

**SECUENCIA PARAGENÉTICA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA
PARA CRISTALES DE ORO DEL TARGET OLYMPUS DE LA EMPRESA
COLLECTIVE MINING**

María Camila Ríos Moreno

Trabajo de grado para optar por el título de:

Geóloga

Director:

MSc. Diego Germán Loaiza García

Asesores:

MSc. Mario Andrés Castaño Castro

MSc. Marcelo Arango Trujillo

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales

2023



NOTA DE ACEPTACIÓN

ACEPTADA

Msc. Diego Germán Loaiza García
Director Académico

MSc. Mario Andrés Castaño Castro
Asesor

MSc. Marcelo Arango Trujillo
Asesor



*Yo camino el valle, la montaña, la trocha,
me sumerjo en lagos, ríos y quebradas,
poseo un ímpetu más poderoso y grande que este ser mío
porque en mí habitas tú
y en cada paso que he dado, cada paso que doy
tu luz y tu memoria han sido mi brújula.
Este trabajo está especialmente dedicado a ti,
Abuelita Isabel, eterna en mi vida.*



AGRADECIMIENTOS

A mi madre Yaneth Moreno, por su infinito amor y dedicación, por esperar siempre por mí, enseñarme a ser valiente y a volar tan alto como mis sueños me lo permitan.

A mi padre William Ríos, por cuidarme desde la distancia como el mayor de sus tesoros y levantarme cada día con la palabra precisa.

A mi hermanita Isabella, el mejor regalo que la vida me dio, por hacer de mí una mejor persona y ser mi ejemplo a seguir, mi mayor admiración.

A mi familia, tíos y primos, porque el orgullo que les evocó este proceso fue mi aliento y estímulo.

A Luisa, Yerson, Jose y Santiago, por siempre creer en mí, ser la mano en la cual tantas veces me apoyé para no caer, y ofrecerme un día cualquiera su amistad sincera.

A Felipe, Harold, White, Manuela, Joan, Pleya y Santiago, por convertirse en mi familia y mi lugar seguro en esta ciudad, por llenar esta etapa, mi memoria y mi corazón de los mejores recuerdos.

A mi director de investigación Diego Loaiza, por escuchar mis dudas pacientemente, por su asesoría y acompañamiento a lo largo de este proyecto.

A la empresa Collective Mining, en especial a Mario y Marcelo por abrirme las puertas de este espacio de crecimiento profesional y permitirme ampliar mis experiencias como geóloga.

A la Universidad de Caldas, docentes, compañeros y demás personas que tuve la fortuna de conocer, por forjar en mí el amor y la pasión por esta profesión.

Yo soy todos estos afectos, estoy atada a ellos de manos y corazón, y este trabajo y mi formación es un agradecimiento al proceso de aprendizaje que tuve el privilegio de recibir.



CONTENIDO

Resumen	10
1. Introducción	12
2. Justificación	14
3. Objetivos	15
3.1. General	15
3.2. Específicos	15
4. Localización	16
5. Marco Geológico	18
5.1. Geología Regional	18
5.2. Geología Local	21
5.3. Geología Estructural	23
6. Metodología	25
7. Litología y secuencias de intrusión	27
7.1. Roca encajante	27
7.2. Secuencias de intrusión	29
7.1.1. Etapa Mineral Temprana (MT)	29
7.1.2. Etapa Mineral Intermedia (MI)	30
7.1.3. Etapa Postmineral (PM)	32
8. Mineralización	34
8.1. Descripción mineralógica de minerales de mena y ganga	35
9. Vetillas	45
9.1. Vetillas Cuarzo + Pirita	45
9.2. Vetillas Carbonatos de Metales Base (CBM)	46
10. Análisis granulométrico	48
10.1. Oro asociado	54
10.2. Oro incluido	57
11.3. Oro libre	58
11. Discusión	62
11.1. Secuencia paragenética	62
11.2. Metodología de recuperación de Au	65
12. Conclusiones	69
13. Recomendaciones	70
Referencias	71
Anexos	75



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del proyecto Guayabales. Tomado y modificado de Redwood (2021).

Figura 2. Localización del Target Olympus en relación con los Target cercanos. Tomado y modificado de Collective Mining (2022).

Figura 3. Mapa litotetónico y morfoestructural del noroeste de Sur América. GS: Escudo Guayanés; GA: Macizo de Garzón; SP: Macizo de Santander- Serranía del Perijá; ME: Sierra de Mérida; SM: Sierra Nevada de Santa Marta; EC: Cordillera oriental; CO: Cuenca Caroa; CR: Cordillera Real; CA-VA: Terreno Cajamarca- Valdivia; sl: Bloque San Lucas; ib: Bloque Ibagué; RO: Terreno Romeral; DAP: Terreno Dagua-Piñón; GOR: Terreno Gorgona; CG: Terreno Cañas Gordas; BAU: Terreno Baudó; PA: Terreno Panamá; SJ: Terreno San Jacinto; SN: Terreno Sinú; GU-FA: Terreno Guajira-Falcon; CAM: Terreno Montaña Caribe; Rm: Melange Romeral; fab: cuenca fore arc; ac: prisma de acreción; pd: pie de monte; 1: Cuenca Atrato (Chocó); 2: Cuenca Tumaco; 3: Cuenca Manabí; Cuenca Cauca-Patía; 5: Cuenca Alto Magdalena; 6: Cuenca Magdalena Medio; 7: Cuenca Bajo Magdalena; 8: Cuenca Cesar – Ranchería; 9: Cuenca Maracaibo; 10: Cuenca Guajira; 11: Cuenca Falcon; 12 Cuenca Guarico; 13: Cuenca Barinas; 14: Cuenca Llanos; 15: Cuenca Putumayo – Napo; Símbolos Adicionales: PALESTINA: Sistema de fallas, punto rojo: Vulcanismo Plioceno-Pleistoceno; Bogotá: Pueblo o ciudad. Proyecto Guayabales (estrella roja). Tomado de Cediel et al. (2003) en Redwood (2021).

Figura 4. Mapa geológico del Cinturón del Cauca Medio. Tomado de Redwood (2021).

Figura 5. Mapa de unidades geológicas del Proyecto Guayabales resaltando el Target Olympus. Tomado de Redwood (2022).

Figura 6. Roca encajante de composición microcuarzodiorítica. Cuarzo (Qzo), Plagioclasa (Pl) alterando a Sericita ((a) 5X, XPL (b) 5X, PPL)) c. Muestra de mano microcuarzodiorita.

Figura 7. Triángulo de clasificación QAP para rocas plutónicas y pórfidos hipoabisales. Tomado y modificado de Streckeisen (1972).

Figura 8. a. Vetilla de cuarzo en contacto con Pirita 1 (Py1) euhedral diseminada (5x, PPL). b. Vetilla de cuarzo en contacto con Pirita 1 (Py1) euhedral diseminada (5x, XPL) c. Pirita 1 (Py1) cúbica euhedral diseminada (5x, PPL). d. Arsenopirita (Apy) en contacto con Pirita 1 (Py1) (10x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1), Plagioclasa (Pl), Arsenopirita (Apy).

Figura 9. Cuarzo (Qzo), Esfalerita (Sph), Galena (Gn), Calcopirita (Cpy), Plagioclasa (Pl), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Boulangerita (Boul), Tetraedrita-tennantita (Tt), Pirargirita (Pyrg), Calcita (Cal), Oro (Au). a. Vetilla polimetálica compuesta por pirita 2 (Py2), esfalerita (Sph), galena (Gn) y calcopirita (Cpy) (5x, PPL). b. Reemplazamiento de pirita 1 (Py1) por esfalerita (Sph) (5x, PPL).

c. Textura de exsolución granular de contacto entre pirargirita (Pyrg) y tetraedrita-tennantita (Tt) (10x, PPL). d. Textura de exsolución granular de contacto entre pirargirita (Pyrg) y tetraedrita-tennantita (Tt) (10x, XPL). e. Textura en peine de cuarzo (Qzo) (5x, XPL). f. Textura en peine de cuarzo (Qzo) (5x, PPL). g. Textura de kinking en pirita 1 (Py1) (5x, PPL). h. Calcopirita (Cpy) disease y en brecha de relleno dentro de esfalerita (Sph) (5x, PPL). i. Cristalización de calcita (Cal), sulfuros y oro (Au) (5x, PPL).

Figura 10. Hematita (Hem) en textura coliforme y esqueletal sobre pirita (Py) (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Hematita (Hem), Goethita (Goe), Pirita (Py), Oro (Au).

Figura 11. a. Pirita 1 (Py1) cúbica euhedral (5x, PPL). b. Pirita 2 (Py2) cúbica euhedral a subhedral en textura de relleno de espacios abiertos (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1),



Pirita 2 (Py2), Plagioclasa (Pl), Hematita (Hem).

Figura 12. a. Galena (Gn) reemplazada por calcita (Cal)(5x, PPL). b. Galena (Gn) reemplazada por calcita (Cal) en contacto con oro (Au)(10x, PPL). Galena (Gn), Calcita (Cal).

