



**SOPORTE Y ASISTENCIA A LABORES DE EXPLOTACIÓN EN
LA MINA LA MARUJA DE LA COMPAÑÍA CALDAS GOLD,
DISTRITO MINERO MARMATO, DEPARTAMENTO DE
CALDAS**

LUIS MIGUEL GALVIS DUQUE

Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología
Manizales, Colombia
2021



**SOPORTE Y ASISTENCIA A LABORES DE EXPLOTACIÓN
EN LA MINA LA MARUJA DE LA COMPAÑÍA CALDAS
GOLD, DISTRITO MINERO MARMATO, DEPARTAMENTO
DE CALDAS**

LUIS MIGUEL GALVIS DUQUE

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:
Geólogo

Director (a):

Geól. Jimmy Alexander Torres Giraldo

Codirector (a):

Víctor Javier Flórez Toro

Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología
Manizales, Colombia
2021



Dedicatoria

“Dedico este trabajo a mi madre, por su apoyo incondicional y paciencia, a pesar de las adversidades siempre brindó una voz de aliento para continuar en este arduo trasegar y motivó a luchar por mis metas, a ella toda mi gratitud, es la responsable de este logro y forjar una persona humilde con valores.”

Agradecimientos

A mi madre Olga Lucía Duque Jiménez, sin duda alguna su apoyo ha sido determinante a lo largo de todo este proceso y por haber brindado la oportunidad de llegar a este punto de mi vida.

Al docente Jimmy Torres por su orientación en momentos cruciales de mi formación profesional, por las observaciones y aportes en el desarrollo del proyecto de grado.

A Juliana España Villota y familia por su constante apoyo y compañía en esta etapa de mi vida.

A mis amigos Jorge Flórez Meza y Sergio Gómez Gómez, por brindar asesoría, sus consejos y estar siempre prestos a aportar en mi proceso tanto personal como académico.

A la compañía Caldas Gold, al grupo de Geología de mina, en especial a mis amigos Alejandro Suárez Gómez, Diego Alejandro Vargas Cardona y Ober de J. Ayala Giraldo, por todos sus aportes en el desarrollo de la práctica, tener la mejor disposición en el momento de resolver inquietudes, desde un principio fue gran apoyo en la realización de este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros que hicieron parte de esta etapa que culmina, tendrán de mi parte siempre una amistad.

A la Universidad de Caldas, por la formación profesional y personal.



Resumen

En el presente informe se hace un recuento de las labores realizadas como practicante en el área de geología en la empresa Caldas Gold Corp, en la mina La Maruja-Marmato, Caldas, en donde se describen las actividades ejecutadas, tanto de trabajo en campo como en oficina. Este trabajo tuvo como objetivo principal brindar apoyo a las labores de explotación que se llevan a cabo al interior de mina. Durante el desarrollo de la práctica las actividades realizadas fueron supervisión a los muestreos al interior de mina, descripción y muestreo a testigos de perforación diamantina dentro de los estándares de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC), validación de la información obtenida a partir de los muestreos y cartografía geológica subterránea. Adicionalmente, mediante el *software* Leapfrog se construyeron modelos 3D para una mejor correlación e interpretación de las estructuras.

Palabras clave: Marmato, explotación, muestreo.



Abstract

This report describes the work performed as an intern in the area of geology at Caldas Gold Corp, in the mine La Maruja-Marmato, Caldas, describing the activities carried out, both in the field and in the office. The main objective of this work was to provide support to the exploitation work carried out inside the mine. During the development of the internship, the activities performed were supervision of sampling inside the mine, description and sampling of diamond drill cores within the standards of Quality Assurance and Quality Control (QA/QC), validation of the information obtained from the sampling and subway geological mapping. Additionally, 3D models were built using Leapfrog software for a better correlation and interpretation of the structures.

Key words: Marmato, exploitation, sampling.



Tabla de contenido

- RESUMEN¡Error! Marcador no definido.
- 1. INTRODUCCIÓN8
- 2. OBJETIVOS9
 - 2.1. Objetivo General9
 - 2.2. Objetivos Específicos.....9
- 3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO10
 - 3.1. Localización10
- 4. MARCO GEOLÓGICO13
 - 4.1. Geología Regional13
 - 4.2. Geología Local.....15
 - 4.3. Geología Estructural19
 - 4.4. Descripción del Depósito22
 - 4.4.1. Mineralización y alteración22
- 5. METODOLOGÍA.....27
 - 5.1. Revisión Bibliográfica.....27
 - 5.2. Trabajo de Campo27
 - 5.2.1. Perforaciones Geología de Mina27
 - 5.2.2. Labores Subterráneas27
 - 5.3. Trabajo de Oficina.....28
 - 5.4. Elaboración del Informe Final.....28
- 6. ACTIVIDADES GEOLOGÍA DE MINA Y RESULTADOS29
 - 6.1. Muestreo de Canal (Channel Sampling)29
 - 6.1.1. Cálculo de tenor en muestras de canal y pozo41



- 6.2. Perforaciones de pozos diamantinos46
 - 6.2.1 Revisión de Cajas Porta-testigos y Recuperación48
 - 6.2.2. Descripción y Análisis de Núcleos de Perforación (Geological Logging).....51
 - 6.2.3. Muestreo de Núcleos de Perforación.....54
 - 6.2.1. Correlación de estructuras geológicas a partir de perforaciones diamantinas..62
- 6.3. Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC)67
 - 6.3.1. Inserción de Muestras de Control de Calidad67
- 6.4. Cartografía Geológica Subterránea.....72
- 6.5. Construcción de Modelo de Estructuras de la mina La Maruja.....79
- CONCLUSIONES.....84
- RECOMENDACIONES86
- REFERENCIAS.....87



1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto Marmato de la compañía Caldas Gold Corp, localizado en el Municipio de Marmato al noroccidente del Departamento de Caldas, realiza trabajos de exploración y explotación de recursos minerales auríferos, en la zona baja que corresponde al título de su propiedad. El depósito de Marmato consiste en un sistema de vetas controlado estructuralmente y emplazadas en el *Stock* de Marmato, presenta rasgos estructurales que corresponden a fallas y diaclasas con una tendencia general NW-SE a E-W y buzamientos subverticales a verticales. Presenta mineralización enriquecida en sulfuros dominada por pirita, arsenopirita, esfalerita, pirrotina, calcopirita y Au electrum en la Zona Alta, y un sistema de venillas de cuarzo con pirrotina, calcopirita, bismuto y oro libre ocurre en la Zona Baja (Santacruz R. *et al.*, 2021). Este depósito es asociado al Cinturón del Cauca Medio del Mioceno tardío de tendencia general en sentido N-S, se encuentra distribuido a lo largo de 250 km y cuenta con recursos minerales estimados de 63 Moz de Au y 10.200 millones de libras (4,6 Mt) de Cu en 11 yacimientos, así como numerosos prospectos minerales (Shaw *et al.*, 2019).

La minería moderna abarca una serie de labores que deben ser apoyadas por las áreas de geología de mina, entre las que se destacan el control y marcación de frentes de producción y desarrollo, cartografía geológica subterránea, descripción y muestreo de núcleos de perforación diamantina, construcción de modelos de estructuras (vetas, fallas), entre otras. Estas labores son la base fundamental para que las áreas de producción y desarrollo de la mina, planifiquen y ejecuten mejor sus actividades en el yacimiento.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar práctica y prestar asistencia a las labores de explotación que se llevan a cabo en la mina La Maruja, Distrito Minero Marmato, Departamento de Caldas.

2.2. Objetivos Específicos

- Supervisar y brindar acompañamiento a los muestreos que se llevan a cabo en las diferentes labores subterráneas.
- Describir y realizar muestreo a testigos de perforación con el fin de determinar nuevas zonas de interés.
- Actualizar cartografía geológica al interior de la mina La Maruja a escala 1:250.
- Emplear herramientas *software* 3D como Leapfrog para una mejor correlación e interpretación de un modelo de estructuras.



3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito Minero Marmato (DMM) es reconocido por la cantidad de recursos minerales y su potencial en el desarrollo de procesos extractivos. Se tiene un registro histórico de las actividades mineras de explotación aurífera desde la Época de la Conquista enmarcado bajo la modalidad de minería tradicional a pequeña escala en la zona alta. Actualmente la compañía Caldas Gold Corp (CGC) realiza labores de exploración y explotación en el título de su propiedad que comprende la zona baja.

3.1. Localización

El Proyecto Marmato de la compañía CGC, se encuentra localizado en el noroccidente del Departamento de Caldas, Municipio de Marmato, en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de Colombia, vertiente occidental del río Cauca, aproximadamente a 46 km en línea recta de la ciudad Manizales (**Figura 1**).

La zona de estudio se encuentra entre las coordenadas:

Longitud: 75°34'46" W y 75°37'80" W

Latitud: 5°28'24" N y 5°28'55" N



LOCALIZACIÓN

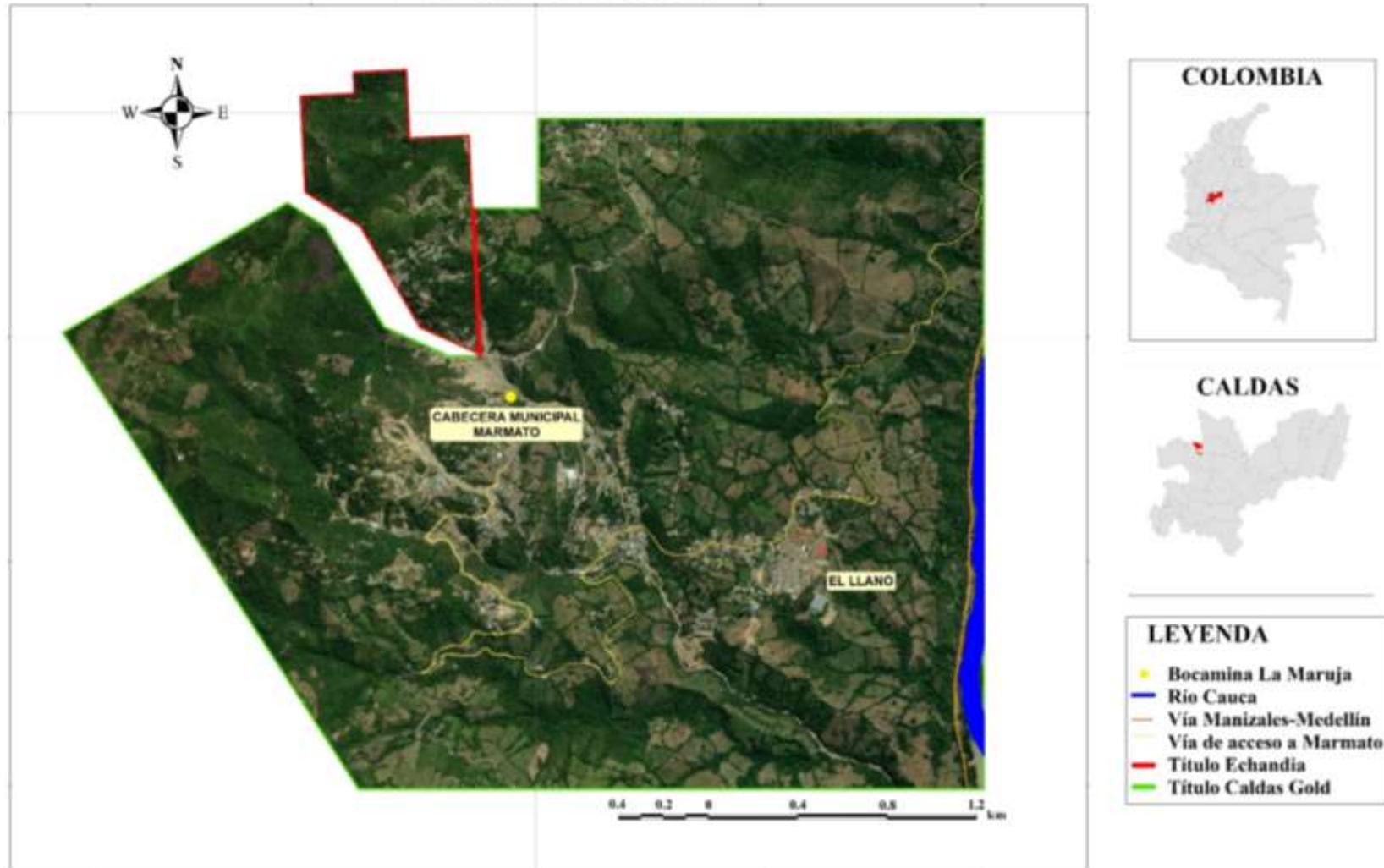


Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto Marmato, Polígono del Título. Tomado y modificado de Caldas Gold Corp (2021). El punto amarillo en el mapa corresponde a la Bocamina principal de la mina La Maruja.



4. MARCO GEOLÓGICO

4.1. Geología Regional

El área de estudio se encuentra dentro del Terreno Romeral que forma parte del dominio de Terrenos del Pacífico, terrenos de afinidad oceánica que fueron acrecionados al margen occidental de Colombia desde el Cretácico dando origen a la Cordillera Occidental (Cediel, 2011). El Terreno Romeral, limitado por la falla Romeral en el flanco oriental y la falla Cauca en el flanco occidental, es considerado un “mélange oceánico”, compuesto por complejos máficos a ultramáficos metamorfoseados, asociados a secuencias de ofiolíticas y sedimentos oceánicos que van desde el Jurásico al Cretácico Temprano (**Figura 2a**) (Shaw *et al.*, 2019). La parte norte de la Cordillera Central colombiana está formada por el Complejo Arquía, esta unidad litodémica es limitada al oriente por la falla Silvia- Pijao que la pone en contacto con el Complejo Quebradagrande, y al occidente por la falla Cauca- Almaguer, la cual corresponde a la zona de sutura con los terrenos de afinidad oceánica que conforman la Cordillera Occidental colombiana (Maya & González, 1995 en Rodríguez & Zapata, 2014), por relaciones de campo es inferida una edad Paleozoica para este Complejo (Nivia *et al.*, 2006; Gómez-Cruz *et al.*, 2007 en Ruíz-Jiménez *et al.*, 2012). El Complejo Arquía se propone como una mezcla tectónica de bloques de diferentes orígenes y edades, formados durante el proceso de colisión arco- continente (Moreno-Sánchez & Pardo-Trujillo, 2003 en Ruíz-Jiménez *et al.*, 2012), constituido por metabasaltos, anfibolitas, serpentinitas, esquistos grafitosos, esquistos biotíticos, esquistos sericíticos y esquistos cloríticos. Estos se encuentran parcialmente cubiertos por sedimentos continentales de la Formación Amagá del Oligoceno al Mioceno inferior, conglomerados, lodolitas y areniscas con mantos de carbón. La Formación Combia del Mioceno tardío, una sucesión volcanoclástica de gran espesor con un Miembro inferior compuesto por flujos de lava de composición basáltica y andesítica, aglomerados y tobas, y un

Miembro superior de conglomerados, areniscas y tobas, esta unidad suprayace la Formación Amagá (Durán, 2005). El vulcanismo es contemporáneo a los cuerpos intrusivos del Mioceno Tardío y la mineralización de oro como se puede evidenciar en el DMM (**Figura 2b**)(Tassinari *et al.*, 2008; Shaw *et al.*, 2019). El Stock de Marmato está compuesto por rocas subvolcánicas porfíricas dacíticas y andesíticas. Las andesitas porfíricas afloran a lo largo del borde del stock, mientras que las dacitas porfíricas aparecen en la parte central del cuerpo, exhibiendo contactos graduales entre estos dos tipos de composición (Tassinari *et al.*, 2008).

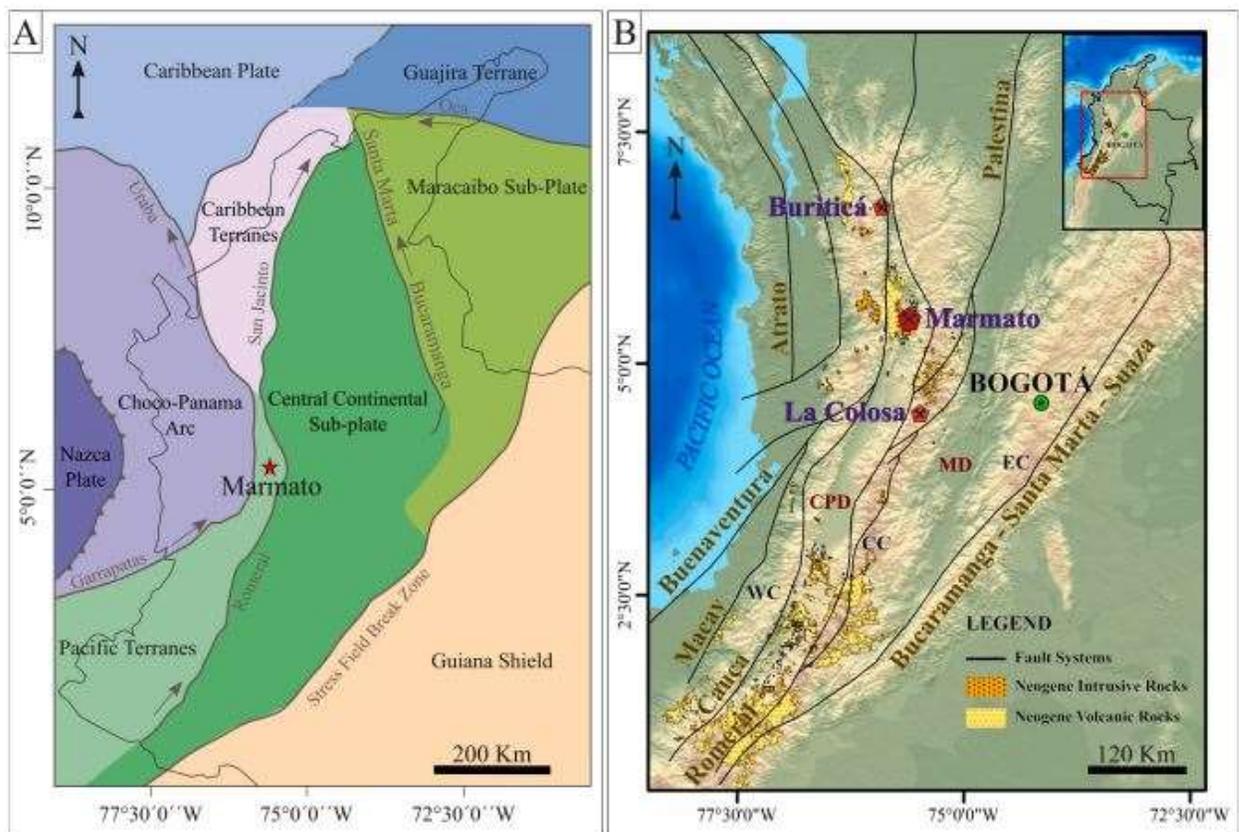


Figura 2a. Mapa de los principales terrenos de Colombia, modificado de Cediell, 2011; b. Magmatismo Neógeno Cordillera Occidental de Colombia, depósitos minerales asociado, modificado de Gómez *et al.* (2015).



