

**INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA POR MEDIO DE UN MODELO 3D DE LA
CRUZADA PARALELA SANTA INÉS DEL NIVEL 21 DE LA MINA LA MARUJA
(MARMATO, CALDAS), A PARTIR DE CARTOGRAFÍAS SUBTERRÁNEAS,
MUESTREOS Y DESCRIPCIÓN DE TESTIGOS EXPLORATORIOS.**

SEBASTIAN ROJAS HOYOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogo.

Asesor

VICTOR JAVIER FLOREZ TORO

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

MANIZALES

2019

Tabla de contenido

1. Introducción	6
2. Objetivos	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos	7
3. Descripción del proyecto	8
3.1. Localización y generalidades	8
4. Marco geológico	10
4.1. Geología regional	10
4.2. Geología local	11
4.3. Geología estructural	14
4.4. Geología y mineralización del depósito	15
5. Metodología	18
6. Labores mineras.....	21
6.1. Cartografía geológica subterránea.....	21
6.2. Muestreo en canal.....	24
6.3. Descripción y muestreo de testigos.....	28
6.3.1. Descripción de perforaciones exploratorias.....	29
6.3.1.1. Verificación de cajas porta-testigos y recuperación.....	30
6.3.1.2. Descripción de testigos.....	31
6.3.2. Muestreo de perforaciones exploratorias.....	32
6.3.3. Control y aseguramiento de la calidad (QA/QC).....	35

6.3.3.1.	Asignación de muestras de control.....	35
6.3.3.2.	Formato de muestreo y control de calidad.....	36
6.3.3.3.	Tarjetas de muestreo y fichas de muestreo.....	37
6.3.3.4.	Toma de fotos y empaque de muestras.....	37
7.	Resultados	38
7.1.	Eventos mineralizantes y alteraciones.....	47
7.1.1.	Alteraciones.....	47
7.1.2.	Mineralizaciones.....	49
8.	Conclusiones	50
9.	Recomendaciones	53
10.	Bibliografía.....	54
11.	Anexos	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital de Marmato	8
Figura 2. Fotografía aérea del municipio de Marmato.....	9
Figura 3. Mapa geológico de los alrededores de Marmato.....	13
Figura 4. Vista en planta del nivel 20 de la mina La Maruja.....	19
Figura 5. Vista en planta del nivel 21 de la mina La Maruja.	19
Figura 6. Se pueden observar algunas de las características importantes a tener en cuenta para realizar cartografías subterráneas.....	22
Figura 7. Cartografía de la Cruzada 1W Sur Santa Inés-Mellizos (Cruzada Mellizos).....	23
Figura 8. Digitalización de la cartografía realizada en la Cruzada 1W Sur Santa Inés-Mellizos (Cruzada Mellizos).....	23
Figura 9. Panel de explotación convencional.....	24
Figura 10. Esquema que ejemplifica el muestreo en canal en frentes de desarrollo.....	25
Figura 11. Vista en planta de la Cruzada Paralela Santa Inés. Se observan los pozos perforados durante el 2018 con el fin de verificar la presencia de la mineralización de tipo mesotermal y las vetas Santa Inés y Mellizos en el nivel 21 de la mina La Maruja	28
Figura 12. Formato utilizado para la verificación de la pérdida durante la perforación.....	30

Figura 13. Se observa la realización del marcaje del metro a metro.....	31
Figura 14. Pozo MND-18-18.....	34
Figura 15. Se observan las muestras D128844, D128845 y D128846, en donde se realizó el muestreo de una veta y sus respaldos con dimensiones no mayores a 50 cm.	34
Figura 16. Cartografía de la CPSI, Cruzada Mellizos y Guía Mellizos	39
Figura 17. Vista en planta de los pozos realizados con la perforadora Diamec-232 y del muestreo en canal realizado en la CPSI, se observan las principales litologías existentes, predominando P1, también se observa gran cantidad de venas y vetas	41
Figura 18. Corte N-S y N45°W de los pozos perforados desde la Cámara #1 de la Cruzada Paralela Santa Inés	42
Figura 19. Correlación de las alteraciones, litologías, concentraciones de oro y presencia de venillas de tipo mesotermal obtenidos del logueo de los pozos MND-12-18 a MND-17-18 y del muestreo en canal	44
Figura 20. Correlación de las alteraciones, litologías, concentraciones de oro y presencia de venillas de tipo mesotermal obtenidos del logueo de los pozos MND-18-18 a MND-21-18.....	45
Figura 21. Modelo 3D de la CPSI.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción del muestreo.....	27
Tabla 2. Tamaños de perforación comúnmente utilizados en minería	29
Tabla 3. Cálculo del peso máximo y mínimo de las muestras.....	33
Tabla 4. Datos de la ubicación, orientación e inclinación de los pozos realizados con la perforadora Diamec-232 desde la Cámara #1 de la Cruzada Paralela Santa Inés	38
Tabla 5. Datos de la ubicación, orientación e inclinación de los pozos realizados con el equipo de perforación Ingetrol desde la Cámara #2 de la Cruzada Paralela Santa Inés	38

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en mi formación como geólogo. A mis hermanos Juan Pablo, María Mónica y Santiago por estar presentes cuando lo he necesitado. A mi madre Luz Janeth Hoyos Clavijo por su esfuerzo para brindarme una formación profesional, a mi padre Campo Elías Rojas Ocampo por su ejemplo y por sus enseñanzas que aplico cada día, gracias a ambos por los valores y principios que me han transmitido.

A mi amor y también geóloga Melissa Rico Rincón, porque has sido parte fundamental de mi motivación para finalizar mi formación como geólogo. Gracias por tus consejos, por tu cariño y por tu compañía que es para mí muy valiosa.

Al equipo de trabajo de geología de la mina La Maruja y al grupo de exploración de Gran Colombia Gold por su calidad humana, asesoría y apoyo en la realización de la práctica académica.

A mi asesor de práctica en la Universidad de Caldas por la revisión de este documento y sus valiosas correcciones y recomendaciones.

Al grupo docente del programa de geología de la Universidad de Caldas por sus conocimientos transmitidos.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un informe de las labores realizadas como practicante en el área de geología en la empresa Gran Colombia Gold Marmato S.A.S, en donde se describen las tareas llevadas a cabo en geología de mina y exploración geológica subterránea a partir de perforaciones diamantinas en el nivel 21 de la mina La Maruja.

En el informe se hace una descripción de cada una de las labores mineras realizadas para determinar la presencia de una nueva mineralización en la mina La Maruja ubicada en el municipio de Marmato, dichas labores incluyen muestreo en canal, cartografía geológica subterránea y descripción y muestreo de núcleos de perforación, también se intenta comprobar la continuidad de las vetas Mellizos y Santa Inés al SW del nivel 21 de la mina, específicamente en los alrededores de la Cruzada Paralela Santa Inés.

Por último se describen los resultados obtenidos en las labores realizadas y se hace una interpretación geológica por medio de un modelo 3D de la zona de estudio.

1. Introducción

Son variadas las labores que debe desarrollar el geólogo en la minería subterránea, estos profesionales se encargan de la realización de cartografías, muestreos, descripción de testigos, evaluación económica del yacimiento, evaluación geo-mecánica del yacimiento, entre otras; lo que los convierte en profesionales indispensables en la evaluación y planificación de la explotación de yacimientos minerales. Por tal motivo en este documento se plasman algunas de las funciones más básicas pero a pesar de ello indispensables llevadas a cabo por un geólogo de mina en su labor diaria, y que fueron realizadas durante la práctica académica como geólogo en la mina La Maruja en el depósito epitermal de oro (Au) y plata (Ag) de Marmato (Caldas).

La labor principal llevada a cabo fue la descripción de perforaciones exploratorias con el fin de estudiar una mineralización diferente a la explotada históricamente en la mina La Maruja, dicha mineralización se presenta principalmente en venillas delgadas (1 – 50 mm de espesor) de cuarzo, pirrotina y calcopirita, con oro libre. Para evaluar esta mineralización también se realizaron cartografías subterráneas detalladas a escala 1:200 y muestreos en canal. Como resultado se pudo concluir que efectivamente dicha mineralización contaba con cantidades de oro económicamente rentables por encima de los 3 g/ton. Al igual se encontraron abundantes zonas de vetas con cantidades variables de oro, siendo algunas de ellas de importancia económica, como la veta Santa Inés y Mellizos. Estos resultados se sustentan en las observaciones geológicas realizadas que día a día y a pesar de los numerosos estudios realizados en Marmato anteriormente, mejoran nuestra comprensión del yacimiento.

La información obtenida queda como base para que posteriormente los geólogos de la mina La Maruja interpreten y evalúen la posible explotación de estos recursos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Procesar y utilizar información geológica adquirida mediante cartografías subterráneas, muestreos en canal y descripción de testigos exploratorios realizados al SW del nivel 21 de la mina La Maruja, con el fin de realizar una interpretación geológica de la zona de estudio mediante un modelo 3D, y evaluar la presencia de una nueva mineralización más profunda en el yacimiento, además, de comprobar la continuidad de las vetas Santa Inés y Mellizos.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar labores geológicas subterráneas tales como muestreo geológico y mapeo geológico subterráneo a escala 1:200.
- Realizar la descripción y muestreo de 10 pozos exploratorios (840.60 metros) realizados en la cámara #1 de la Cruzada Paralela Santa Inés.
- Realizar la evaluación y procesamiento de la información adquirida durante labores de geología de mina y exploración geológica.
- Confirmar la continuidad de las vetas Santa Inés y Mellizos en los alrededores de la Cruzada Paralela Santa Inés (CPSI).
- Evaluar la presencia de la parte superior de una nueva mineralización profunda en la CPSI.

3. Descripción del proyecto

3.1. Localización y generalidades

El municipio de Mármató se encuentra a 46 km de la ciudad de Manizales y 82 km de Medellín y limita al este con los municipios de Pácora y La Merced, al SW con Supía y al NW con Caramanta y se encuentra a una altitud de 1300 msnm (**Figura 1**).

El yacimiento de Marmato es un depósito de oro y plata que ha sido explotado desde el S. XV bajo la modalidad de minería artesanal a pequeña escala, actualmente hay más de cien minas explotando su zona alta y una explotación a mediana escala en su zona baja que es realizada por la compañía Gran Colombia Gold Marmato S.A.S (GCGM) (**Figura 2**).



Figura 1. Imagen satelital de Marmato. Imagen de la localización del municipio de Marmato y la bocamina de la mina La Maruja. Tomada de Google Earth.

Actualmente GCGM se encuentra explotando un sistema de vetas de tipo epitermal de baja e intermedia sulfuración con tenores entre los 1.5 y 6 gr/ton procesando alrededor de 28000

toneladas mensuales con un tenor un poco por encima de los 2.5 gr/ton de oro, la mina La Maruja cuenta con seis niveles (nivel 16, 17, 18.... 22) separados entre sí cada 50 metros, a excepción de los niveles 19 y 20 que se encuentran a 60 metros de separación, el nivel 16 que es el más superficial de la mina se encuentra a una cota de 1260 msnm, mientras el nivel 22 se encuentra a 950 msnm siendo el nivel más profundo de la mina. Actualmente el nivel 22 es el único que no se encuentra en producción.

Además, se está llevando a cabo una campaña exploratoria por debajo del nivel 21 (cota 1000) de la mina, tales perforaciones se realizan con el fin de aumentar el conocimiento (tamaño, continuidad) y reservas existentes. Durante las perforaciones se ha encontrado una “mineralización profunda” de mayor temperatura que según Santacruz et al., (2017) es de tipo mesotermal y se encuentra hospedada en venillas y stockwork de cuarzo, pirrotina, calcopirita, bismuto y oro nativo. Dicha mineralización presenta continuidad desde los 1000 msnm hasta los 700 msnm, en donde los 150 metros superiores consisten en una zona de transición en donde se encuentran tanto las vetas epitermales como la mineralización profunda.

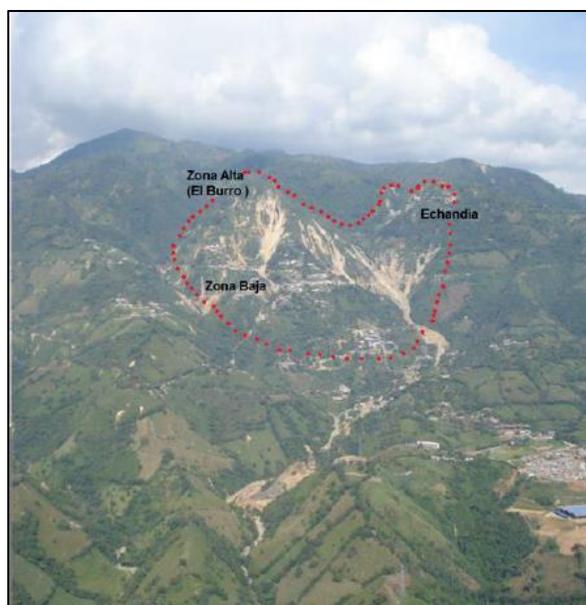


Figura 2. Fotografía aérea del municipio de Marmato. Se puede observar la zona alta y zona baja del cerro El Burro. Tomado de De Mello, 2015.

4. Marco geológico

4.1. Geología regional

El Distrito Minero de Mármató se encuentra al noroccidente del continente sudamericano, en el municipio de Mármató (Caldas), al norte de la Cordillera de los Andes, sobre la Cordillera Occidental colombiana a una latitud de 5°28". Esta es un área con altas pendientes producto de la socavación del río Cauca que es controlado tectónicamente por el sistema de fallas Cauca-Romeral, en este lugar el río Cauca se encuentra a una altitud de aproximadamente 700 msnm, y actúa como línea de división de las Cordilleras Central y Occidental colombianas.

El territorio Colombiano ha tomado forma debido a la acreción de diferentes terrenos al cratón Amazónico, estos terrenos han pasado por diferentes procesos volcánicos, magmáticos y tectónicos que han generado la formación y el levantamiento de las tres cordilleras colombianas (Toussaint y Restrepo, 1989 en Tassinari et al., 2007).

El depósito de Mármató se encuentra emplazado en la vertiente occidental del río Cauca, al este de esta zona se encuentra la Cordillera Central compuesta por rocas producto de metamorfismo regional y de contacto de edades Precámbricas, Paleozoicas y Mesozoicas, posteriormente fueron emplazados una serie de plutones Mesozoicos (principalmente Triásicos-Jurásicos) y Cenozoicos, todas estas unidades se encuentran cubiertas por sedimentos Cretácicos y Cenozoicos (Tassinari et al., 2007 y Ruíz et al., 2012), además de rocas volcanoclásticas principalmente producto del vulcanismo de la Región Volcánica Norte Colombiana (Duque-Caro, 1990; Taboada et al., 2000 en Tassinari et. al., 2007).

Al occidente del sistema de fallas Cauca-Romeral se encuentran los terrenos Cuna y Calima que corresponden a la Serranía de Baudó y la Cordillera Occidental respectivamente, según Toussaint y Restrepo (1989) estos terrenos se formaron por la sucesiva acreción de rocas con afinidades oceánicas, de edades Cretácicas, y que posteriormente fueron intruidas por plutones y rocas subvolcánicas del Cenozoico, y cubiertos por algunos cuerpos volcánicos y sedimentarios de esta misma edad.

4.2. Geología local

El Cinturón del Cauca Medio se refiere a una serie de cuerpos intrusivos que ascendieron por el sistema de fallas Cauca-Romeral debido a su reactivación durante el Mioceno producto de la acreción del bloque Panamá-Chocó al occidente Colombiano (Ego y Sebrier, 1995), generando un adelgazamiento cortical y el emplazamiento de rocas volcánicas y cuerpos subvolcánicos entre los que se encuentran la formación Combia y el Stock de Marmato (Duque-Caro, 1990 en Tassinari et al., 2007) en donde se encuentra hospedado el depósito de Au-Ag de Marmato (ver **figura 3**).

El Stock de Marmato se encuentra intruyendo al Complejo Arquía y la Formación Amagá, ésta última corresponde a una secuencia sedimentaria del Oligoceno-Mioceno (Van der Hammen, 1960 en Tassinari et al., 2007), compuesta por tres miembros (inferior, medio y superior), en cercanías a Marmato aflora su miembro superior compuesto por areniscas, arcillolitas y algunas capas delgadas de conglomerados y carbón (Calle, 1984 en Tassinari et al., 2007).

Al oriente del depósito de Marmato se encuentra el Complejo Arquía y el Complejo Quebradagrande separados entre sí por la falla Silvia-Pijao, ambas unidades se encuentran en la zona de colisión entre el basamento metamórfico de la Cordillera Central y el basamento de corteza

oceánica de la Cordillera Occidental (Rodríguez y Arango, 2013 en Rodríguez y Cetina, 2016), éstas unidades afloran en forma de franjas alargadas, estrechas y discontinuas con tendencia N-S, estando el Complejo Quebradagrande más al este y limitado por la falla San Jerónimo de las rocas del Complejo Cajamarca de la Cordillera Central, mientras el Complejo Arquía se encuentra limitado por la falla Cauca-Almaguer al oeste de la Formación Combia y la Formación Barroso ubicadas en la Cordillera Occidental.

El Complejo Arquía está compuesto por rocas de arcos de islas y corteza oceánica (Rodríguez y Zapata, 2013 en Rodríguez y Arango, 2013) que fueron acrecionadas al continente sudamericano durante el Cretácico Superior (Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003 en Rodríguez y Arango, 2013) y posteriormente afectadas por el sistema de fallas Cauca-Romeral, siendo consideradas por González (1978) y Cediél et al., (2003) como un mélangé. Según Rodríguez y Arango (2013) se encuentran esquistos anfibólicos y sericíticos, esquistos negros y verdes, cuarcitas, neises, metagabros y anfibolitas con edades en el intervalo de 203 a 229 Ma correspondientes a la edad del metamorfismo y 100 a 113 Ma producto de un recalentamiento posterior.

El Complejo Quebradagrande está compuesto por rocas de corteza oceánica (diabasas y basaltos), rocas sedimentarias de origen marino y vulcanitas de arco (tobas, andesitas y basaltos) (Moreno-Sánchez et al., 2008; Villagómez et al., 2011; Rodríguez y Zapata, 2013 en Rodríguez y Cetina, 2016), para esta unidad Rodríguez y Cetina (2016) proponen una edad Aptiano-Albiano en las vulcanitas de arco y una edad indefinida en las diabasas de corteza oceánica en base a estudios del registro fósil, dataciones U/Pb y dataciones en circones detríticos realizados por otros autores. Para su formación Nivia et al., (2006) propone un arco de islas al occidente y una cuenca intracratónica al oriente, mientras Rodríguez y Cetina (2016) proponen para su formación tres ambientes

tectónicos, un arco de islas, un ambiente de dorsal de afinidad N-MORB y rocas de un ambiente de pluma derivadas de un plateau oceánico.

Al oriente en cercanías al río Cauca se encuentran una serie de pequeños cuerpos de rocas ultramáficas (serpentinitas, peridotitas) y gabros de edad Triásica (Vinasco, 2001 en Tassinari et al., 2007), con tendencia N-S que han sufrido cataclasis y efectos dinámicos y que se presentan generalmente en contacto fallado con las unidades adyacentes y relacionados a la traza del sistema de fallas Romeral (Calle y González, 1982), en un inicio llamado Complejo Ofiolítico del Cauca por Restrepo y Toussaint (1974).