Figura 13. Tetraedrita-tennantita (Tt) en textura de exsolución granular de contacto con Galena (Gn) (10x, PPL). Pirita (Py), Tetraedrita-tennantita (Tt), Galena (Gn).

Figura 14. Textura de exsolución de Boulangerita (Boul) en Galena (Gn) (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Esfalerita (Sph), Tetraedrita-tennantita (Tt), Galena (Gn), Boulangerita (Boul).

Figura 15. Rutilo (Rt) en hábito acicular (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita (Py), Tetraedrita-tennantita (Tt), Galena (Gn), Rutilo (Rt).

Figura 16. a. Oro (Au) incluido en Pirita 1 (Py1) ocurrido en la etapa mineral intermedia (5x, PPL). b. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) y Galena (Gn) ocurrido en la etapa mineral intermedia (20x, PPL). c. Oro (Au) libre en contacto con Calcita (Ca)l ocurrido en la parte final de la etapa mineral intermedia (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Galena (Gn), Calcita (Cal), Oro (Au).

Figura 17. Electrum (Au-Ag) asociado a Esfalerita (Sph) y Pirita (Py) (10x, PPL). Pirita 1 (Py1), Esfalerita (Sph), Calcita (Cal), Oro (Au), Electrum (Au-Ag).

Figura 18. Clorita (Chl) en contacto con Sericita (Ser) asociada a alteración fílica. ((a) 5x, PPL

(b) 5x, XPL). Cuarzo (Qzo), Sericita (Ser), Clorita (Chl).

Figura 19. A. Vetillas de cuarzo de morfología discontinua y segmentada en textura de stockwork. b. Vetillas de cuarzo (Qzo) granular con textura en mosaico en contacto con sericita (Ser) sin halo de alteración aparente (5x, PPL, XPL). c. Vetillas compuesta por pirita en textura de stockwork y morfología rectilínea. d. Vetilla compuesta por pirita 2 (Py2) cúbica en contacto con sericita (Ser) y Hematita (Hem) (5x, PPL). e. Veta de carbonato y sulfuros (CBM) de varios cm de espesor. f. Vetilla de Calcita (Cal), pirita 1 (Py1), galena (Gn) y calcopirita (Cpy) alterándose a covelina (Cv) tipo CBM de morfología recta y continua. Cuarzo (Qzo), Sericita (Ser), Pirita 2 (Py2), Pirita 1 (Py1), Hematita (Hem), Calcita (Cal), Galena (Gn), Calcopirita (Cpy), Covelina (Cv).

Figura 20. Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Galena (Gn), Esfalerita (Sph), Tetraedrita-tennantita (Tt), Oro (Au). a. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) rellenando espacios intersticiales (20x, PPL). b. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) y Galena (Gn), e incluido en Galena (Gn) (20x, PPL). c. Oro (Au) incluido y asociado a Pirita 1 (Py1) como relleno de espacios intersticiales (20x, PPL). d. Oro (Au) incluido en Pirita 2 (Py2) (20x, PPL). e. Oro (Au) incluido en Pirita 1 (Py1) (20x, PPL). f. Oro (Au) incluido en Esfalerita (Sph) (20x, PPL). g. Oro (Au) asociado a Pirita (Py) y Tetraedrita-tennantita (Tt) y como cristal libre (20x, PPL). h. Oro (Au) libre en contacto con Cuarzo (Qzo) (20x, PPL). i. Cristales de Oro (Au) libre (20x, PPL).

Figura 21. Diagrama radial para muestras con Au visible.

Figura 22. Diagrama circular porcentual de composición mineral para muestra CM003555 discriminado por minerales petrogenéticos, de mena, deletéreos, accesorios y de alteración.

Figura 23. Diagrama circular de composición mineral para muestra CM003549 discriminado por minerales petrogenéticos, de mena, deletéreos, accesorios y de alteración.

Figura 24. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au en intervalos de 50 µm.

Figura 25. Diagrama circular para tamaños de partículas de Au en intervalos de 50 µm.



- Figura 26. Diagrama circular para estilo de ocurrencia de partículas de Au.
- Figura 27. Diagrama circular de asociación mineral para granos de Au.
- Figura 28. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au asociado en intervalos de 50 μm .
- Figura 29. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au asociado que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.
- Figura 30. Diagrama circular de asociación mineral para partículas de Au incluido.
- Figura 31. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au incluido.
- Figura 32. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au incluido que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.
- Figura 33. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au libre.
- Figura 34. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au libre que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.
- Figura 35. Diagrama circular de grado de redondez para partículas de Au.
- Figura 36. Gráfico ocurrencia vs L máxima promedio para granos de Au.
- Figura 37. Gráfico de barras que relaciona la ocurrencia de granos de Au con su forma y L máxima medida en μm .
- Figura 38. Secuencia paragenética para la zona de estudio.
- Figura 39. Esquema de pulsador hidráulico Jigs empleado en minería. Tomado y modificado de Concha (2007).
- Figura 40. Modelo de celda de flotación espumante y diagrama de funcionamiento. Tomado de SGC (2018).



LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Conteo de granos de Au para la muestra CM003556.
- Tabla 2. Composición mineral para muestra CM003548.
- Tabla 3. Composición mineral para muestra CM003549.
- Tabla 4. Composición mineral para muestra CM003550.
- Tabla 5. Composición mineral para muestra CM003551.
- Tabla 6. Composición mineral para muestra CM003552.
- Tabla 7. Composición mineral para muestra CM003579.
- Tabla 8. Composición mineral para muestra CM003580.
- Tabla 9. Composición mineral para muestra OLCC_012@108.5.
- Tabla 10. Composición mineral para muestra OLCC_004@77.5m.
- Tabla 11. Composición mineral para muestra CM003553.
- Tabla 12. Composición mineral para muestra CM003554.
- Tabla 13. Composición mineral para muestra CM003555.
- Tabla 14. Composición mineral para muestra CM003556.
- Tabla 15. Composición mineral para muestra CM003557.
- Tabla 16. Composición mineral para muestra CM003558.
- Tabla 17. Composición mineral para muestra CM003559.
- Tabla 18. Composición mineral para muestra CM003560.
- Tabla 19. Composición mineral para muestra CM003561.
- Tabla 20. Granulometría de oro para muestra CM003549.
- Tabla 21. Granulometría de oro para muestra CM003550.
- Tabla 22. Granulometría de oro para muestra OLCC_004@77.5m.
- Tabla 23. Granulometría de oro para muestra CM003553.
- Tabla 24. Granulometría de oro para muestra CM003554.
- Tabla 25. Granulometría de oro para muestra CM003555.
- Tabla 26. Granulometría de oro para muestra CM003559.
- Tabla 27. Granulometría de oro para muestra CM003560.
- Tabla 28. Granulometría de oro para muestra CM003561.
- Tabla 29. Consolidado de texturas de mineralización y hábito para cada mineral.



RESUMEN

El Target Olympus se encuentra ubicado entre los municipios de Supía y Marmato en el departamento de Caldas, dentro de la provincia metalogénica del Cauca Medio Colombiano, reconocida por una manifestación aurífera significativa que a lo largo de la historia ha movilizó la economía del país. Esta zona corresponde a un depósito polimetálico de Pb, Zn y Fe principalmente producto del emplazamiento de cuerpos mineralizados durante el Mioceno Tardío.

Dentro del prospecto fue posible establecer al menos tres etapas de mineralización, un evento mineral temprano (MT), un evento mineral intermedio (MI) y finalmente un evento postmineral (PM), con presencia de cristales de oro transversal a cada uno de ellos en diferentes concentraciones, generando alteraciones hidrotermales, texturas de mena y relaciones minerales características. La paragénesis mineral corresponde a sulfuros y sulfosales (pirita + esfalerita + galena + tetraedrita-tennantita \pm calcopirita, entre otros), óxidos e hidróxidos (hematita, goethita), elementos nativos (oro, plata, electrum) y minerales de ganga (cuarzo, calcita, clorita) con un estilo de mineralización predominante en vetillas y diseminado.

En cuanto a la granulometría, el Target Olympus representa una acumulación de cristales de oro con un comportamiento bimodal en el que predominan granos con longitudes inferiores a 50 μm y superiores a 200 μm principalmente, además de figurar como una manifestación de gran interés debido a su asociación mineral favorable y alta concentración porcentual de oro y plata. De manera que se plantean algunas técnicas como la implementación de métodos de cianuración y pulsadores hidráulicos mediante los cuales se logre aumentar la recuperación de oro para la población minera artesanal de la zona, en aras de un mayor beneficio económico y un impulso hacia la formalización y sistematización de esta industria.



ABSTRACT

Olympus Target is located between the municipalities of Supía and Marmato in the department of Caldas, within the metallogenic province of Cauca Medio, recognized for a significant gold occurrence that throughout history has mobilized the country's economy. This area falls to a polymetallic deposit of Pb, Zn, and Fe mainly due to the emplacement of mineralized bodies during the Late Miocene.