4.2. Geología Local

El depósito de oro de Marmato está emplazado en rocas subvolcánicas pertenecientes al *Stock* de Marmato, tiene una longitud aproximada de 18 km y ancho de 3 a 6 km, este se encuentra elongado con una tendencia general N-S (Calle & González, 1982). En el flanco oriental del río Cauca está intruyendo al Complejo Arquía y la Formación Amagá, y en el flanco occidental a la Formación Combia. En el *Stock* de Marmato, se presentan un conjunto de cuerpos comagmáticos, donde han sido identificados cinco pulsos principales, estos fueron definidos con base en relaciones de corte por medio del registro de testigos de perforación y se han denominado de P1 a P5, de más antiguo a más joven, respectivamente. Las edades de estas intrusiones han sido recientemente reportadas entre 6.58 ± 0.07 Ma a 5.74 ± 0.14 Ma, por medio de Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) utilizando el método de datación U-Pb en circón (SRK Consulting Inc, 2020) (**Figura 3**).

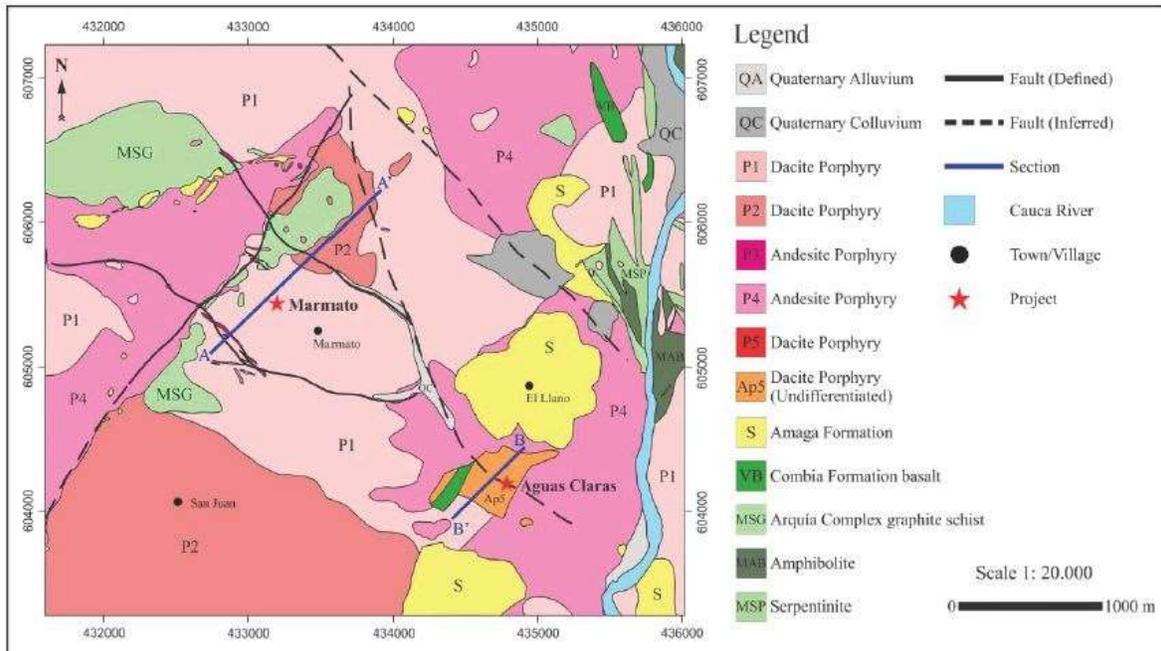


Figura 3. Mapa geológico local, en donde se puede apreciar el Stock de Marmato con sus diferentes cuerpos intrusivos y la relación con las demás unidades presentes en la zona de estudio; Tomado de SRK Consulting Inc. (2020).

Dentro de este conjunto de pulsos magmáticos, se tiene un cuerpo P1 que corresponde a una dacita porfírica, caracterizada por grandes fenocristales de cuarzo β de más de 7 mm, considerado el primer evento y el que alberga la mayor parte de la mineralización. Está cortado por la intrusión P2 que corresponde a una dacita con textura porfírica, cuarzoes de menor tamaño y menor cantidad de fenocristales. Enseguida se tiene un P3 presentado en forma diques andesíticos con megacristales de plagioclasa de más de 10 mm, y atraviesan a los cuerpos P1 y P2. Luego un cuerpo P4, catalogado como el cuerpo principal del sector de Echandia, una andesita de textura porfírica que corta a P1, P2 y P3, y se caracteriza por fenocristales de plagioclasa de grano medio. Finalmente, hacia el sur del depósito, se encuentra P5, considerado como el último pulso magmático, diques dacíticos que cortan a P1, se evidencia textura masiva, irregular, hipocristalina, con pequeños cristales euhedrales de cuarzo y fenocristales alargados de plagioclasa de hasta 10 mm de longitud. Este evento fue definido mediante una campaña de sondajes para este cuerpo (Melo-Gómez, 2017)

[REDACTED]

A partir de las observaciones realizadas en las actividades de logueo geológico, se evidencia que la litología descrita coincide con lo planteado por diversos autores respecto al Stock de Marmato y sus diferentes cuerpos intrusivos, es de anotar que en el desarrollo de esta práctica, no se logró identificar el evento magmático denominado P5 (Figura 4).

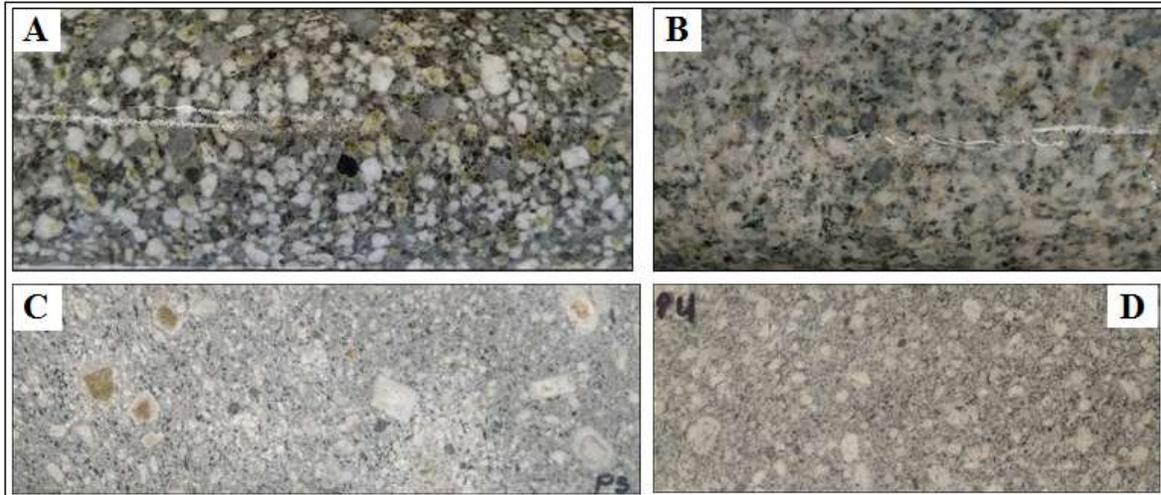


Figura 4. Fotografías de testigos de perforación de los diferentes cuerpos intrusivos que componen el Stock de Marmato, a. P1: Dacita porfirítica, b. P2: Dacita porfirítica, c. P3: Andesita porfirítica y d. P4: Andesita porfirítica; Caldas Gold Corp (2021).





4.3. Geología Estructural

Las tendencias estructurales dominantes NW-SE y E-W de las vetas presentes en el depósito de Marmato se interpretan como el resultado de los esfuerzos tectónicos regionales y pueden haberse formado como fracturas tensionales relacionadas con la compresión NW-SE y el movimiento sinextral en las fallas Cauca y Romeral de tendencia general N-S que se encuentran a ambos lados del depósito. Starling (2010) elabora un reporte técnico de la geología local y regional con el objetivo de definir un modelo estructural-hidrotermal para el depósito de Marmato, en donde se evidencian tendencias estructurales que van de NNW-SSE a E-W subverticales, con vetas ricas en sulfuros emplazadas en un complejo de pórfidos del Mioceno Tardío con tendencia N-S. El conjunto de cuerpos intrusivos subvolcánicos intruyen rocas metamórficas del Paleozoico y Mesozoico, y sucesiones sedimentarias adyacentes al margen oriental del Terreno Romeral, acompañada de una compresión WNW-ESE a NW-SE. Esto dio lugar a estructuras de cabalgamiento y transpresión de tendencia N-S junto con zonas de fallas conjugadas NW-SE y NE-SW. Dentro de este estudio se reconoce principalmente una compresión WNW-ESE que reactivó algunas de las estructuras del basamento y generó una serie de estructuras de cizallamiento y extensionales de segundo orden a lo largo de las tendencias NNW-SSE a E-W, así como fallas inversas de disposición NNE-SSW. Los principales sistemas de fallas del DMM son el sistema Pantanos (Tendencia NW-SE), Criminal (Tendencia E-W) y El Obispo (Tendencia NNE-SSW) (Jiménez-Hincapié, comunicación personal, enero de 2021), y se encuentran relacionados a las mineralizaciones presentes en el depósito. El conjunto de estructuras con tendencia NNE-SSW de buzamientos variables parecen representar diferentes componentes de un sistema de fallas inversas (Falla El Obispo) (**Figura 5**). Tanto las vetas WNW-ESE como las E-W tienden a separarse de las estructuras principales NW-SE, lo que es coherente con los componentes de cizallamiento extensional y sistema Riedel de componente sinextral. Los indicadores cinemáticos muestran que la mineralización acompañó a una fase de compresión orientada del WNW- ESE



(Starling, 2010), y estas han sido interpretadas como un evento coetáneo durante la acreción del Arco Panamá – Chocó a lo largo del margen occidental de la Cordillera Central colombiana (Tassinari *et al.*, 2008).

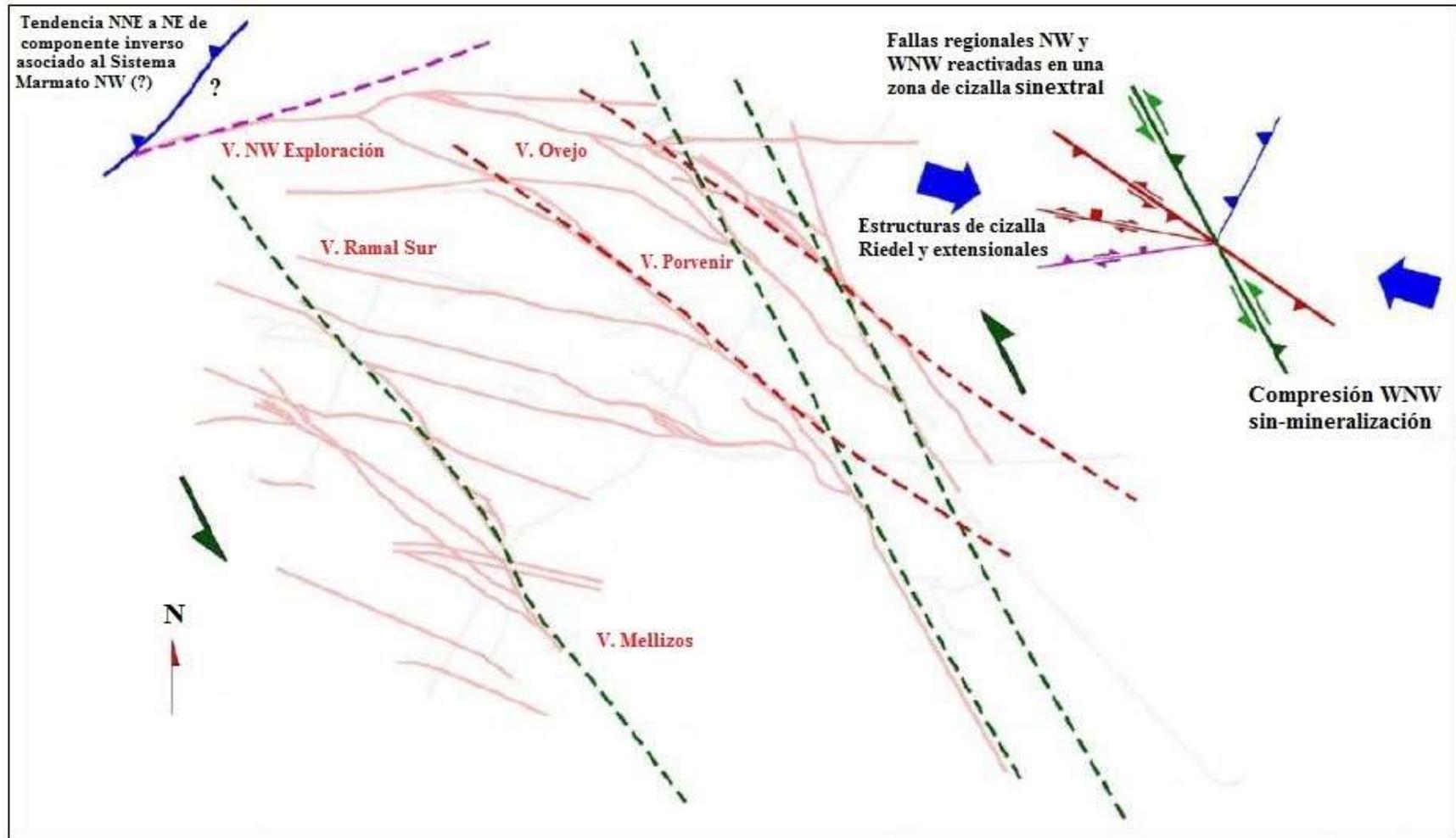


Figura 5. Interpretación estructural de las principales vetas en el depósito de Marmato. Tomado de Starling (2010).



4.4. Descripción del Depósito

Santacruz R. *et al.* (2021) describen al Proyecto Marmato como un híbrido entre un depósito tipo pórfido y Reduced Intrusion-Related Gold Systems (RIRGS) con rasgos epitermales de intermedia a baja sulfuración a niveles poco profundos. Consiste en un sistema de vetas subverticales controladas estructuralmente, emplazadas en el *Stock* de Marmato. Se encuentran en uno de los principales cinturones de Au-Cu de Colombia, el Cinturón del Cauca Medio, y están asociados a un arco magmático del Mioceno Tardío; presenta una continuidad a lo largo de 250 km de longitud que cuenta con recursos minerales de 63 Moz de Au y 10.200 millones de libras (4,6 Mt) de Cu en 11 yacimientos, así como numerosos prospectos minerales (Shaw *et al.*, 2019).

4.4.1. Mineralización y alteración

La mineralogía y el estilo de mineralización varían a lo largo de 1.400 m verticalmente y están abiertos en profundidad en el depósito de Marmato (Santacruz R. *et al.*, 2021). Se han identificado tres zonas: 1) una Zona Baja desde los 900 a 200 m.s.n.m, caracterizada por vetas y venillas de cuarzo con pirrotina, calcopirita, bismuto, oro nativo y electrum; 2) una Zona de Transición entre 900 y 1100 m.s.n.m, donde las Zona Baja y Alta se superponen; y 3) una Zona Alta desde los 1100 a 1600 m.s.n.m compuesta de vetas de sulfuro con pirita, esfalerita, arsenopirita, galena, oro electrum y oro nativo en menor proporción (**Figura 6**).

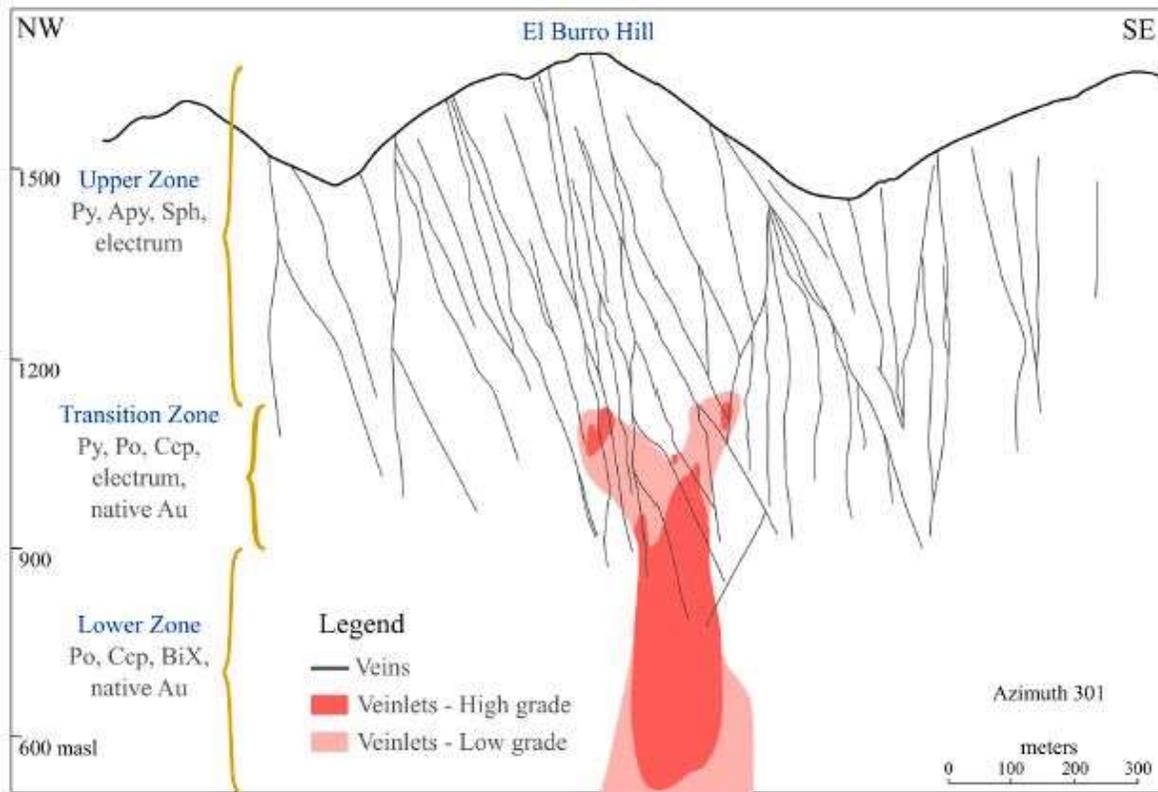


Figura 6. Sección transversal del depósito de Marmato con orientación NW-SE, se muestran las principales zonas, estructuras y asociaciones minerales; Tomado de Santacruz R. et al. (2021).