La Formación Combia se divide en dos miembros, el miembro superior compuesto por cenizas volcánicas y rocas sedimentarias, y el miembros inferior formado por rocas piroclásticas, lavas máficas y cuerpos subvolcánicos dacíticos y andesíticos con edades de 9-6 m.a según datación K-Ar (González, 1980; Restrepo et al., 1981).

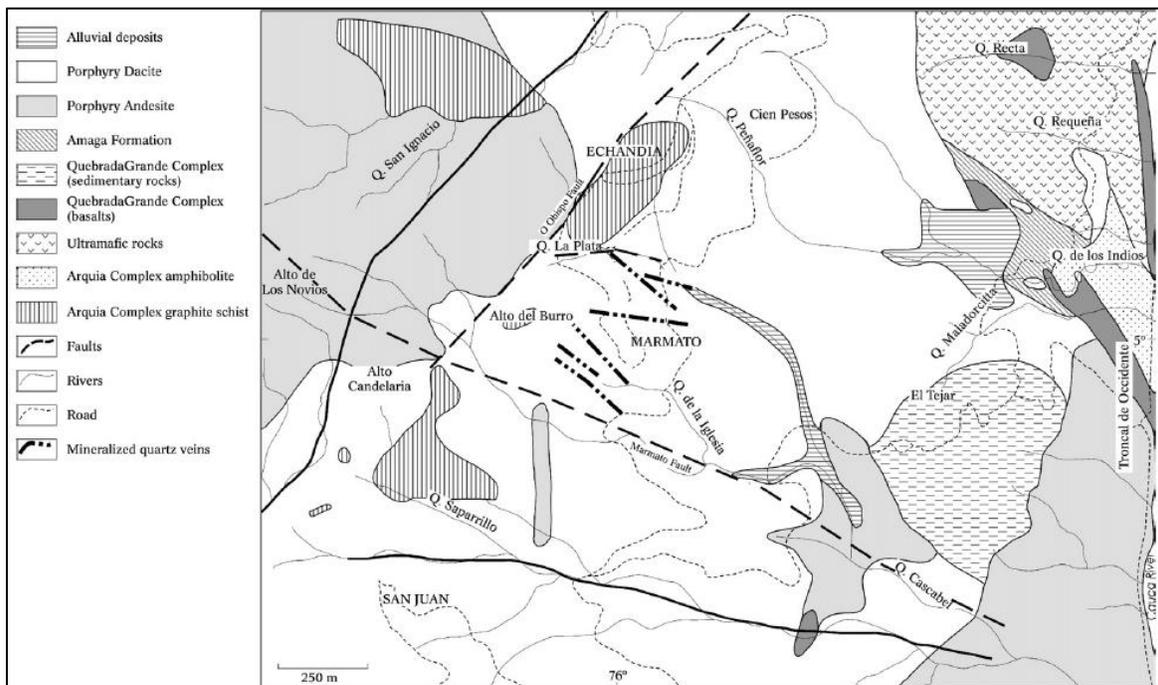


Figura 3. Mapa geológico de los alrededores de Marmato. Tomado de Mora y Cuellar, 1982 en Tassinari et al., 2007.

4.3. Geología estructural

La dinámica estructural de los Andes del Norte se encuentra ligada al efecto de la triple interacción de las placas Nazca, Suramericana y del Caribe (Ego et al., 1996 en Cortés y Angelier, 2005) y al levantamiento de la Cordillera Central desde el Cretácico Tardío debido a la acreción de la Cordillera Occidental (Cooper et al., 1995 en Cortés y Angelier, 2005) y del arco Panamá-Chocó (Taboada et al., 2000; Duque-Caro, 1990 en Tassinari et. al., 2007), estas dinámicas regionales generan actualmente regímenes compresivos que según Cortés y Angelier (2005) tienen tendencia WNW-ESE.

El sistema de fallas Cauca-Romeral actúa como principal rasgo estructural en esta zona, corresponde a una megacizalla con movimiento sinextral y componente inverso que se encuentra desde Ecuador hasta el Caribe Colombiano con dirección aproximadamente N-S, esta falla regional se encuentra formada por una serie de fallamientos subparalelos con tendencia N-S que de este a oeste comprenden la fallas San Jerónimo-Romeral, Silvia Pijao, Cauca-Almaguer y Cali-Patía (González y Maya, 1995 en Tassinari et al., 2007).

La principal mineralización de Marmato se encuentra emplazada en fracturas subverticales con dirección NW, E-W y NE que se formaron tras un evento de reactivación del sistema de fallas Cauca-Romeral provocando una deformación frágil en el Stock de Marmato (Rossetti y Colombo, 1999 en Jiménez, H, A. 2013), los mismos autores también mencionan dos eventos de deformación anteriores, uno inicial de carácter dúctil afectando al Complejo Arquía y un segundo evento dúctil-frágil simultáneo al emplazamiento del Stock de Marmato.

Los principales sistemas de fallas del distrito minero de Marmato son el sistema Pantanos (Tendencia NW), Criminal (Tendencia E-W) y El Obispo (Tendencia NE) (A. Jiménez,

comunicación personal, enero de 2019), y se encuentran relacionados a las mineralizaciones presentes en el depósito.

4.4. Geología y mineralización del depósito

Según Rodríguez y Warden (1993) en Tassinari et al., (2007) la mineralización en Marmato ocurre en tres diferentes niveles uno cercano a la superficie llamado Echandía, limitado por las cotas 1450 a 1600 msnm, la zona intermedia de Cien Pesos que es explotada a pequeña escala por personas de la zona y se encuentra entre los 1300 a 1450 msnm y la Zona del Bajo Marmato explotada por GCGM y que se encuentra por debajo de los 1300 msnm.

El Depósito de Marmato corresponde a un yacimiento de tipo epitermal de baja a intermedia sulfuración con una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 6.05 ± 0.02 Ma (Santacruz et al., 2017), se encuentra hospedado en intrusiones subvolcánicas dacítico-andesíticas del Mioceno Tardío pertenecientes al Stock de Marmato, las cuales han sido interpretadas como formadas durante la acreción del Arco Panamá – Chocó a lo largo del margen occidental de la Cordillera Central colombiana (Tassinari et al., 2007).

La mineralización se halla en venillas, venas y vetas subverticales de hasta dos metros de espesor y más de 250 metros de longitud con rumbos entre N40°W y N70°W principalmente, también se encuentran vetas con direcciones E-W y NE, en menor medida se hallan mineralizaciones en stockwork y en zonas de brechas asociadas a las vetas.

Los minerales de mena son pirita, galena, esfalerita, argentita, arsenopirita, calcopirita y pirrotina aumentando las cantidades de calcopirita y pirrotina en profundidad. El oro se encuentra como

nativo y electrum (Rodríguez y Wardem, 1993 en Tassinari et al., 2007), mientras los minerales de ganga son cuarzo y calcita.

También se ha identificado una zona profunda con mineralización de mayor temperatura con una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 5.96 ± 0.02 Ma (Santacruz et al., 2017), como minerales de mena presenta pirrotina, calcopirita, minerales de bismuto, telurios y oro nativo, esta mineralización se encuentra presente en venillas y venas de cuarzo controladas estructuralmente, con espesores entre 1 mm y 5 cm, las venillas siguen una dirección N50°W y buzamientos cercanos a los 80° y forman un cuerpo estrecho y alargado por debajo de los 1000 msnm que puede tener continuidad incluso hasta los 300 msnm.

En Marmato se diferencian 5 cuerpos o pulsos hipoabisales (P1 y P2 que se encuentran orientados en dirección N-S), y (P3, P4 y P5 clasificados como diques), la edad de emplazamiento según datación U-Pb en zircón esta entre 6.576 ± 0.075 y 5.75 ± 0.11 Ma (Santacruz et al., 2017), mientras Junco et al., (2017) propone una edad entre 6.87 ± 0.03 Ma y 6.00 ± 0.02 Ma obtenidas mediante datación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ en circón. Según Melo-Gómez et al. (2017) P3 y P4 son de composición andesítica y P1, P2 y P5 son de composición dacítica, siendo P1 el que alberga la mayoría de la mineralización.

Melo-Gómez et al., (2017) distinguen tres alteraciones de origen hidrotermal relacionadas a la mineralización profunda 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, minerales de bismuto, clorita y epidota; posteriormente se registra un evento de baja sulfuración

que formo vetillas, venas y vetas de cuarzo, adularia, pirita, pirrotina, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, galena y una alteración de illita-smectita restringida a un metro de la mineralización, y por último se registró un evento que se superimpuso a los anteriores y que formo vetas, venas y venillas de carbonatos (ankerita o calcita), pirita, marcasita, tetraedrita y esfalerita, este evento se asocia a una alteración argílica compuesta por caolinita-sericita y se asocia a un evento hidrotermal de intermedia sulfuración.

A Julio de 2018 entre reservas posibles, probables y probadas la Mina La Maruja cuenta con 2'474.839 toneladas con un tenor de 3.26 g/ton y se infieren recursos por alrededor de 2'700.864 toneladas (Reservas mina y planeamiento, Mina la Maruja, 2018).

5. Metodología

A continuación se explica la metodología utilizada en las principales labores realizadas durante la práctica académica, la cual tuvo lugar desde el 1 de agosto del 2018 hasta el 31 de enero del 2019, y se centró principalmente en realizar trabajos en el área de exploración, en dónde se llevó a cabo la descripción y muestreo de núcleos de perforación, también se realizaron trabajos en el área de geología de mina, tales como cartografías geológicas subterráneas y muestreo geológico en canal.

Las labores fueron realizadas en los niveles 20 (cota 1050) y 21 (cota 1000) de la Mina La Maruja (**figura 4 y 5**) que son los más profundos actualmente, los trabajos referentes a la geología de mina se llevaron a cabo en diferentes lugares de estos dos niveles según la necesidad existente en el momento, sin centrarse totalmente en alguna zona en específico, a excepción de algunas de las cartografías y el muestreo en canal que se realizaron en la Cruzada Paralela Santa Inés al SW del nivel 21, en donde también se perforaron los pozos logueados, pertenecientes a una campaña de exploración detallada de ésta zona, por lo tanto la descripción de labores y las conclusiones presentes aquí se basan en observaciones hechas principalmente en la Cruzada Paralela Santa Inés de la mina La Maruja.

Con el fin de obtener una visión general de la geología de la CPSI inicialmente se realizaron cartografías geológicas a escala 1:200, en donde se evidenciara la presencia de las principales estructuras existentes tales como vetas, venas, fallas y la posible presencia de la mineralización de tipo mesotermal, las cartografías se realizaron al techo de la excavación prestando importancia a los espesores de las estructuras o zonas mineralizadas, a su orientación estructural, y al tipo de alteración hidrotermal presente, ya que es indicativo de si la estructura se formó tras un evento hidrotermal de baja o intermedia sulfuración.

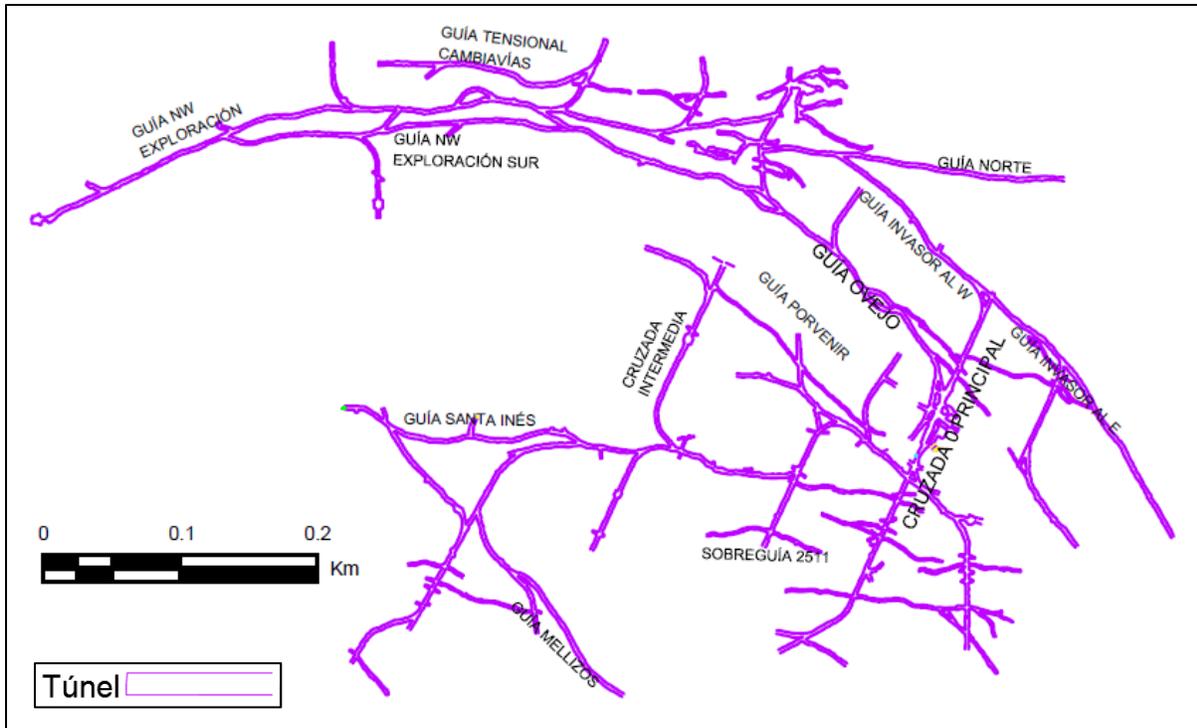


Figura 4. Vista en planta del nivel 20 de la mina La Maruja.

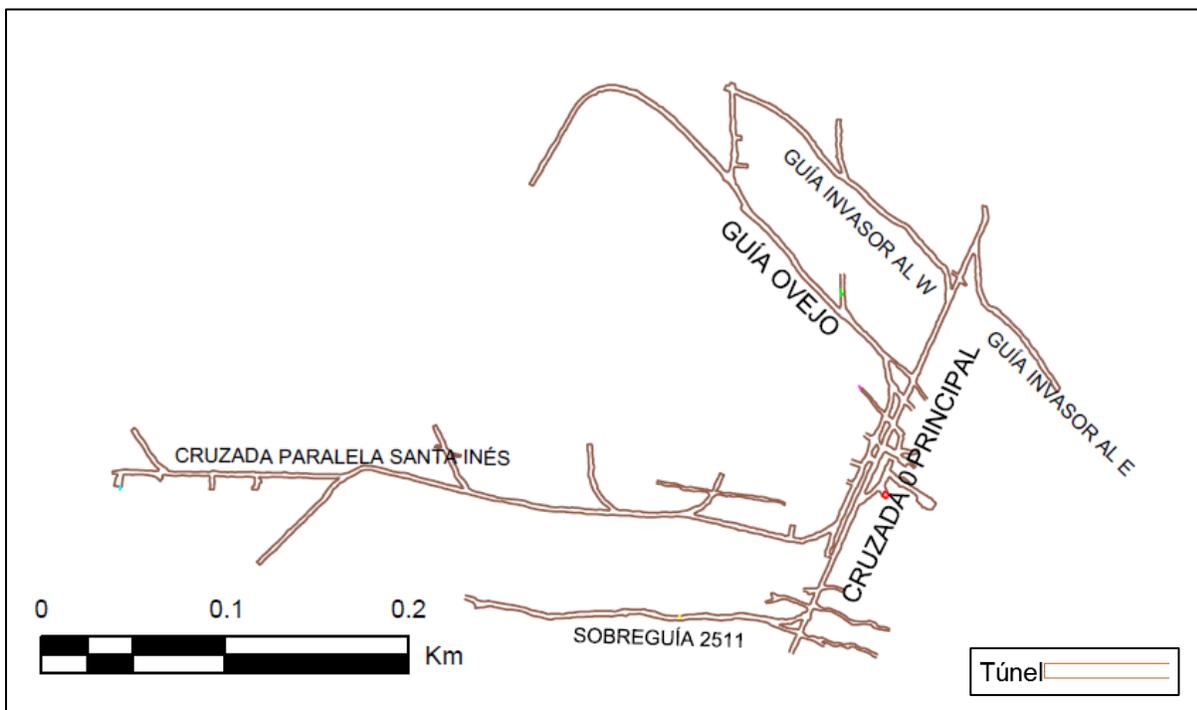


Figura 5. Vista en planta del nivel 21 de la Mina La Maruja.

También se realizaron muestreos en canal de la CPSI, el muestreo se hizo a nivel de la cintura con una cierra eléctrica y tomando muestras de aproximadamente 50 cm de largo por 10 cm de ancho y de más de 500 gramos de peso, las muestras se separaron con base en sus características geológicas (presencia de estructura o cambio de alteración principalmente), las muestras se tomaron de forma perpendicular a las estructuras para que los resultados obtenidos indiquen realmente el contenido de metales presentes en la estructura.

Posteriormente se procedió a la descripción de 10 pozos exploratorios con una longitud total de 840.60 metros, perforados desde la cámara #1 de la CPSI, dichos pozos se realizaron con un equipo de perforación marca Diamec-232 de diámetro BQ, estos pozos se perforaron en direcciones N, S, NE y SW e inclinaciones de 0, 45 y -45 grados. El principal objetivo de los pozos fue el de verificar la continuidad de las vetas Santa Inés, Mellizos y la presencia de la parte superior de la mineralización de tipo mesotermal. Durante el logueo se describió la litología existente, la alteración hidrotermal presente, la presencia de estructuras (venas, vetas, fallas o zonas de venilleos) y las mineralizaciones clasificándolas dentro de tres categorías (epitermal de baja sulfuración, epitermal de intermedia sulfuración y mesotermal). Las muestras obtenidas del logueo se enviaron con su respectivo control de calidad al laboratorio ALS.

Los resultados del muestreo en canal y logueo se digitalizaron e integraron en una base de datos para su análisis por medio del software minero RecMin, en dónde se realizaron proyecciones de las vetas Mellizos y Santa Inés con ayuda de las cartografías, además, se definió el cuerpo que alberga la mineralización de tipo mesotermal en los alrededores de la CPSI.

6. Labores mineras

El geólogo de mina o geólogo de producción, en principio se encarga de recolectar información geológica relevante para la toma de decisiones en la planificación y procesos de producción minero, apoyando y asesorando al área de ingeniería de mina en los planes de explotación (Oyarzun, 2011).

Para tal fin, hay trabajos indispensables que debe realizar el geólogo de mina, como la cartografía geológica subterránea, el muestreo geológico, mapeo geológico, que aportan información muy importante en la sustentación de los modelos geológicos y la estimación de reservas. Además, el geólogo debe procurar garantizar la calidad de información geológica y su debida interpretación, colaborando en una mayor eficiencia de las labores o procesos mineros.

6.1. Cartografía geológica subterránea.

La cartografía geológica subterránea consiste en describir rasgos geológicos como litología, estructuras (fallas, diaclasas, vetas, rumbo, buzamiento, espesores, continuidad de la veta), alteraciones hidrotermales y mineralizaciones (estilo de mineralización, minerales de mena presentes, cantidad o porcentaje de mineralización, entre otras características).