Within the prospect it was possible to define at least three stages of mineralization, an early mineral event (MT), an intermediate mineral event (MI), and finally a post-mineral event (PM), with crystallization of gold transversal to each of them in different concentrations, generating hydrothermal alterations, ore textures and characteristic mineral relations. The mineral paragenesis corresponds to sulfides and sulfosalts (Pyrite + sphalerite + galena + tetrahedrite-tennantite ± chalcopyrite, among others), oxides and hydroxides (hematite, goethite), native elements (gold, silver, electrum) and gangue minerals (quartz, calcite, chlorite) with a predominant mineralization style in veinlets and disseminated.

In terms of granulometry, Olympus Target represents an accumulation of gold crystals with a bimodal behavior in which grains with lengths below 50 μm and above 200 μm mainly predominate, besides being a manifestation of great interest due to its favorable mineral association and high percentage concentration of gold and silver. Therefore, some techniques are proposed such as the implementation of cyanidation methods and hydraulic pullers to increase gold recovery for the artisanal mining population of the area, for the sake of greater economic benefit and an impulse towards the formalization and systematization of this industry.



1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Guayabales perteneciente a la compañía Collective Mining se localiza entre los municipios de Marmato y Supía del Departamento de Caldas, específicamente en el denominado Cinturón del Cauca Medio sobre el flanco oriental de la Cordillera Occidental y limitado por la falla Romeral (Silvia-Pijao) al este y el sistema de fallas Cauca-Patía al oeste (Redwood, 2021).

La zona de estudio corresponde al Target Olympus situado en la zona oeste del Proyecto Guayabales y abarca un área de aproximadamente $1,26 \text{ Km}^2$ en la cual afloran rocas metamórficas y metasedimentarias del basamento correspondiente al Complejo Arquía y cuerpos intrusivos calcoalcalinos de composición diorítica a cuarzo diorítica de edad Mioceno Tardío correspondiente a la Formación Combia (Leal, 2011).

Este Target es definido en Redwood (2021) como un depósito polimetálico de oro y plata, conformado por un sistema de brecha hidrotermal y vetas paralelas a subparalelas con una tendencia NW-SE y un buzamiento casi vertical. En el cuál abundan principalmente sulfuros como pirita y esfalerita y en menor proporción galena, calcopirita, tetraedrita-tenantita, elementos nativos como oro y plata diseminados y minerales de alteración como cuarzo secundario, sericita y clorita comúnmente asociados a una alteración sericítica, y minerales arcillosos asociados a una alteración de la parte supérgena del depósito. El análisis petrográfico describe minerales formadores de roca, principalmente plagioclasa y en menor medida feldespatos potásico y cuarzo, y como minerales secundarios prima la biotita apenas distinguible.

El Target Olympus aloja 24 minas artesanales mapeadas por la compañía (Redwood, 2021), que se hallan en operación desde 1995 y que cuentan con plantas de procesamiento que permiten la recuperación de oro grueso mediante métodos gravimétricos, y en algunos pocos casos,



recuperación de oro fino mediante cianuración. En su mayoría las colas de desecho del proceso gravimétrico se descartan o se transportan al casco urbano del municipio de Marmato a causa de que no hay una planta de tratamiento para partículas finas en el sector. Sumado a esto, no se cuenta con un estudio detallado que permita establecer un mecanismo óptimo de recuperación del mineral, razón por la cual la presente investigación expone un análisis metalográfico y granulométrico para cristales de oro en 18 muestras de frente de túnel correspondientes a 4 minas artesanales caracterizando sus fases mineralizantes, asociación paragenética, tipos de alteración hidrotermal adyacente, tamaño, frecuencia, distribución y ocurrencia de cristales de oro, con el fin de proponer una técnica de procesamiento y recuperación que incremente significativamente el beneficio.



2. JUSTIFICACIÓN

Si bien el origen del distrito minero Marmato y sus alrededores ha sido ampliamente estudiado a lo largo del tiempo (Álvarez & Arias, 1970; Garcés-González, 1975) es evidente que las actividades extractivas ligadas al oro se han desarrollado en su mayoría bajo prácticas artesanales socioeconómica y ambientalmente poco sostenibles, de manera que surge la necesidad de fomentar estudios detallados sobre las condiciones geológicas y metalogénicas de la zona que proporcionen el criterio suficiente para sugerir técnicas que optimicen el proceso de recuperación del oro, aumentando la producción para el pequeño y mediano minero y por tanto su ingreso económico.

Es por esta razón que la presente investigación busca el reconocimiento de cristales de oro en muestra de mano y sección delgada pulida, sobre los cuales se evalúa porcentaje de aparición, dimensiones, grado de redondez, ocurrencia y asociación mineral, estableciendo las relaciones de mena y ganga para este prospecto e identificando una posible técnica de tratamiento del mineral en aras de una eficiente recuperación metalúrgica. Además de contribuir al aporte científico y transformación de una cultura minera artesanal y ancestral hacia tecnologías que garanticen mayor rentabilidad y optimización de los procesos.



3. OBJETIVOS

3.1. General

Definir las características del prospecto mineral y proponer una metodología eficiente de posible recuperación metalúrgica del oro a través de una descripción metalográfica y granulométrica de cristales de oro para las mineralizaciones vetiformes correspondientes a frentes de 4 minas artesanales situadas en el Target Olympus dentro Proyecto Guayabales teniendo en cuenta los eventos que originaron la acumulación.

3.2. Específicos

- ✦ Realizar una descripción macroscópica y microscópica de 18 muestras determinando minerales formadores de roca, accesorios, minerales de mena, de alteración y texturas de la ocurrencia polimetálica asociada a la zona sur del Target Olympus.
- ✦ Establecer una secuencia paragenética de los minerales de mena y ganga del prospecto teniendo en cuenta su ocurrencia y asociación.
- ✦ Evaluar mediante tablas, gráficos de barras y circulares la ocurrencia de cristales de oro en secciones delgadas con el fin de conocer su comportamiento y distribución en el proyecto.
- ✦ Describir los tipos de alteración hidrotermal y tipos de vetillas asociadas al prospecto y su relación con la acumulación aurífera.
- ✦ Sugerir estrategias que permitan mejorar el tratamiento del mineral después de su concentración gravimétrica.

4. LOCALIZACIÓN

El Proyecto Guayabales se sitúa a lo largo del Cinturón del Cauca Medio Colombiano a 80 Km de la ciudad de Medellín, 75 Km al norte de Pereira y 50 Km al noroeste de la ciudad de Manizales, en jurisdicción del municipio de Marmato y en cercanías a los municipios de Supía del departamento de Caldas y al municipio de Caramanta del departamento de Antioquia, como se evidencia en la Figura 1. Aproximadamente en las coordenadas 5°30'N y 75°36'O a una altitud entre 1470 a 2150 msnm (Redwood, 2021).

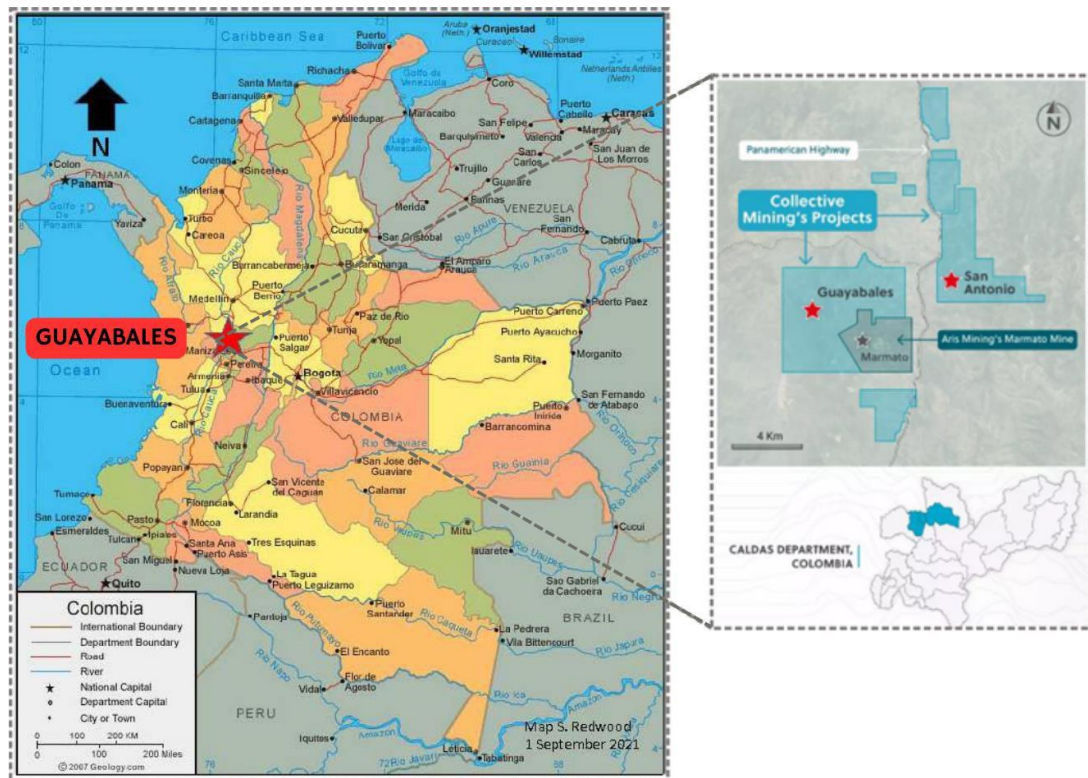


Figura 1. Localización general del proyecto Guayabales. Tomado y modificado de Redwood (2021).