Se ha definido una paragénesis de la mineralización en cuatro etapas a partir de las relaciones de corte de las estructuras. La primera etapa de mineralización conformada por la Zona Baja y se considera más antigua que las etapas intermedias y posteriores que ocurren en las Zonas de Transición y Alta. El enriquecimiento supergénico es limitado.

Etapa temprana: La Zona Baja se caracteriza por vetas que atraviesan el pórfido dacítico P1 y localmente esquistos grafitosos con alteración generalizada de biotita y albita-epidota-actinolita (sódica-cálcica) (**Figura 7a**). Hay dos tipos de estilos de mineralización: a) venillas y venas de biotita con cuarzo y pirrotina; b) venas y venillas de cuarzo con pirrotina, calcopirita, bismuto, oro nativo, electrum menor cantidad, clorita y epidota, y un halo de alteración de albita (**Figura 7b**).

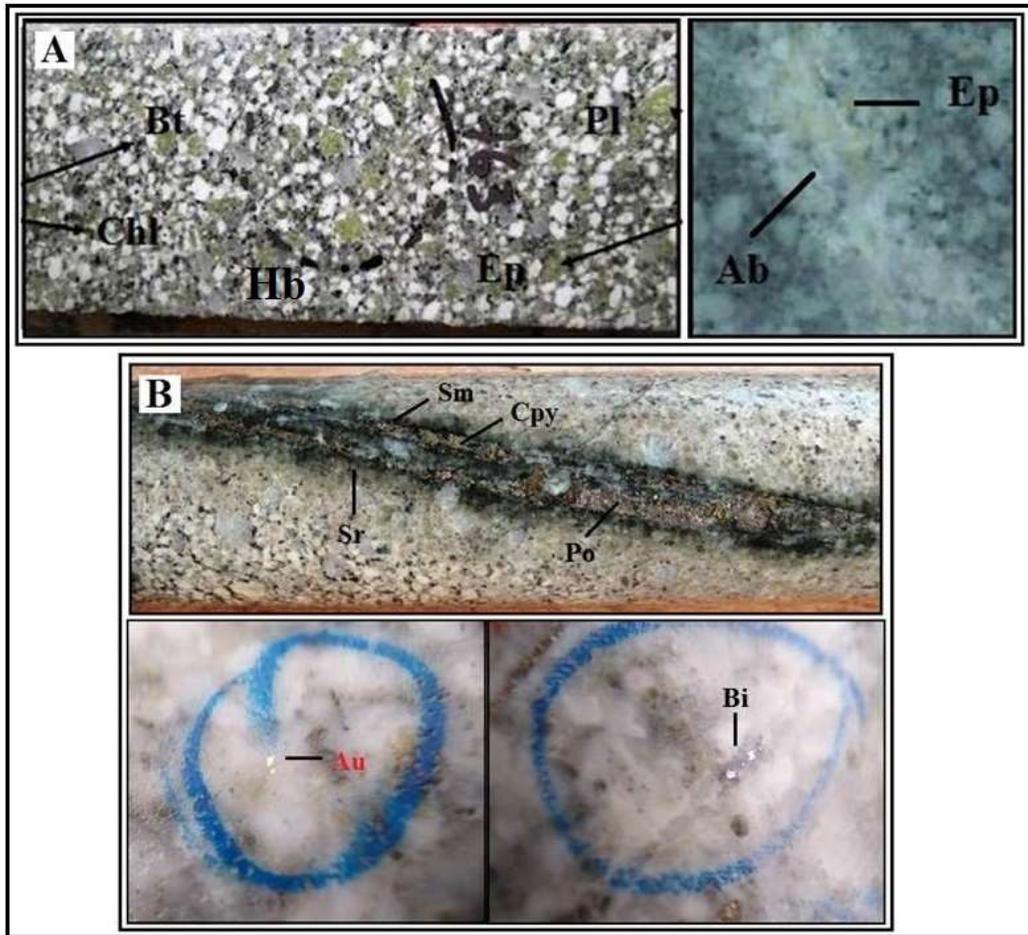


Figura 7a. Biotita cloritizada y hornblenda; alteración propilítica de epidota-clorita, alteración sódico-cálcica de albita-epidota; b. Venilla mesotermal de cuarzo, calcopirita, pirrotina, bismuto y oro libre con halo de alteración sericita-esmectica en P1. Biotita (Bt), Clorita (Chl), Hornblenda (Hb), Plagioclase (Pl), Albita (Ab); Bismuto (Bi) y Oro (Au).

Etapa intermedia: La Zona Alta comprende vetas ricas en sulfuros que cortan los pórfidos de P1 a P4 y esquistos grafitosos con cuarzo, carbonatos y adularia en menor proporción con piritita, esfalerita, arsenopirita, galena, pirrotina, calcopirita, electrum y menor contenido de oro nativo (**Figura 8**).

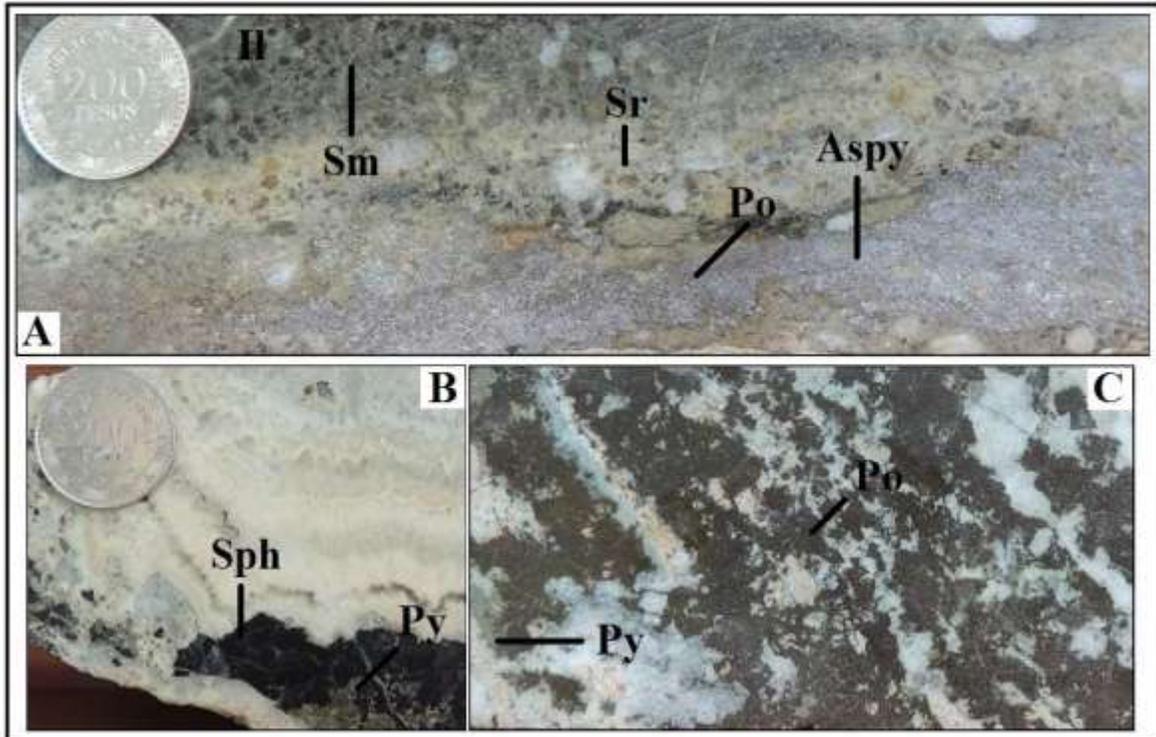


Figura 8. Mineralización característica de la etapa intermedia; a. Vena de arsenopirita y pirrotina con alteración en estructura de sericita-esmectita y sericita-illita en P1; b. Esfalerita variedad marmatita y pirita en venas; c. Estructura de veta compuesta por pirrotina y pirita. Illita (II), Esmectita (Sm), Sericita (Sr), Pirrotina (Po), Pirita (Py), Arsenopirita (Aspy) y Esfalerita (Sph).

Las estructuras atraviesan una alteración temprana penetrante de epidota-clorita-carbonatos y tienen halos de illita-esmectita, con sericita-esmectita (**Figura 9**).

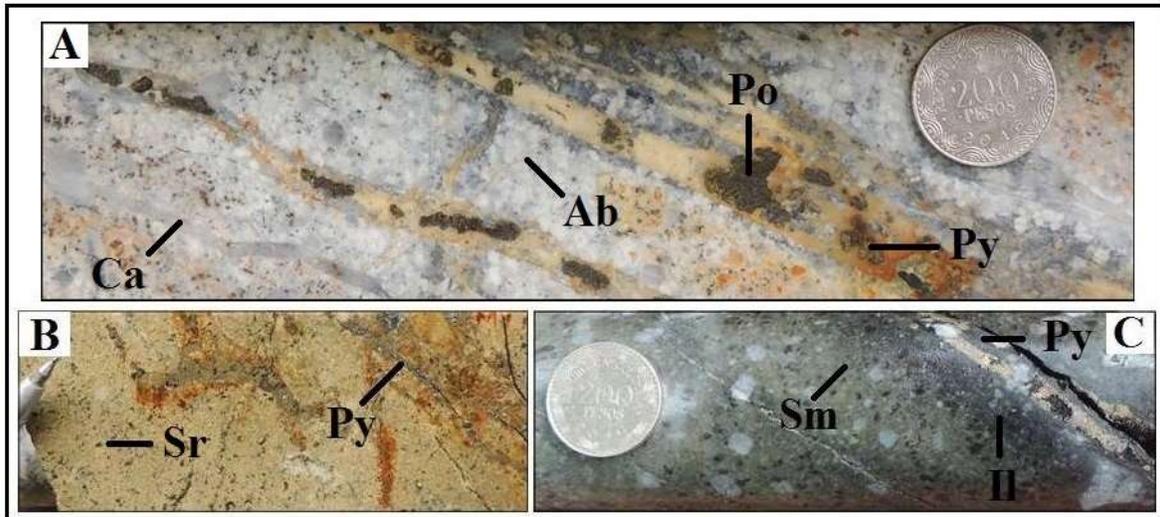


Figura 9. Alteraciones hidrotermales presentes en el depósito de Marmato en muestra de mano; a. albitización en estructura, venillas de pirita y pirrotina secundaria en P1; b. Sericita de tipo pervasivo fuerte en venillas de pirita; c. Alteración moderada de esmectita-illita en estructura, venillas de pirita en P1. Calcita (Ca), Albita (Ab), Pirrotina (Po), Pirita (Py), Sericita (Sr), Esmectita (Sm) e Illita (Il).

Etapa tardía: En este evento se depositaron carbonatos en las vetas de la etapa intermedia en la Zona Alta de poca a nula en concentración de sulfuros y oro.

Etapa Supergénica: Se presenta en las zonas Alta y de Transición con la oxidación de los sulfuros a hematita y jarosita, y la depositación de covelina y calcosina supergénicas menores.

Melo-Gómez (2017) identifica tres alteraciones de origen hidrotermal relacionadas a la mineralización de la Zona Baja y formadas durante una etapa temprana de mineralización; la primera es una alteración propilítica de clorita y epidota con pirrotina diseminada que cubre la mayor parte del cuerpo, la segunda es una alteración potásica leve en vetillas y diseminado de biotita secundaria que se intensifica hacia las zonas más profundas indicando mayores temperaturas, y por último, una alteración formada por albita y moscovita formando halos en vetillas de cuarzo, pirrotina, bismuto, clorita y epidota; posteriormente se registra un evento de baja sulfuración.



5. METODOLOGÍA

Los trabajos referentes a la geología de mina se llevaron a cabo en diferentes lugares de los niveles de la mina La Maruja, según la necesidad existente en el momento, sin centrarse totalmente en alguna zona en específico. Para lograr los objetivos planteados, se elaboró y ejecutó un plan de trabajo que consistió en las siguientes etapas:

5.1. Revisión Bibliográfica

En esta fase se hizo una búsqueda, organización e interpretación de información geológica existente sobre el área de interés.

5.2. Trabajo de Campo

Las actividades llevadas a cabo durante la práctica académica, la cual tuvo lugar desde el 23 de septiembre del 2020 hasta el 22 de marzo del 2021, serán descritas a continuación:

5.2.1. Perforaciones Geología de Mina

Se llevó a cabo la descripción y muestreo de núcleos de perforación para análisis químico de Au y Ag en el laboratorio interno de la compañía. Aproximadamente se describen 1507 metros de perforaciones distribuidos en 24 pozos de diámetro BQ.

5.2.2. Labores Subterráneas

Se realizó supervisión a los muestreos de canal en cruzadas, guías, sobreguías, paneles y tambores. Estas muestras fueron procesadas por el laboratorio interno de la compañía, en donde se obtuvo un valor ponderado de Au y Ag para cada abscisado con su ancho de muestreo.



Con el fin de obtener una visión general de la geología al interior de mina, se realizaron cartografías geológicas subterráneas a escala 1:250. Se describieron las principales características de las estructuras de interés existentes tales como vetas, venillas y venas, prestando importancia a los espesores, distribución y abundancia de la mineralización, descripción de litología, composición mineralógica y tipo de alteración hidrotermal presente. También se lograron identificar tendencias de rasgos estructurales como fallas, zonas de cizalla y fracturamiento (diaclasas). Esta actividad fue complementada con los controles de frentes, supervisión de las diferentes labores de desarrollo y producción que se ejecutan en el proceso minero.

5.3. Trabajo de Oficina

Esta etapa consistió en validar la información de los muestreos tomados por los auxiliares al interior de mina y de pozos tanto de producción como exploración. Por otro lado, después de haber sido verificada la información fueron ingresados los muestreos a la base de datos (Control de Muestreo). En el caso de los pozos exploratorios, el muestreo también se registra en un archivo denominado Cálculo de Muestreo. Se realizaron cálculos de tenores ponderados a partir de los resultados obtenidos de los muestreos. Fueron digitalizados en AutoCAD Civil 3D los planos de la cartografía geológica subterránea, y se construyó un modelo de estructuras en el *software* Leapfrog a partir de la base de datos que registra los resultados de muestreos realizados al interior de mina.

5.4. Elaboración del Informe Final

Luego de procesar y evaluar la información obtenida se llevó a cabo la redacción y edición del informe final para ser entregado.



6. ACTIVIDADES GEOLOGÍA DE MINA Y RESULTADOS

El geólogo de mina tiene como función principal recolectar información geológica relevante para la toma de decisiones en la planificación y procesos de explotación, brindar apoyo, asesoría y participar activamente de los planes de desarrollo y producción. Dentro de sus labores, hay un conjunto de actividades indispensables que se deben realizar, como el manejo de base de datos, supervisión y control de frentes de explotación, cartografía geológica subterránea, muestreos geológicos, elaboración de mapas geológico-estructurales y descripción de testigos de perforación, aportando información muy importante para la construcción de los modelos geológicos y la estimación de recursos presentes en el depósito. Además, el geólogo debe garantizar la calidad de información geológica y su debida interpretación, colaborando en una mayor eficiencia de los procesos operativos.

6.1. Muestreo de Canal (Channel Sampling)

Es la técnica más empleada y confiable por su equiprobabilidad al momento de tomar la muestra, tiene como finalidad conocer el tenor de un determinado frente al interior de mina, puede ser labor de desarrollo o producción. Una de las principales labores del geólogo de mina es la de realizar muestreo de las diferentes estructuras o cuerpos mineralizados; este tipo de muestreo no solo tiene como propósito llevar

un control de los frentes de producción y/o exploración, también tiene un segundo objetivo, el cual es definir recursos que posteriormente van a ser las reservas de la mina.

Los muestreos que se llevan a cabo al interior de la mina son realizados bajo los estándares de calidad requeridos para la planificación de la producción minera. Su aplicación es posible en todas las guías, sobreguías, cruzadas, tambores y paneles de la mina (**Figura 10**).

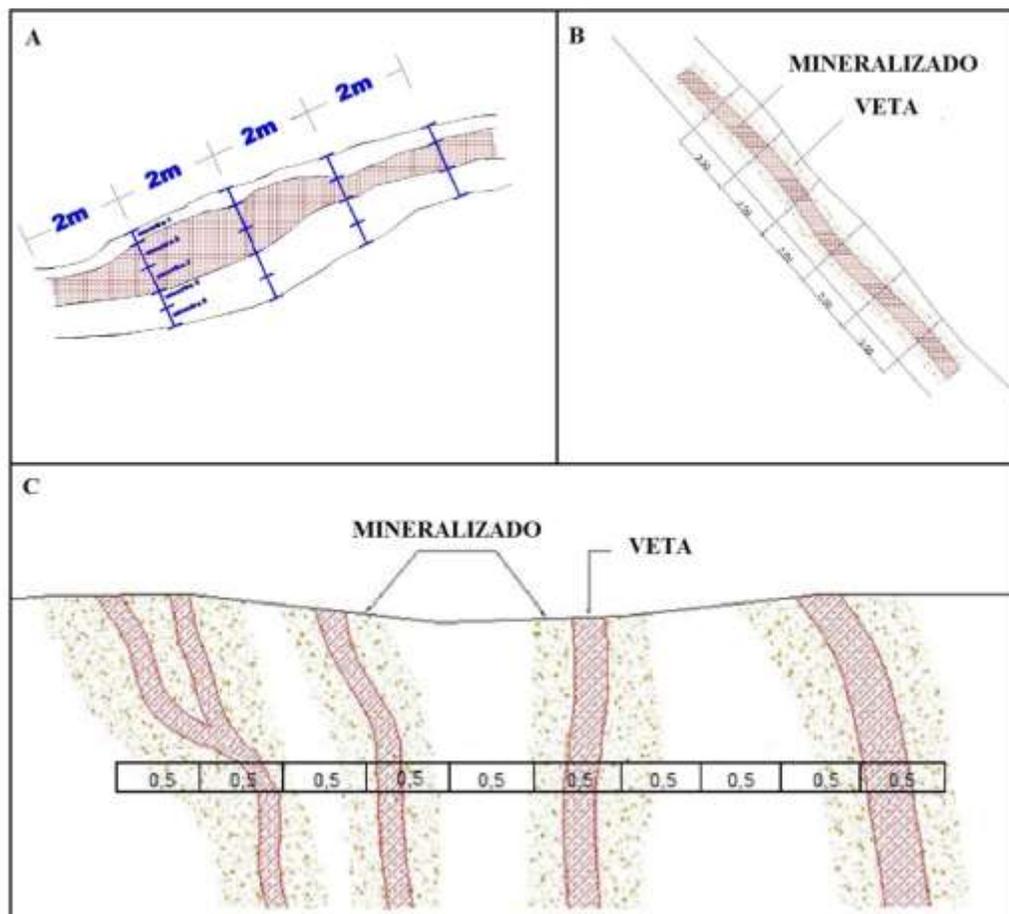


Figura 10. Distribución de canales y muestras en veta y respaldos a lo largo de las diferentes labores; a. Techo de una labor que puede ser guía, sobreguía y panel; b. A lo largo de un tambor; c. Muestreo de canal a lo largo de una cruzada; Tomado de Caldas Gold Corp (2021).

