direccionamiento de labores subterráneas.



Nota: a) Delimitación de la estructura y señalización hacia donde se debe realizar la perforación; b) Se marca con un “NO” la parte del esquistos grafitosos sin mineralización que debe ser ignorada durante la perforación.

5.6 Uso de programas especializados para la visualización de datos

5.6.1 AutoCAD 3D

Durante las prácticas, se tuvo acercamiento hacia la visualización de los datos en programas especializados como Leapfrog Geo y AutoCAD 3D. Uno de los principales usos fue compilar la información recogida durante la fase de exploración de una zona denominada “El Sirpe”, a aproximadamente 5Km de las instalaciones principales de la mina. Durante estos días, junto con el geólogo modelador, se estuvo cartografiando y muestreando la veta que aflora en superficie (Figura 31) de una bocamina anteriormente abandonada. Esto con el fin de conocer los valores de ley y proponer futuros trabajos allí.

Figura 31

Bocamina “El Sirpe”

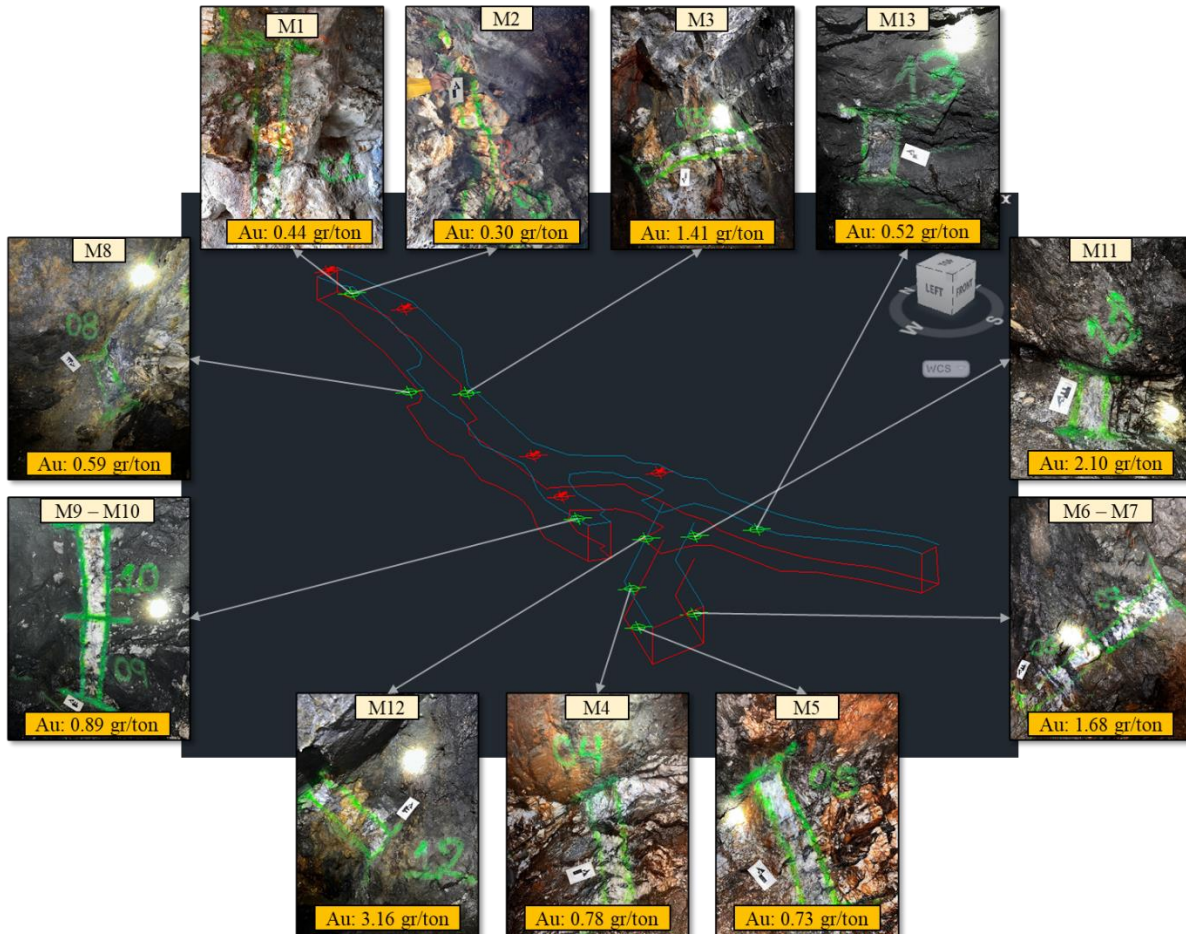


Nota: Veta de cuarzo aflorando en superficie. Hacia el techo de la estructura mineralizada (en amarillo) se encuentra un auxiliar preparando explosivos para su voladura.