Se encuentra limitado por la Falla Romeral hacia el este y el sistema de Fallas Cauca – Patía hacia el oeste, distribuido sobre el acrecionado terreno Romeral definido por Cediel *et al.* (2003) en el cuál afloran rocas metamórficas de medio y alto grado, secuencias ofiolíticas y rocas

sedimentarias de afinidad oceánica del Jurásico superior al Cretácico temprano, afectadas por una intrusión más reciente (Mioceno tardío) de cuerpos de composición diorítica y cuarzo diorítica.

El target Olympus, como se aprecia en la Figura 2, se localiza hacia el oeste del Proyecto Guayabales con una dimensión aproximada de 1,25 Km por 0,75 Km y sobre el cuál se sitúa la zona de estudio reducida a las minas CAN, AGU, CAR y OFN, ubicadas en cercanías a la Vereda La Cuchilla del municipio de Marmato. (Reedwood, 2021).

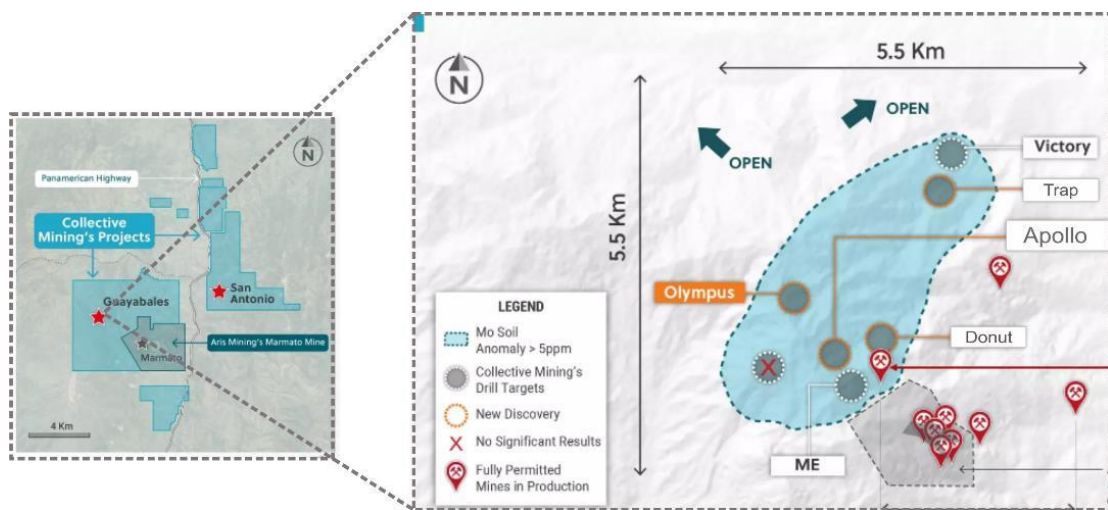


Figura 2. Localización del Target Olympus en relación con los Target cercanos. Tomado y modificado de Collective Mining (2022).



5. MARCO GEOLÓGICO

5.1. Geología Regional

El target Olympus se encuentra ubicado dentro del Proyecto Guayabales perteneciente a la empresa Collective Mining localizado geográficamente en la Cordillera Occidental Colombiana, a lo largo del Cinturón del Cauca Medio. El proyecto se distribuye sobre el Terreno Romeral, nombrado inicialmente por Etayo *et al.* (1986) como terreno Cauca-Romeral, y que según Restrepo & Toussaint (1988) se compone en sentido estricto de un agregado de pequeños terrenos de afinidad oceánica y continental de diferentes edades que han estado sujetos a esfuerzos transpresivos y distensivos desde el Cretácico.

A lo largo de esta zona se agrupan según Restrepo & Toussaint (2020) varios pequeños terrenos que conforman un mosaico, el dominio continental se encuentra principalmente en los terrenos Anacona, Amagá – Sinifaná y posible Tahamí. Mientras que el dominio oceánico está asociado a los terrenos Ebéjico (con el Complejo Quebradagrande) y el Terreno Pozo (asociado con el Complejo Arquía) de manera regional. Este terreno se acrecionó al continente durante el Aptiano mediante la sutura que hoy define la traza de la Falla Romeral, cuya cinemática dextral indica un choque oblicuo desde el suroeste. Posteriormente se acrecionaron los terrenos oceánicos y de rocas de afinidad de arco de isla durante el Paleógeno y Neógeno, para finalmente dar lugar a la colisión en curso del bloque Panamá-Chocó desde finales del Mioceno. La Figura 3 evidencia el mapa de los Terrenos Tectónicos de Colombia, ubicando el Proyecto Guayabales.

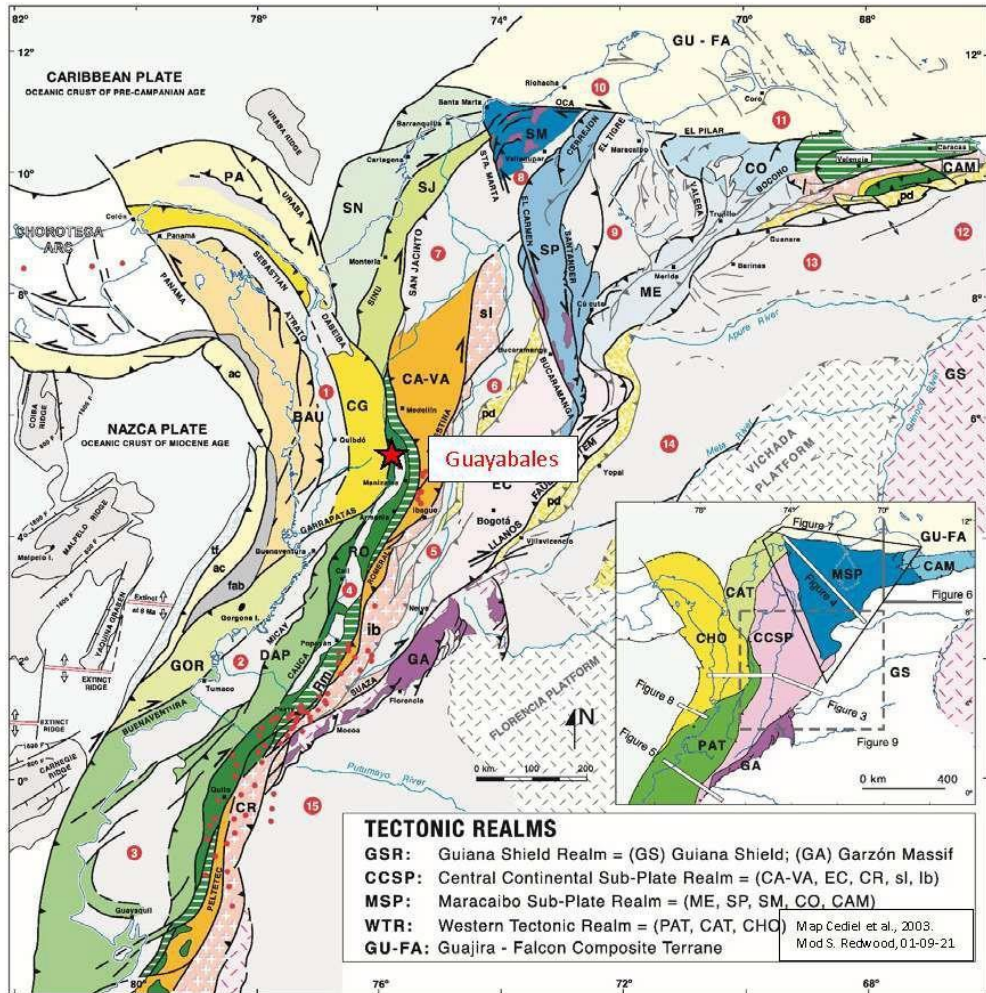


Figura 3. Mapa litotectónico y morfoestructural del noroeste de Sur América. GS: Escudo Guayanés; GA: Macizo de Garzón; SP: Macizo de Santander- Serranía del Perijá; ME: Sierra de Mérida; SM: Sierra Nevada de Santa Marta; EC: Cordillera oriental; CO: Cuenca Caroa; CR: Cordillera Real; CA-VA: Terreno Cajamarca-Valdivia; sl: Bloque San Lucas; ib: Bloque Ibagué; RO: Terreno Romeral; DAP: Terreno Dagua-Piñón; GOR: Terreno Gorgona; CG: Terreno Cañas Gordas; BAU: Terreno Baudó; PA: Terreno Panamá; SJ: Terreno San Jacinto; SN: Terreno Sinú; GU-FA: Terreno Guajira-Falcon; CAM: Terreno Montaña Caribe; Rm: Melange Romeral; fab: cuenca fore arc; ac: prisma de acreción; pd: pie de monte; 1: Cuenca Atrato (Chocó); 2: Cuenca Tumaco; 3: Cuenca Manabí; Cuenca Cauca-Paíta; 5: Cuenca Alto Magdalena; 6: Cuenca Magdalena Medio; 7: Cuenca Bajo Magdalena; 8: Cuenca Cesar – Ranchería; 9: Cuenca Maracaibo; 10: Cuenca Guajira; 11: Cuenca Falcon; 12: Cuenca Guarico; 13: Cuenca Barinas; 14: Cuenca Llanos; 15: Cuenca Putumayo – Napo; Símbolos Adicionales: PALESTINA: Sistema de fallas, punto rojo: Vulcanismo Plioceno-Pleistoceno; Bogotá: Pueblo o ciudad. Proyecto Guayabales (estrella roja). Tomado de Cediél et al. (2003) en Redwood (2021).