Las diferentes labores de la mina La Maruja son levantadas con estación total. Posteriormente dibujados en AutoCAD Civil 3D y los puntos son materializados en campo (placas metálicas con cintas reflectivas). A estos puntos topográficos se les calculan las coordenadas y la cota, así puedan servir como puntos de amarre para la localización de canales de muestreo (coordenadas, cota, longitud, azimut e inclinación) **(Figura 11)**.



Figura 11. Levantamiento de trabajos subterráneos usando estación total; SRK Consulting Inc. (2020).

En el desarrollo de la actividad, inicialmente se marcan los puntos de muestreo cada 2 metros, se van ajustando las distancias cada vez que haya una nueva marca topográfica, con el fin de generar mayor precisión en la localización de las muestras. Una vez definidos los puntos de muestreo, se delimitan con pintura en aerosol los

contactos o límites de las estructuras mineralizadas y de los respaldos, es decir, el espesor de las muestras, para ello se definen zonas de mineralizado y veta - teniendo en cuenta que los tramos de muestreo no deben exceder los 50 cm - **(Figura 12)**. Si la estructura o zona mineralizada supera los 50 cm de espesor real, se debe dividir el tramo a muestrear. De igual manera se debe tener en cuenta para la marcación que el muestreo se realiza transversalmente a la estructura, es decir, perpendicular a la dirección general.

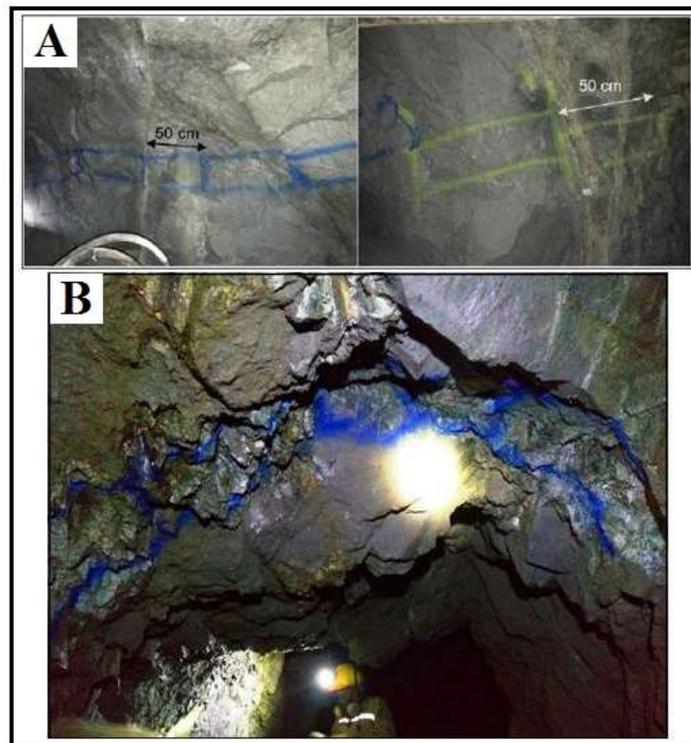


Figura 12. Muestreos de canal; a. Delimitación con pintura en aerosol de los tramos a muestrear (0.5 m); b. Marcación de canal a lo largo de un panel, perpendicular a la tendencia general de las estructuras.

El muestreo de canal se realiza mínimo entre dos personas, se debe ejecutar partiendo desde piso hacia techo, evitando que se contamine la muestra con la caída de esquirlas de roca provenientes de tramos superiores. Para realizar este procedimiento uno de los auxiliares golpea la roca con el cincel y la almadana mientras el otro sostiene un aro de aluminio donde va instalada, insertada y prensada una bolsa plástica de tal forma que los fragmentos arrancados van



depositándose en la bolsa directamente evitando en lo máximo perder fragmentos o partículas de interés (**Figura 13 a**). Para garantizar la representatividad de la muestra se deberá obtener una muestra final de mínimo 2000 gramos de masa. Las muestras serán tomadas con longitudes máximas de 50 cm, teniendo presente algunas pautas, cómo por ejemplo que las estructuras mayores a 50 cm se partirán en dos o más muestras, de forma equitativa y siempre siguiendo el principio de racionalización y optimización de los recursos. Por protocolo se colectan las muestras de izquierda a derecha de la labor considerando que las estructuras de interés en la mina son subverticales. En caso de estructuras de bajo ángulo, las muestras necesaria e idealmente deben ser colectadas de piso a techo para evitar contaminación de las superficies a muestrear. En el depósito de Marmato es común la presencia de mineralizados irregulares con venilleos multidireccionales localmente, sin embargo, estas zonas locales de venilleos generalmente no poseen tenores de interés económico para la explotación y condiciones actuales.

En un canal ideal de 50 cm x 5 cm x 3 cm (largo, ancho y profundidad) con una densidad de roca de 2.7 g/cm³ se obtiene una masa cercana a 2 kg; en casos especiales donde la veta o el respaldo sea inferior a 50 cm la profundidad del canal debe variar de manera homogénea hasta obtener la cantidad deseada de la muestra o una masa mínima aproximado de 2 kg. Es muy importante no realizar ningún proceso de cuarteo dentro de la mina dado que esto genera grandes errores en los resultados del ensaye. Una vez éste empacada la muestra en la bolsa plástica transparente de 30x40 cm, se le pegará el desprendible con el número que corresponde a la ficha dónde se consigna la información; luego se procede a su amarre con el sello de seguridad respectivo (**Figura 13 b**).



Figura 13. a. Toma de la muestra con almadana, cincel y bolsa por parte de los auxiliares; b. Muestra empacada, rotulada y lleva su respectivo sello de seguridad.

Simultáneamente con la extracción de la muestra y marcado del canal, el auxiliar líder de muestreo realiza el diligenciamiento de las tarjetas con toda la información relativa a cada muestra, consignando en ella la localización del sitio de muestreo, tipo de muestra (veta o mineralizado), ancho del tramo muestreado, ancho de corte, fecha y nivel, se debe tomar un registro fotográfico de las fichas de muestreo (**Figura 14**).


CALDASGOLD
FICHA DE MUESTREO

Fecha: 19/08/2011 Nº 421600
 Localización (labor): PANEL PLANA
 Nivel: 20 NORTE ALW
 Tipo de muestra: CANAL
 Ubicación muestra: A 27.0 m PTO 8
 Ancho de veta: 0.15
 Ancho de corte: 1.45
 Estilo: VEN
 Muestreros: Héctor - Luis J.
 Observaciones:

Nº 421600
 Nº 421600

Figura 14. Ficha control de muestreo para canales debidamente diligenciada.

Posteriormente se digitalizará en una Base de Datos donde se registra toda información (**Figura 15**); debe quedar un registro en el archivo control de muestreo en una carpeta en los servidores de la empresa (**Tabla 1**).

ID CANAL: Identificación del canal de muestreo

TIPO DE MUESTRA: Puede ser en canal; de carga o corresponder a un núcleo de perforación

NÚMERO DE MUESTRA: Consecutivo que identifica la muestra para su envío a laboratorio

FECHA: Toma de muestra

NIVEL: Lugar al que corresponde el muestreo al interior de mina

LOCALIZACIÓN: Nombre del frente de trabajo o labor minera, cruzada, guía, sobreguía, tambor, panel o perforación

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: Con respecto al punto topográfico

ESTILO DE MINERALIZACIÓN: Vetas, venas, venillas, fallas, diseminados

LONGITUD CANAL: Longitud en metros de la muestra tomada

ANCHO DE MUESTREO: Longitud en metros del ancho de la labor minera

TENOR DE Au-Ag: Resultados de laboratorio

LITOLOGÍA: Tipo de roca caja de la mineralización, pórfido (P1, P2, P3, P4 o P5), esquisto, brecha

COORDENADAS: De la primera muestra de canal (X,Y,Z)

PUNTO TOPOGRÁFICO MÁS CERCANO: Número del punto topográfico más cercano que sirve de referencia a los canales. Cuando no existe un punto topográfico cercano se utilizan las intercepciones entre labores (talabordones) para tratar de ubicar más aproximadamente los canales

DIRECCIÓN DEL MUESTREO: En que dirección de la labor avanza la toma de muestras.
e.g. Al NW, SE, NE o SW

INCLINACIÓN DEL CANAL: Ángulo con la horizontal. Generalmente es 0°

Figura 15. Descripción del tipo información que se consigna en la base de datos de muestreo; Tomado de Caldas Gold Corp.



Tabla 1. Base de datos Control de Muestreo; se registra la información obtenida a partir de los muestreos ejecutados al interior de mina; Tomado de Caldas Gold Corp (2021).

ID CANAL	TIPO DE MUESTRA	MUESTRA	FECHA	NIVEL	LOCALIZACIÓN DE MUESTRA	UBICACIÓN DE MUESTRA	STYLE	LONGITUD CANAL	ANCHO MUESTREO (m)	Au (g/ton)	Ag (g/ton)	LITOLÓGIA	X ESTE	Y NORTE	Z COTA	INCLINACIÓN	AZIMUT
419401	CANAL	419401	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 6.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.35	2.6	4.6	P1	1163542.6	1098115.5	1204.35	0	157
419401	CANAL	419402	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 6.00 m PTO C67B	VNS	0.15	1.35	9.6	20.6	P1					
419401	CANAL	419403	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 6.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.35	2.0	4.4	P1					
419401	CANAL	419404	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 6.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.35	1.76	3.1	P1					
419401	CANAL	419405	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 6.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.35	1.28	3.76	P1					
419401	CONTROL	419406	24/10/2020	18	DUP 419405		DUP	0.00	0.00	1.2	3.8	DUP					
419407	CANAL	419407	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 8.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.10	7.9	25.4	VEA	1163544.7	1098115.8	1204.35	0	157
419407	CANAL	419408	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 8.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.10	3.16	12.7	P1					
419407	CANAL	419409	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 8.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.10	2.6	4.0	P1					
419410	CANAL	419410	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 10.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.25	3.1	10.0	P1	1163546.6	1098116.5	1204.35	0	157
419410	CANAL	419411	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 561	A 10.00 m PTO C67B	VNS	0.30	1.25	1.5	7.6	P1					
419410	CANAL	419412	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 10.00 m PTO C67B	VEN	0.30	1.25	5.2	15.7	VEA					
419410	CANAL	419413	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 10.00 m PTO C67B	VEN	0.35	1.15	4.8	6.48	VEA					
419410	CONTROL	419414	24/10/2020	18	STD G916-5		STD	0.00	0.00	30.0	N/A	STD					
419414	CANAL	419415	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 12.00 m PTO C67B	VNS	0.35	1.35	3.36	3.8	P1	1163548.5	1098117	1204.35	0	157
419414	CANAL	419416	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 12.00 m PTO C67B	VEN	0.30	1.35	5.9	7.8	VEA					
419414	CANAL	419417	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 12.00 m PTO C67B	VNS	0.35	1.35	0.44	2.04	P1					
419414	CANAL	419418	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 12.00 m PTO C67B	VNS	0.35	1.35	1.16	3.48	P1					
419418	CANAL	419419	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 14.00 m PTO C67B	VEN	0.30	1.30	3.56	21.72	VEA	1163550.3	1098117.9	1204.35	0	157
419418	CONTROL	419420	24/10/2020	18	BLG		BLK	0.00	0.00	0.02	N/A	BLK					
419418	CANAL	419421	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 14.00 m PTO C67B	VNS	0.50	1.30	1.4	4.9	P1					
419418	CANAL	419422	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 14.00 m PTO C67B	VNS	0.50	1.30	0.56	5.88	P1					
419422	CANAL	419423	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 16.00 m PTO C67B	VNS	0.30	0.90	1.52	7.28	P1	1163552.2	1098118.5	1204.35	0	157
419422	CANAL	419424	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 16.00 m PTO C67B	VEN	0.30	0.90	9.3	147	VEA					
419422	CANAL	419425	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 16.00 m PTO C67B	VNS	0.30	0.90	2.16	8.72	P1					
419425	CANAL	419426	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 18.00 m PTO C67B	VNS	0.30	0.90	2.8	28.48	P1	1163554.1	1098119.2	1204.35	0	157
419425	CANAL	419427	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 18.00 m PTO C67B	VNS	0.30	0.90	42.9	173.4	P1					
419425	CANAL	419428	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 18.00 m PTO C67B	VNS	0.30	0.90	2.36	24.96	P1					
419428	CANAL	419429	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 20.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	3.88	42.4	VEA	1163556	1098119.8	1204.35	0	157
419428	CONTROL	419430	24/10/2020	18	DUG 419429		DUG	0.00	0.00	4.88	44.36	DUG					
419428	CANAL	419431	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 20.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	4.04	10.5	VEA					
419428	CANAL	419432	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 20.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	15.2	101.8	VEA					
419431	CANAL	419433	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 22.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	6.64	24.6	VEA	1163557.9	1098120.5	1204.35	0	157
419431	CANAL	419434	24/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 560	A 22.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	2.8	7.32	VEA					
419431	CANAL	419435	25/10/2020	18	SOBREGUÍA BOBCAT II VETA 561	A 22.00 m PTO C67B	VEN	0.50	1.50	53.7	211.7	VEA					
419431	CONTROL	419436	24/10/2020	18	FID 419435		FID	0.00	0.0	51.7	0.96	FID					



La localización y los resultados de los análisis (tenores) de las muestras de canal tomadas en la mina son graficados en planos en AutoCAD Civil 3D cómo mapas de geoquímica o distribución de valores de oro por sectores. En estos la información puede ser analizada e interpretada con información adicional de topografía subterránea y de superficie, cartografía geológica (**Figura 17**).

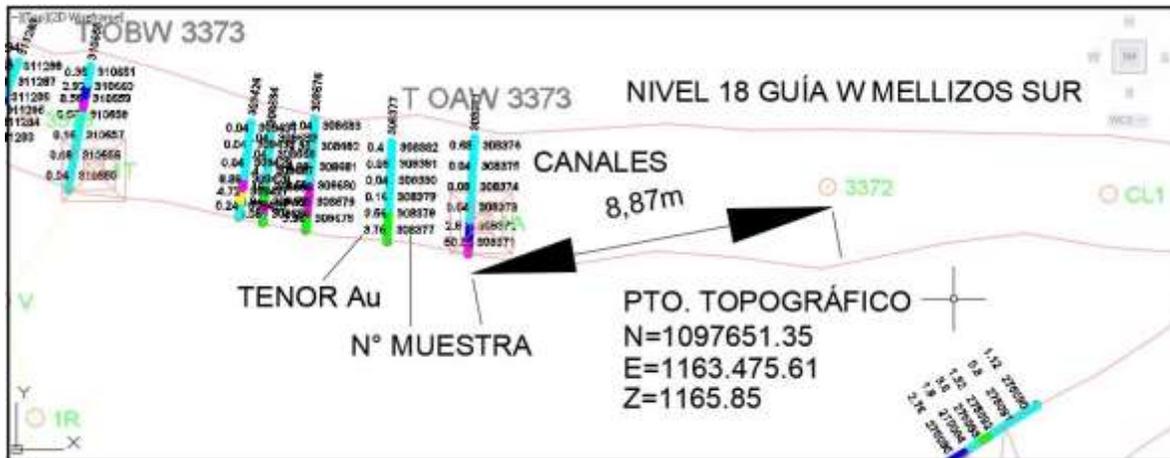


Figura 16. Ejemplo ilustrativo de cómo se realiza la digitalización y define localización de los canales de muestreo con respecto a la ubicación de los puntos topográficos, cargada con resultados de tenores de las muestras; Tomado de Caldas Gold Corp.

En la práctica académica se realizó acompañamiento y supervisión a los muestreos de canal en las siguientes labores:

- Nivel 20 en la Sobreguía Diana al Este, iniciando el muestreo a 2.0 m del punto topográfico 7.
- Nivel 18 en la Sobreguía Canalón-Mellizos en alas Este (E) y Oeste (W), iniciando muestreo para el ala Este a 2.0 m del tambor de descargue y en el ala Oeste a 2.0 m del tambor de acceso.
- Nivel 19 en el Panel Villonza al W de T2E-3445, iniciando muestreo a 4.0 m del tambor de descargue.

En el **Anexo A** se presentan los resultados de los muestreos de canal que fueron supervisados.

6.1.1. Cálculo de tenor en muestras de canal y pozo

El cálculo del tenor tanto en frentes de mina como pozos diamantinos, se determina mediante las siguientes operaciones:

Para muestras de canal:

Obtener el tenor en cada abscisado.

• Calcular el tenor ponderado de cada muestra mediante el producto de la longitud = ancho de veta y la cantidad de oro (g) para cada muestra, se emplea la siguiente ecuación:

$$TP = \frac{\sum(Tc * Lc)}{\sum Longitudes\ del\ canal}$$

TP: Tenor ponderado

Tc: Tenor de canal

Lc: Longitud del canal

• El ancho real de la veta en el canal X corresponde a la sumatoria de la longitud corregida de todas las muestras del canal.

• Para determinar el tenor ponderado de cada canal se hace una relación entre la sumatoria del tenor ponderado de las muestras en el canal X y el ancho real de la veta.

Para obtener el tenor de toda la labor muestreada (TL):

$$TL = \frac{\sum(Tenor\ ponderado\ de\ todos\ los\ canales)}{Longitud\ canales}$$

En una sobreguía de la mina La Maruja en el Nivel 20, se tienen puntos de muestreo cada dos metros los cuales arrojaron un dato de tenor en oro donde fueron tomados los



espesores de veta. Con esta información se pretende conocer cuál sería el tenor de toda la labor muestreada, que en el caso del ejemplo fue un total de 16.0 metros (**Figura 17**).