Tales características sirven para realizar proyecciones de estructuras, determinar cambios mineralógicos y cualidades estructurales (espesor, continuidad, disposición estructural de vetas o fallas) de manera más eficaz, además se realizan digitalizaciones de las cartografías permitiendo su adecuada conservación en el tiempo para utilizations futuras en caso de que cambien las condiciones económicas o tecnológicas que permitan la explotación de nuevos recursos.

Inicialmente se debe contar con un mapa de las galerías o túneles a cartografiar, dicho mapa debe estar a la escala a la cual se realizara la cartografía, en caso de que falte un plano topográfico del túnel se puede realizar uno mediante el uso de cinta y brújula.

A continuación se define el nivel de la cartografía, o la altura sobre el piso a la cual se va a realizar la cartografía, las más comunes son a nivel de la cintura (llamada cartografía a nivel de la cintura) o al techo de la excavación (llamada cartografía al techo), toda las cartografías realizadas en la mina deben llevar la misma altura y realizarse en un plano horizontal imaginario (ver **figura 6**).

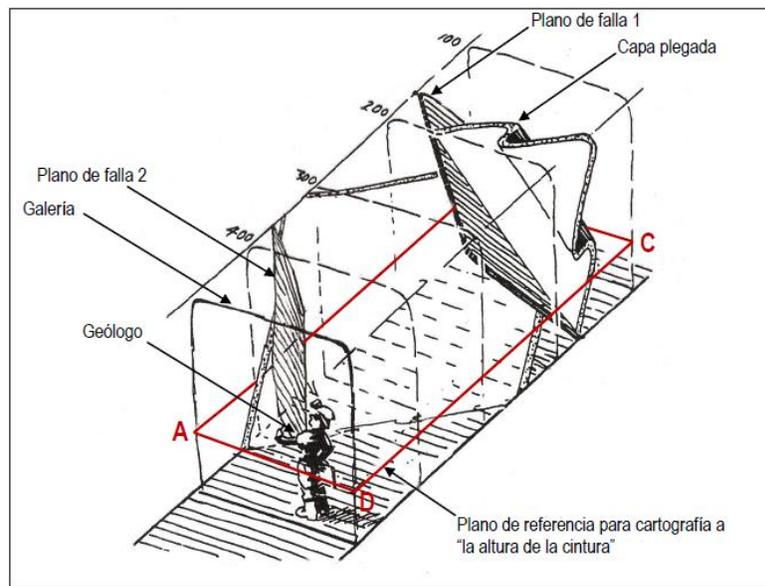


Figura 6. Se puede observar algunas de las características importantes para realizar cartografías subterráneas. Tomado de Oyarzun, 2011.

Posteriormente se realiza la cartografía a la escala definida (en minería subterránea es común utilizar escalas de 1:100 a 1:250, la escala varía dependiendo la empresa o el detalle de la cartografía), es importante que las estructuras y observaciones plasmadas en el papel estén amarradas a un punto conocido del túnel (preferiblemente con coordenadas conocidas), tales como puntos topográficos. Las **figuras 7 y 8** representan cartografías realizadas en la mina La Maruja durante la práctica académica.

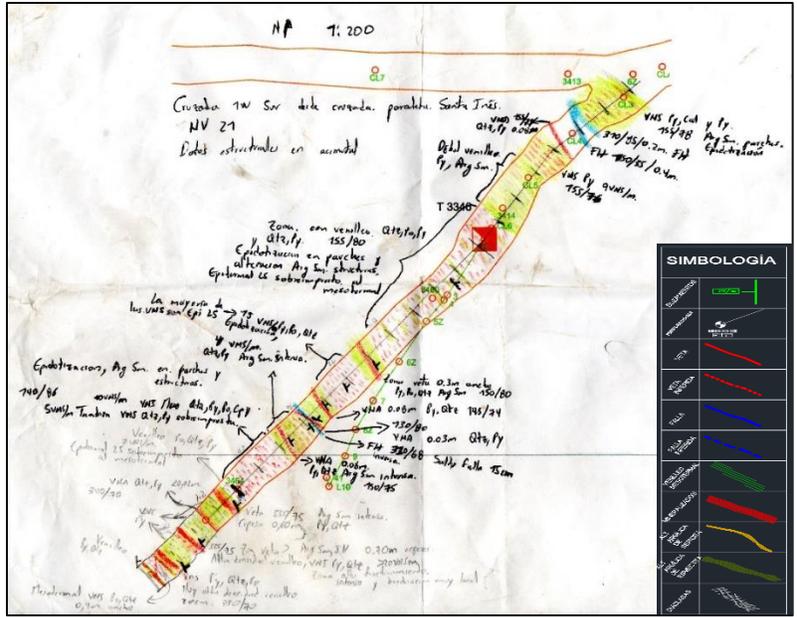


Figura 7. Cartografía de la Cruzada 1W Sur Santa Inés-Mellizos (Cruzada Mellizos). A la derecha se pueden observar las convenciones utilizadas para las diferentes estructuras, mineralizaciones y alteraciones. En la parte superior se observa la escala, y la especificación de la forma en que se midieron los datos estructurales.

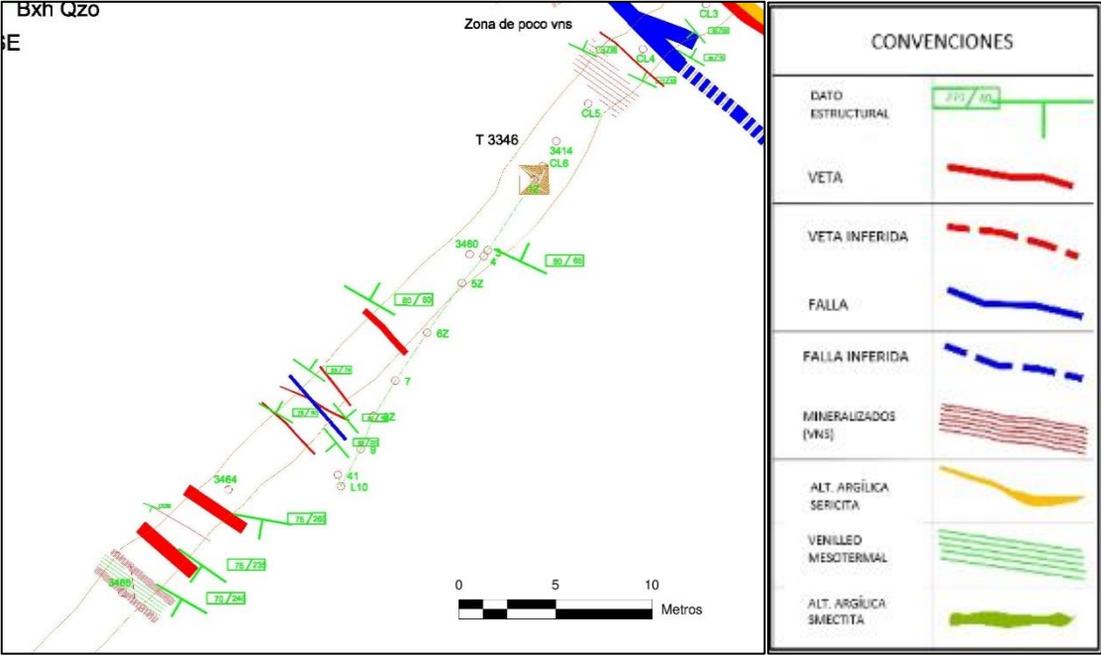


Figura 8. Digitalización de la cartografía realizada en la Cruzada 1W Sur Santa Inés-Mellizos (Cruzada Mellizos).

6.2. Muestreo en canal.

Una de las principales labores del geólogo en minería es la de realizar muestreo de las diferentes estructuras o cuerpos mineralizados, ya que en base a los resultados obtenidos de los muestreos se toman importantes decisiones en el desarrollo y explotación de frentes mineros, los resultados de los muestreos también tienen gran importancia en los estudios de factibilidad, y estimación de reservas de un yacimiento.

En la mina La Maruja estos muestreos se realizan principalmente en tambores y guías, ya que estas labores mineras avanzan siguiendo el rumbo de la estructura (guías) o su buzamiento (tambores), de tal forma que intersectan las estructuras mineralizadas (vetas), conformando bloques de explotación de aproximadamente 37m de largo por 50m de alto (ver **figura 9**), la finalidad del muestreo es la de realizar cálculos de reservas mediante ponderaciones, teniendo en cuenta el ancho de veta promedio, tenor promedio del bloque, toneladas totales de mineral, y las dimensiones (altura y longitud) del bloque delimitado por las labores mineras (tambor y guía).

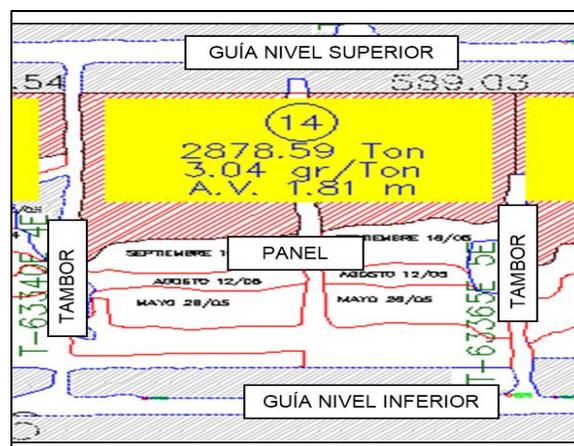


Figura 9. Panel de explotación convencional. Obsérvese que el panel está siendo intersectado o delimitado por tambores y guías. En el cuadro amarillo se observan las reservas de dicho panel. Tomado de Reservas mina y planeamiento, Mina la Maruja, 2018.

También se realizan muestreos en cruzadas y frentes de desarrollo con el fin de conocer el tenor de estructuras existentes para iniciar o continuar el avance a lo largo de las mismas (**figura 10**).

En las cruzadas se realizan comúnmente en una de las paredes a la altura de la cintura por medio de ranuras continuas realizadas con sierra, ya que la roca es de mayor dureza, y en tareas de desarrollo minero se realizan muestreos en los frentes de la excavación, estos muestreos tienen la finalidad de estudiar si es factible continuar con la excavación.

Uno de los métodos más empleados es el de muestreo en canal (**figura 10**), comúnmente utilizado en vetas, mantos y en general en estructuras tabulares, ya que debido a su metodología de uso permite que en la recogida de muestras haya mayor representatividad de los diferentes componentes minerales. En frentes de producción los canales se realizan cada 2 metros al techo de la excavación.

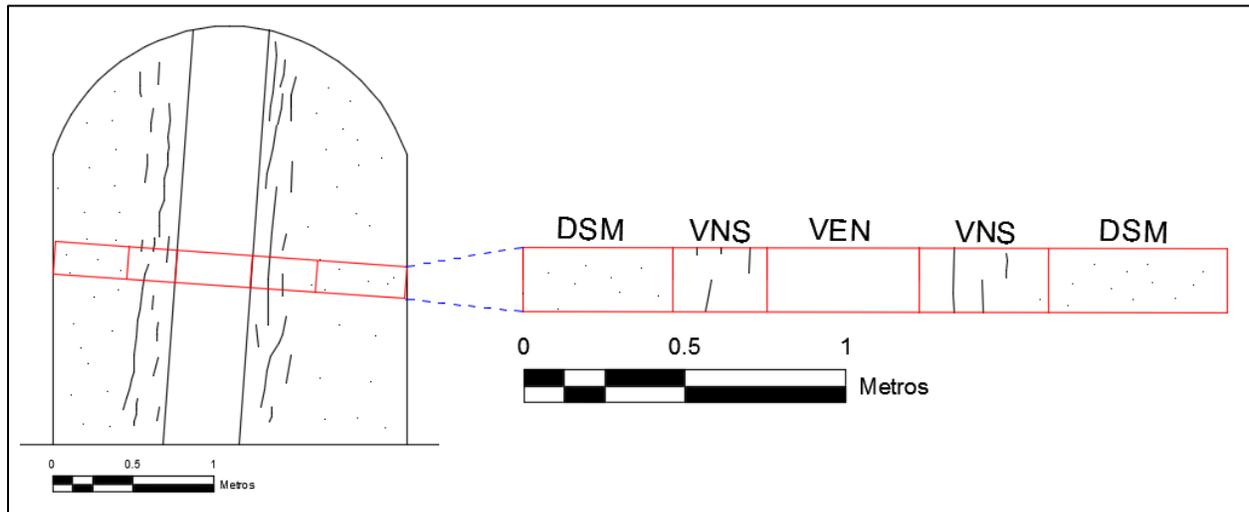


Figura 10. Esquema que ejemplifica el muestreo en canal en frentes de desarrollo. Sección frontal de una excavación minera de desarrollo, a la derecha se observa la forma en que se separan las muestras con base a sus cambios mineralógicos y/o estructurales, lo que permite una buena representatividad de la muestra (ya sea veta, venilleo o diseminado). También se observa la orientación adecuada del canal en función de la disposición estructural de la veta y estructuras asociadas. Ven: veta, Vns: venilleo y Dsm: diseminado.

En la planificación y selección de las muestras es de vital importancia reconocer su disposición estructural con el fin de no incurrir en sobreestimaciones del tenor, por lo tanto el muestreo se debe realizar perpendicularmente al rumbo y buzamiento de la estructura mineralizada, cubriendo toda la potencia o ancho de la misma. Inicialmente los canales se amarran a un punto topográfico cercano, luego se marca el contorno de la zona a muestrear (canal) y se separan las muestras con su respectivo número de orden, se realiza su respectiva descripción y posteriormente se toma la muestra procurando que los canales tengan el ancho y la profundidad suficiente para obtener una muestra de un peso adecuado. En general se procura que todas las muestras sacadas de la mina sean de más de 500 gramos de peso, para tal fin las muestras se toman de aproximadamente 0,2 a 0,6 metros de ancho por 0,1 metros de alto y tan solo unos pocos centímetros de profundidad (2 a 5 cm). La descripción de cada muestra se realiza con base en estándares de la empresa, teniendo en cuenta el ancho de muestra, mineralización, y tipo de muestra recogida (**tabla 1**); si corresponde a veta (muestra tomada directamente de una veta), venilleo (muestra de una zona de venilleo generalmente relacionada a la veta) o diseminado (zona con mineralización de mena diseminada).

En la **tabla 1** se observan las principales características descritas de los muestreos realizados en la Cruzada Paralela Santa Inés, con el fin de conocer los tenores de las principales estructuras existentes y del venilleo de tipo mesotermal que empieza a aparecer en este nivel de la mina, estas características son; corte: largo del canal muestreado; veta: largo de cada una de las muestras existentes en el canal, la sumatoria de todos los largos son iguales al corte; ubicación de la muestra: distancia tomada desde un punto topográfico que indica desde y hasta dónde va la muestra; descripción: si en la muestra tomada había presencia de alguna veta, vena, zona de venilleo o diseminado; # mesotermal: número de venillas de tipo mesotermal existentes en la muestra; min 1, 2, 3, ...: minerales de mena encontrados en la muestra y asociados a mineralizaciones epitermales

únicamente; alteración: tipo de alteración existente en la roca de donde se extrajo la muestra, epidotización se refiere a alteración propilítica; espesor de veta: ancho de estructuras tales como venas o vetas existentes en la muestra; # muestra: consecutivo de muestra y por último Au y Ag que son la cantidad de oro y plata respectivamente existente en la muestra expresados en g/ton, estos valores son aportados por el laboratorio de la empresa.

CORTE	VETA	UBICACIÓN DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	# MESOTERMAL	MIN 1	MIN 2	MIN 3	ALTERACIÓN	Au	Ag	ESPESOR VETA	# MUESTRA
20.89	0.38	1.7 m - 2.08 m	VENILLO	0	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.48	1.04		1
20.89	0.25	2.08 m - 2.33 m	VENA	0	Py			SMECTITA	6.6	33.92	0.05	2
20.89	0.40	2.33 m - 2.73 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.36	1.04		3
20.89	0.42	2.73 m - 3.15 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.12	1.04		4
20.89	0.40	3.15 m - 3.55 m	DISEMINADO	0	Po			SMECTITA	0.28	1.04		5
20.89	0.32	3.55 m - 3.87 m	DISEMINADO	0	Po			SMECTITA	0.72	1.04		6
20.89	0.25	3.87 m - 4.12 m	VENA	0	Py	Ser		SMECTITA	0.4	1.04	0.05	7
20.89	0.33	4.12 m - 4.45 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.44	3.52		8
20.89	0.32	4.45 m - 4.77 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.2	1.04		9
20.89	0.50	4.77 m - 5.27 m	VETA	0	Py	Qtz		SMECTITA	35.88	124.7	0.12	10
20.89	0.38	5.27 m - 5.65 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.12	7.92		11
20.89	0.39	5.65 m - 6.04 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.36	1.04		12
20.89	0.38	6.04 m - 6.42 m	DISEMINADO	0				SMECTITA	1.92	0.48		13
20.89	0.39	6.42 m - 6.81 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	1.04	1.04		14
20.89	0.46	6.81 m - 7.27 m	DISEMINADO	0	Py	Po		SMECTITA	0.96	1.04		15
20.89	0.40	7.27 m - 7.67 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.04		16
20.89	0.40	7.67 m - 8.07 m	VENA	0	Qtz	Py		SMECTITA	0.32	1.04	0.4	17
20.89	0.41	8.07 m - 8.48 m	VENA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.68	1.04	0.03	18
20.89	0.35	8.48 m - 8.83 m	DISEMINADO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.12	2.8		19
20.89	0.35	8.83 m - 9.18 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.36	4.32		20
20.89	0.37	9.18 m - 9.55 m	VENILLO	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.2	6.8		21
20.89	0.41	9.55 m - 9.96 m	DISEMINADO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.04	0.8		22
20.89	0.38	9.96 m - 10.34 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.08	1.04		23
20.89	0.50	10.34 m - 10.84 m	VENA	0	Py			SMECTITA	2.8	3.76	0.03	24
20.89	0.40	10.84 m - 11.24 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	6.28	23.8		25
20.89	0.50	11.24 m - 11.74 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.6	1.04		26
20.89	0.30	11.74 m - 12.04 m	VENA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.84	1.04	0.04	27
20.89	0.45	12.04 m - 12.49 m	DISEMINADO	0	Py	Cal		SMECTITA	0.72	1.04		28
20.89	0.45	12.49 m - 12.94 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.92	1.04		29
20.89	0.50	12.94 m - 13.44 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04		30
20.89	0.50	13.44 m - 13.94 m	DISEMINADO	0	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04		31
20.89	0.35	13.94 m - 14.29 m	VETA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	13	108.1	0.15	32
20.89	0.40	14.29 m - 14.69 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	4.52	1.04		33
20.89	0.50	14.69 m - 15.19 m	VENILLO	0	Py	Cal		EPIDOTIZACIÓN	0.04	1.04		34
20.89	0.45	15.19 m - 15.64 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.48		35
20.89	0.45	15.64 m - 16.09 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.36	1.04		36
20.89	0.40	16.09 m - 16.49 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.4	1.04		37
20.89	0.30	16.49 m - 16.79 m	VENA	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.96	1.04	0.02	38
20.89	0.50	16.79 m - 17.29 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	6.36	1.04		39
20.89	0.50	17.29 m - 17.79 m	VENILLO	0	Py	Qtz	Cal	EPIDOTIZACIÓN	3.64	1.04		40
20.89	0.50	17.79 m - 18.29 m	VENILLO	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.76	1.04		41
20.89	0.50	18.29 m - 18.79 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.72	1.04		42
20.89	0.35	18.79 m - 19.14 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.6	1.04		43
20.89	0.30	19.14 m - 19.44 m	VENA	0	Py	Qtz	Sp	SMECTITA	1.48	21.64	0.02	44
20.89	0.35	19.44 m - 19.79 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.72	1.04		45
20.89	0.50	19.79 m - 20.29 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	1.68	1.04		46
20.89	0.50	20.29 m - 20.79 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.32	1.04		47
20.89	0.50	20.79 m - 21.29 m	VETA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.46	22.94	0.12	48
20.89	0.50	21.29 m - 21.79 m	VETA	0	Py	Qtz		SMECTITA	2.32	24.96	0.1	49
20.89	0.50	21.79 m - 22.29 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.72	1.04		50
20.89	0.30	22.29 m - 22.59 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.04		51

Tabla 1. Descripción del muestreo. En esta tabla se puede observar las principales características descritas en los muestreos. Ver anexos 5, 6 y 7 para observar el muestreo completo.