La Figura 32 muestra los resultados obtenidos del levantamiento del interior de la mina como plano en AutoCAD 3D, junto con la ubicación de cada muestra, la apariencia de la veta en cada canal y sus respectivos resultados de Au. A partir de ello, fue posible descartar esta zona para trabajos próximos, dado que los valores de tenor de Au no fueron consistentes entre sí. Aunque las muestras M11 y M12 arrojaron resultados superiores a 2 g/t, el promedio de los datos es de 1.15 g/t, lo cual resulta poco prometedor para continuar labores en esta región.

Figura 32

Muestreo y plano interno de la bocamina El Sirpe



Nota: Solo se tuvieron en cuenta los valores de Au; los de Ag se descartaron en este caso.

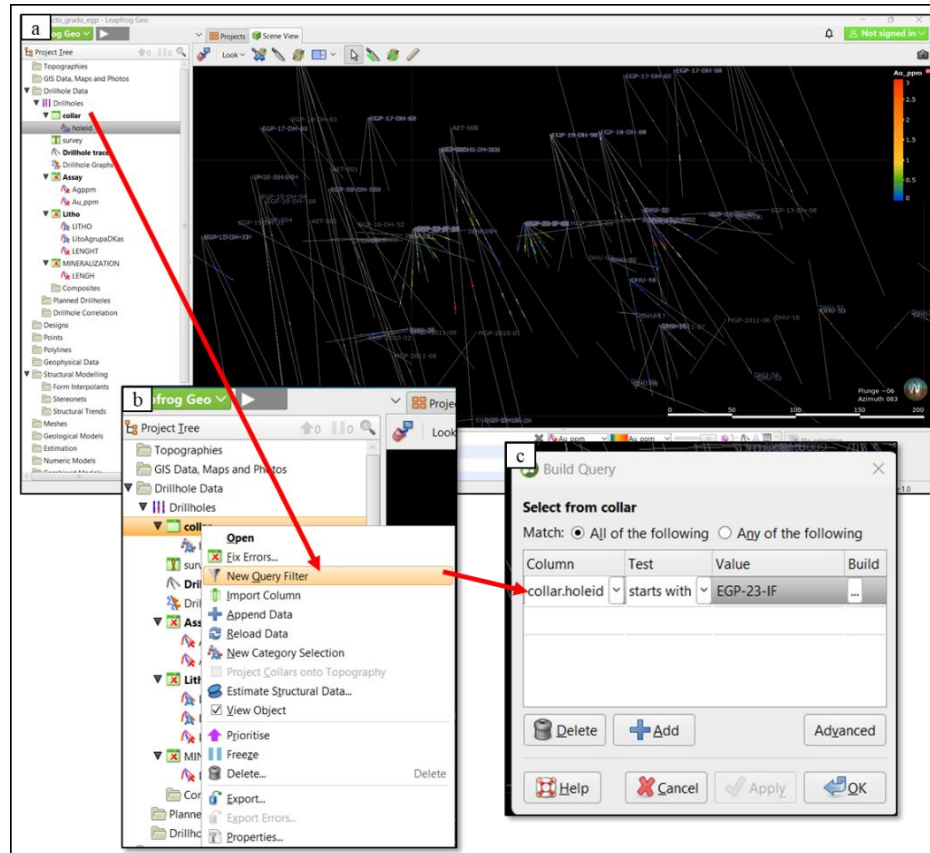
5.6.2 Leapfrog Geo

Este programa es de gran utilidad para visualizar los pozos descritos y llevar registro detallado de los resultados obtenidos. Un ejemplo es el plan de perforación del Bloque Chucula Norte, en el que se requería la visualización de los resultados de Au y Ag, así como la descripción de la litología y su distribución espacial. Para ello, se utilizó la base de datos existente de los pozos hasta el momento descritos y se aplicó un filtro de consulta (*Query filter*) para seleccionar con la

condición “comienza con” EGP-23-IF (Figura 33), y así filtrar los pozos identificados con este plan de perforación.