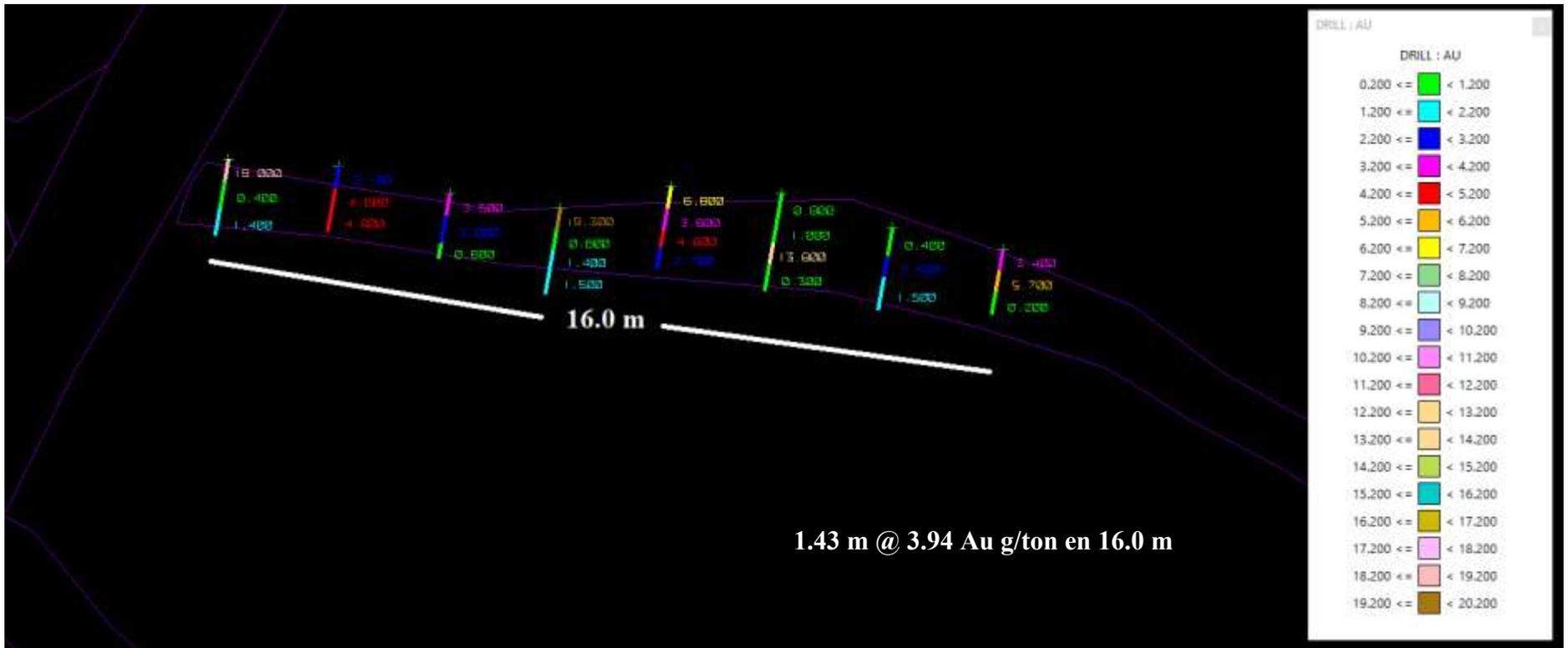


Figura 17. Muestreo sistemático en una sobreguía de la mina La Maruja a lo largo de 16.0 metros. Nótese la tabla de colores que muestra rangos de los valores de oro obtenidos a partir de los análisis químicos de laboratorio.



En este caso particular, cabe resaltar que los datos de tenor no tuvieron un tratamiento para definir un tenor tope o anómalo que debiera ser tratado por medio de parámetros estadísticos, se asumieron los valores tal cual como se obtuvieron.

En las actividades de muestreo ejecutadas en esta labor, se tienen un total de 27 muestras distribuidas en 8 canales. Aplicando los parámetros anteriormente mencionados de cálculo de tenor ponderado, se tiene para la sobreguía a lo largo de 16.0 m un tenor ponderado de 3.94 g Au/ton en un ancho de veta de 1.43 m (**Tabla 2**).

Tabla 2. Cálculo de tenor ponderado para muestras de canal de una sobreguía de la mina La Maruja.

MUESTRA	NIVEL	UBICACIÓN MUESTRA	DESCRIPCIÓN	ANCHO VETA (m)	Au (g)	Au SIN RECALCULO	LONGITUD (m)	V x Au	ANCHOS REALES VETA	TENOR PONDERADO
1	20	A 2.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	19.00	19.00	0.40	7.60	1.4	6.09
2	20	A 2.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.50	0.40	0.40	0.50	0.20		
3	20	A 2.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.50	1.44	1.44	0.50	0.72		
4	20	A 4.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	3.08	3.08	0.40	1.23	1.2	4.23
5	20	A 4.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.40	4.84	4.84	0.40	1.94		
6	20	A 4.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.40	4.76	4.76	0.40	1.90		
7	20	A 6.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	3.45	3.45	0.40	1.38	1.2	2.61
8	20	A 6.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.50	3.04	3.04	0.50	1.52		
9	20	A 6.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.30	0.76	0.76	0.30	0.23		
10	20	A 8.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	19.27	19.27	0.40	7.71	1.6	5.77
11	20	A 8.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.40	0.84	0.84	0.40	0.34		
12	20	A 8.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.30	1.40	1.40	0.30	0.42		
13	20	A 8.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.50	1.52	1.52	0.50	0.76		
14	20	A 10.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	6.82	6.82	0.40	2.73	1.5	4.44
15	20	A 10.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.40	3.56	3.56	0.40	1.42		
16	20	A 10.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.30	4.76	4.76	0.30	1.43		
17	20	A 10.00 m AL E DEL PTO 7	VNS	0.40	2.72	2.72	0.40	1.09		
18	20	A 12.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.50	0.84	0.84	0.50	0.42	1.8	3.62
19	20	A 12.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	1.04	1.04	0.40	0.42		
20	20	A 12.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	13.82	13.82	0.40	5.53		
21	20	A 12.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.50	0.32	0.32	0.50	0.16		
22	20	A 14.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.50	0.36	0.36	0.50	0.18	1.5	1.39
23	20	A 14.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	2.48	2.48	0.40	0.99		
24	20	A 14.00 m AL E DEL PTO 7	DSM	0.60	1.52	1.52	0.60	0.91		
25	20	A 16.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	3.44	3.44	0.40	1.38	1.2	3.12
26	20	A 16.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	5.68	5.68	0.40	2.27		
27	20	A 16.00 m AL E DEL PTO 7	VEN	0.40	0.24	0.24	0.40	0.10		

	Au
TENOR DE VETA (g/ton)	3.94
ANCHO DE VETA (m)	1.43



6.2. Perforaciones de pozos diamantinos

El Departamento de Geología de la compañía Caldas Gold Corp realiza perforaciones diamantinas con el fin de determinar y conocer el comportamiento de las estructuras mineralizadas, verificar su continuidad y obtener valores del tenor a partir del muestreo de cada uno de los pozos, y así, garantizar una adecuada proyección en el proceso de planeamiento minero. Las perforaciones desarrolladas en la mina La Maruja se ejecutan con dos máquinas; la primera es de referencia Ingetrol Ultra 20E que permite perforar cortas distancias no mayores a 50 metros aproximadamente y otro equipo de tipo Diamec-232 que tiene un alcance de perforación cercano a los 200 metros. Ambos equipos tienen –diámetros de perforación BQ, donde el diámetro del núcleo es de 36.4 milímetros. En la **Tabla 3**, se muestra un listado de todos los pozos analizados durante la práctica académica; se realizó descripción a los testigos de roca y muestreo respectivamente a 24 perforaciones diamantinas tanto de producción como de exploración, que corresponden a 1407.32 metros.

Tabla 3. Perforaciones diamantinas analizadas durante la práctica académica; los valores resaltados en color negro y rojo, representan perforaciones en ángulo positivo y negativo respectivamente.

TALADRO	POZO	NIVEL	AZIMUT	DIP	LONGITUD (m)
DIAMEC - 232	MND-05-20	20	16.4	-1.89	99.10
DIAMEC - 232	MND-06-20	20	47.2	-2.02	83.13
DIAMEC - 232	MND-07-20	20	6.3	1.40	136.19
DIAMEC - 232	MND-08-20	20	356.4	0.53	94.28
DIAMEC - 232	MND-09-20	20	351.2	-1.19	102.22
DIAMEC - 232	MND-10-20	20	21.9	1.15	97.55
DIAMEC - 232	MND-01-21	16	345.77	35	102.94
DIAMEC - 232	MND-02-21	16	351.89	0.04	121.05
DIAMEC - 232	MND-03-21	16	26.06	0.57	120.45
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-13-20	21	34.7	29.86	46.73
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-14-20	21	0.95	34.18	45.91
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-15-20	21	240.0	32.94	38.08
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-16-20	21	211.0	33.5	30.47
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-17-20	21	179.0	31.87	38.62
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-19-20	21	216.26	-17.4	40.82
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-20-20	21	215.68	25.35	42.49
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-21-20	21	35.74	24.86	29.67
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-22-20	20	28.07	69.77	26.21
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-23-20	20	198.31	46.82	27.06
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-01-21	20	33.84	-39.41	29.17
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-02-21	20	34.16	29.12	12.17
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-03-21	20	66.49	44.88	7.58
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-04-21	20	45.49	65.1	9.98
INGETROL -ULTRA 20E	MNI-05-21	20	36.56	-33.15	25.45
					1407.32



6.2.1 Revisión de Cajas Porta-testigos y Recuperación

Este proceso consiste en revisar la información entregada por el operario del taladro, tiene como objetivo llevar un control de la perforación sobre la medida de recuperación del testigo que es tomada por el perforista, evaluando las pérdidas de roca ocurridas durante cada una de las corridas, estas representan la maniobra realizada para la obtención del testigo. Las pérdidas de testigos son importantes indicadores de pobre calidad del macizo rocoso, estas ocurren en zonas altamente fracturadas, que pueden estar asociadas a deformación frágil en zonas cizalla o características geomecánicas de la roca. Cuando se procede a realizar el logueo geológico, se deben verificar las medidas con base en el registro de perforación, tiene como finalidad identificar posibles errores por parte del operario en el momento de la medición de recuperación del núcleo. Se lleva un registro diario del avance de taladros, con el fin de realizar un control sobre cada una de las perforaciones, este cuenta con un formato único que es empleado tanto por el operario de la máquina como los geólogos, se muestra en la **Tabla 4**.

Porcentaje de Recuperación (%): Es el porcentaje real de núcleo que se pudo recuperar en la maniobra de perforación, teniendo en cuenta que en este tipo de operaciones hay pérdidas de material por diversos motivos (presencia y lavado de arcillas en fallas, trituración por reperforación y pérdida de la roca en el fondo del pozo).

La ecuación empleada para el cálculo del porcentaje de recuperación se muestra a continuación:

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{Longitud del núcleo en la caja}}{\text{Longitud del núcleo en la corrida}} * 100$$

Tabla 4. Formato de Perforista del pozo MNI-01-21.

 CALDAS GOLD	FORMATO DE PERFORISTA			
POZO:	MNI-01-21	DIRECCIÓN	INICIO DE PERFORACIÓN	12/02/2021
TALADRO:	INGETROL - ULTRA 20E	AZIMUT: 33.84	FIN DE PERFORACIÓN	17/02/2021
DIÁMETRO NÚCLEO:	BQ	INCLINACIÓN: -39.41	LONGITUD: 29.17	
DESDE (m)	HASTA (m)	RECUPERADO (m)	CORRIDA (m)	RECUPERADO (%)
0.00	0.31	0.31	0.31	100.00%
0.31	1.29	0.98	0.98	100.00%
1.29	2.62	1.33	1.33	100.00%
2.62	3.34	0.72	0.72	100.00%
3.34	3.77	0.43	0.43	100.00%
3.77	4.68	0.91	0.91	100.00%
4.68	5.17	0.49	0.49	100.00%
5.17	5.78	0.61	0.61	100.00%
5.78	7.04	1.26	1.26	100.00%
7.04	7.52	0.48	0.48	100.00%
7.52	8.54	1.02	1.02	100.00%
8.54	9.17	0.63	0.63	100.00%
9.17	9.6	0.43	0.43	100.00%
9.60	11.12	1.52	1.52	100.00%
11.12	12.62	1.50	1.50	100.00%
12.62	14.1	1.48	1.48	100.00%
14.10	15.62	1.50	1.52	98.68%
15.62	16.62	1.0	1.0	100.00%
16.62	17.12	0.50	0.50	100.00%
17.12	18.64	1.52	1.52	100.00%
18.64	19.75	0.83	1.11	74.77%
19.75	19.97	0.22	0.22	100.00%
19.97	20.34	0.37	0.37	100.00%
20.34	20.9	0.56	0.56	100.00%
20.90	21.34	0.44	0.44	100.00%
21.34	21.76	0.42	0.42	100.00%
21.76	22.02	0.26	0.26	100.00%
22.02	22.42	0.40	0.40	100.00%
22.42	22.7	0.21	0.28	75.00%
22.70	22.94	0.23	0.24	95.83%
22.94	23.28	0.32	0.34	94.12%
23.28	23.66	0.36	0.38	94.74%
23.66	24.77	1.11	1.11	100.00%
24.77	25.17	0.40	0.40	100.00%
25.17	25.54	0.37	0.37	100.00%
25.54	25.89	0.35	0.35	100.00%
25.89	26.15	0.26	0.26	100.00%
26.15	26.73	0.49	0.58	84.48%
26.73	27.28	0.49	0.55	89.09%
27.28	27.79	0.51	0.51	100.00%
27.79	28.41	0.5	0.62	80.65%
28.41	28.64	0.23	0.23	100.00%
28.64	29.05	0.41	0.41	100.00%
29.05	29.17	0.12	0.12	100.00%

Para realizar el marcaje del metro a metro, se debe medir el núcleo partiendo de los tacos como referencia en las corridas de los perforistas y numerar sucesivamente cada metro con el fin de validar las longitudes recuperadas respecto a cada corrida de la máquina perforadora, de esta manera se marcan el inicio y fin de la caja porta-testigos (core box) (**Figura 18**).



Figura 18. Marcaje metro a metro de los testigos de perforación.

Core Box: En este punto se asigna una profundidad al inicio y al final de la caja porta testigos, en donde se tiene en cuenta las pérdidas de núcleo en la corrida, respecto a la profundidad que se busca.

6.2.2. Descripción y Análisis de Núcleos de Perforación (Geological Logging)

En el desarrollo de esta actividad, se registraron las características más importantes en halladas en los testigos de perforaciones diamantinas, donde inicialmente se definen intervalos de logueo con base a los siguientes criterios: litología, alteración, presencia de zonas de falla, grado de fracturamiento y mineralización. Las estructuras fueron categorizadas de la siguiente manera con base en el espesor que presenta: veta si es mayor a 10 cm, vena entre 1-10 cm y venilla menor a 1 cm. Cabe resaltar que las vetas son consideradas como intervalo de logueo individual (Figura 19).



Figura 19. Intervalos de logueo que fueron definidos para el pozo MNI-05-21; con las flechas azules se limita el intervalo con base en los parámetros establecidos por la empresa para realizar el procedimiento de logueo geológico.



Una vez definidos los intervalos se procede a describir los testigos de perforación siguiendo el formato establecido por la empresa, el cual evalúa parámetros como lo son la oxidación, litología, fenocristales con su respectivo tamaño, alteración hidrotermal indicando el tipo, intensidad, estilo y minerales que la representan, estructuras (vetas, venas, venillas) y su profundidad; en mineralización fueron descritos los estilos de la misma, y en el caso de la mineralización de tipo mesotermal se describieron el número de venillas presentes por metro y su ángulo promedio con respecto al eje del núcleo (**Tabla 5**). Finalmente, se procede a validar la información obtenida a partir del logueo, los errores que se encuentren deben corregirse de inmediato en la base de datos.

La descripción realizada durante el procedimiento de logueo es ingresada a una base de datos y posteriormente validada de tal manera que, la información pueda ser utilizada para la construcción de modelos de estructuras e interpretaciones geológicas que aumenten el conocimiento del depósito. El análisis de estas perforaciones se llevó a cabo bajo estándares de Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC) definidos por la empresa, donde se busca garantizar la mayor confiabilidad posible en el proceso de evaluación del potencial de los recursos.



6.2.3. Muestreo de Núcleos de Perforación

El muestreo es el procedimiento más importante durante el logueo; tiene como finalidad conocer el tenor de zonas de interés tales como vetas, venilleos, mineralizados presentes en la roca y zonas que puedan representar otros estilos de mineralización en franjas de alteración o asociadas a fallas que se ha interceptado por medio de la perforación, debido a esto toda estructura cortada por el pozo se debe muestrear. Consiste en separar muestras con base en dos criterios, el primero son características geológicas como la litología, alteración, mineralización o presencia de estructuras, el segundo es la masa de la muestra que depende de su volumen y densidad; estos criterios empleados tienen como finalidad asegurar la representatividad de las muestras y ajustarse a las condiciones exigidas por el laboratorio interno de la empresa. Todos los intervalos de muestreo deben ser definidos y trazados sobre el núcleo; se realiza muestreo de todo el sondaje o en las zonas de interés. Por otro lado, cuando el muestreo sea solo de zonas de interés se debe tomar muestra de la estructura principal, su respaldo alterado y/o mineralizado y el respaldo estéril, tanto a techo como a piso. Además, en zonas de alteración y/o mineralización, aunque no correspondan con estructuras de interés, zonas de brecha hidrotermal, brechas de falla, venas y venillas. Al momento de ejecutar las labores de muestreo se deben tener en cuenta los protocolos internos de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC).

El procedimiento de muestreo de testigos de perforación se realiza bajo los siguientes parámetros:

- Longitud mínima de la muestra: 50 cm y longitud máxima: 100 cm (para núcleos con diámetro BQ). De manera general, en las campañas de perforación se realiza un corte longitudinal en el centro del testigo con el fin de enviar la mitad de éste a análisis y permanecer con la otra mitad como respaldo, pero si el diámetro del testigo es muy pequeño no se realiza este

procedimiento; en este caso dado el tamaño del núcleo, la muestra es enviada completa al laboratorio. Posteriormente, el laboratorio genera muestras de rechazo que serán reanalizadas por un laboratorio externo certificado; estos resultados obtenidos son comparados con los del laboratorio interno de la empresa cuya finalidad es definir una trazabilidad de los valores y determinar que la confiabilidad de la información. Inicialmente el tamaño máximo de las muestras debía ser máximo de 50 cm, bajo estas condiciones no se generaban los suficientes rechazos gruesos y finos para verificar los resultados de laboratorio por medio de un reanálisis.

- Cuando los pozos son de longitudes menores a 50 metros se realiza muestreo en su totalidad; en el caso de los pozos de longitudes mayores a 50 metros, el muestreo se enfoca en las zonas de interés económico como vetas, venillas, venas y mineralizados.
- Considerar que la masa mínima y máxima de las muestras deben estar entre 1404.84 y 2809.67 g (utilizando una densidad de roca de 2.7 g/cm³ y un diámetro de testigo de 3.64 cm) (**Tabla 6**).