6.3. Descripción y muestreo de testigos

Las labores de logeo se realizaron en 10 de 17 pozos pertenecientes a una campaña de perforación realizada durante el 2018 desde dos cámaras construidas en la Cruzada Paralela Santa Inés (CPSI), del nivel 21 de la Mina la Maruja, las perforaciones se realizaron con equipos de perforación marca Diamec-232 e Ingetrol desde la cámara 1 y 2 respectivamente, ambas máquinas perforan a diámetros BQ (36, 5 mm). Los pozos logeados durante la práctica académica fueron los realizados con la perforadora Diamec-232 desde la Cámara #1.

Dicha campaña de exploración consistió en la perforación de 1203.12 metros, con pozos perforados en direcciones N, S, NE y SW e inclinaciones de 0, 45 y -45 grados aproximadamente (figura 11).

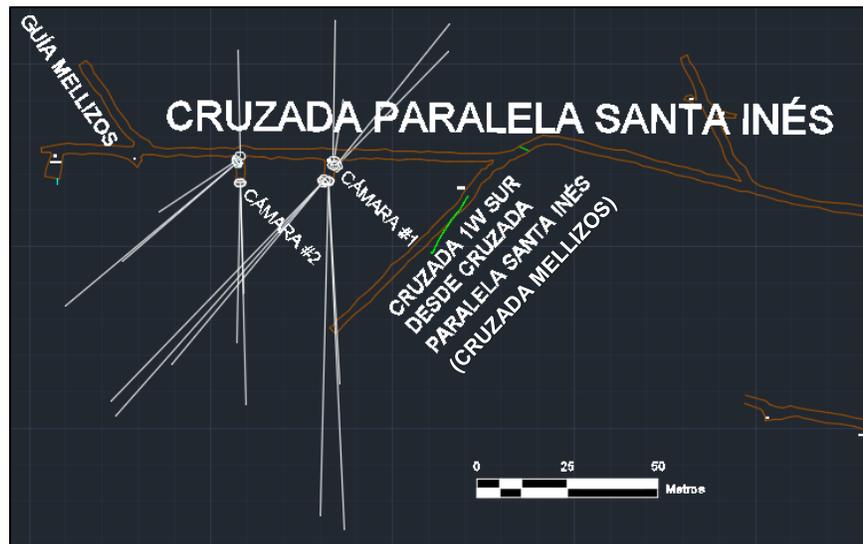


Figura 11. Vista en planta de la Cruzada Paralela Santa Inés. Se observan los pozos perforados durante el 2018 con el fin de verificar la presencia de la mineralización de tipo mesotermal y las vetas Santa Inés y Mellizos en el nivel 21 de la mina La Maruja.

El objetivo de los pozos fue el de interceptar estructuras existentes en dicha zona, verificar la continuidad de las vetas Santa Inés y Mellizos, así como la presencia de la parte superior de la

mineralización de tipo mesotermal perteneciente al cuerpo profundo del depósito, verificar sus características geológicas, continuidad, tamaño, disposición estructural, conocer tenores y realizar cálculo de reservas.

6.3.1. Descripción de perforaciones exploratorias.

La descripción de testigos o logeo se realiza tanto durante la etapa de exploración como durante la producción minera, y consiste en registrar las características geológicas (alteración, mineralización, estructuras, tipo de roca, estado de fracturamiento de la roca, etc) del núcleo de roca obtenido tras las perforaciones diamantinas, dichas perforaciones se realizan con diferentes diámetros dependiendo la distancia perforada, la máquina utilizada, la finalidad de la perforación, entre otras características (**tabla 2**); la descripción realizada durante el logeo es ingresada a una base de datos de tal manera que la información se pueda utilizar para realizar interpretaciones geológicas que aumenten el conocimiento del yacimiento, también se utilizan con fines ingenieriles y de manera más detallada durante el proceso de producción minero.

A continuación se describe el proceso de logeo de testigos realizado durante la práctica, en total se describieron 840.60 metros de testigos que fueron perforados desde la cámara #1 de la CPSI.

TAMAÑO	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)	DIÁMETRO DEL NÚCLEO (mm)
BQ	60	36.4
NQ	75.7	47.6
HQ	96.1	63.5
PQ	122.7	85

Tabla 2. Tamaños de perforación comúnmente utilizados en minería. Tomado de <http://spanish.drillrigmachine.com/sale-7548685-bq-nq-hq-pq-impregnated-diamond-core-drill-bit-for-mineral-exploration.html>.

6.3.1.1. Verificación de cajas porta-testigos y recuperación.

El proceso de verificación de las cajas porta-testigos y de la recuperación obtenida durante el proceso de perforación consiste en revisar la información entregada por los perforistas respecto a las pérdidas de roca (distancia perforada versus longitud de núcleo recuperado) durante cada una de las corridas (**figura 12**), esta pérdida se debe principalmente al lavado de minerales arcillosos, o de partículas minerales muy finas presentes en estructuras tales como vetas o zonas de fallas. Esta información es importante para determinar con anterioridad zonas en donde posiblemente se halla alguna estructura de importancia que pudo haber sido lavada por el agua o para conocer el estado de la roca.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1					COORDENADAS		DIRECCION					
2	POZO: MND-19-18				NORTE: 1097817.71		AZIMUT: 244.1		INICIO DE PERFORACIÓN		13/11/2018	
3	LOCALIZACION: NV 21 CRUZADA PARALELA CAMAR				ESTE: 1163280.73		DIP: -48.72					
4	TALADRO: DIAMEC-232				ELEVACION: 1003.31				FIN DE PERFORACIÓN		30/11/2018	
5	DIÁMETRO NÚCLEO: BQ						GEOLOGO:		SEBASTIAN ROJAS HOYOS			
6	* INTERVALO DE PERFORACIÓN		DISTANCIA PERFORADA	*LONG. NÚCLEO RECUPERADO	RECUPERACION	ROCA						
7	De	A	[m]	[m]	%	TIPO						
8	0.00	1.04	1.04	1.04	100.00%							
9	1.04	1.34	0.30	0.30	100.00%							
10	1.34	2.04	0.70	0.70	100.00%							
11	2.04	3.22	1.18	1.18	100.00%							
12	3.22	4.67	1.45	1.45	100.00%	VENILLO						
13	4.67	6.05	1.38	1.38	100.00%							
14	6.05	6.79	0.74	0.74	100.00%							
15	6.79	8.25	1.46	1.46	100.00%							
16	8.25	9.69	1.44	1.44	100.00%							
17	9.69	10.58	0.89	0.89	100.00%							
18	10.58	11.49	0.91	0.91	100.00%							
19	11.49	12.61	1.12	1.12	100.00%							
20	12.61	14.61	2.00	2.00	100.00%							
21	14.61	15.59	0.98	0.98	100.00%							
22	15.59	18.54	2.95	2.95	100.00%							
23	18.54	21.31	2.77	2.77	100.00%							
24	21.31	22.41	1.10	1.10	100.00%							
25	22.41	23.88	1.47	1.47	100.00%							
26	23.88	25.38	1.50	1.50	100.00%							
27												

Figura 12. Formato utilizado para la verificación de la pérdida durante la perforación. En la parte superior de la imagen se pueden observar los datos principales del pozo (nombre, localización, taladro, coordenadas, dirección, etc...). Se muestran los intervalos de perforación, así como la distancia perforada versus la distancia recuperada y el porcentaje de recuperación.

Posteriormente se realiza el marcaje del metro a metro en los testigos (**figura 13**), que consiste en medir el núcleo de perforación y numerar sucesivamente cada metro de núcleo con el fin de validar las longitudes recuperadas con respecto a cada corrida de la máquina perforadora.



Figura 13. Se observa la realización del marcaje del metro a metro en los cuadros azules.

6.3.1.2. Descripción de testigos.

Inicialmente se realiza la definición de intervalos de logueo con base en características geológicas y/o estructurales halladas en los testigos, tales como cambios mineralógicos, de alteración, del tipo de roca o presencia de zonas de falla, luego de definidos los intervalos se pasa a describir los testigos siguiendo el formato de logueo geológico de la empresa, en donde las principales características tenidas en cuenta en la descripción fueron el tipo de alteración hidrotermal (propilítica, argílica de smectita, argílica de sericita y silicificación), mineralizaciones (mesotermal, epitermal LS y epitermal IS), estructuras (presencia de venas, vetas, venilleos y fallas), litología (presencia de P1, esquistos y brecha, en litología también se tuvieron en cuenta la aparición de vetas), oxidación (minerales presentes e intensidad) y la presencia de fenocristales

con su respectivo tamaño. También se llevaron a cabo controles de las muestras (código de muestra) y de la profundidad a la cual se encontraban. En la alteración hidrotermal se describieron hasta tres alteraciones clasificándose como alteración 1, 2 o 3 con base en su intensidad, se describieron los estilos de la alteración y los minerales presentes relacionados a la misma; en estructura se describieron los tipos de estructuras y su profundidad; en mineralización se describieron los estilos de la misma, su mineralogía y porcentaje de cada mineral, además, en la mineralización de tipo mesotermal se describieron el número de venillas presentes por metro y su ángulo promedio con respecto al eje del núcleo.

6.3.2. Muestreo de perforaciones exploratorias.

El muestreo de testigos consiste en separar muestras en base a dos criterios, el primero son características geológicas como la litología, alteración, mineralización o presencia de estructuras, el segundo es el peso de la muestra que depende de su volumen y densidad.

Estos criterios se tienen en cuenta con el fin de asegurar la representatividad de las características geológicas y mantener un peso de muestra apropiado exigido por el laboratorio que realizará el análisis.

En muchas campañas exploratorias 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, por ejemplo al realizar el muestreo de los testigos aquí descritos, no se realizó ya que contaban con un diámetro de 36.5 mm, uno de los menores utilizados en la industria minera.

Las longitudes de las muestras tomadas fueron de entre 0.5 – 2.0 metros (longitudes existentes de núcleo en la caja porta-testigos), de esta forma el peso máximo y mínimo de las muestras se mantiene entre 1400 y 5650 g (utilizando una densidad de 2.7 g/cm³ y un diámetro de testigo de 3.65 cm) como se observa en la **tabla 3**, de esta forma la empresa se cerciora de mantener pesos mínimos por encima de los 300 g exigidos por el laboratorio ALS y no caer en sobrecostos por enviar muestras demasiado pesadas.

Longitud	Diámetro	Radio	Volumen	Densidad	Peso
50 cm	3.65 cm	1.825 cm	523.17 cm ³	2.7 g/cm ³	1412.56 g
200 cm	3.65 cm	1.825 cm	2092.69 cm ³	2.7 g/cm ³	5650.26 g

Tabla 3. Cálculo del peso máximo y mínimo de las muestras.

Posteriormente se marcan los límites de las muestras con líneas azules perpendiculares al eje del núcleo, se escribe la distancia a la cual empieza y termina la muestra, y a esta longitud se le resta la longitud existente de testigo en la caja, con esta diferencia se halla el lost core (L.C.) que debe ser anotado en el núcleo (**figura 14**).

En el caso de las vetas las muestras se toman del total de su espesor evitando generar dilución, cuando las vetas tienen espesores menores a 50 cm la muestra se toma de esta distancia, en lo posible se intentan sacar muestras de 50 cm 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 (**figura 15**).

6.3.3. Control y aseguramiento de la calidad (QA/QC).

Por último se realiza el control de calidad o QA/QC (control y aseguramiento de la calidad), que consiste en llevar a cabo una serie de acciones y procedimientos establecidos con el fin de mejorar los procesos y la calidad de la información adquirida durante un programa de exploración.

Con el fin de cumplir con el control de calidad se realizan una serie de procedimientos finales durante el muestreo.

6.3.3.1. Asignación de muestras de control.

Consiste en asignar una serie de muestras que cuentan con ciertas cualidades, estas deben hacer parte del lote de muestras tomadas de los testigos y enviadas al laboratorio, deben llevar un número de identificación al igual que las muestras ordinarias. Su finalidad es el de evaluar mediante cálculos estadísticos la precisión o contaminación de los procesos llevados a cabo en el laboratorio donde se realizan los análisis químicos. Por cada 100 muestras se utilizan dos blancos finos, dos blancos gruesos, 5 estándares, dos duplicados finos y dos duplicados gruesos.

- Duplicados (Dup).

También llamados duplicados de pulpa, son duplicados pulverizados de muestras ordinarias pero que son enviadas con diferente número de identificación al laboratorio; se utilizan con el fin de evaluar la precisión analítica del laboratorio.

- Duplicados gruesos (Dug).

Son muestras tomadas después del proceso de trituración y cuarteo, se toman a partir de una muestra ordinaria de testigo y se les asigna un número de identificación. Se utilizan para evaluar el error en la etapa de cuarteo llevada a cabo por el laboratorio.

- Estándares (St).

Son muestras elaboradas en condiciones controladas, contienen valores de Au y Ag ya conocidos (estándares certificados) y se asignan de manera aleatoria durante el muestreo.

- Blancos finos (Blf).

Son muestras de roca estéril pulverizada, permiten evaluar si se produce contaminación durante el proceso de análisis en el laboratorio. Se asignan aleatoriamente.

- Blancos gruesos (Blg).

Son muestras de roca estéril con granulometría gruesa, permiten evaluar si se produce contaminación durante la fase de preparación de muestras. Se asignan aleatoriamente.

6.3.3.2. Formato de muestreo y control de calidad.

Este formato se llena con el fin de llevar de forma ordenada y secuencial la información de todas las muestras analizadas durante la campaña de exploración, en él se consigna información como la fecha y pozo muestreado, número de identificación de las muestras, From- To de cada muestra y observaciones. **Ver anexo 8.**

6.3.3.3. Tarjetas de muestreo y fichas de muestreo.

En las tarjetas de muestreo se ingresa información de cada muestra enviada al laboratorio con su código de identificación; las fichas de muestreo se pegan a las cajas porta-testigos y a las bolsas de empaqueo de muestras con el fin de lograr una rápida identificación de las muestras en observaciones futuras. **Ver anexo 9.**

6.3.3.4. Toma de fotos y empaque de muestras.

Al finalizar los pasos anteriores se toman registros fotográficos de las cajas porta-testigos, en dónde se observe claramente el testigo, el código de pozo, la caja, longitud inicial y final de los testigos en la foto, y las fichas de muestreo asignadas a cada muestra. Las fotografías se deben tomar bajo adecuadas condiciones de iluminación, y en un ángulo que permite la buena visualización de las características de los testigos. **Ver figura 14.** Posteriormente se empacan las muestras utilizando doble bolsa, se sellan adecuadamente, las bolsas deben ir debidamente marcadas con el código de la muestra y a ellas se pega la ficha de muestreo correspondiente. **Ver anexo 10.**

7. Resultados

A continuación se muestran los resultados de las labores de logeo y de las cartografías realizadas en la Cruzada Paralela Santa Inés (CPSI) de la mina La Maruja.

Las **tablas 4 y 5** contienen las orientaciones y longitudes de los pozos realizados en la CPSI, la **tabla 4** corresponde a los pozos realizados con la máquina perforadora Diamec-232 desde la cámara #1 de la CPSI que fueron descritos durante la práctica académica y de los cuáles se muestran los resultados más adelante; la **tabla 5** contiene la información de los demás pozos perforadores durante la campaña de perforación, realizados desde la cámara #2 de la CPSI, estos pozos se mencionan debido a que su uso permite llevar a cabo algunas interpretaciones.

POZO NUMERO	UBICACIÓN					LONGITUD (m)	AZIMUT	DIP
	NORTE	ESTE	COTA	NIVEL	NIVEL - LABOR MINERA			
MND-12-18	1097821.87	1163284.23	1005.59	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	60.89	44.56	43.00
MND-13-18	1097822.28	1163284.68	1003.56	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	73.54	38.61	-47.20
MND-14-18	1097822.34	1163283.65	1005.59	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	58.07	0.73	46.89
MND-15-18	1097823.52	1163283.87	1002.96	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	24.57	8.61	-46.67
MND-16-18	1097817.17	1163282.23	1004.07	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	91.28	181.27	1.00
MND-17-18	1097817.73	1163282.27	1003.64	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	141.75	177.37	-47.67
MND-18-18	1097818.10	1163282.34	1005.71	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	79.73	176.78	45.34
MND-19-18	1097817.71	1163280.73	1003.31	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	127.15	224.10	-48.72
MND-20-19	1097817.34	1163280.46	1004.13	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	85.46	221.53	-1.60
MND-21-18	1097818.41	1163281.46	1006.03	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #1	98.16	219.68	47.65

Tabla 4. Datos de la ubicación, orientación e inclinación de los pozos realizados con la perforadora Diamec-232 desde la Cámara #1 de la Cruzada Paralela Santa Inés.

POZO NUMERO	UBICACIÓN					LONGITUD (m)	AZIMUT	DIP
	NORTE	ESTE	COTA	NIVEL	LABOR MINERA			
MNI-19-18	1097817.58	1163258.07	1,003.98	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	60.96	178.56	1.59
MNI-20-18	1097817.36	1163258.02	1,003.53	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	61.55	181.08	-44.79
MNI-21-18	1097817.59	1163258.01	1,004.86	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	40.70	178.33	41.83
MNI-22-18	1097824.78	1163257.99	1,005.18	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	42.44	358.91	46.78
MNI-23-18	1097823.01	1163257.19	1,003.96	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	58.09	229.51	-44.83
MNI-24-18	1097823.11	1163257.17	1,003.97	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	61.59	230.23	0.74
MNI-25-18	1097823.59	1163257.16	1004.93	21	CRUZADA PARALELA CAMARA #2	37.19	236.84	46.63

Tabla 5. Datos de la ubicación, orientación e inclinación de los pozos realizados con el equipo de perforación Ingetrol desde la Cámara #2 de la Cruzada Paralela Santa Inés.