Figura 33

Filtro de consulta para los pozos de perforación en el programa Leapfrog Geo



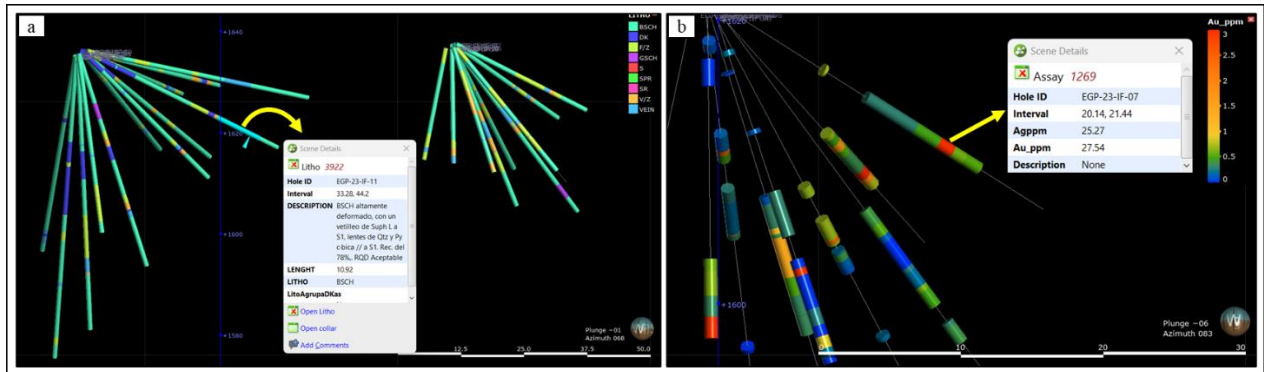
Nota: a) Escena completa en el programa Leapfrog Geo; b) Sobre la carpeta *Collar* (datos de ubicación del pozo) se da clic derecho para seleccionar la opción de *New Query Filter* (nuevo filtro de consulta); c) Condición *Starts with* (comienza con) a la columna del identificador del pozo, y se agrega EGP-23-IF para seleccionar los pozos pertenecientes a este plan de perforación.

Finalmente, se obtuvo la escena con los pozos requeridos (Figura 34), donde es posible diferenciar por colores las características litológicas (Figura 34a), según fueron descritas con

anterioridad en la fase de la descripción de núcleos. También se pueden visualizar los resultados de laboratorio, y distinguir, a partir del rango de colores y leyenda, los mejores tenores (Figura 34b).

Figura 34

Visualización del plan de perforación Bloque Chucula Norte en el programa Leapfrog Geo



Nota: a) Plan de perforación Bloque Chucula Norte completo. Cada color representa una litología distinta. Se selecciona un intervalo con la descripción de un esquisto grafitoso altamente deformado, donde: *Interval* es el intervalo del segmento, *Length* es el espesor de este intervalo, y *Litho* es la litología según la abreviatura previamente mencionada (BSCH); b) Segmentos muestreados. Cada disco cilíndrico contiene el resultado de Au y Ag en partes por millón (ppm), y, según el valor, se ubica en un rango de color donde azul son los valores más bajos y rojo los más altos.

6. Conclusiones

Durante la descripción de núcleos del plan de exploración del Bloque Chucula Sur, se identificó una nueva estructura cuyas características y tendencia no habían sido descritas previamente en el depósito. Esta veta presenta buenos resultados de ley de Au y Ag, otorgando un prospecto interesante para futuros trabajos en la zona.

Las actividades de muestreo y la cartografía realizados brindaron apoyo a las labores de monitoreo de los tenores de oro y plata en las áreas activas de la mina, consolidando una base de datos sólida para la adecuada interpretación posterior por parte de los geólogos modeladores. Además, con cada muestreo realizado y el direccionamiento de frentes durante los recorridos diarios, se tomaron decisiones basadas en criterio propio, lo que contribuyó al fortalecimiento de la confianza personal para asumir nuevos retos profesionales en el futuro.

Gracias a la comprensión del funcionamiento básico para la visualización de los datos en el programa de Leapfrog Geo, se facilitó la identificación de las relaciones entre las distintas unidades litológicas, estructuras y mineralización que serían difíciles de interpretar en 2D. Además, se dieron los primeros pasos en el manejo y construcción de objetos en AutoCAD 3D, utilizados para la representación digital de la distribución espacial interna de la mina y la ubicación de muestras.

Esta experiencia fue muy valiosa para la inmersión hacia la vida laboral, marcando una excelente transición entre lo académico y lo profesional. La orientación recibida durante las prácticas fue clave para establecer vínculos y comprender la dinámica de la empresa, y el rol de un geólogo en este tipo de industria. Finalmente, se aplicaron los conocimientos adquiridos en la academia, para aportar ideas y generar discusiones que favorecieron la toma de decisiones estratégicas en beneficio del desarrollo de la empresa.