Tabla 6. Cálculo de masa mínima y máxima que deben tener las muestras para ser entregadas a laboratorio.

LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)	RADIO (cm)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	MASA (g)
50	3.64	1.82	520.31	2.7	1404.84
100	3.64	1.82	1040.62	2.7	2809.67

- No se deberán cruzar intervalos de muestreo con los contactos litológicos.
- Los intervalos de muestreo deben abarcar zonas de alteración y/o mineralizaciones similares.
- Los intervalos de muestreo pequeños pueden ser usados para diferenciar tipos de mineralización, litologías y estructuras.

- Las muestras deben ser marcadas con líneas rojas perpendiculares al eje del núcleo, se escribe la distancia a la cual empieza y termina la muestra; en el testigo es anotado el valor de la longitud de la muestra de núcleo (valor teórico) y ancho de veta o recuperado, el cual corresponde a la longitud real que presenta la muestra (**Figura 20**).

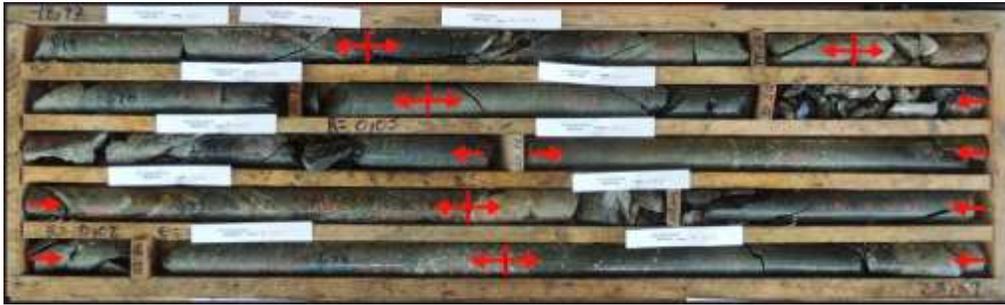


Figura 20. Marcación de las muestras en los testigos de perforación.

- En el caso de las vetas, las muestras se toman del total de su espesor y sus respectivos respaldos sean diseminados y/o estéril, teniendo en cuenta el control de la dilución; en lo posible se intentan sacar muestras de 0.50 cm a 1.0 m antes y después de la veta con el fin de evaluar su contenido de oro, que puede estar asociado a la presencia de la veta y el cuál es importante conocer en la etapa de producción.
- Cada muestra debe tener asignada una ficha de muestreo, esta tendrá consignada información como fecha, localización de la cámara de perforación, nivel, número del sondeo, profundidad o intervalo de la muestra y la identificación de muestra de control de calidad a insertar (**Figura 21**).

CALDASGOLD
FICHA DE MUESTREO

Fecha: 24 / 02 / 2021 Nº **421589**

Localización (labor): CKD MADERA

Nivel: 16

Tipo de muestra: POZO

Ubicación muestra: _____

Ancho de veta: _____

Ancho de corte: _____

Estilo: STD G914-G

Muestreros: _____

Observaciones:

Nº 421589
Nº 421589

Figura 21. Ficha control de muestro para pozos diamantinos.

- Los desprendibles de la ficha de muestreo serán grapados en la caja antes de tomar las fotografías para tener una guía referencial de las muestras; estas deben indicar la posición de las muestras de control (blancos, estándares y duplicados) también serán grapados en la caja. Las muestras deben seguir un orden consecutivo (**Figura 22**).



Figura 22. Codificación y muestreo bajo estándares de Aseguramiento y Control de Calidad. Las etiquetas representan el código de las muestras para pozos.

- Debe quedar un registro fotográfico de las cajas porta-testigos, en dónde se observe claramente el núcleo, código de pozo, caja, longitud inicial y final de los testigos en la fotografía, y las fichas de muestreo asignadas a cada muestra, esto debido a que en el diámetro BQ las muestras son enviadas en su totalidad al laboratorio sin quedar ningún tipo de respaldo más que las fotografías para una futura revisión. Las fotografías se deben tomar bajo condiciones adecuadas de iluminación, y en un ángulo que permite la buena visualización de las características de los testigos. En este método cuando hay rechazos de muestras de pozos regresados por parte del laboratorio, son enviados a un laboratorio externo certificado para ser sometidos a un reanálisis químico, posteriormente las muestras son almacenadas en los estantes de la bodega de núcleos de la compañía.
- Para cada perforación se debe llenar un formato de control de muestreo de manera ordenada y secuencial, este es indispensable para orientar al Auxiliar de Logueo, y así evitar errores sistemáticos al momento de empacar cada muestra (**Tabla 7**).



Al finalizar con la actividad correspondiente a muestreo de pozo, se procede a registrar en la base de datos Cálculo de Muestreo toda la información obtenida, después será validada y quedará almacenada en un directorio específico del servidor (**Tabla 8**).

En el **Anexo B** se presentan tablas de Cálculos de Muestreo de pozos con sus respectivos resultados.

Tabla 8. Base de datos Cálculo de Muestreo para pozos; se presenta información detallada del análisis de las muestras de núcleo.

CÁLCULOS DE MUESTREO POZOS DIAMANTINOS											
		POZO: MNI-05-21			AZIMUT: 33.56			GEÓLOGO: LUIS MIGUEL GALVIS DUQUE			
		NIVEL: 20			INCLINACIÓN: -33.15						
					LONGITUD: 25.45						
MUESTRA	NÚMERO DE ENSAYO	FECHA DE ENTREGA	DESDE (m)	HASTA (m)	NIVEL	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN DE MUESTRA	RECUPERADO	LONGITUD	Au (g/ton)	Ag (g/ton)
1	421331	16-feb	0	0.75	20	DISEMINADO	0 m - 0.75 m	0.75	0.75	0.12	1.68
2	421332	16-feb	0.75	1.47	20	VENILLO	0.75 m - 1.47 m	0.72	0.72	0.08	0.24
3	421333	16-feb	1.47	2.19	20	VENILLO	1.47 m - 2.19 m	0.72	0.72	0.2	1.04
4	421334	16-feb	2.19	3.47	20	DISEMINADO	2.19 m - 3.47 m	0.76	1.28	0.04	0.4
5	421335	16-feb	3.47	4.3	20	DISEMINADO	3.47 m - 4.3 m	0.8	0.83	0.28	1.04
6	421336	16-feb	4.3	5.24	20	VENILLO	4.3 m - 5.24 m	0.8	0.94	0.08	1.2
7	421337	16-feb	5.24	5.24	20	BLF	5.24 m - 5.24 m	0.0	0.0	0.08	N/A
8	421338	16-feb	5.24	5.24	20	BLG	5.24 m - 5.24 m	0.0	0.0	0.02	1.04
9	421339	16-feb	5.24	6.06	20	DISEMINADO	5.24 m - 6.06 m	0.8	0.82	0.04	0.16
10	421340	16-feb	6.06	6.88	20	VENILLO	6.06 m - 6.88 m	0.8	0.82	0.12	0.76
11	421341	16-feb	6.88	7.78	20	VENILLO	6.88 m - 7.78 m	0.9	0.9	0	0.2
12	421342	16-feb	7.78	8.66	20	VENILLO	7.78 m - 8.66 m	0.88	0.88	0.2	1.2
13	421343	16-feb	8.66	9.56	20	VENILLO	8.66 m - 9.56 m	0.9	0.9	0.48	2.68
14	421344	16-feb	9.56	10.45	20	VENILLO	9.56 m - 10.45 m	0.89	0.89	0.08	0.24
15	421345	16-feb	10.45	11.39	20	VENILLO	10.45 m - 11.39 m	0.94	0.94	5.28	11.56
16	421346	16-feb	11.39	11.39	20	STD	11.39 m - 11.39 m	0.0	0.0	0.4	N/A
17	421347	16-feb	11.39	12.34	20	DISEMINADO	11.39 m - 12.34 m	0.95	0.95	0.2	1.32
18	421348	16-feb	12.34	13.29	20	VENILLO	12.34 m - 13.29 m	0.95	0.95	0.08	0.76
19	421349	16-feb	13.29	14.26	20	VENILLO	13.29 m - 14.26 m	0.97	0.97	0.2	0.08
20	421350	16-feb	14.26	15.26	20	VENILLO	14.26 m - 15.26 m	1.0	1.0	0.12	0.32
21	421351	16-feb	15.26	16.25	20	VENILLO	15.26 m - 16.25 m	0.99	0.99	0.84	1.88
22	421352	16-feb	16.25	17.26	20	VENA	16.25 m - 17.26 m	1.0	1.0	0.32	3.4
23	421353	16-feb	17.26	18.26	20	VENILLO	17.26 m - 18.26 m	1.0	1.0	2.16	0.48
24	421354	16-feb	18.26	18.26	20	DUG	18.26 m - 18.26 m	0.0	0.0	2.04	0.68
25	421355	16-feb	18.26	19.26	20	VENILLO	18.26 m - 19.26 m	1.0	1.0	7.32	0.68
26	421356	16-feb	19.26	20.29	20	VENILLO	19.26 m - 20.29 m	1.0	1.03	1.68	2.16
27	421357	16-feb	20.29	21.26	20	VENILLO	20.29 m - 21.26 m	0.97	0.97	0.32	4.24
28	421358	16-feb	21.26	22.21	20	VENILLO	21.26 m - 22.21 m	0.95	0.95	2	19.96
29	421359	16-feb	22.21	23.17	20	VENILLO	22.21 m - 23.17 m	0.96	0.96	2	28.6
30	421360	16-feb	23.17	24.05	20	VENA	23.17 m - 24.05 m	0.88	0.88	2.92	31.28
31	421361	16-feb	24.05	24.62	20	VENA	24.05 m - 24.62 m	0.57	0.57	4.12	21.48
32	421362	16-feb	24.62	24.62	20	DUP	24.62 m - 24.62 m	0.0	0.0	4.56	17.56
33	421363	16-feb	24.62	25.45	20	DISEMINADO	24.62 m - 25.45 m	0.56	0.83	8.24	47.44



6.2.1. Correlación de estructuras geológicas a partir de perforaciones diamantinas

Mediante una campaña de perforación realizada en una guía de la zona norte del Nivel 20, se logra corroborar la continuidad de una estructura previamente identificada, donde se tuvo como objetivo principal conocer las características geológicas de la estructura, presencia de zona de falla, estilo de mineralización, alteraciones y variaciones respecto al contenido de oro, para avanzar con labores de desarrollo en el proceso de explotación.

En este trabajo el término “estructura” hace referencia a una zona de veta acompañada de venillas y mineralizado (diseminado), estas se encuentran rellenando espacios abiertos preexistentes como producto de la actividad tectónica de la región, las discontinuidades sirven como conducto para albergar la mineralización.

La estructura desarrollada con avance horizontal en una labor minera a lo largo de 50 a 60 metros, presenta las siguiente características: veta de textura arcillosa, con potencia entre 0.40 a 1.20 metros, alteración argílica de sericita-caolinita intensa, muestra un estilo mineralización de vetas y venillas compuestas de pirita, esfalerita, contenido variable de pirrotina, calcopirita y oro en menor proporción, hospedada en una dacita porfirítica asociada a un evento P1 y tendencia general E-W subvertical (80-85°) con buzamiento al N. Con base en el registro del logueo geológico de los pozos de producción, donde dicha estructura se encuentra en todas las perforaciones realizadas MND-05-20, MND-06-20, MND-07-20, MND-08-20, MND-09-20 y MND-10-20 a los 15.18, 14.01, 37.4, 15.19, 27.12 y 28.04 metros respectivamente, se logró identificar que los interceptos presentan las mismas características de la estructura de veta principal, con epidotización de tipo pervasivo y esmectita-illita muy débil; esta continuidad se debe verificar con actividades de desarrollo de exploración mina (**Figura 23**).



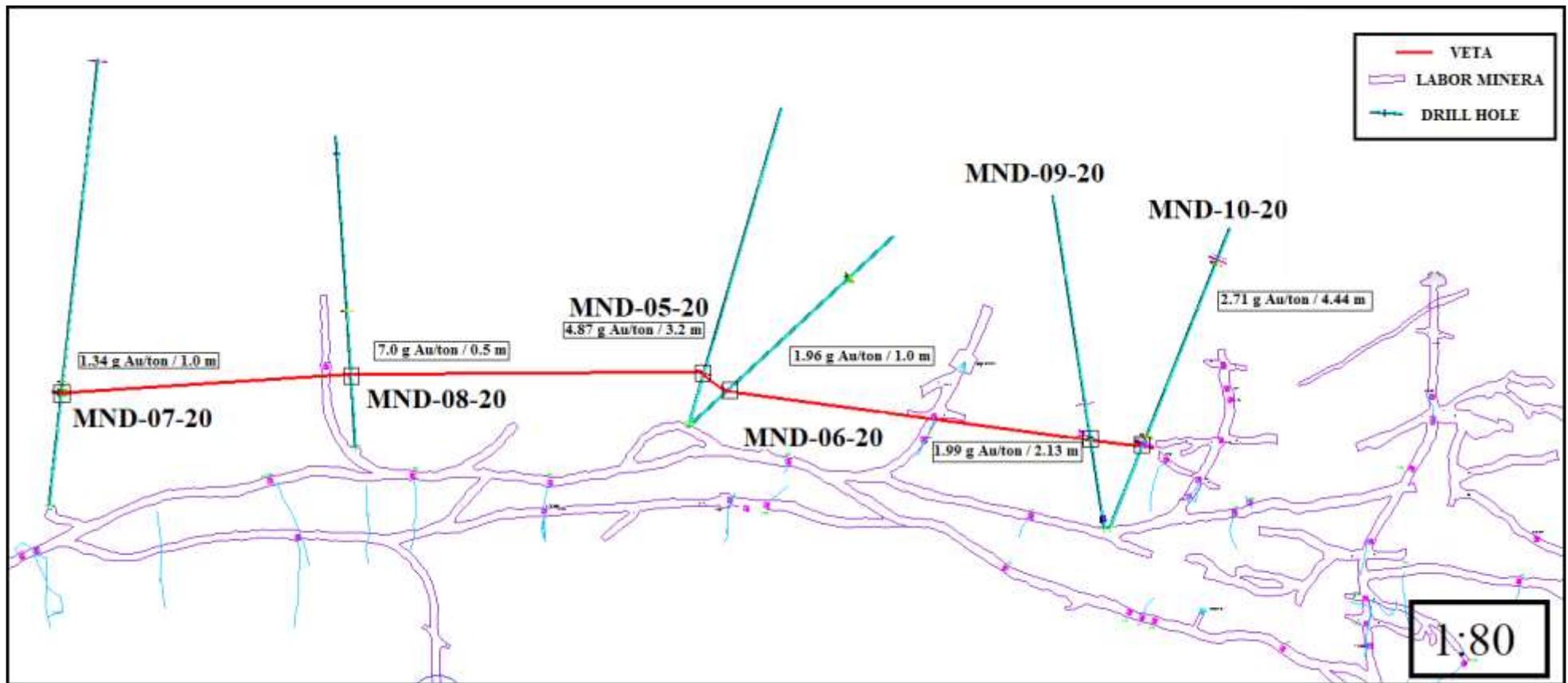


Figura 23. Modelo de Vista en Planta donde se muestra la correlación de estructuras con su respectivo tenor ponderado de las muestras que interceptaron las perforaciones en la zona de veta de interés en el norte del Nivel 20 de la mina La Maruja.



Se realizó cálculo de tenor ponderado con las muestras de perforación que interceptaron la estructura geológica de interés. En este caso, se efectuaron recalculos con base en parámetros estadísticos, aplica para el llamado efecto pepita cuando tenores de oro son muy elevados. Se trata de llevar los valores altos de oro que son considerados anómalos dentro de la población de muestras a un valor recalculado más bajo (capping), esto se realiza primero calculando el tenor ponderado incluyendo los picos anómalos, y posteriormente se reemplazaran los valores por el tenor de veta para después recalcularse el tenor ponderado.

El tenor ponderado recalculado para 19 muestras representativas correspondientes a seis pozos diamantinos se presenta en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Recalculo de tenor ponderado, donde el valor de tenor de veta previamente obtenido sustituye a los picos anómalos de oro.

MUESTRA	NIVEL	TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FROM (m)	TO (m)	ANCHO VETA (m)	Au (g)	Au SIN RECALCULO	A.V CORREGIDO	V x Au	ANCHOS REALES VETA	TENOR PONDERADO
1	20	POZO MND-05-20	VEN	15.18	15.68	0.50	4.72	4.72	0.50	2.36	3.2	4.87
2	20	POZO MND-05-20	VNS	15.68	16.68	1.00	1.52	1.52	1.00	1.52		
3	20	POZO MND-05-20	VNS	16.68	17.57	0.79	3.38	3.38	0.79	2.67		
4	20	POZO MND-05-20	VNS	17.57	18.48	0.91	9.92	9.92	0.91	9.03		
5	20	POZO MND-06-20	VEN	14.01	14.51	0.50	3.81	20.13	0.50	1.91	1.0	1.96
6	20	POZO MND-06-20	VEN	14.51	15.01	0.50	0.10	0.10	0.50	0.05		
7	20	POZO MND-07-20	VEN	37.04	37.54	0.50	2.64	2.64	0.50	1.32	1.0	1.34
8	20	POZO MND-07-20	VEN	37.54	38.04	0.50	0.04	0.04	0.50	0.02		
9	20	POZO MND-08-20	VEN	15.19	15.19	0.50	7.00	7.00	0.50	3.50	0.5	7.00
10	20	POZO MND-09-20	VNS	27.12	28.11	0.99	1.40	1.40	0.99	1.39	2.13	1.99
11	20	POZO MND-09-20	VNS	28.11	28.75	0.64	2.04	2.04	0.64	1.31		
12	20	POZO MND-09-20	VEN	28.75	29.25	0.50	3.08	3.08	0.50	1.54		
13	20	POZO MND-10-20	VEN	28.04	28.54	0.50	0.12	0.12	0.50	0.06	4.44	2.71
14	20	POZO MND-10-20	VNS	28.54	29.04	0.50	0.13	0.13	0.50	0.07		
15	20	POZO MND-10-20	VEN	29.04	29.63	0.59	4.30	4.30	0.59	2.54		
16	20	POZO MND-10-20	VNS	29.63	30.52	0.89	1.08	1.08	0.89	0.96		
17	20	POZO MND-10-20	VEN	30.52	31.02	0.50	3.30	3.30	0.50	1.65		
18	20	POZO MND-10-20	VNS	31.02	31.52	0.50	1.24	1.24	0.50	0.62		
19	20	POZO MND-10-20	VNS	31.52	32.48	0.96	6.40	6.40	0.96	6.14		

TENOR DE VETA (g/ton)	Au
ANCHO DE VETA (m)	2.05

Tenor Au SIN RECALCULO
3.81



6.3. Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC)

El aseguramiento y control de calidad es el conjunto de procesos utilizados para prevenir, monitorear e identificar errores, así como las acciones correctivas en las etapas de muestreo y análisis principalmente. Esto garantiza la confiabilidad en la información y seguridad en la toma de decisiones de los inversionistas.