En la **figura 16** se observa el resultado de las cartografías realizadas en la CPSI, en donde se aprecia abundante cantidad de estructuras hacia el oriente de la Cámara #2, dichas estructuras son

principalmente venas, aunque también se presentan algunas vetas de pequeños espesores (alrededor de los 15 cm), en general éstas estructuras tienen rumbo N40°W y buzamientos entre 60°NE y 80°NE, algunas de las estructuras mencionadas tienen continuidad y reaparecen en la Cruzada Mellizos.

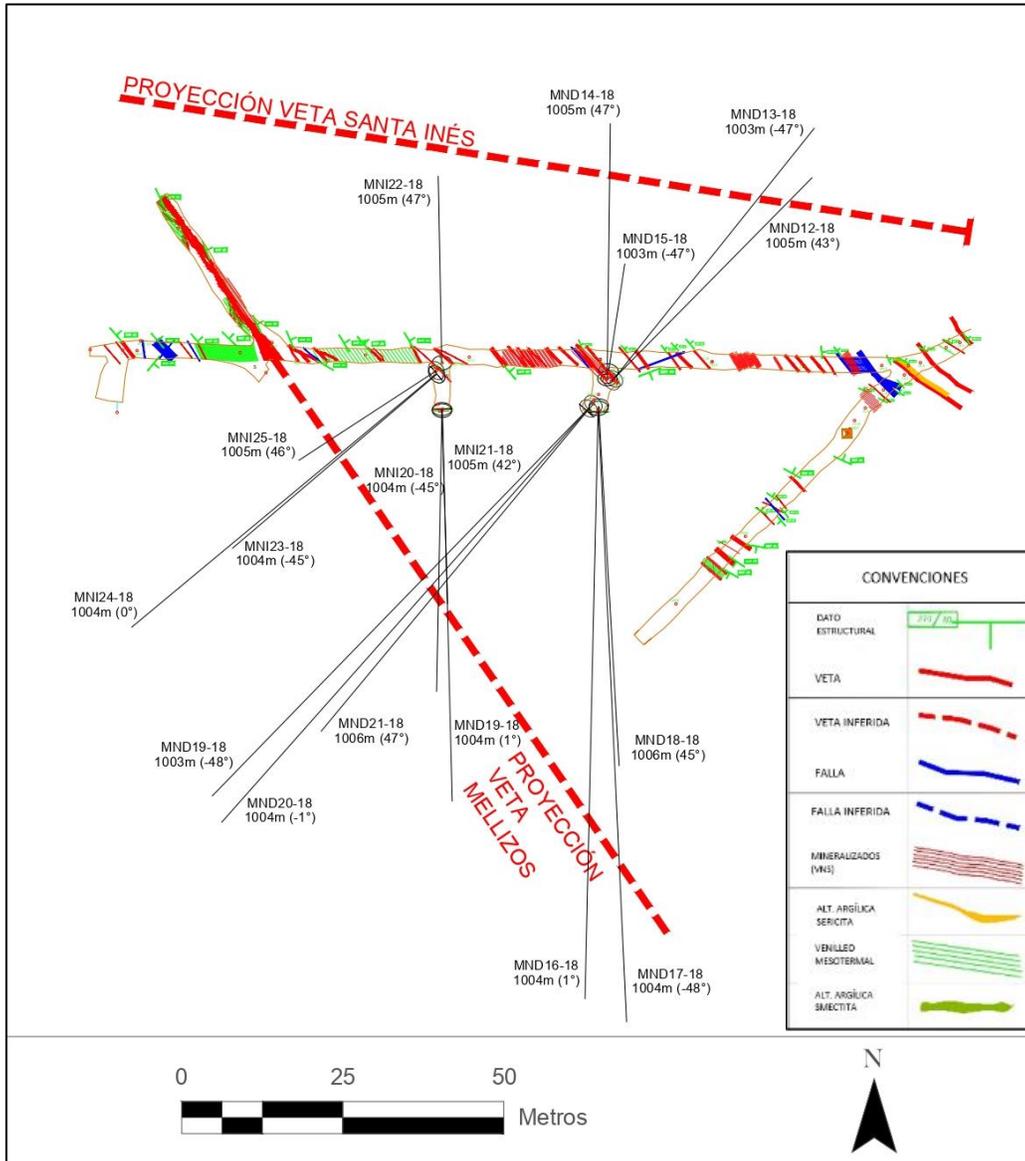


Figura 16. Cartografía de la CPSI, Cruzada Mellizos y Guía Mellizos. Se observan los pozos perforados y la proyección de las vetas Santa Inés y Mellizos. También se observa como la veta Mellizos corta la mineralización mesotermal.

Hacia el occidente se halló presencia de mineralización de tipo mesotermal muy abundante (> 5 vns/m) en dos tramos de 10 metros de ancho al oriente de la veta Mellizos y 15 metros al occidente de la misma, esta mineralización se presenta en venillas muy delgadas (5 mm a 1 mm) de cuarzo, con contenidos variables de pirrotina, y bajos contenidos de pirita y calcopirita, con buzamientos de aproximadamente 80° NE y rumbos que oscilan entre $N45^{\circ}$ W a $N65^{\circ}$ W. Entre los dos tramos de mineralización mesotermal se encuentra la veta Mellizos que tiene un espesor aproximado de 1,2 metros y una disposición estructural $N22^{\circ}$ W/ 70° NE, a medida que nos acercamos a la veta mellizos también se encuentran venillas mesotermales con contenidos mayores de pirita y menores de pirrotina y calcopirita. No se encontraron fallas de importancia durante las cartografías.

En las **figuras 17 y 18** se observa la descripción litológica de los pozos realizados con la perforadora Diamec-232 y del muestreo en canal realizado en la CPSI. Las **figuras 18A y 18B** representan cortes realizados en direcciones N-S y $N45^{\circ}$ E respectivamente, en dónde se observan los pozos logeados. Como se aprecia en las **figuras 17 y 18** la zona se encuentra formada principalmente por el pórfido dacítico (P1), y sólo en el pozo MND-20-18 aparece una porción de esquisto (MST-MSG) interpretado como xenolito. También se observa la gran cantidad de muestras con presencia de estructuras existentes, tales como venas (Vna) y vetas (Ven).

Las **figuras 19 y 20** resumen los resultados obtenidos del logeo, en ellas se confrontan los valores de oro con la litología, la alteración y la presencia de venas, vetas y mineralización de tipo mesotermal, las litologías y alteraciones se encuentran paralelas al eje del núcleo y se observa que generalmente con la presencia de estructuras la alteración predominante pasa a ser la argílica de smectita o la argílica de sericita que se superponen a la propilítica. Las concentraciones de oro y la cantidad de venillas de tipo mesotermal por muestra se observan como barras perpendiculares al eje del núcleo.

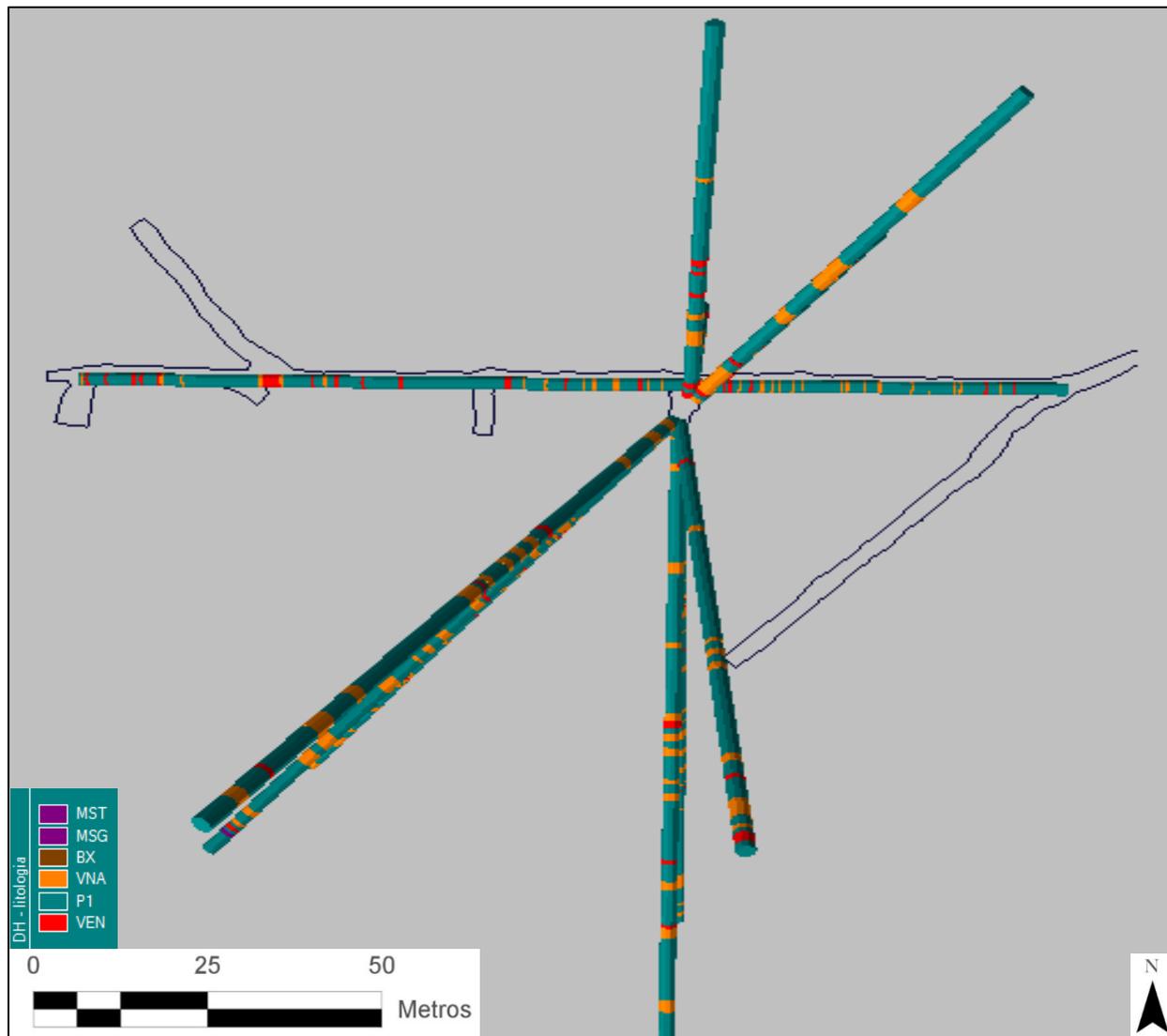


Figura 17. Vista en planta de los pozos realizados con la máquina perforadora Diamec-232 y del muestreo en canal realizado en la CPSI, se observan las principales litologías existentes, predominando el pórfido dacítico (P1), también se observa gran cantidad de venas y vetas principalmente de tipo epitermal de baja sulfuración y en menor medida epitermal de intermedia sulfuración. MST-MSG: Esquisto, BX: Brecha, VNA: zona con presencia de venas, VEN: zona de veta, P1: Pórfido dacítico.

En las **figuras 19 y 20** se observa que en general los valores altos de oro se relacionan a la presencia de estructuras (venas y vetas), superando en su mayoría concentraciones de 1 g/t de oro para las venas y los 2 g/ton para las vetas. Con la presencia de venillas de tipo mesotermal las concentraciones de oro superan los 3 g/ton en tramos de entre 10 y 25 metros de ancho.

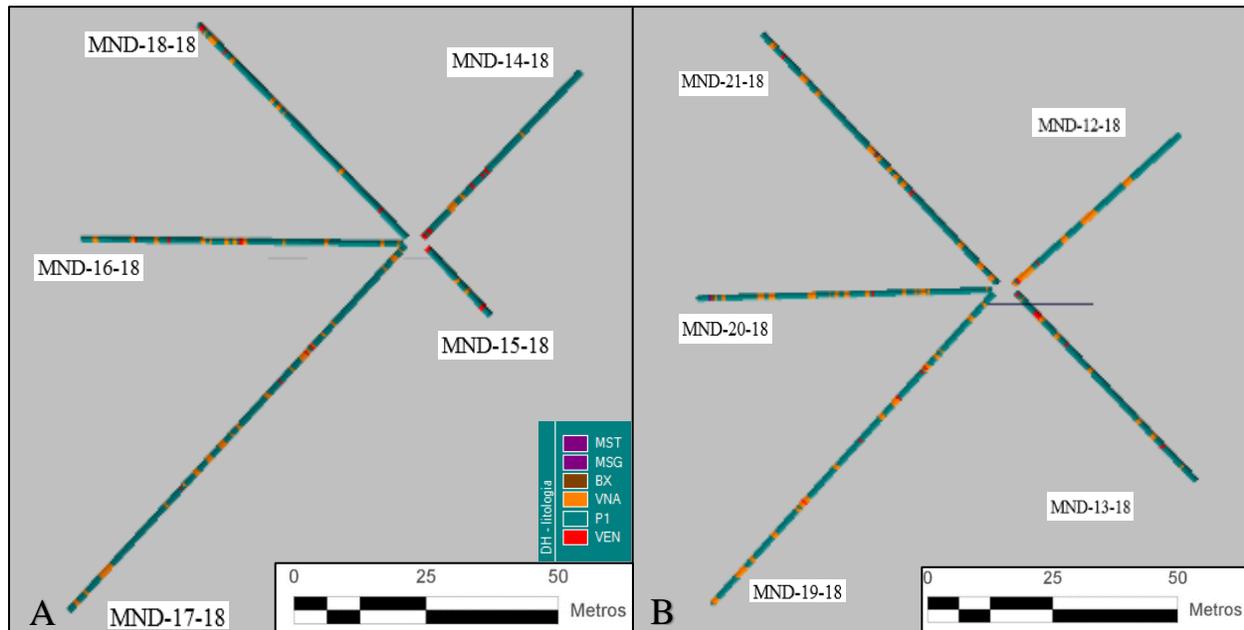


Figura 18. Corte N-S y N45°W de los pozos perforados desde la Cámara #1 de la CPSI. A: Corte N-S con la descripción litológica y estructuras cortadas por los pozos. B: Corte N45°W con la descripción litológica y estructuras cortadas por los pozos.

Aunque se encuentran zonas con mineralización mesotermal que presentan concentraciones de oro económicamente explotables en espesores importantes, también se observa en las **figuras 19 y 20** zonas con venillas mesotermales con bajas o muy bajas concentraciones de oro que se interpretan como producto de la superposición de otros eventos hidrotermales que pudieron haber removilizado el oro.

Los resultados de la descripción de los pozos se introdujeron en una base de datos y se utilizaron para generar un modelo en 3D (**ver figura 21**) de las principales estructuras existentes en la zona de estudio, para tal fin se hizo uso del software minero RecMin. El muestreo en canal realizado en la CPSI también se utilizó para generar el modelo 3D originando un pozo con esta información.

Las zonas mesotermales de las **figuras 19 y 20** se definieron teniendo en cuenta que la presencia de venillas de dicha mineralización coincide con concentraciones de oro por encima del tenor de corte y que estructuralmente concordara con la tendencia general del cuerpo mineralizado (ver **figura 21**), las zonas de veta Mellizos y Santa Inés se definieron con base en la presencia de estructuras que coincidieran con la proyección desde la CPSI de dichas vetas teniendo en cuenta su disposición estructural que para la veta Mellizos es $N34^{\circ}W/70^{\circ}NE$ y para la veta Santa Inés $N81^{\circ}W/60^{\circ}NE$ (ver **figura 21**).

En la **figura 21** se observa el modelo 3D creado a partir de la información de los pozos realizados con los equipos de perforación Diamec-232 e Ingetrol, y las cartografías realizadas en la CPSI, se puede apreciar según el modelo como la mayoría de los pozos cortan ambas vetas, se comprueba la continuidad de la veta Santa Inés hacia arriba en donde es cortada por los pozos MND-12-18 y MND-14-18 (ver **figura 18** y **figura 21**), aunque hacia abajo no se comprueba su existencia ya que al realizar su proyección en profundidad al parecer ningún pozo corta esta veta, la veta mellizos es cortada por los pozos MND-16-18, MND-17-18, MND-19-18 y MND-20-18.

Es importante aclarar que debido a la gran cantidad de estructuras presentes y los problemas de recuperación de núcleos en zonas de veta con alto contenido de arcillas, la correlación de las vetas Mellizos y Santa Inés con estructuras presentes en los pozos se realizó principalmente con base en proyecciones de dichas vetas sobre los pozos perforados.

Según el modelo el cuerpo mesotermal corresponde a una estructura tabular de entre 15 y 25 metros de ancho con rumbo $N55^{\circ}W$ y buzamiento superior a los $70^{\circ}NE$, se considera que dicha estructura toma forma de cuña hacia la parte superior de la CPSI ya que no se ha encontrado evidencia de dicha mineralización en el nivel 20 de la mina La Maruja.

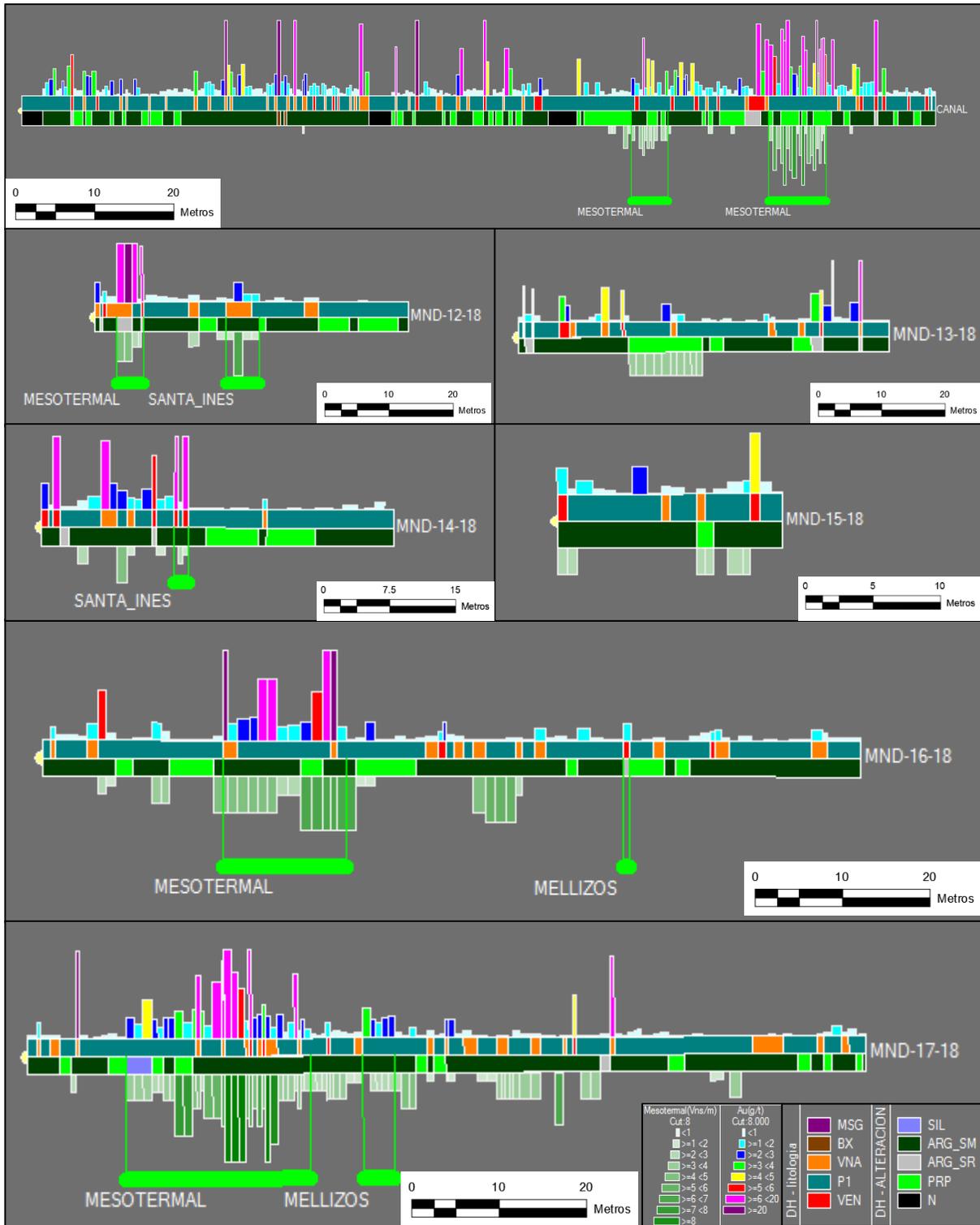


Figura 19. Correlación de las alteraciones, litologías, concentraciones de oro y presencia de venillas de tipo mesotermal obtenidos del logueo de los pozos MND-12-18 a MND-17-18 y del muestreo en canal. Se observa la delimitación de las zonas de veta Mellizos, Santa Inés o la mineralización de tipo mesotermal cortadas por los pozos.