Referencias Bibliográficas

- Angée, D. (2022). Origen y evolución de la mineralización aurífera en la mina El Gran Porvenir, Líbano, Tolima (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Barrero, D. & Vesga, C.J. 1976. Mapa geológico del cuadrángulo K-9 Armero y mitad sur del J-9 La Dorada. Scale 1:100 000. Ingeominas. Bogotá.
- Cediel, F., Shaw, R. P., & Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean Block. In C. Bartolini, R. T. Buffer, & J. Blickwede (Eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics* (American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, pp. 815–848).
- Collins, D.E., Benalcazar, G., Page, W.D. (1981). Quaternary activity on the Palestina fault zone, northwestern Colombia. *Revista CIAF*, 6 (1-3): 117. Bogotá.
- Duque, D. (2021). Modelo geológico-estructural de la mineralización vetiforme en la mina El Gran Porvenir del Líbano, usando Leapfrog Geo (Tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Durán, J., (2018). Metallogenic approach of the orogenic gold mineralization present at Líbano, Tolima. Universidad de los Andes.
- Einaudi, M. T. (1997). Mapping altered and mineralized rocks: An introduction to the "Anaconda Method". Stanford University.
- Feininger, T., Barrero, D., y Castro, N. (1972). Geología de Antioquia y Caldas (Subzona II-B). *Boletín Geológico*, 20 (2): 1-173.
- Goldfarb, R. J., & Pitcairn, I. (2023). Orogenic gold: is a genetic association with magmatism realistic? *Mineralium Deposita*, 58(1), 5-35. <https://doi.org/10.1007/s00126-022-01146-8>
- Goldfarb, R. J., et al. (2001). "Orogenic gold deposits: A review of the mineralization processes and genetic models." *Economic Geology*, 96(6), 1113-1132.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., & Hart, C. J. (2003). Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic geology*, 98(1), 1-29.

- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2001). Prevención de desastres glacio-volcánicos e hidro-meteorológicos en las cuencas de los ríos Combeima y Páez, Cordillera Central, Colombia (Departamentos de Tolima, Cauca y Huila): Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima – Ibagué – Tolima. Geología estructural. Ministerio de Minas y Energía.
- Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. PhD dissertation, Universitat de Barcelona.
- López-Isaza, J., Leal-Mejía, H., Luengas Burgos, C. S., Velásquez Cardenas, L. E., Celada Arango, C. M., Sepúlveda Ospina, M. J., Prieto Gómez, D. A., Gómez Casallas, M., & Hart, C. J. R. (2018). Memoria Explicativa Mapa Metalogénico de Colombia: Principios, conceptos y modelos de depósito y manifestaciones u ocurrencias minerales para Colombia.
- Mejía Paba, M. J. (2023). Informe corporativo 2022–2025 de la mina El Gran Porvenir del Líbano [Presentación Prezi]. Presentado el 20 de abril de 2023. Disponible en: https://prezi.com/p/8qajjg_1xg_4/mgpl/
- Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. (2024). Informe de sostenibilidad: Operaciones mineras y aspectos de sostenibilidad ambiental y social [Presentación]. Actualizado al 24 de mayo de 2024.
- Nelson, W., (1962). Contribución al conocimiento de la geología de la Cordillera Central de Colombia, sección entre Ibagué y Armenia. Boletín Geológico Servicio Geológico Nacional, X (1-3): 168- 183. Bogotá.
- Núñez Tello, A. (2001). Memoria explicativa del mapa geológico del departamento del Tolima. INGEOMINAS (Instituto Colombiano de Geología y Minería).
- París, G., Machette, M., Darat, R. and Haller, K. (2000). Map and database of Quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions. USGS (International Lithosphere Program), 61p.
- Pineda, D. (2022). Protocolo de QA/QC (Aseguramiento y Control de Calidad) del Departamento de Geología. Informe técnico. Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A
- Ramírez, D. (2014). Soporte en labores de exploración y explotación de un yacimiento aurífero vetiforme: Mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. Informe de prácticas, Universidad de Caldas.

- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11(3), 189–193.
- Sibson, R.H., Robert, F., and Poulsen, K.H. (1988) High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits: *Geology*, v. 16, p. 551–555.
- Simón, A. (2007). Taller de Aseguramiento y Control de la Calidad en la Exploración Geológica [Manual QA/QC].
- Vergara, H. (1989). Rasgos Neotectónicos en el noreste del departamento del Tolima. *Boletín Geológico, INGEOMINAS*, 30(1): 1-113. Bogotá.