6.3.1. Inserción de Muestras de Control de Calidad

Consiste en asignar una serie de muestras que cuentan con ciertas cualidades, estas deben hacer parte del lote de muestras tomadas en canales, testigos de perforación y son enviadas al laboratorio, deben llevar un número de identificación al igual que las muestras ordinarias. Su finalidad es evaluar mediante cálculos estadísticos la precisión, exactitud y contaminación de los procesos ejecutados en la fase de muestreo y por los que se realizan en el laboratorio donde se realizan los análisis químicos.

Muestras de Control: Son muestras que se insertan en cada uno de los lotes con el fin de controlar los procesos previamente mencionados, estas pueden ser de materiales de referencia certificados por laboratorios externos (CRM-Certified Material Reference) entre los que se encuentran los blancos gruesos, blancos finos y estándares. Las otras son muestras de control que se toman y se insertan durante los procesos de muestreo en campo (Duplicados de campo) y durante la fase de preparación y análisis en los laboratorios (interno de la compañía y externo como SGS) (duplicados finos, duplicados gruesos) de rechazos gruesos y pulpas.

En el muestreo de canal, generalmente pueden ser tomadas entre 20 y 50 muestras por cada pareja de auxiliares, por lo tanto, los controles establecidos para cada lote son los siguientes: un estándar, un blanco grueso, un duplicado fino, un duplicado grueso y un duplicado de campo, teniendo que cada intervalo de las muestras de control debe estar espaciadas. En el caso de las muestras de pozos, en un intervalo de 70 muestras se



insertan: tres estándares, un blanco fino, un blanco grueso, un duplicado fino y un duplicado grueso, teniendo un promedio de una muestra de control cada 10 muestras. En promedio se envían cuatro lotes diarios de 30 muestras de canal (la cantidad de muestras puede variar, dependiendo de la longitud y tiempo de muestreo requerido) y en pozos de producción se envía un lote semanal (dicho lote varía en función de la longitud del pozo).

Los parámetros que se miden en un programa de QA/QC son los siguientes:

Precisión: La capacidad de repetir consistentemente los resultados de una medición en condiciones similares. Se evalúa mediante la inserción de duplicados.

- **Duplicados:** Muestra de características prácticamente iguales a otra muestra, por lo que el resultado del análisis de determinado elemento debe ser casi igual al de la otra muestra.
- **Duplicado de Campo (FID):** Muestra de un mismo intervalo/sitio tomado de manera idéntica a la muestra original, para medir la precisión de la muestra original y evaluar la calidad del muestreo realizado. Los duplicados de campo pueden indicar el efecto pepita natural de las muestras, así que pueden existir variaciones significativas entre el original y el duplicado.
- **Duplicado Grueso (DUG):** Duplicado tomado de la muestra triturada para medir la precisión del proceso de preparación, trituración y cuarteo. El límite de aceptación es ser menor que la de los duplicados de campo.
- **Duplicado Fino (DUP):** Duplicado tomado de la muestra pulverizada (rechazos finos) para medir la precisión del proceso de análisis del laboratorio. El límite de aceptación es menor que la de los duplicados gruesos y de campo.

Exactitud: La proximidad de una medición a un valor “real” o aceptado como “apropiado” se controla mediante estándares o sea material de referencia estándar certificado (CSRM-Certified Standard Reference Material)

- **Estándar (STD):** El material de referencia estándar certificado (CSRM) representa una muestra compuesta (pulpas) de matriz (tipo de roca) y contenido del elemento a analizar conocidos (media y errores aceptados) certificadas por laboratorios internacionales enviadas para comprobar la exactitud (“accuracy”) del laboratorio **(Figura 24)**.



Figura 24. Muestra de control correspondiente a un estándar (CSRM- Certified Standard Reference Material).

La inserción de las muestras estándar (STD) certificadas se realiza de acuerdo con el valor de oro esperado del sitio de muestreo, lo cual queda a criterio del Geólogo encargado de cada nivel de la mina **(Tabla 8)**.

Tabla 10. Referencias de Estándares certificados con sus respectivos valores de oro. Tomado de Caldas Gold Corp (2021).

NÚMERO	ESTÁNDAR (STD)	Au (ppm)
1	G313-2	2.04
2	G315-8	9.93
3	G914-6	3.21
4	G916-5	19.92
5	G314-1	0.75
6	G915-2	4.98

Contaminación: Mezcla de las muestras a evaluar con respecto a material adyacente (pequeñas partículas que se pueden mezclar con la muestra original que genera distorsiones en los resultados). La contaminación se puede generar en varias situaciones, al momento de la extracción, durante el transporte de las muestras, en el procesamiento, trituración y pulverización en el laboratorio, es decir, la transferencia involuntaria de material de una muestra o del medio circundante a otra muestra.

- **Blanco:** Muestra de material estéril o de valor CERO para el elemento a analizar. Mide la contaminación durante todos los procesos de análisis de laboratorio. Es un “estándar” de concentración cero.
- **Blanco Grueso (BLG):** Muestra con valor CERO de granulometría gruesa, que se somete a todo el proceso de preparación en conjunto con las demás muestras ordinarias con granulometría gruesa. Evalúa la contaminación durante la preparación en el laboratorio (**Figura 25 a**).
- **Blanco Fino (BLF):** Muestra con valor CERO de granulometría fina. Evalúa la contaminación en el análisis del laboratorio (**Figura 25 b**).



Figura 25. Muestras de control que evalúan la contaminación; a. Blanco Grueso (BLG); b. Blanco Fino (BLF).

Cuando se dio inicio al proceso de implementación de Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC) en la empresa, se tenían un alto porcentaje de error para cada una de las muestras de control. Actualmente, cada uno de los procesos (porcentaje de fallos de los controles) están más controlados, teniendo un porcentaje de error muy bajo de blancos, duplicados finos y gruesos, para muestras de control estándar se tiene un porcentaje de fallo bajo (más alto que los anteriormente descritos), aunque falta calibrar este tipo de muestra de control. En el caso de los duplicados de campo los errores continúan siendo altos, por lo tanto no se debe confiar en dichos resultados, dado que no se está manejando la precisión adecuada para este tipo de muestras de control.



6.4. Cartografía Geológica Subterránea

La cartografía geológica subterránea consiste en describir rasgos geológicos como litología, alteraciones hidrotermales, mineralizaciones (estilo de mineralización, minerales de mena presentes, cantidad o porcentaje de mineralización, entre otras características) y categorizar las estructuras (fallas, diaclasas, vetas, tendencia estructural, espesores, continuidad); se debe registrar la información relevante que sirva de guía para hacer correlaciones, interpretaciones y pueda contribuir en la toma de decisiones en el proceso



de explotación. El nivel de detalle utilizado para los levantamientos cartográficos fue 1:250, donde las estructuras mínimas cartografiables fueron de 25 cm (0.25 m).

Inicialmente se selecciona la labor a mapear sea de desarrollo o producción. Es indispensable contar con un plano actualizado de la topografía a la escala requerida, las estructuras a cartografiar deben ser atadas a un punto georrefenciado o amarradas espacialmente a un sitio de coordenadas conocido (punto topográfico) **(Figura 26)**.

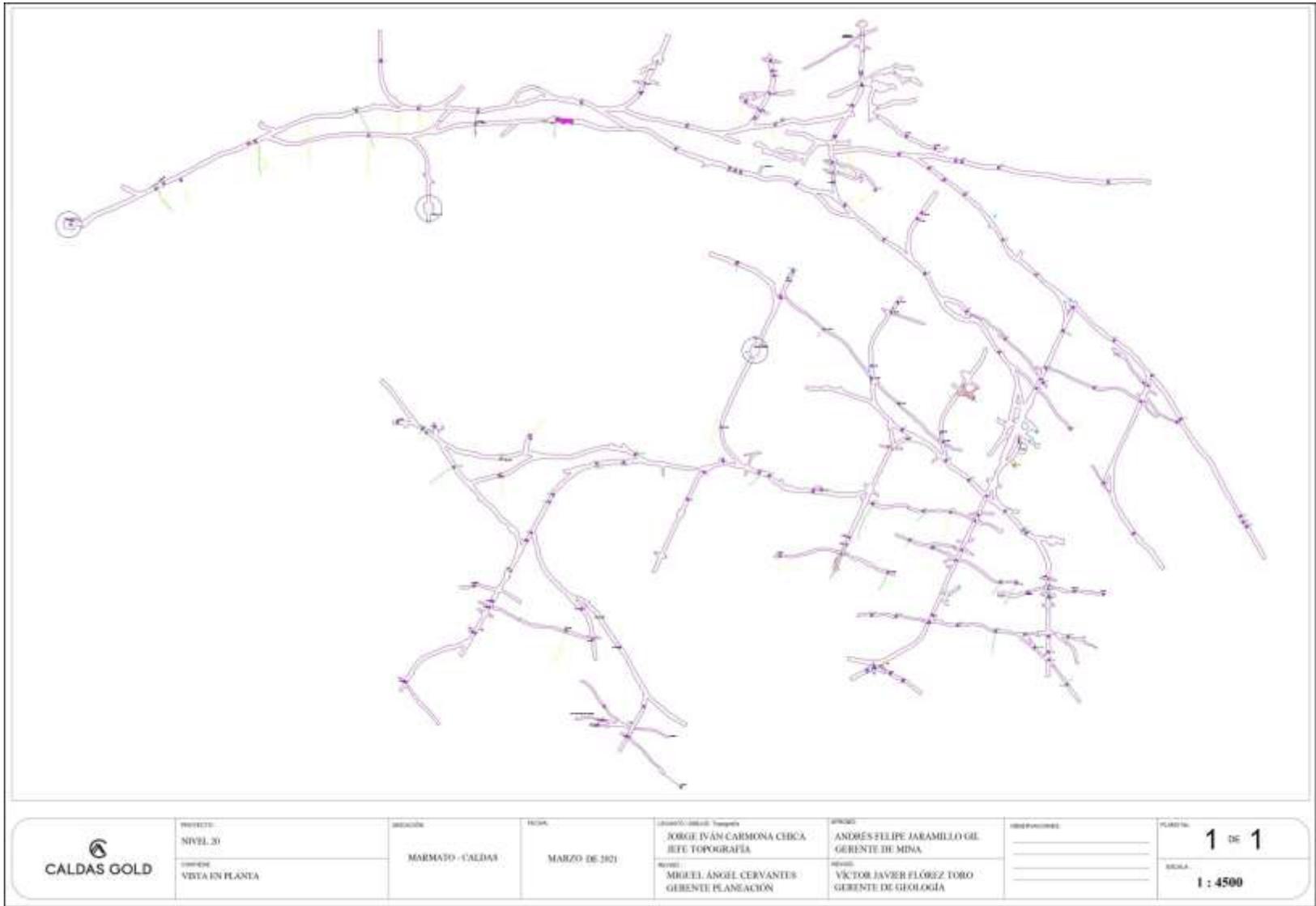


Figura 26. Levantamiento subterráneo de Vista en Planta del Nivel 20 de la mina La Maruja. Tomado de Caldas Gold Corp (2021).



El levantamiento de la zona de interés se realiza a nivel de cintura, debe ser llevado a un plano horizontal imaginario. Se procede a la descripción y control geológico-estructural de los filones mineralizados y las estructuras presentes (fallas, diaclasas) a lo largo de la labor, de acuerdo con la escala de trabajo, la información debe ser presentada de forma concisa y clara; las tendencias estructurales fueron determinadas por el método azimutal y Dip direction/Dip (**Figura 27**).

Finalmente, se registra la información obtenida de forma digital. En este proceso se escanea el plano con la cartografía y se escala la imagen, para el análisis y correlación de las estructuras (**Figura 28**).

Las labores correspondientes a cartografía geológica subterránea fueron desarrolladas en:

- Nivel 20, Sobreguía Diana al Este.
- Nivel 16, Echandia 9 al Oeste.

Los mapas de cartografía se exponen en el **Anexo C**.



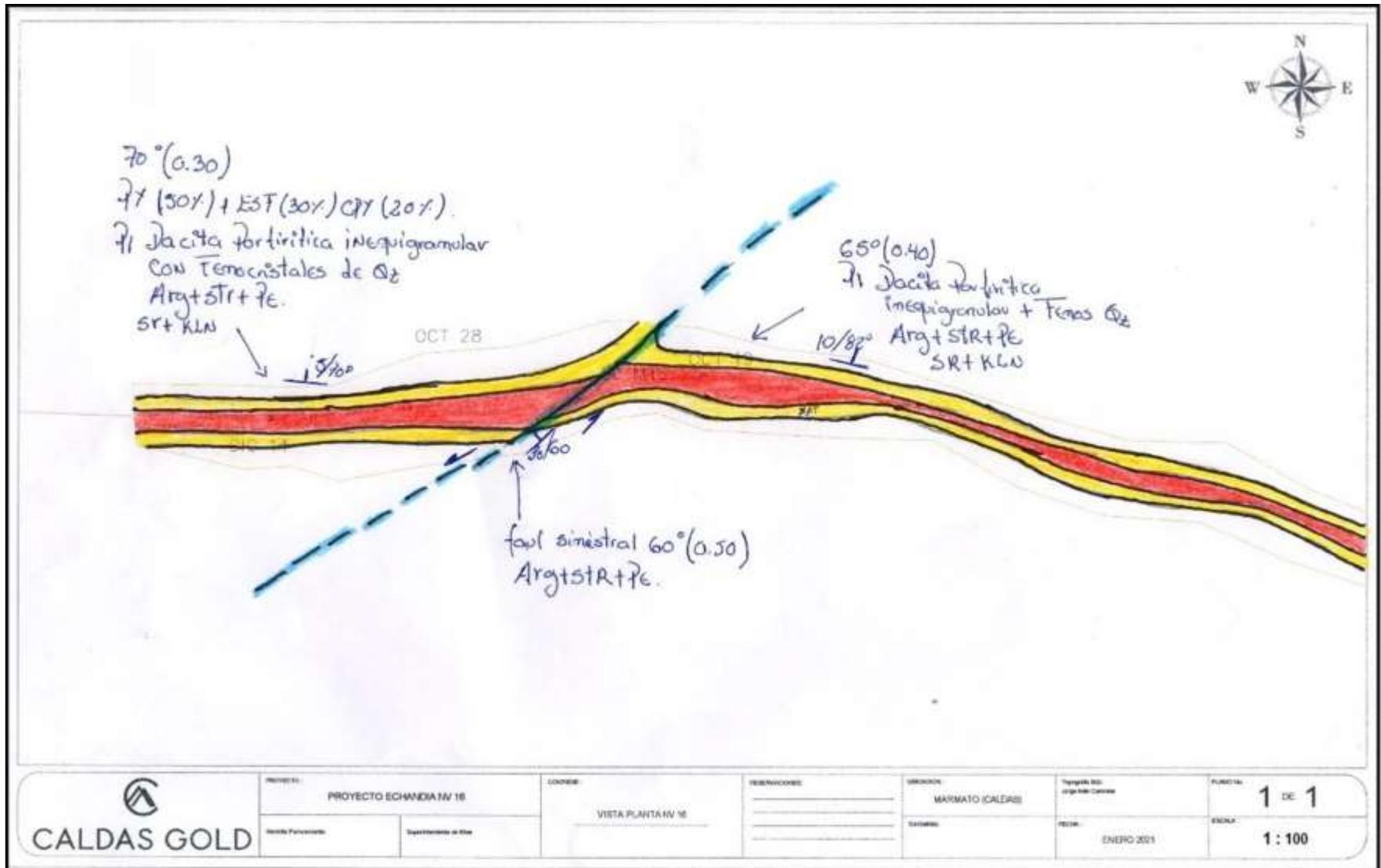


Figura 27. Ejemplo ilustrativo del producto físico de la cartografía geológica subterránea a escala 1:100. Nótese en rojo la estructura mineralizada, en amarillo la alteración hidrotermal predominante y en azul estructura de falla; los datos estructurales son presentados en notación Dip Direction/Dip.

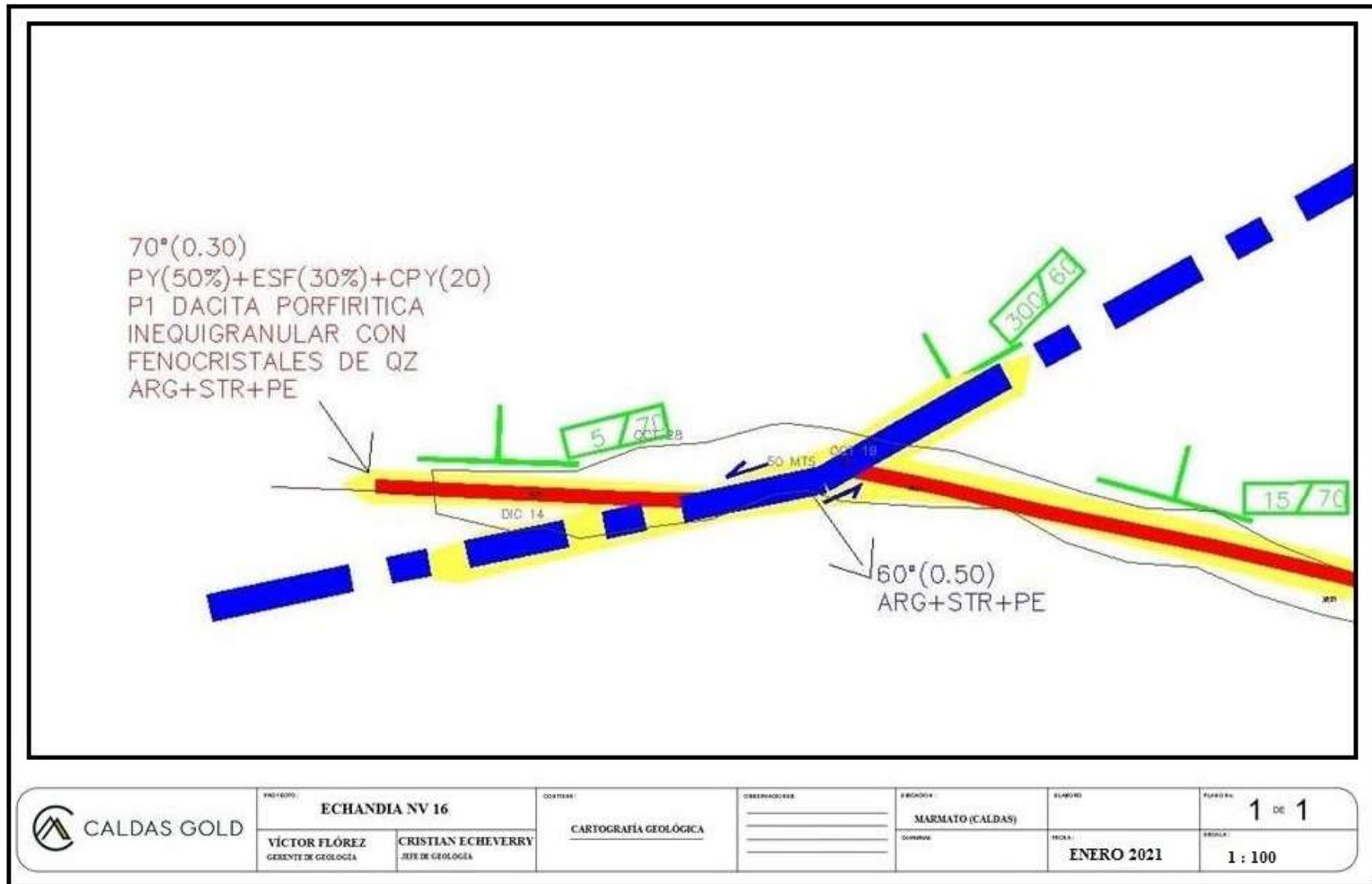


Figura 28. Digitalización modelo cartográfico a escala 1:100.