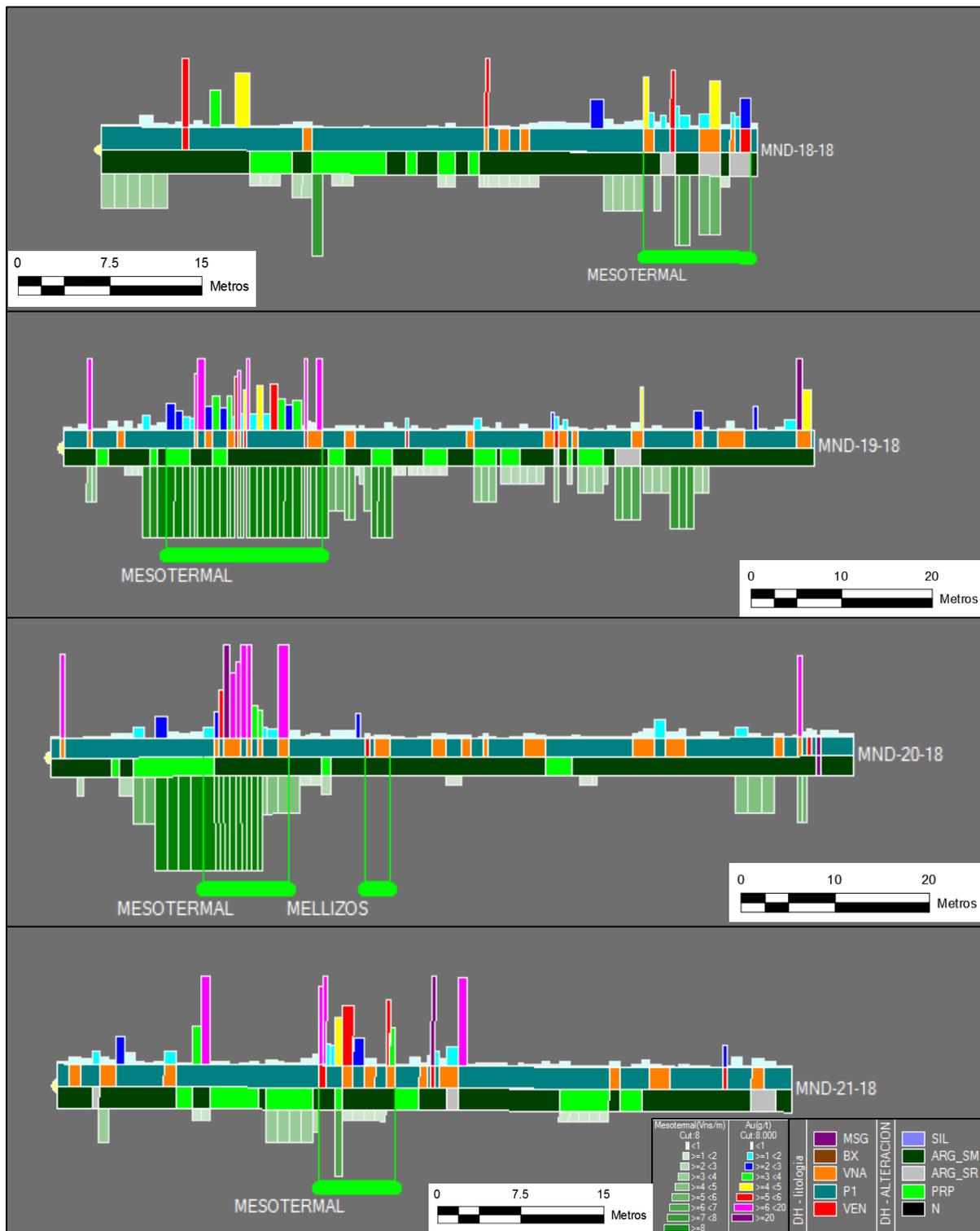


Figura 20. Correlación de las alteraciones, litologías, concentraciones de oro y presencia de venillas de tipo mesotermal obtenidos del logueo de los pozos MND-18-18 a MND-21-18. Se observa la delimitación de las zonas de veta Mellizos y zonas de mineralización de tipo mesotermal interceptadas por los pozos.

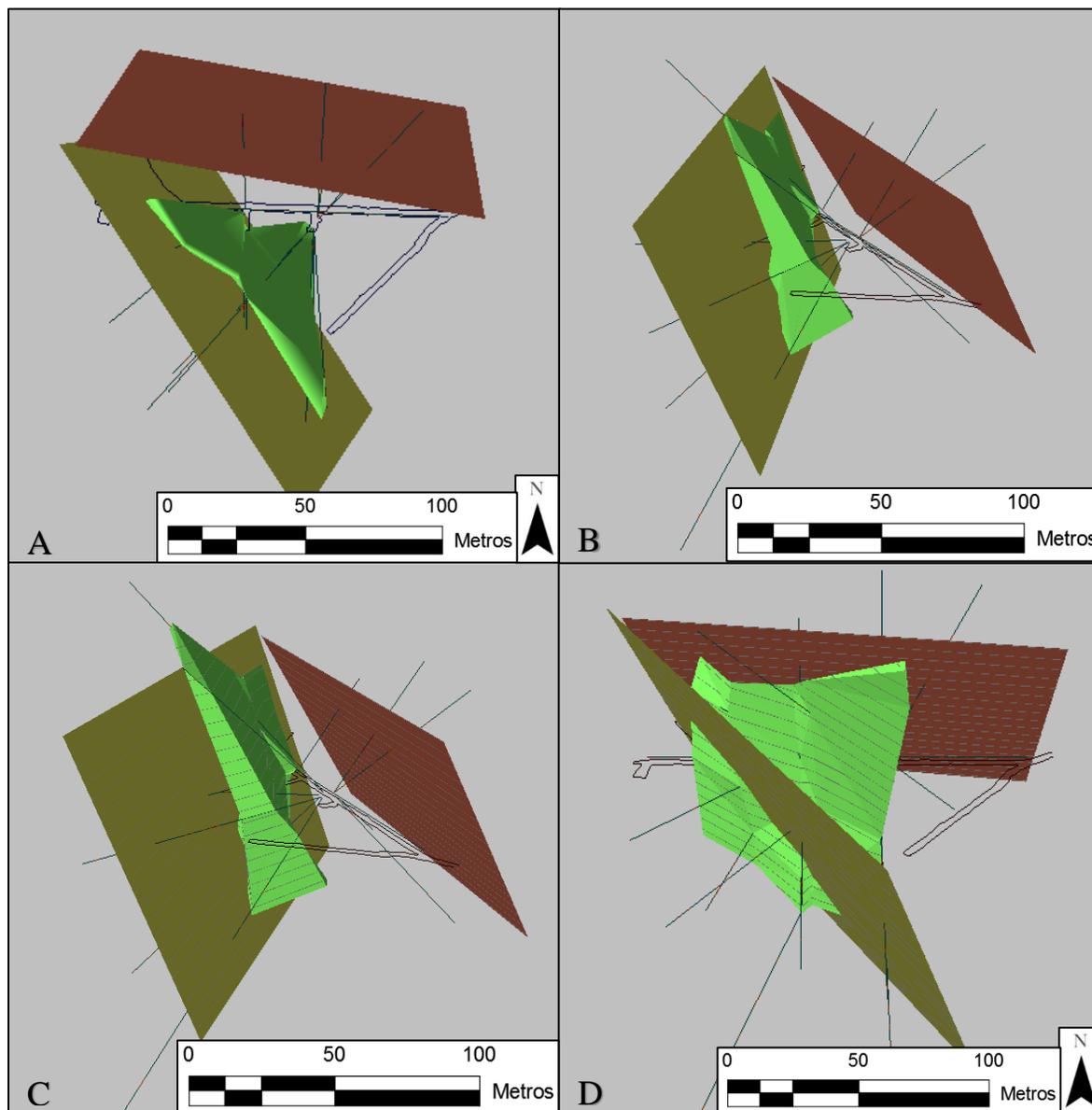


Figura 21. Modelo 3D de la CPSI. Se observa la topografía (en doble línea continua de color negro) y los pozos utilizados para la creación del modelo, en color rojo se representa la veta Santa Inés, en color oliva la veta Mellizos y en verde la zona que alberga la mineralización mesotermal. A: modelo geológico desde una vista de planta. B: modelo geológico visto desde el SE en donde se puede observar la forma tabular de la mineralización mesotermal. C: modelo geológico visto desde el SE con líneas de contorno cada cinco metros. D: modelo geológico visto desde el sur, se observa como la veta Mellizos corta la mineralización mesotermal en forma oblicua.

7.1. Eventos mineralizantes

A continuación, se enumeran y explican los eventos mineralizantes junto con las alteraciones hidrotermales descritas y su importancia en el aporte de oro al yacimiento, es importante mencionar que la litología no tiene cambios significativos ya que la mayoría de la mineralización se encuentra hospedada en el pórfido dacítico (P1).

7.1.1. Alteraciones

- Alteración potásica.

Caracterizada por la presencia de biotita en venillas y en parches presentes en el pórfido dacítico (P1), es una alteración que se presenta de forma muy local en zonas profundas del depósito y se relaciona a condiciones de mayor temperatura en profundidad. Es muy escasa su aparición en los pozos descritos.

- Alteración propilítica.

De tipo pervasiva, con presencia de biotita, epidota y clorita, esta alteración se asocia a mineralización diseminada de pirrotina y pirita. Se encuentra en casi todo el cuerpo de roca. Ver **anexo 11**.

- Albitización.

Presente en halos y relacionada a venillas de cuarzo, pirrotina, calcopirita, y minerales de bismuto; ésta alteración está relacionada al primer evento mineralizante del depósito con

aporte de oro libre que formó la mineralización de tipo mesotermal. Junto con la alteración potásica se encuentran por debajo de la cota 1000 y se relacionan a un evento de mineralización anterior al que formó las vetas de tipo epitermal. Ver **anexo 12**.

- Alteración argílica de illita-smectita (argílica de smectita) (J. Ceballos, comunicación personal, septiembre de 2018).

Se presenta sobreimpuesta a las alteraciones anteriores y se asocia al segundo aporte de oro en el depósito y a una mineralización con presencia de pirita, pirrotina, cuarzo, calcita, esfalerita y galena presente en venillas, venas y vetas y que fue formada por un evento epitermal de baja sulfuración y se relaciona a uno de los sistemas de vetas actualmente explotados en la mina. Ver **anexo 13**.

- Alteración argílica de sericita-caolinita (argílica de sericita) (J. Ceballos, comunicación personal, septiembre de 2018).

Relacionada a un evento final de tipo epitermal de intermedia sulfuración formando vetas de sericita, pirita, calcita y esfalerita. Esta alteración se sobreimpone a las anteriores y oblitera totalmente la roca. Ver **anexo 14**.

7.1.2. Mineralizaciones

- Mesotermal.

Mineralización hospedada en venas y venillas delgadas (1 – 50 mm) de cuarzo, con presencia de cantidades variables de pirrotina, calcopirita, oro y minerales de bismuto.

Ver **anexos 16 y 17**.

- Epitermal LS.

Mineralización presente en venillas, venas y vetas con halos de alteración argílica de illita-smectita, caracterizada por la presencia de abundante pirita, pirrotina, bajas cantidades de esfalerita, cuarzo y calcita. Ver **anexos 15, 18, 19 y 21**.

- Epitermal IS.

Presente principalmente en venas y vetas de espesores variables, relacionada a alteración argílica de sericita-caolinita, con presencia de esfalerita y altas cantidades de pirita. Ver **anexos 22 y 23**.

8. Conclusiones

Con base en las observaciones geológicas realizadas durante las labores de cartografía, muestreo en canal y logeo se concluye lo siguiente respecto a las concentraciones de oro y su relación con las mineralizaciones y alteraciones presentes en la cruzada paralela Santa Inés del nivel 21 de la mina La Maruja, al igual que sobre las principales estructuras geológicas.

- Se concluye la presencia de al menos 3 eventos hidrotermales generando las mineralizaciones existentes en la zona de estudio, un primer evento que según Santacruz et. al., (2017) es de tipo mesotermal, con una mineralogía de mayor temperatura formada por pirrotina, calcopirita, bismuto y oro libre en venillas de cuarzo (ver **anexo 17**), esta mineralización se asocia a una alteración de tipo propilítica y en ocasiones presenta halos de alteración de albita (ver **anexo 12**). Aunque la mineralización se asocia a la alteración propilítica no siempre que ésta se presenta también lo hace la mineralización. (Ver **anexos 11 y 16 y figuras 20 y 21**). Las siguientes dos mineralizaciones son de tipo epitermal, siendo la primera epitermal de baja sulfuración con mineralogía de pirita y esfalerita en menores cantidades, cuarzo y calcita como ganga, ésta mineralización se encuentra asociada a la alteración argílica de illita-smectita y se superpone a la mineralización mesotermal. (ver **anexos 12, 15, 18, 19 y 20**) La última mineralización se superpone a las anteriores formando vetas de sericita-caolinita (en general arcillas blancas) que obliteran completamente la roca, esta mineralización se compone principalmente de pirita, y variables contenidos de esfalerita, como minerales de ganga presenta calcita y arcillas. (ver **anexos 14, 21 y 22**).

- Todas las mineralizaciones descritas anteriormente se encuentran controladas estructuralmente, esto quiere decir que se emplazaron en fracturas preexistentes a su formación, generándose aperturas mayores en sentidos NW, E-W y NE, que son las tendencias de los principales sistemas de fallas del distrito minero de Marmato, formándose las vetas principales existentes en el depósito.
- Los mayores valores de oro, por encima de los 2 g/ton se presentan principalmente asociados a la presencia de vetas y a venilleos relacionados a éstas, ya sean de tipo epitermal de baja o intermedia sulfuración lo que indica un aporte de oro en cada uno de estos eventos mineralizantes. (ver **anexos 5, 6 y 7**).
- Relacionado a la mineralización mesotermal también se reportan valores de oro económicamente rentables a excepciones de las zonas en donde esta mineralización ha sido sobreimpuesta por alguna de las alteraciones posteriores, causando una disminución significativa de las concentraciones de oro indicando posibles removilizaciones del oro a causa de estos eventos, esto se observa principalmente en los testigos con la presencia de la alteración argílica de illita-smectita junto con venillas de cuarzo y pirita, siendo la pirita un producto de la alteración de la pirrotina en una venilla inicialmente de tipo mesotermal. (ver **anexos 12 y 13 y figuras 20 y 21**).
- La mineralización de tipo mesotermal se presenta hospedada en el cuerpo P1, cerca de la CPSI se encuentra en forma de cuerpo tabular que se adelgaza y se pincha en su parte superior antes de llegar a la cota 1050 ya que no se encuentra presente en el nivel 20 de la mina, dicho cuerpo presenta espesores entre los 15 y 25 metros, y una continuidad en rumbo de por lo menos 80 metros, y 90 metros en buzamiento, con un rumbo N55°W y buzamiento mayor a los 70°NE.

- Las cartografías en la CPSI indican rumbos entre N45°W y N60°W y buzamientos entre los 75° y 85° al NE para las venillas mesotermales, aunque esta disposición estructural es muy parecida a la del cuerpo mesotermal, el carácter y comportamiento de esta mineralización diferente al de una veta sugiere que su seguimiento y exploración se realice principalmente a partir de perforaciones que permitan conocer su ubicación, dimensiones, concentraciones de oro y condición geomecánica con anterioridad para realizar un adecuado aprovechamiento del recurso.
- La alteración potásica y silicificación son poco relevantes en el área donde se realizaron las perforaciones, debido a su escasez no permiten una interpretación clara de su presencia y su relación con el contenido de oro.

9. Recomendaciones

Por correlaciones y proyecciones en los pozos, y teniendo en cuenta la disposición estructural de la mineralización mesotermal (entre N45°W y N60°W), se recomienda expandir la malla de perforación hacia el oeste de la Cruzada Paralela Santa Inés perforando pozos con direcciones NE y SW perpendiculares a la mineralización mesotermal, tanto con inclinaciones positivas, negativas y horizontales.

También se recomienda la realización de pozos con las mismas direcciones mencionadas en el párrafo anterior desde la Cruzada 1W Sur Santa Inés - Mellizos (Cruzada Mellizos) con el fin de definir la presencia de la mineralización mesotermal hacia ésta zona.

Se sugiere que se realice una exploración amplia del cuerpo mesotermal por medio de perforaciones diamantinas que permita un mayor conocimiento de su comportamiento, ubicación, dimensiones, concentraciones de oro y condiciones geomecánicas con el fin de realizar una adecuada explotación del recurso a una escala pertinente y por el método de explotación más eficiente que sea posible.

También se recomienda continuar con la realización de muestreos en canal y cartografías subterráneas, además, de realizar dataciones de los eventos mineralizantes, con el fin de complementar la información adquirida de los testigos exploratorios.