Dentro de las rocas de afinidad continental se describe una composición de anfibolitas granatíferas, cuarcitas, esquistos con cianita, estauroлита, granate y biotita como minerales accesorios y esquistos cloríticos-muscovíticos siendo intruidos por una roca ígnea de composición granítica. Mientras que las rocas de afinidad oceánica se componen de secuencias ofiolíticas

triásicas, rocas ígneas volcánicas del Cretácico Inferior, y rocas metamórficas del Complejo Arquía. Además, el Terreno Romeral se encuentra parcialmente cubierto por sedimentos de origen continental, definido como la Formación Amagá, dentro de la cual se presentan principalmente conglomerados gris-verdosos, areniscas, lutitas y vetas de carbón del Oligoceno, suprayaciendo los cuerpos mineralizados de interés, los cuales se atribuyen a un magmatismo del Mioceno de afinidad calco-alcalina compuesto por un sistema de rocas intrusivas, y volcánicas cartografiadas como Formación Combia de composición diorítica a tonalítica y brechas intrusivas (Figura 4) y que tienen una distribución transversal a lo largo del Terreno Romeral. (Cediel & Cáceres, 2000; Cediel *et al.*, 2003).

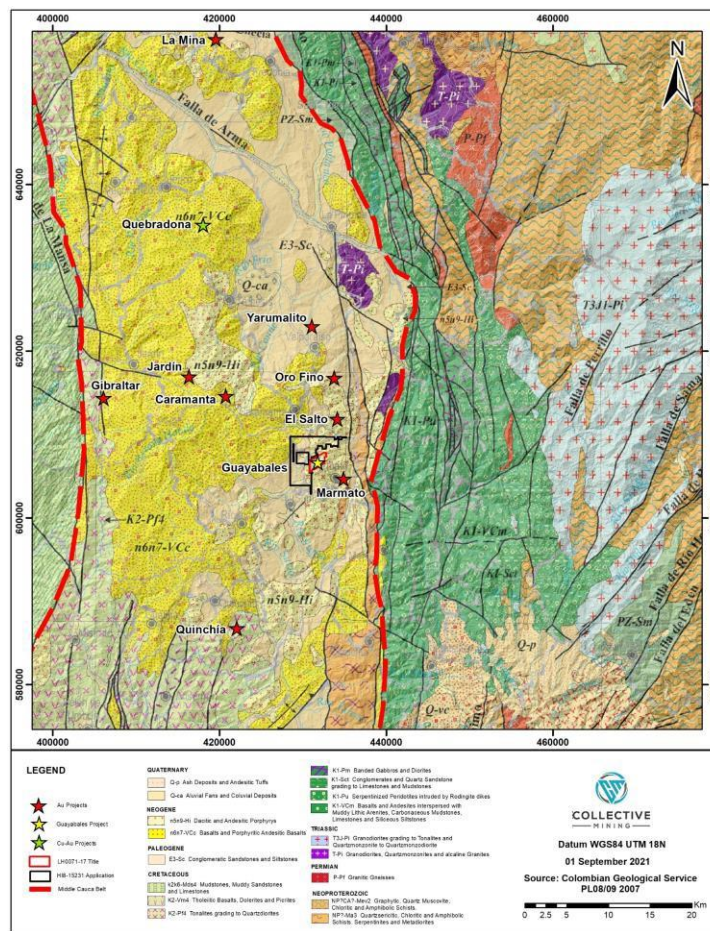


Figura 4. Mapa geológico del Cinturón del Cauca Medio. Tomado de Redwood (2021).

5.2. Geología Local

A lo largo del polígono que define la zona de estudio, como lo evidencia la Figura 5, se distinguen dos unidades predominantes, la primera compuesta por un basamento de rocas metamórficas y metasedimentarias pertenecientes al Complejo Arquía (Maya & González, 1995). Este se define, según Toussaint (1996) como una franja metamórfica alargada y estrecha que se extiende desde el sur occidente del país, específicamente el Golfo de Guayaquil en la República de Ecuador, hasta el norte de la Cordillera Central Colombiana, limitado al oriente por la Falla Silvia-Pijao que lo pone en contacto con el Complejo Quebradagrande, y hacia el occidente por la Falla Cauca – Almaguer que lo pone en contacto con rocas de origen oceánico de la Formación Barroso (Maya & González, 1995).

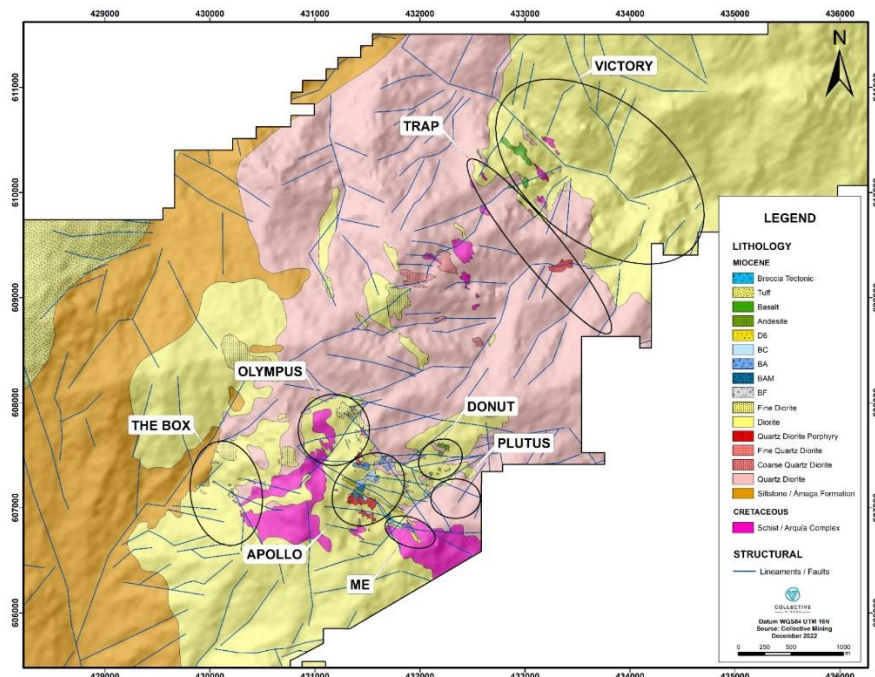


Figura 5. Mapa de unidades geológicas del Proyecto Guayabales resaltando el Target Olympus.
Tomado de Redwood (2022).

El Complejo Arquía describe una serie de rocas de afinidad oceánica y arco de isla acrecionadas al continente y afectadas posteriormente por un denso sistema de fallas que pone en



contacto rocas con diferentes grados de metamorfismo y diferentes ambientes geológicos (Moreno-Sanchez & Pardo-Trujillo, 2003). La litología característica en la zona corresponde a esquistos grafitosos y cuarzo-grafitosos, esquistos cloríticos y sericíticos (Ibarra-Bustos, 2017) con una edad reportada en anfibolitas granatíferas mediante K/Ar en hornblenda de 110 ± 5 y 133 ± 5 Ma (Cretácico Inferior) (Restrepo & Toussaint, 1980) y con edades hasta de 203 y 230 Ma en método Ar-Ar en anfibolitas del Rosario, Metagabro de Santa Rosa y de San Antonio y Neis de Chinchiná. (Rodríguez & Arango, 2013).

La asociación mineralógica de este basamento en la zona indica un metamorfismo de baja – media presión y baja temperatura, es decir unas condiciones desde 220°C y 6 kbar aproximadamente y provenientes de un protolito pelítico que sufrieron procesos de subducción y acreción.