6.5. Construcción de Modelo de Estructuras de la mina La Maruja

En la construcción de un modelo geológico, el proceso más relevante es la captura de la información de los muestreos al interior de mina, estos deben ser ejecutados bajo los respectivos protocolos, cadena de custodia y entrega de las muestras al laboratorio, cumplir con los estándares de Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC) definidos por la compañía, con el fin de garantizar resultados óptimos y tengan una mayor confiabilidad; durante la toma de la muestra, el geólogo debe recolectar otra información complementaria, como litología, alteración y definir tendencias estructurales. Toda la información es ingresada a una base de datos y debe cumplir con ciertos estándares de codificación: ID Canal, ID Muestra, código litológico (P1-P5), coordenadas, dip y azimut. Después de obtener los resultados de laboratorio y validar la información, se procede a construir el modelo de las estructuras que tiene la mina, para una mayor comprensión y entendimiento del comportamiento de las mismas, mientras más información se tome y sea más precisa, el producto final del modelo será mejor. Esta herramienta permite apoyar avances en la planeación de mina, tener una base de estimación aproximada y generar los recursos necesarios para la producción y en el diseño de programas de exploración en la búsqueda de recursos.

La base de datos con toda la información es cargada al *software* Leapfrog, se construye el modelo geológico donde se tienen estructuras (fallas, vetas), litología y mineralización (**Figura 29**). A medida que incrementa el conocimiento de las estructuras puedo definir tendencias, contribuye tanto en la planeación como a identificar zonas que necesitan ser exploradas y conocer más el comportamiento del depósito (**Figura 30**). El diseño de una mina está basado en el modelo geológico y el de la mineralización, se deben tener identificadas las zonas que presentan mayor concentración de metales de interés y las de menores valores.



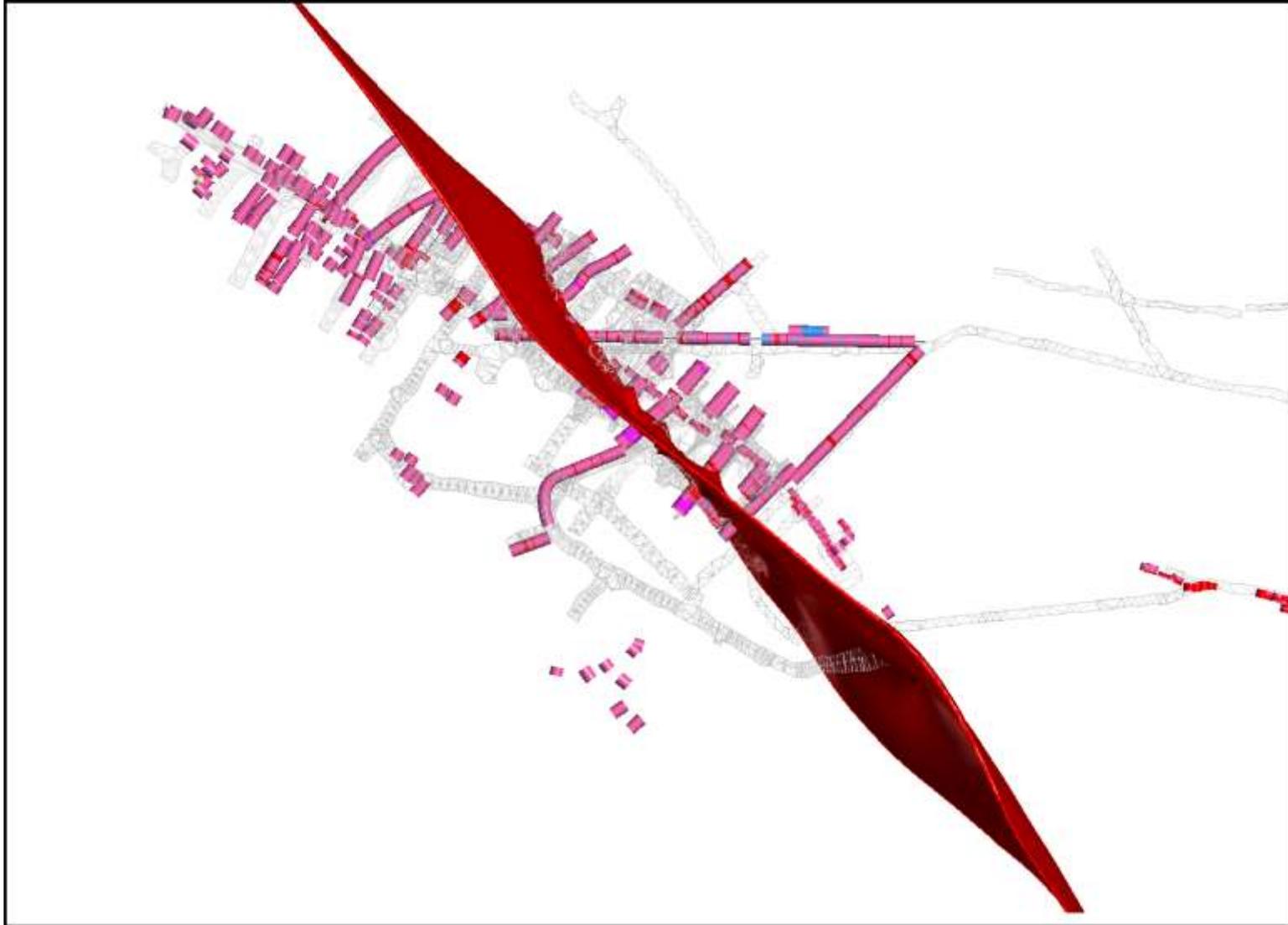


Figura 29. Vista en Planta, Modelo geológico de la Veta Mellizos en el Nivel 21. Tomado de Caldas Gold Corp (2021).



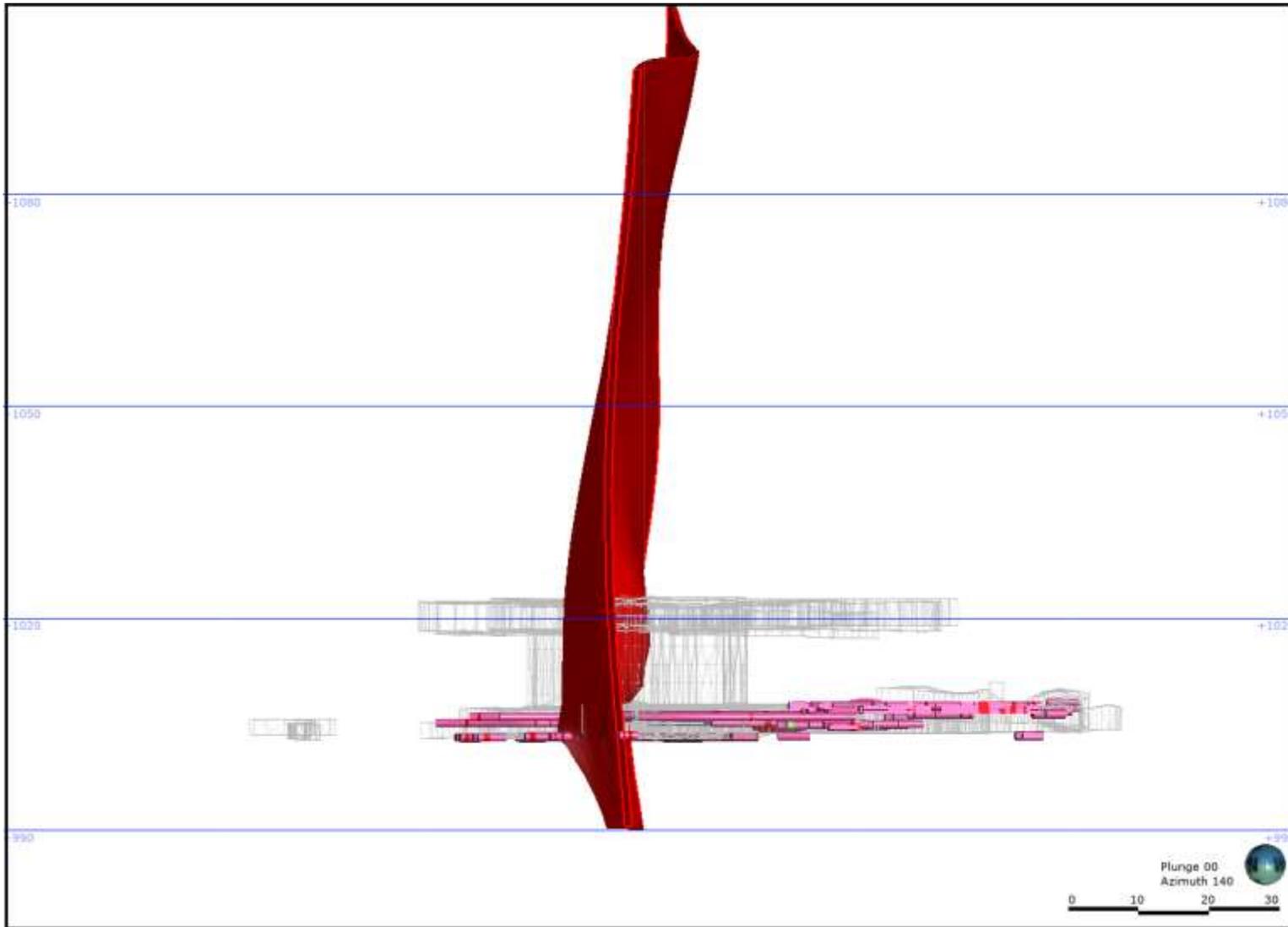


Figura 30. Sección NW-SE de la Veta Mellizos, Nivel 21. Tomado de Caldas Gold Corp (2021).



CONCLUSIONES

- Con base en las actividades realizadas durante la práctica, se concluye y corrobora que la litología dominante que se presenta en la mina la Maruja corresponde a P1, roca con textura porfírica de composición dacítica, perteneciente al *Stock* de Marmato y las alteraciones hidrotermales relacionadas al depósito de Marmato son: propilítica de epidota-clorita, sódico-cálcica de albita-epidota, argílica representada por asociaciones de sericita-caolinita, sericita-illita, sericita-esmectita y esmectita-illita, y albitización de albita-sericita.
- Los cuerpos mineralizados de características epitermales de baja a intermedia sulfuración, están constituidos en orden de abundancia relativa por pirita, esfalerita, pirrotina, calcopirita, arsenopirita, galena, oro electrum y menor contenido de oro nativo, con minerales de ganga como epidota, clorita, cuarzo y calcita; el estilo de mineralización que se presenta es vetas, venas y venillas con espesores variables.
- Durante el desarrollo de las actividades de logueo, fueron identificadas venillas de carácter mesotermal, están compuestas de mayor a menor proporción por pirrotina, calcopirita, bismuto y oro libre, se encuentran emplazadas en el cuerpo P1 y comúnmente acompañadas de alteración propilítica.
- De acuerdo a la descripción de testigos de perforación se logra determinar la continuidad de una estructura mineralizada preexistente en la zona norte del Nivel 20, es correlacionada con base en las características geológicas que presenta en campo (tendencia estructural, alteración, espesor, estilo y contenido de la mineralización). Esta actividad aporta información valiosa e influye en la toma de decisiones sobre la planificación, procesos de explotación (producción-desarrollo) y evaluación del depósito mineral, con el

[REDACTED]

fin de definir recursos que posteriormente pasarán a ser reservas mineras para la empresa.

- Técnica como la cartografía geológica subterránea detallada, relaciones de campo e interpretaciones a partir de la información recolectada, son relevantes y contribuyen en el desarrollo del proceso minero.
- En el trabajo de campo, se evidencia que las estructuras presentan tendencias generales NNW-SSE, E-W y NNE-SSW con buzamientos subverticales a verticales; estas se encuentran asociadas a los principales sistemas de fallas del DMM.
- A partir de los resultados de muestreo llevados a cabo al interior de mina, se recalculan los valores de oro obtenidos y se logra conocer el tenor que presenta a lo largo de determinada labor minera, se evalúa el comportamiento de los datos de muestreo y definen zonas de interés a explotar.
- El Aseguramiento y Control de la Calidad es una de las actividades que más impacto tiene en la industria minera; todos los procesos que se llevan a cabo en las fases de exploración y explotación se rigen bajo estándares de calidad definidos por la compañía, la ejecución correcta de estas acciones tiene como finalidad brindar garantías sobre la confiabilidad de la información a los inversionistas, donde uno de los puntos más relevantes es la estimación de recursos y reservas.
- La construcción de modelos geológicos a partir de herramientas 3D, brinda una mejor perspectiva del comportamiento de las estructuras y entendimiento del depósito, también son fundamentales en la toma de decisiones al momento realizar planeación en los avances de frentes de desarrollo y/o producción, y sirve de insumo para la estimación de recursos.



RECOMENDACIONES

- Realizar nuevas campañas de perforación en la zona NW del Nivel 20, programar pozos de acuerdo a la tendencia general de la estructura de interés, tomando en cuenta el ángulo de buzamiento, de manera que pueda ser interceptada perpendicular al eje de perforación.
- Cerrar la malla de sondajes con el fin de obtener mayor precisión y exactitud de la continuidad de las estructuras.
- Implementar nuevas herramientas en el desarrollo de las actividades de muestreo de canal al interior de mina como martillos neumáticos para tener muestras representativas y de calidad.
- Continuar con la figura del supervisor del muestreo al menos tres veces por semana, garantizando las buenas prácticas que se deben ejecutar y así disminuir los factores de error que se puedan presentar.
- Llevar un control del cumplimiento semanal por parte de la supervisión en los frentes que presentan una mayor variabilidad en cuanto al tenor y muestran un rango alto de incertidumbre.
- Controlar detalladamente labores de perforación, cuya finalidad es evitar pérdidas considerables y dar un mayor porcentaje de recuperación en toda la longitud del pozo.



REFERENCIAS

- Calle, B., & González, H. (1982). Geología y Geoquímica de la Plancha 186 Riosucio. *INGEOMINAS Informe 1878. Medellín., I*, 119.
- Cediel, F. (2011). Major tecto-sedimentary events and basin development in the Phanerozoic of Colombia. In *Petroleum Geology of Colombia* (pp. 13–115). Fondo Editorial, Universidad EAFIT.
- Durán, R. (2005). Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica (Magnetométrica) de las Planchas 166, 167, 186 y 187, Escala 1:100,000, IGAC. Zona de Influencia del Sector Cauca-Romeral. In *INGEOMINAS*.
- Gómez-Cruz, A., Moreno-Sánchez, M., & Toro, L. M. (2007). Proveniencia del material clástico del Complejo Quebradagrande y su relación con los Complejos estructurales adyacentes. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 1(22), 27–38.
- Gómez, J., Montes, N. ., Nivia, A., & Diedrix, H. (2015). *Mapa Geológico de Colombia 2015. Scale 1:1.000.000*.
- Maya, M., & González, H. (1995). Unidades Litodemicas en la Cordillera Central de Colombia. In *Boletín Geológico INGEOMINAS*.
- Melo-Gómez, J. D. (2017). *Análisis espectral de las alteraciones hidrotermales asociadas al depósito de oro de Marmato, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

- Moreno-Sánchez, M., & Pardo-Trujillo, A. (2003). Stratigraphical and Sedimentological Constraints on Western Colombia: Implications on the Evolution of the Caribbean Plate Chapter. *AAPG Memoir*, 79(December), 891–924.
- Nivia, A., Marriner, G. F., Kerr, A. C., & Tarney, J. (2006). The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 423–436. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.002>
- Rodriguez, G., & Zapata, G. (2014). Descripción de una nueva unidad de lavas denominada Andesitas basálticas de El Morito – correlación regional con eventos magmáticos de arco. *Boletín de Geología*, 36(1), 85–102.
- Ruíz-Jiménez, E., Blanco-Quintero, I., Toro-Toro, L. M., Moreno-Sánchez, M., Vinasco, C., García-Casco, A., Morata, D., & Gómez-Cruz, A. (2012). Geoquímica y Petrología de las Metabasitas del Complejo Arquía (Municipio de Santa Fé de Antioquia y Río Arquía, Colombia): Implicaciones geodinámicas. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 32, 65–79.
- Santacruz R., L., Redwood, S. D., Cecchi, A., Matteini, M., Botelho, N. F., Ceballos, J., Starling, T., & Molano, J. C. (2021). The age and petrogenesis of reduced to weakly oxidized porphyry intrusions at the Marmato gold deposit, Colombia. *Ore Geology Reviews*, January. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103953>
- Shaw, R. P., Leal-Mejía, H., & Melgarejo i Draper, J. C. (2019). Phanerozoic Metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-magmatic Analysis in Space and Time. In *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 411–550). Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76132-9>
- SRK Consulting Inc. (2020). *NI 43-101 Technical Report Pre-Feasibility Study Marmato Project Colombia*.
- Starling, T. (2010). *Structural Study of the Marmato District, Colombia. Report by*



Telluris Consulting (UK). Ltd. for Medoro Resources Ltd.

Tassinari, C. C. G., Pinzon, F. D., & Buena Ventura, J. (2008). Age and sources of gold mineralization in the Marmato mining district, NW Colombia: A Miocene-Pliocene epizonal gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 33(3–4), 505–518. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.03.002>