10. Bibliografía

- Calle, B., y González, H. (1982). Geología y geoquímica de la plancha 186 Riosucio. Ingeominas, Informe No I-1878, 51-55.
- Cediel, F., Shaw, R. P., and Cáceres, C. (2003). Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. Mexico and the Caribbean region: plate tectonics, basin formation and plate tectonics. C. Bartolini, R. T. Buffler and J. F. Blickwede, *AAPG*, memoir 79: 815-848.
- Cooper, M., Addison, F., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R., Hayward, A., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Penas, R., Pulham, A., and Taborda, A. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia, *AAPG Bull.*, (79), 1421 – 1443.
- Cortés, M., and Angelier, J. (2005). Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia). Implications on plate kinematics of the South Caribbean region. *Tectonics*, (24), TC1008. doi:10.1029/2003TC001551.
- De Mello, C. R. (2015). *Características Isotópicas de Pb da Mineralização Aurífera de Marmato, Colombia; Implicações para Identificação e caracterização de domínios transicionais entre sistemas epitermais e do tipo pórfiro.* (Tesis de maestría). Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo.
- Duque-Caro., H. (1990). The Choco Block in the northwestern corner of South America: structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications, *Journal of South American Earth Sciences*, (3), 71 – 84.
- Ego, F., and Sebrier, M. (1995). Is the Cauca–Patía and Romeral fault system left- or right-lateral?. *Geophysical Research Letters*, (22), 33–36.

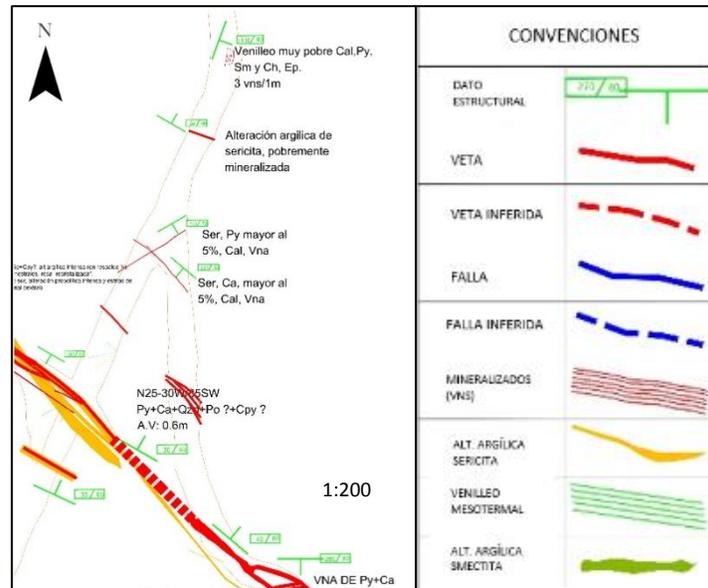
- Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes, H., and Egues, A. (1996). Quaternary state of stress in the northern Andes and the restraining bend model of the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, (259), 101 – 116.
- González, H. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del Mapa Geológico de Colombia. *Boletín Geológico, Ingeominas*, (23), 1-174.
- González, H., y Maya, M. (1995). Unidades Litodémicas de la Ridge Central de Colombia. *Boletín Geológico, Ingeominas*, (35), 43–57.
- Jiménez H, A. (2013). Evidencias de esfuerzos y análisis del control estructural de la mineralización presente en el Distrito Minero de Marmato (Caldas) según modelamiento tipo riedel. Departamento de Geología, Mineros nacionales S.A.S, Mina La Maruja.
- Junco, A., Santacruz, L., Molano, J. C., y Cecchi, A. (2017). Microtermometría de inclusiones fluidas de la mineralización de la zona profunda del depósito de Marmato, Caldas. Resumen. XVI Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta, Colombia, 2017.
- Melo-Gómez, J., Molano, J. C., Santacruz, L., y Cecchi, A. (2017). Análisis espectral de las alteraciones hidrotermales asociadas al depósito de oro de Marmato, Colombia. Resumen. XVI Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta, Colombia, 2017.
- Mineros Nacionales S.A.S., (2018). Reservas y planeamiento Mina La Maruja. Marmato, Colombia.
- Mora, B. M., y Cuellar, J. V. (1982). Paragénesis y origen del yacimiento de las minas Nacionales de Marmato (Caldas). Unpublished Ph.D. thesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 87 pp.

- Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A., y Toro, L. (2008). Proveniencia del material clástico del Complejo Quebradagrande y su relación con los complejos estructurales adyacentes. *Boletín Ciencias de la Tierra*, (22): 27-38.
- Nivia, A., Marriner, G. F., Kerr, A. C., and 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), 423-436.
- Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la Geología de Minas*. Madrid, España: Ediciones GEMM.
- Rodríguez, C., and Warden, A. J. (1993). Overview of some Colombian gold deposits and their development potential. *Mineralium Deposita*, (28), 47–57.
- Rodríguez, G., y Arango, M., I. (2013). Reinterpretación geoquímica y radiométrica de las metabasitas del Complejo Arquía. *Boletín de Geología*, (35), 65-81.
- Rodríguez, G., y Zapata, G. (2013). Análisis comparativo entre la Formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: un arco volcánico toleítico-calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de Romeral en los Andes del Norte?. *Boletín Ciencias de la Tierra*, (33), 39-58.
- Rodríguez, G., y Cetina, L. M. (2016). Caracterización petrográfica y química de rocas de corteza oceánica del Complejo Quebradagrande y comparación con rocas de unidad Diabasas de San José de Urama. *Boletín de Geología*, (38): 15-29.
- Ruiz-Jiménez, E. C., Blanco-Quintero, I. F., Toro, L. M., Moreno-Sánchez, M., Vinasco, C. J., Morata, D., Gómez-Cruz, A. (2012). Geoquímica y petrología de las metabasitas del Complejo Arquía (municipio de Santafe de Antioquia y río Arquía, Colombia): geodynamic implications. *Boletín Ciencias de la Tierra*, (32), 65-80.

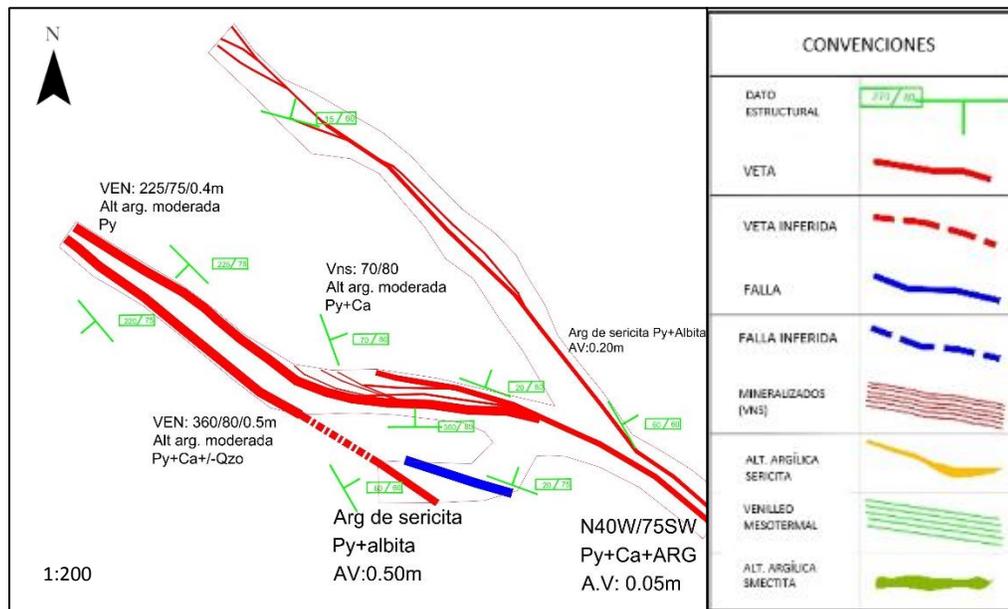
- Santacruz, R. L., Matteini, M., Botelho, N. F., Redwood, S. D., Molano, J. C., Cecchi, A. (2017). Caracterización petrográfica y geoquímica de los cuerpos porfíricos asociados al depósito Au-Ag de Marmato, Colombia. Resumen. XVI Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta, Colombia, 2017.
- Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, A., Olaya, J., and Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia), *Tectonics*, (19), 787 – 813.
- Tassinari, C. C., Díaz, F., and Buenaventura, J. (2007). Age and sources of gold mineralization in the Marmato mining district, NW Colombia: A Miocene–Pliocene epizonal gold deposit. *Ore Geology Reviews* (2007). doi:10.1016/j.oregeorev.2007.03.002
- Toussaint, J., y Restrepo, J. (1974). Algunas consideraciones sobre la Evolución Estructural de los Andes Colombianos, Facultad Nacional de Minas. (Medellín) Publicación especial, (4), 17 p.
- Toussaint, J. F., Restrepo, J. J. (1989). Acreciones sucesivas en Colombia: Un nuevo modelo de evolución geológica. V Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Tomo I, 127–146.
- Van Der Hammen, T. (1960). Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Ingeominas, (6), 67–128.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., and Beltrán, A. (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *Lithos*, (125), 875-896.

- Vinasco, C. J. (2001). A utilização da metodologia ^{40}Ar - ^{39}Ar para o estudo de reativações tectônicas em zonas de cisalhamento. Paradigma: O Falhamento de Romeral nos Andes Centrais da Colômbia, Unpublished M.Sc. thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 85 pp.

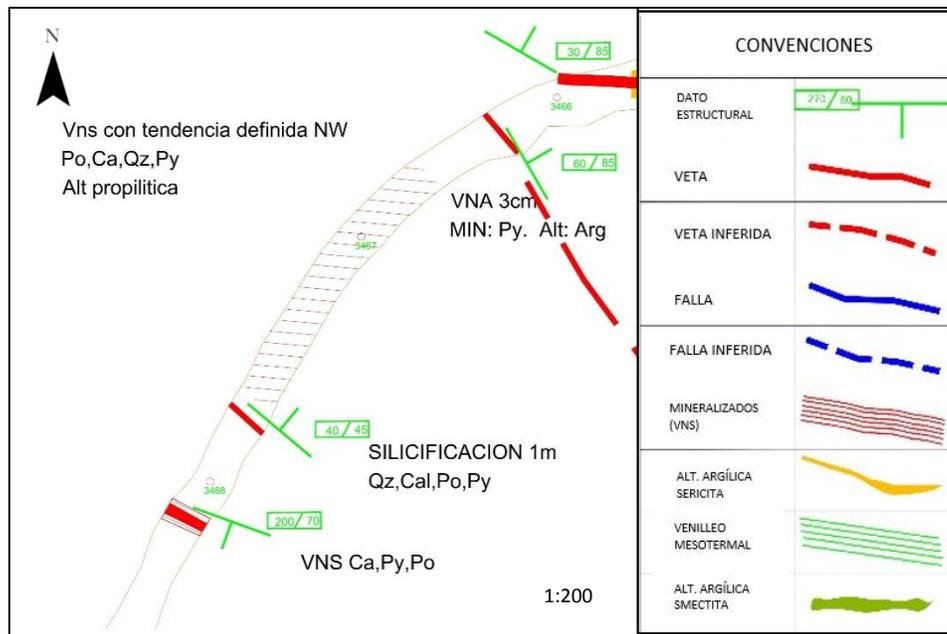
11. Anexos



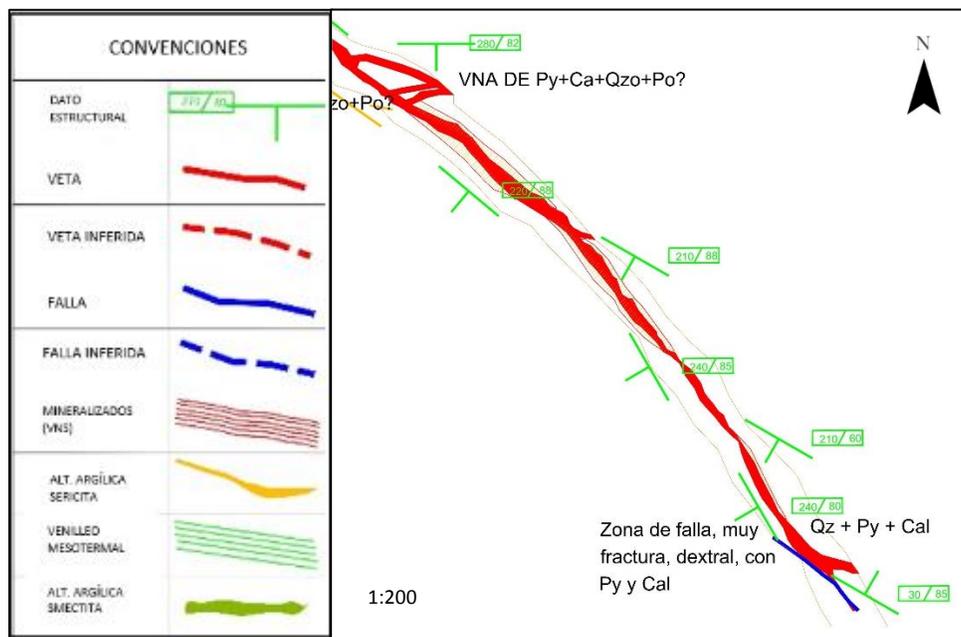
Anexo 1. Cartografía subterránea escala 1:200 realizada en la Guía E Invasores del nivel 21.



Anexo 2. Cartografía subterránea escala 1:200 realizada en la sobre-guía Scoop Ovejo del nivel 21.



Anexo 3. Cartografía subterránea escala 1:200 realizada en la Cruzada Dolores del nivel 21.



Anexo 4. Cartografía subterránea escala 1:200 realizada en la Guía E Invasores del nivel 21.

CORTE	VETA	UBICACIÓN DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	# MESOTERMAL	MIN 1	MIN 2	MIN 3	ALTERACIÓN	Au	Ag	ESPESOR VETA	# MUESTRA
20.89	0.38	1.7 m - 2.08 m	VENILLO	0	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.48	1.04		1
20.89	0.25	2.08 m - 2.33 m	VENA	0	Py			SMECTITA	6.6	33.92	0.05	2
20.89	0.40	2.33 m - 2.73 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.36	1.04		3
20.89	0.42	2.73 m - 3.15 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.12	1.04		4
20.89	0.40	3.15 m - 3.55 m	DISEMINADO	0	Po			SMECTITA	0.28	1.04		5
20.89	0.32	3.55 m - 3.87 m	DISEMINADO	0	Po			SMECTITA	0.72	1.04		6
20.89	0.25	3.87 m - 4.12 m	VENA	0	Py	Ser		SMECTITA	0.4	1.04	0.05	7
20.89	0.33	4.12 m - 4.45 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.44	3.52		8
20.89	0.32	4.45 m - 4.77 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.2	1.04		9
20.89	0.50	4.77 m - 5.27 m	VETA	0	Py	Qtz		SMECTITA	35.88	124.7	0.12	10
20.89	0.38	5.27 m - 5.65 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.12	7.92		11
20.89	0.39	5.65 m - 6.04 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.36	1.04		12
20.89	0.38	6.04 m - 6.42 m	DISEMINADO	0				SMECTITA	1.92	0.48		13
20.89	0.39	6.42 m - 6.81 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	1.04	1.04		14
20.89	0.46	6.81 m - 7.27 m	DISEMINADO	0	Py	Po		SMECTITA	0.96	1.04		15
20.89	0.40	7.27 m - 7.67 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.04		16
20.89	0.40	7.67 m - 8.07 m	VENA	0	Qtz	Py		SMECTITA	0.32	1.04	0.4	17
20.89	0.41	8.07 m - 8.48 m	VENA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.68	1.04	0.03	18
20.89	0.35	8.48 m - 8.83 m	DISEMINADO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.12	2.8		19
20.89	0.35	8.83 m - 9.18 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.36	4.32		20
20.89	0.37	9.18 m - 9.55 m	VENILLO	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.2	6.8		21
20.89	0.41	9.55 m - 9.96 m	DISEMINADO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.04	0.8		22
20.89	0.38	9.96 m - 10.34 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.08	1.04		23
20.89	0.50	10.34 m - 10.84 m	VENA	0	Py			SMECTITA	2.8	3.76	0.03	24
20.89	0.40	10.84 m - 11.24 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	6.28	23.8		25
20.89	0.50	11.24 m - 11.74 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.6	1.04		26
20.89	0.30	11.74 m - 12.04 m	VENA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.84	1.04	0.04	27
20.89	0.45	12.04 m - 12.49 m	DISEMINADO	0	Py	Cal		SMECTITA	0.72	1.04		28
20.89	0.45	12.49 m - 12.94 m	VENILLO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.92	1.04		29
20.89	0.50	12.94 m - 13.44 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04		30
20.89	0.50	13.44 m - 13.94 m	DISEMINADO	0	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04		31
20.89	0.35	13.94 m - 14.29 m	VETA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	13	108.1	0.15	32
20.89	0.40	14.29 m - 14.69 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	4.52	1.04		33
20.89	0.50	14.69 m - 15.19 m	VENILLO	0	Py	Cal		EPIDOTIZACIÓN	0.04	1.04		34
20.89	0.45	15.19 m - 15.64 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.48		35
20.89	0.45	15.64 m - 16.09 m	VENILLO	0	Py			EPIDOTIZACIÓN	0.36	1.04		36
20.89	0.40	16.09 m - 16.49 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.4	1.04		37
20.89	0.30	16.49 m - 16.79 m	VENA	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.96	1.04	0.02	38
20.89	0.50	16.79 m - 17.29 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	6.36	1.04		39
20.89	0.50	17.29 m - 17.79 m	VENILLO	0	Py	Qtz	Cal	EPIDOTIZACIÓN	3.64	1.04		40
20.89	0.50	17.79 m - 18.29 m	VENILLO	0	Py	Qtz		SMECTITA	0.76	1.04		41
20.89	0.50	18.29 m - 18.79 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.72	1.04		42
20.89	0.35	18.79 m - 19.14 m	DISEMINADO	0	Py	Po		EPIDOTIZACIÓN	0.6	1.04		43
20.89	0.30	19.14 m - 19.44 m	VENA	0	Py	Qtz	Sp	SMECTITA	1.48	21.64	0.02	44
20.89	0.35	19.44 m - 19.79 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.72	1.04		45
20.89	0.50	19.79 m - 20.29 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	1.68	1.04		46
20.89	0.50	20.29 m - 20.79 m	DISEMINADO	0	Py			SMECTITA	0.32	1.04		47
20.89	0.50	20.79 m - 21.29 m	VETA	0	Py	Qtz	Cal	SMECTITA	0.46	22.94	0.12	48
20.89	0.50	21.29 m - 21.79 m	VETA	0	Py	Qtz		SMECTITA	2.32	24.96	0.1	49
20.89	0.50	21.79 m - 22.29 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.72	1.04		50
20.89	0.30	22.29 m - 22.59 m	VENILLO	0	Py			SMECTITA	0.76	1.04		51

Anexo 5. Descripción de muestreo desde los 1.7 hasta los 22.59 metros al W del punto topográfico 3416 de la Cruzada Paralela Santa Inés en el nivel 21 de la mina La Maruja.