La otra unidad aflorante tiene su origen en la configuración tectónica del margen continental, caracterizado por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Suramericana (Mora-Páez *et al.*, 2019) que estuvo sujeta a cambios en ángulo y dirección de convergencia durante el Oligoceno – Mioceno y que finalmente dio origen a un arco magmático activo de composición andesítica y rocas piroclásticas de afinidad calcoalcalina (Toro-Toro *et al.*, 2008). Esta configuración corresponde al Complejo volcánico Combia, caracterizado por una migración inicial hacia el este del frente magmático durante el Mioceno (Wagner *et al.*, 2017). Estas rocas se sitúan a lo largo de la depresión del Cauca medio en contacto intrusivo con sus unidades adyacentes (Complejo Arquía) y afectado por la familia de fallas del Sistema Romeral, y se compone de un miembro sedimentario de ambientes fluviales conformado por conglomerados, areniscas, lutitas y estratos de carbón, separados discordantemente de una unidad suprayacente de cuerpos porfídicos (Grosse, 1926). Además, se compone de un miembro volcano-sedimentario que



incluye basaltos, andesitas, pórfidos, aglomerados, tobas, areniscas, conglomerados y rocas plutónicas ácidas como tonalitas, granitos y granodioritas. Hacia la zona de estudio las edades reportadas a partir de K/Ar, Ar/Ar y U/Pb sitúan la unidad entre 11.8 y 4.7 Ma (Leal-Mejía, 2011; Naranjo *et al.*, 2018).

5.3. Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra afectada principalmente por dos Sistemas de Fallas predominantes:

El Sistema de Fallas Romeral de cinemática rumbo dextro-lateral y componente inverso que separa rocas de afinidad oceánica hacia el occidente, de rocas de afinidad continental hacia el oriente y que tuvo origen en la acreción de la placa oceánica en el Paleógeno (Barrero *et al.*, 1969; Toussaint, 1996). Este sistema se compone para este caso de dos fallas principales:

Falla Silvia Pijao: Marca una tendencia NS de cinemática inversa con componente en rumbo dextral y un alto ángulo de buzamiento, separa las rocas del Complejo Arquía al oeste del Complejo Quebradagrande al este (McCourt *et al.*, 1984; Fuentes, 1990).

Falla Cauca-Almaguer: Según Guiral-Vega *et al.* (2015) corresponde al límite de los Terrenos Calima hacia el occidente y los Terrenos Arquía y Quebradagrande hacia el oriente y se superpone a eventos intrusivos entre el Batolito de Sabanalarga y las rocas volcánicas de la Formación Barroso.

Por otro lado, hacia la margen occidental se enmarca el lineamiento del Sistema de Fallas del Cauca, que corresponde a una paleosutura del Cretácico Inferior y que se sitúan sobre el flanco oriental de la Cordillera Occidental (Toussaint, 1996). Esta falla se encuentra buzando hacia el este y con cinemática sinestro-lateral inversa (Mojica *et al.*, 2018).



Sin embargo, a lo largo del Proyecto Guayabales se describen otros lineamientos estructurales de direcciones EW y buzamientos casi verticales que entrecortan los anteriores y que se extienden en cercanías con el Distrito Minero de Marmato. Además, la interacción entre los Sistemas Romeral y Cauca causa un desplazamiento en sentido sinistral generando un sistema de fracturas secundario en sentido NW-SE por donde se emplazan los cuerpos mineralizados de interés económico (Mojica *et al.*, 2018).

De esta manera, el proyecto Guayabales presenta una tendencia importante en sentido NW-SE que atraviesa los Target ME, Donut y Olympus, y cuya estructura es la potencial extensión del corredor mineralizado Marmato-Echandía (Redwood, 2021).



6. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se elaboró mediante el apoyo económico, logístico y operativo de la empresa Collective Mining, quienes brindaron el material bibliográfico y muestras de roca de las manifestaciones vetiformes de Au-Ag de las minas CAN, AGU, CAR y OFN del distrito minero de Marmato - Supía.

Se realizó una revisión a la información disponible acerca de la operación que se lleva a cabo de manera general en las minas, los tenores asociados al oro y datos geoquímicos de las zonas de intercepto entre las perforaciones y las instalaciones de la mina OFN, además de mapas y recorridos en campo que dieron contexto a la distribución geológica y estructural de la zona. Igualmente se realizó una recopilación bibliográfica de tesis de grado y artículos científicos sobre la mineralización tipo pórfido y brecha hidrotermal que se presenta a lo largo del Cinturón del Cauca Medio.

Las muestras fueron tomadas en el frente de mina especificando su coordenada de localización para posteriormente elaborar 18 secciones delgadas pulidas a cargo de la empresa MINERLAB Ltda. Mediante un proceso de corte con disco diamantado y posterior pulido mediante carburo de silicio.

Se procedió a una etapa práctica en las instalaciones del laboratorio de Metalografía y Microtermometría de Universidad de Caldas, en la que se hizo un reconocimiento macroscópico de cada uno de las muestras de mano mediante lupa binocular y un análisis metalográfico y petrográfico, haciendo uso de un microscopio marca CARL ZEISS modelo Primotech; consolidando esta información en tablas de descripción para cada una de las muestras, en las cuales se especificaron los minerales petrográficos, secundarios, de mena, de alteración y accesorios, su



porcentaje de ocurrencia y el hábito y/o textura más representativo. Mediante el uso de una cámara de alta resolución marca HAYEAR, modelo 3307 y su aplicación para dispositivos Windows10 se tomaron las fotografías aquí presentadas y se realizó un conteo y medición de cristales de oro, determinando sus dimensiones, asociación, forma y ocurrencia. Una vez obtenida esta información se tabularon los datos mediante el programa Excel generando gráficos circulares, de barras, histogramas e infografías de distribución geoespacial.

Una vez culminada la etapa de laboratorio, se analizaron cuidadosamente los resultados estableciendo la relación entre cada especie mineral, sus texturas y concentraciones y se elaboró un modelo de secuencias de intrusión separando los eventos que probablemente dieron origen a la manifestación aurífera, para posteriormente establecer una secuencia paragenética de los minerales de mena y ganga apreciables y con esta información poder concluir a qué modelo corresponde el prospecto.

De manera similar se consideraron los resultados del análisis granulométrico, tomando los gráficos elaborados y mediante la compilación de información bibliográfica de sectores mineros en Colombia y Sur América con distribuciones similares fue posible sugerir una serie de recomendaciones sobre los procesos de molienda, concentración gravimétrica, flotación, cianuración y separación de material con el objeto de optimizar los procesos y aumentar la rentabilidad del proyecto de minería artesanal en la zona.

Finalmente toda la información fue agrupada y organizada en el presente informe llevando un hilo conductor de acuerdo a los objetivos propuestos.



7. LITOLOGÍA Y SECUENCIAS DE INTRUSIÓN

La litología del proyecto Guayabales abarca un área de 30 Km² aproximadamente y se caracteriza por rocas ígneas plutónicas y volcánicas de composición principalmente básica (basalto y diorita) y rocas metamórficas de grado medio (esquistos). La zona de estudio actualmente se divide en cuatro principales prospectos: Apollo, Olympus, Donut, Plutus y Trap Target, el segundo como foco principal de este proyecto, que comprenden las zonas de mayor interés económico debido a su potencial mineralización.

7.1. Roca Encajante

La roca encajante en la cual se almacenan el sistema de vetas y vetillas de la zona sur del Target Olympus fue definida en muestra de mano y lámina delgada como un cuerpo ígneo hipoabisal holocristalino porfirítico de tonalidad grisácea y composición intermedia clasificado como **microcuarzodiorita** y en algunas muestras como **microdiorita** (Figura 6). Se caracteriza por un porcentaje de fenocristales de entre 30-35% principalmente de plagioclasa de hasta 2mm de longitud y una masa fundamental aplítica de entre 65-70% compuesta de microcristales de plagioclasa, cuarzo y en menor medida feldespatos potásicos (Figura 7).

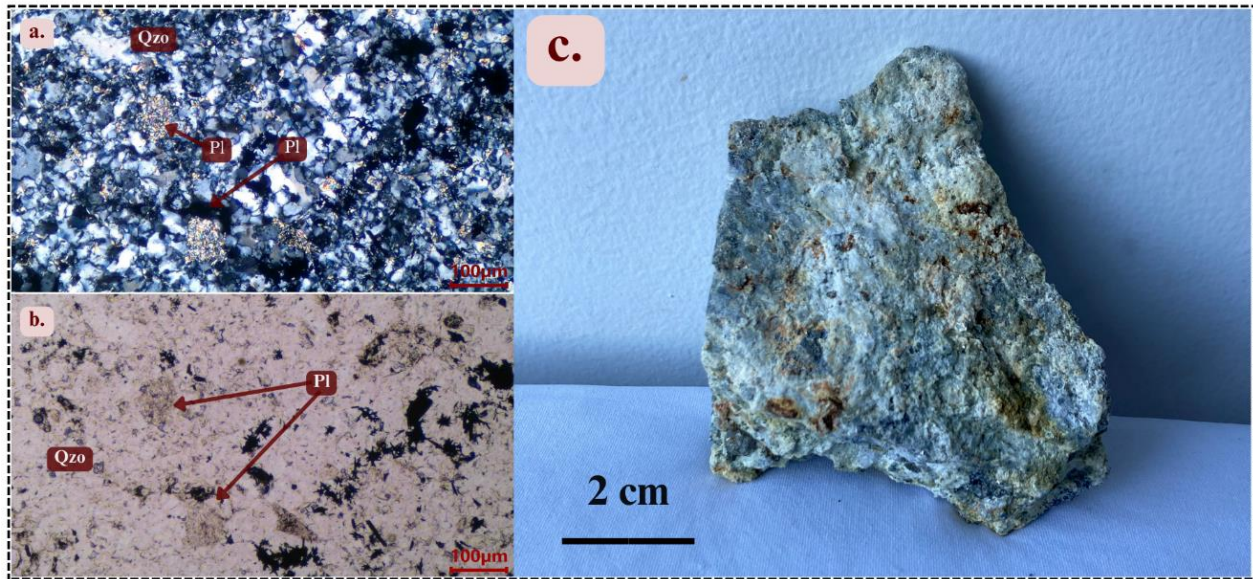


Figura 6. Roca encajante de composición microcuarzodiorítica. Cuarzo (Qzo), Plagioclasa (Pl) alterando a Sericita. ((a) 5X, XPL (b) 5X, PPL) c. Muestra de mano microcuarzodiorita.

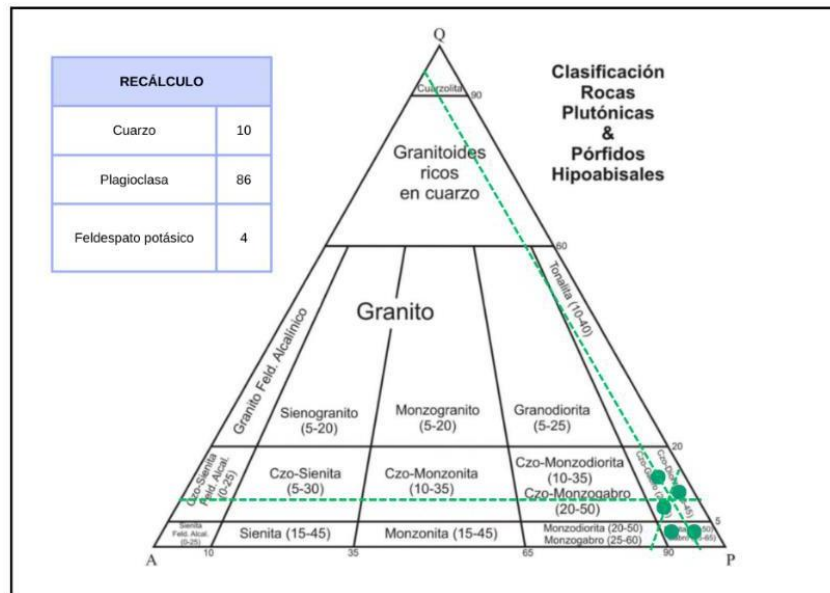


Figura 7. Triángulo de clasificación QAP para rocas plutónicas y pórfidos hipoabisales. Tomado y modificado de Streckeisen (1972).

La plagioclasa (43 – 45%) como fenocristal presenta morfologías tabulares subhedrales en algunos casos maclada y altamente alterada a sericita, mientras que en la masa fundamental se presenta como agregados redondeados subhedrales a anhedrales. El cuarzo por su parte (10-12%)



aparece en la masa fundamental como cristales individuales granulares con tamaños inferiores a 0.1 mm, al igual que el feldespato potásico (3-4%) difícilmente distinguible. Como mineral secundario se perciben en lámina delgada remanentes de biotita en fenocristales <1mm (3%) y en accesorios se presentan minerales como: zircón, apatito, turmalina y titanomagnetita o esfena.

7.2. Secuencias de Intrusión

A partir del análisis de las muestras del sector del Valle de la Llorona fue posible identificar una acumulación mineral representativa de la que se presume una secuencia de intrusión que consta de los siguientes eventos: Etapa mineral temprana (MT), etapa mineral intermedia (MI) y etapa post mineral (PM). Definidos a partir de características mineralógicas, morfológicas, texturales y de alteración hidrotermal que relacionan cada una de las 18 muestras, teniendo en cuenta el porcentaje y nivel de ocurrencia de cada mineral de mena y ganga.

7.1.1. Etapa Mineral Temprana (MT)

Se caracteriza por una roca encajante de composición microcuarzodiorítica con presencia de algunas vetillas de cuarzo + pirita de espesor inferior a 0.3 mm con cristales de cuarzo bien formados, algunos prismáticos subhedrales y una mineralización de abundantes cristales de pirita cúbica euهدral diseminada de hasta 0.5 mm (Py_1), o en algunos pocos casos en arreglos lineales atravesando la roca encajante (Figura 8 a,b,c). La arsenopirita se encuentra en contacto neto con pirita 1 (Py_1) probablemente a razón de una cristalización parcialmente superpuesta, sin embargo este mineral se presentan en una muy baja concentración en relación a la pirita (Figura 8d). Se exhiben algunos granos de oro asociados a pirita euهدral relleno de espacios intersticiales, lo que podría ser indicativo de un inicio de acumulación aurífera durante la parte intermedia y final de esta etapa.

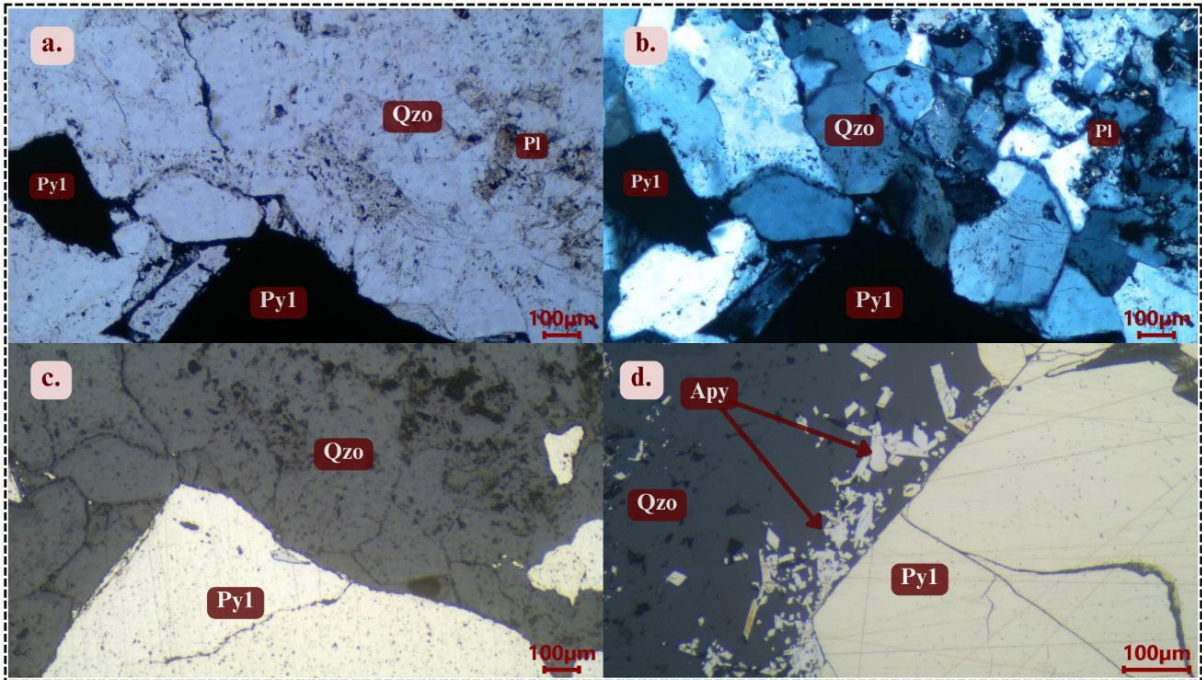


Figura 8. a. Vetilla de cuarzo en contacto con Pirita 1 (Py_1) euhedral diseminada (5x, PPL). b. Vetilla de cuarzo en contacto con Pirita 1 (Py_1) euhedral diseminada (5x, XPL). c. Pirita 1 (Py_1) cúbica euhedral diseminada (5x, PPL). d. Arsenopirita (Apy) en contacto con Pirita 1 (Py_1) (10x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py_1), Plagioclasa (Pl), Arsenopirita (Apy).

7.1.2. Etapa Mineral Intermedia (MI)

Este evento está enmarcado por el aumento en la cristalización de sulfuros, con la esfalerita como sulfuro principal, la disminución de pirita gruesa euhedral y el aumento de vetillas cuarzo + pirita en el prospecto, cortadas a su vez por vetillas polimetálicas compuestas principalmente por pirita, esfalerita y galena en texturas de stockwork (Figura 9a).

Se distinguen dos posibles subetapas:

Una primera etapa mineral intermedia (MI_1) que se caracteriza por la aparición de esfalerita en texturas de reemplazamiento de pirita 1 (Py_1) tales como contacto en carie, esqueletal y reemplazo centrífugo (Figura 9b). Además de la manifestación de galena como cristales masivos anhedrales en texturas de exsolución granular de contacto con tetraedrita-tennantita y esfalerita.



Durante esta etapa se produce una recristalización del cuarzo del evento mineral temprano formando agregados policristalinos de tamaño fino.