# MUESTRA	CORTE	VETA	UBICACIÓN DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	# MESOTERMAL	MIN 1	MIN 2	MIN 3	MIN 4	ALTERACIÓN	Au	Ag	ESPESOR DE VETA
1	26.14	0.40	26.5 m - 26.9 m	VENILLO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	4.92	7.64	
2	26.14	0.52	26.9 m - 27.42 m	VENILLO	0					SMECTITA	0.04	1.04	
3	26.14	0.54	27.42 m - 27.96 m	VENILLO	0	Po				EPIDOTIZACIÓN	1.76	1.04	
4	26.14	0.48	27.96 m - 28.44 m	VENILLO	0	Py	Qtz			EPIDOTIZACIÓN	0.12	1.04	
5	26.14	0.49	28.44 m - 28.93 m	DISEMINADO	0	Po				EPIDOTIZACIÓN	0.08	1.04	
6	26.14	0.60	28.93 m - 29.53 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	1.8	1.04	
7	26.14	0.60	29.53 m - 30.13 m	VENILLO	0	Py	Po	Ep		EPIDOTIZACIÓN	0.52	1.04	
8	26.14	0.51	30.13 m - 30.64 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.12	1.04	
9	26.14	0.49	30.64 m - 31.13 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	0.24	1.04	
10	26.14	0.52	31.13 m - 31.65 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	0.92	1.04	
11	26.14	0.55	31.65 m - 32.2 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.4	1.04	
12	26.14	0.50	32.2 m - 32.7 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04	
13	26.14	0.53	32.7 m - 33.23 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	0.56	1.04	
14	26.14	0.51	33.23 m - 33.74 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	0.44	1.04	
15	26.14	0.50	33.74 m - 34.24 m	VENILLO	2					SMECTITA	2.36	1.04	
16	26.14	0.50	34.24 m - 34.74 m	VETA	0	Py	Qtz			SMECTITA	1.64	74.44	0.18
17	26.14	0.50	34.74 m - 35.24 m	VENILLO	3					SMECTITA	0.76	1.04	
18	26.14	0.30	35.24 m - 35.54 m	VENILLO	4					SMECTITA	7.68	1.04	
19	26.14	0.33	35.54 m - 35.87 m	VENILLO	2					SMECTITA	1	1.04	
20	26.14	0.30	35.87 m - 36.17 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	4.96	1.04	
21	26.14	0.31	36.17 m - 36.48 m	VENILLO	2					EPIDOTIZACIÓN	1.2	1.04	
22	26.14	0.26	36.48 m - 36.74 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	4.68	1.04	
23	26.14	0.50	36.74 m - 37.24 m	VENILLO	2					EPIDOTIZACIÓN	0.32	1.04	
24	26.14	0.50	37.24 m - 37.74 m	VENILLO	0	Py	Qtz			SMECTITA	1.72	1.04	
25	26.14	0.50	37.74 m - 38.24 m	VENILLO	2					EPIDOTIZACIÓN	0.08	1.04	
26	26.14	0.40	38.24 m - 38.64 m	VENILLO	2					SMECTITA	3.24	1.04	
27	26.14	0.35	38.64 m - 38.99 m	VENILLO	1					SMECTITA	0.76	1.04	
28	26.14	0.50	38.99 m - 39.49 m	VETA	0	Py	Qtz	Ser		SMECTITA	1.32	1.04	0.18
29	26.14	0.30	39.49 m - 39.79 m	VENILLO	0	Py	Cal			SMECTITA	3.4	1.04	
30	26.14	0.40	39.79 m - 40.19 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	2.56	1.04	
31	26.14	0.40	40.19 m - 40.59 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	4.48	1.04	
32	26.14	0.40	40.59 m - 40.99 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	2.16	1.04	
33	26.14	0.26	40.99 m - 41.25 m	VENILLO	0	Py	Po	Qtz		SMECTITA	2.84	1.04	
34	26.14	0.42	41.25 m - 41.67 m	VENILLO	0	Py	Qtz			SMECTITA	0.6	1.04	
35	26.14	0.50	41.67 m - 42.17 m	VENILLO	0	Py	Qtz			SMECTITA	4.32	1.04	
36	26.14	0.55	42.17 m - 42.72 m	VETA	0	Py	Qtz	Cal	Ser	SMECTITA	1.92	1.04	0.12
37	26.14	0.45	42.72 m - 43.17 m	DISEMINADO	0	Py	Po			SMECTITA	1.36	1.04	
38	26.14	0.49	43.17 m - 43.66 m	DISEMINADO	0	Py				EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04	
39	26.14	0.42	43.66 m - 44.08 m	VENA	0	Py	Qtz			SMECTITA	1	1.04	0.09
40	26.14	0.58	44.08 m - 44.66 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	1.08	1.04	
41	26.14	0.56	44.66 m - 45.22 m	VENILLO	0	Py	Qtz	Cal		SMECTITA	0.4	1.04	
42	26.14	0.30	45.22 m - 45.52 m	VETA	0	Py	Qtz			SMECTITA	1.92	16.64	0.10
43	26.14	0.52	45.52 m - 46.04 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.92	1.04	
44	26.14	0.50	46.04 m - 46.54 m	VENILLO	0	Py	Cal			EPIDOTIZACIÓN	1.24	1.04	
45	26.14	0.52	46.54 m - 47.06 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.8	1.04	
46	26.14	0.47	47.06 m - 47.53 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	0.2	1.04	
47	26.14	0.45	47.53 m - 47.98 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.72	1.04	
48	26.14	0.51	47.98 m - 48.49 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	2.36	1.04	
49	26.14	0.49	48.49 m - 48.98 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	1.2	1.04	
50	26.14	0.48	48.98 m - 49.46 m	VENA	0	Py	Qtz	Ser		SERICITA	1.28	1.04	0.04
51	26.14	0.49	49.46 m - 49.95 m	VETA	0	Py	Qtz	Ser		SERICITA	0.96	0.92	
52	26.14	0.57	49.95 m - 50.52 m	VETA	0	Py				SERICITA	0.12	1.04	
53	26.14	0.53	50.52 m - 51.05 m	VETA	0	Py	Po	Qtz	Sp	SERICITA	9.56	45.56	0.35
54	26.14	0.55	51.05 m - 51.6 m	VETA	0	Py	Po	Qtz	Cpy?	SMECTITA	3.32	31.36	0.33
55	26.14	0.53	51.6 m - 52.13 m	VENA	0	Py	Po	Qtz	Cpy?	SMECTITA	7.44	3.48	
56	26.14	0.51	52.13 m - 52.64 m	VENILLO	2					EPIDOTIZACIÓN	6.76	1.04	

Anexo 6. Descripción de muestreo desde los 26.5 hasta los 52.64 metros al W del punto topográfico 3416 de la Cruzada Paralela Santa Inés en el nivel 21 de la mina La Maruja. Observar que del metro 34.74 al 38.99 se registra un aumento de las concentraciones de oro que puede estar relacionado al aumento de las venillas mesotermales, también se registra aumento con la presencia de vetas y sus respaldos.

# MUESTRA	CORTE	VETA	UBICACIÓN DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	# MESOTERMAL	MIN 1	MIN 2	MIN 3	MIN 4	ALTERACIÓN	Au	Ag	ESPESOR DE VETA
1	21.77	0.55	52.64 m - 53.19 m	VENILLO	6					SMECTITA	5.28	0.12	
2	21.77	0.50	53.19 m - 53.69 m	VENILLO	3					SMECTITA	1.64	4.76	
3	21.77	0.37	53.69 m - 54.06 m	VENILLO	5					EPIDOTIZACIÓN	8.84	1.04	
4	21.77	0.42	54.06 m - 54.48 m	VENILLO	8					EPIDOTIZACIÓN	7.32	2.04	
5	21.77	0.42	54.48 m - 54.9 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	11.04	1.04	
6	21.77	0.42	54.9 m - 55.32 m	VENILLO	6					EPIDOTIZACIÓN	3.8	0.6	
7	21.77	0.50	55.32 m - 55.82 m	VENILLO	7					EPIDOTIZACIÓN	2.92	1.04	
8	21.77	0.20	55.82 m - 56.02 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	2.64	1.04	
9	21.77	0.20	56.02 m - 56.22 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	1.08	1.04	
10	21.77	0.30	56.22 m - 56.52 m	VENILLO	4					SMECTITA	3.92	8.16	
11	21.77	0.38	56.52 m - 56.9 m	VENILLO	8					EPIDOTIZACIÓN	7.96	1.04	
12	21.77	0.40	56.9 m - 57.3 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	6.08	1.04	
13	21.77	0.40	57.3 m - 57.7 m	VENILLO	5					SMECTITA	1.16	1.04	
14	21.77	0.42	57.7 m - 58.12 m	VENILLO	4					SMECTITA	1	1.04	
15	21.77	0.28	58.12 m - 58.4 m	VENILLO	6					EPIDOTIZACIÓN	4.28	6.48	
16	21.77	0.25	58.4 m - 58.65 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	60.391	0.6893	
17	21.77	0.22	58.65 m - 58.87 m	VENILLO	3					EPIDOTIZACIÓN	3	7.12	
18	21.77	0.30	58.87 m - 59.17 m	VENILLO	5					EPIDOTIZACIÓN	6.2	3.68	
19	21.77	0.25	59.17 m - 59.42 m	VENILLO	2					EPIDOTIZACIÓN	7.56	1.04	
20	21.77	0.15	59.42 m - 59.57 m	VENILLO	1					EPIDOTIZACIÓN	7.68	1.04	
21	21.77	0.25	59.57 m - 59.82 m	VENILLO	5					EPIDOTIZACIÓN	5.52	20.04	
22	21.77	0.25	59.82 m - 60.07 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	1.72	1.04	
23	21.77	0.44	60.07 m - 60.51 m	VENILLO	0	Py				EPIDOTIZACIÓN	1.36	1.04	
24	21.77	0.42	60.51 m - 60.93 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	7.48	3.08	
25	21.77	0.44	60.93 m - 61.37 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	0.76	1.04	
26	21.77	0.31	61.37 m - 61.68 m	VENA	0	Py	Qtz			SMECTITA	1.24	1.04	0.04
27	21.77	0.46	61.68 m - 62.14 m	DISEMINADO	0	Py	Po			SMECTITA	1.4	1.04	
28	21.77	0.42	62.14 m - 62.56 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	1.24	1.04	
29	21.77	0.40	62.56 m - 62.96 m	DISEMINADO	0	Py				EPIDOTIZACIÓN	0.56	1.04	
30	21.77	0.43	62.96 m - 63.39 m	VENILLO	1					SMECTITA	0.8	1.04	
31	21.77	0.45	63.39 m - 63.84 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	4.24	1.04	
32	21.77	0.40	63.84 m - 64.24 m	VENA	0	Py	Qtz			SMECTITA	3.76	3.96	0.02
33	21.77	0.50	64.24 m - 64.74 m	VETA	0	Py	Qtz	Ser		SMECTITA	1.12	1.04	0.15
34	21.77	0.50	64.74 m - 65.24 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	1.72	1.96	
35	21.77	0.53	65.24 m - 65.77 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	1.76	1.04	
36	21.77	0.52	65.77 m - 66.29 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	1.84	2.72	
37	21.77	0.48	66.29 m - 66.77 m	VETA	0	Py	Ser			SERICITA	13.28	11.88	0.36
38	21.77	0.53	66.77 m - 67.3 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	0.48	9.44	
39	21.77	0.48	67.3 m - 67.78 m	VETA	0	Py	Qtz			SMECTITA	3.64	24.12	0.25
40	21.77	0.33	67.78 m - 68.11 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	0.44	1.04	
41	21.77	0.26	68.11 m - 68.37 m	VENILLO	0	Py	Qtz	Cal		SMECTITA	0.32	1.04	
42	21.77	0.52	68.37 m - 68.89 m	VENILLO	0	Py	Qtz	Cal		SMECTITA	0.24	1.04	
43	21.77	0.50	68.89 m - 69.39 m	DISEMINADO	0	Py				EPIDOTIZACIÓN	0.68	1.04	
44	21.77	0.49	69.39 m - 69.88 m	VENILLO	0	Py	Cal			SMECTITA	0.48	6.24	
45	21.77	0.28	69.88 m - 70.16 m	DISEMINADO	0	Py	Po			SMECTITA	0.4	0.24	
46	21.77	0.27	70.16 m - 70.43 m	VENILLO	0	Py	Cal			SMECTITA	0.48	1.04	
47	21.77	0.32	70.43 m - 70.75 m	VENILLO	0	Py	Qtz			SMECTITA	1	1.04	
48	21.77	0.33	70.75 m - 71.08 m	VETA	0	Py	Ser			SMECTITA	0.44	1.04	0.11
49	21.77	0.49	71.08 m - 71.57 m	VENILLO	0	Py	Cal			SMECTITA	0.36	1.04	
50	21.77	0.51	71.57 m - 72.08 m	VENILLO	0	Py	Cal			EPIDOTIZACIÓN	0.56	1.04	
51	21.77	0.44	72.08 m - 72.52 m	DISEMINADO	0	Py	Po			EPIDOTIZACIÓN	0.32	1.04	
52	21.77	0.52	72.52 m - 73.04 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	0.16	1.04	
53	21.77	0.53	73.04 m - 73.57 m	VETA	0	Py	Qtz	Ser	Sm	SMECTITA	0.88	20.44	0.5
54	21.77	0.28	73.57 m - 73.85 m	DISEMINADO	0	Py				SMECTITA	1.08	2.8	
55	21.77	0.18	73.85 m - 74.03 m	VENA	0	Py	Qtz			SMECTITA	0.72	1.04	0.03
56	21.77	0.38	74.03 m - 74.41 m	VENILLO	0	Py				SMECTITA	0.56	1.04	

Anexo 7. Descripción de muestreo desde los 52.64 hasta los 74.41 metros al W del punto topográfico 3416 de la Cruzada Paralela Santa Inés en el nivel 21 de la mina La Maruja. Observar que desde el metro 52.64 al 59.82 se registra un fuerte aumento de las concentraciones de oro que coincide con la presencia de venillas de tipo mesotermal, mientras los valores disminuyen entre los metros 57.3 y 58.12 con la presencia de alteración argílica de smectita a pesar de presentar más

de 4 venillas mesotermales por muestra, lo que puede indicar removilización de oro producto del evento epitermal de baja sulfuración. También se registra aumento de las concentraciones de oro con la presencia de vetas y estructuras asociadas.

Revision No 1



SAMPLING AND QUALITY CONTROL - DIAMOND DRILLING

HOLE NUMBER **MND-16-73** Sampling date **25/10/18**

Concession **Placer muto**

Project **Placer muto**

Azimuth

Dip

Core size

Type	From	To
60	0.07m	2.14m
	m	m
	m	m

Quality Control Samples

Blanks	2 blancos cada 100 muestras
Standards	5 estandares cada 100 muestras
Duplicates	2 duplicados de campo cada 100 muestras
	2 duplicados de preparación cada 100 muestras

RC pre-collar m m

No.	FROM	TO	SAMPLE ID	st Bq	Sampling method	QAQC sample ID and comments
1	0.00	0.47	D128642			
2	0.47	1.46	D128643			
3	1.46	2.70	D128644			
4	2.70	3.40	D128645			
5	3.40	5.03	D128646			
6	5.03	6.27	D128647			
7	6.27	7.70	D128648			
8	7.70	8.20	D128649			
9			D128650			ST (SK-94)
10	8.20	9.15	D128651			
11	9.15	10.05	D128652			
12	10.05	10.82	D128653			
13	10.82	12.29	D128654			
14	12.29	13.27	D128655			
15	13.27	14.18	D128656			
16	14.18	15.80	D128657			
17	15.80	17.45	D128658			
18			D128659			DVP del D128658
19	17.45	19.07	D128660			
20	19.07	20.70	D128661			
21	20.70	20.93	D128662			
22	20.93	21.80	D128663			
23	21.80	23.10	D128664			
24	23.10	24.11	D128665			
25	24.11	25.10	D128666			
26			D128667			ALF
27			D128668			BLG
28	25.10	26.22	D128669			
29	26.22	27.39	D128670			
30	27.39	28.77	D128671			

a. Diamond core samples: DG (Manually Split), DC (Raw Cut)

b. Sampling Interval: MAX 20cm - MIN 50cm

1 of 4

Anexo 8. Formato de muestreo y control de calidad.

<p>Minerales Andinos de Occidente S.A. DRILL SAMPLE CARD D 120925</p> <p>Location: _____ Date (dd/mm/yy): ____/____/____ E(W): _____ N(S): _____ Elev (m): _____ Hole ID: _____ From: _____ To: _____ Sample Type: CORE <input type="checkbox"/> R.C. <input type="checkbox"/> Core Diameter: _____ Comments:</p> <p>Minerales Andinos de Occidente S.A. SAMPLE D 120925</p> <p>Minerales Andinos de Occidente S.A. SAMPLE D 120925</p>	<p>Minerales Andinos de Occidente S.A. DRILL SAMPLE CARD D 129404</p> <p>Location: <u>Naquito</u> Date (dd/mm/yy): <u>08/02/19</u> E(W): _____ N(S): _____ Elev (m): _____ Hole ID: <u>MDD 20-18</u> From: <u>83.75</u> To: <u>85.46</u> Sample Type: CORE <input checked="" type="checkbox"/> R.C. <input type="checkbox"/> Core Diameter: <u>30</u> Comments:</p>
---	---

Anexo 9. Tarjetas de muestreo, a la izquierda con las fichas de muestreo.



Anexo 10. Imagen de muestras empacadas bajo las condiciones descritas en la sección 6.3.3.4.



Anexo 11. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración propilítica de estilo pervasiva.



Anexo 12. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración argílica de illita-smectita de intensidad débil sobreimpuesta a una alteración propilítica de estilo pervasivo, se observa una venilla de pirita y cuarzo (epitermal LS) con halo de alteración de albita de color blanco.



Anexo 13. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración argílica de smectita y presencia de venillas de cuarzo y pirita producto de una superposición del evento epitermal LS sobre el evento mesotermal provocando un reemplazamiento de pirrotina por pirita.



Anexo 14. Imagen de testigo con litología P1 (pórfido dacítico) y alteración argílica de sericita-caolinita de color blanco superimponiéndose a una alteración argílica de esmectita de intensidad fuerte de color verde muy oscuro.



Anexo 15. Venilla de cuarzo pirita en testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración argílica de illita-smectita; la mineralogía de la venilla corresponde al evento epitermal LS que se superimpuso a una venilla de tipo mesotermal de cuarzo y pirrotina, la pirrotina ha sido reemplazada por pitita.



Anexo 16. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración propilítica de tipo pervasiva y venillas mesotermales de cuarzo con muy bajas cantidades de pirrotina y/o calcopirita, relacionadas a las venillas se observa alteración de albita de color blanco.



Anexo 17. Venilla mesotermal con cuarzo, pirrotina y calcopirita.



Anexo 18. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración argílica de illita-smectita y una vena epitermal LS de pirita.



Anexo 19. Testigo de litología P1 (pórfido dacítico) con alteración argílica de smectita y una venilla de pirita producto del evento epitermal LS.



Anexo 20. Venilla epitermal LS con cuarzo, pirita, esfalerita y calcita.



Anexo 21. Imagen de material arenoso recuperado de una perforación, con alteración argílica de sericita-caolinita y presencia de pirita.



Anexo 22. Acercamiento de la imagen del anexo 22, en donde se observa material arcilloso, granos de cuarzo y pirita indicando la presencia de alguna estructura mineralizada preexistente en esta sección del testigo.