En este periodo cristalizan la mayor cantidad de sulfosales como freibergita (tetraedrita-tennantita rica en Ag), pirargirita y bourbonita en texturas de exsolución moteada, en halo y granular de contacto con galena y tetraedrita-tennantita (Figuras 9c). Además de un marcado aumento en la concentración de oro tanto incluido (en Py_1 y Py_2) como asociado (Py_2 y Sph). También se evidencian minerales de interés durante esta etapa como argentita y electrum relacionado directamente a la aparición de oro.

Asimismo, minerales ganga como el cuarzo se presentan en texturas de relleno de espacios abiertos como textura en peine (Figura 9d y 9e), crustiforme y en cinta con pirita 2 (Py_2), esfalerita y galena.

Durante la parte final de esta primera etapa mineral intermedia se produce un evento tectónico que se evidencia en un fracturamiento de los minerales anteriormente descritos, intensamente observado en pirita 1 (Py_1) y esfalerita (Sph) generando “microbrecciated textures” y texturas de deformación como kinking sobre pirita 1 (Py_1) (Figura 9f). Finalmente, se forma la calcopirita en “calcopirita disease” y en algunos casos como brecha de relleno (Figura 9g), lo que indica que su cristalización probablemente fue posterior al evento tectónico.

La segunda etapa mineral intermedia (MI_2) corresponde a un aumento significativo de calcita en conjunto con clorita, cuarzo y pirita de grano fino (Figura 9h). Se presenta una disminución en la ocurrencia del oro y una alteración de pirita a marcasita.

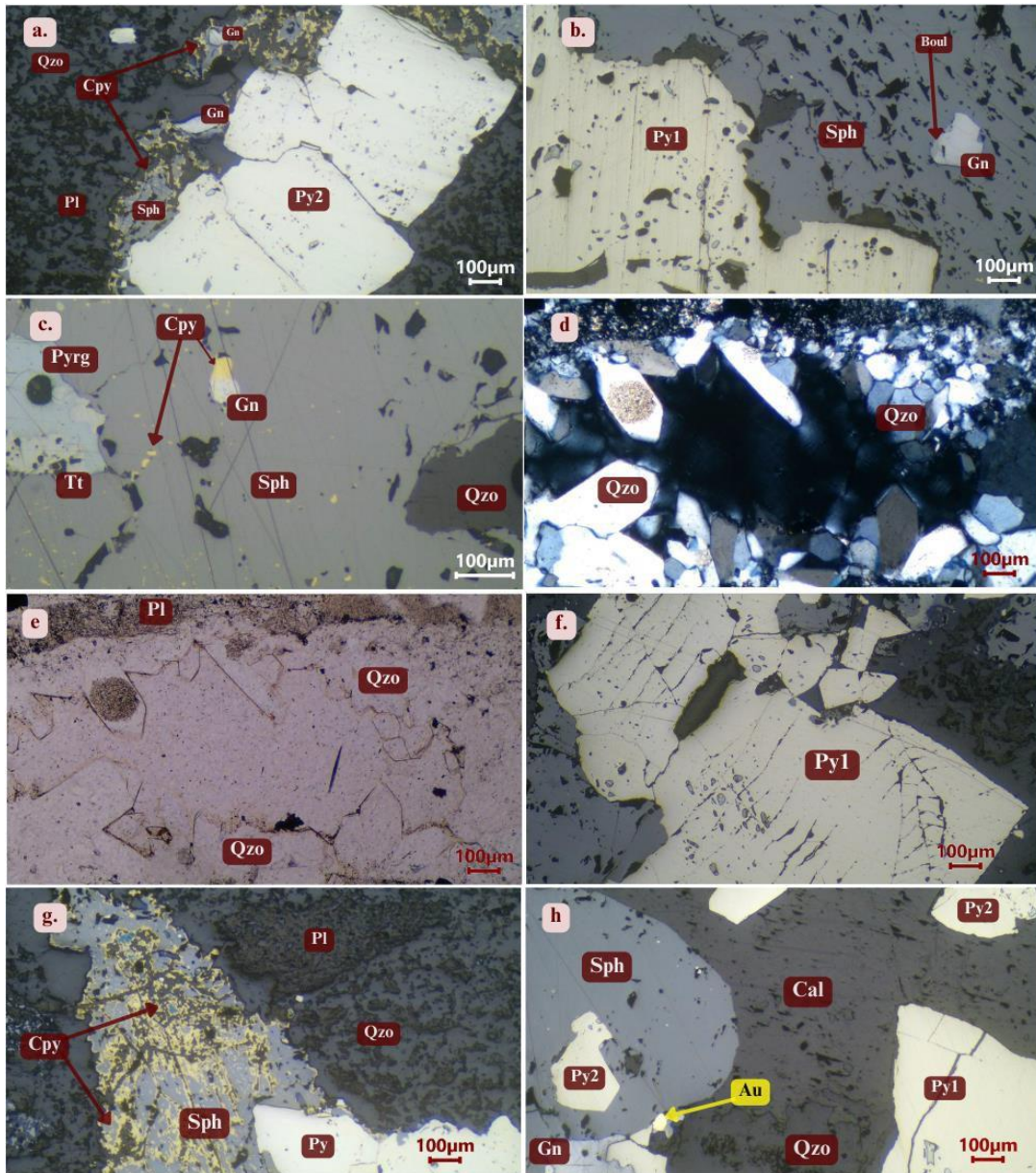


Figura 9. a. Vetilla polimetálica compuesta por pirita 2 (Py2), esfalerita (Sph), galena (Gn) y calcopirita (Cpy) (5x, PPL). b. Reemplazamiento de pirita 1 (Py1) por esfalerita (Sph) (5x, PPL). c. Textura de exsolución granular de contacto entre pirargirita (Pyr) y tetraedrita-tennantita (Tt) (10x, PPL). d. Textura en peine de cuarzo (Qzo) (5x, XPL). e. Textura en peine de cuarzo (Qzo) (5x, PPL). f. Textura de kinking en pirita 1 (Py1) (5x, PPL). g. Calcopirita (Cpy) disease y en brecha de relleno dentro de esfalerita (Sph) (5x, PPL). h. Cristalización de calcita (Cal), sulfuros y oro (Au) (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Esfalerita (Sph), Galena (Gn), Calcopirita (Cpy), Plagioclasa (Pl), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Boulangerita (Boul), Tetraedrita-tennantita (Tt), Pirargirita (Pyr), Calcita (Cal), Oro (Au).

7.1.3. Etapa Postmineral (PM)

Este periodo detalla una alteración argílica en la que el contenido de oro, aunque no desaparece del todo, se atenúa considerablemente y se da el reemplazamiento de calcopirita por



covelina, y de pirita y esfalerita por óxidos e hidróxidos como hematita y goethita en texturas coloformes, esqueletales, en atolón y reemplazo centrípeto (Figura 10). Además de la aparición de caolín, jarosita, yeso y pirofilita.

En conclusión, el polígono de estudio presenta tres estados de mineralización, uno inicial caracterizado por abundante pirita y cuarzo. Uno intermedio con abundante contenido de esfalerita, en menor medida pirita de grano fino, galena y tetraedrita- tennantita, la cristalización de algunas sulfosales, una mayor concentración de oro en la secuencia, y un predominante contenido de calcita y clorita hacia el final de la etapa. Y un último estado en el que se presentan minerales de alteración supérgena. La presencia de oro es transversal a toda la secuencia.

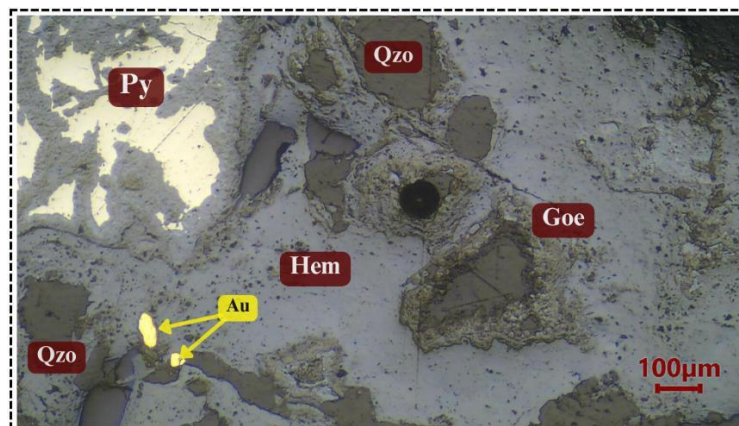


Figura 10. Hematita (Hem) en textura coloforme y esqueletal sobre pirita (Py) (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Hematita (Hem), Goethita (Goe), Pirita (Py), Oro (Au).



8. MINERALIZACIÓN

La mineralización de la zona prospectiva Guayabales, específicamente del sector del Valle de la Llorona es el instrumento de mayor importancia para la caracterización del prospecto, debido a que, en concordancia con las texturas de mena y las alteraciones asociadas genera un conocimiento integral de esta manifestación y por tanto es de suma utilidad para establecer una relación de acumulación de oro.

El Target Olympus corresponde principalmente a un estilo de mineralización vetiforme, de reemplazamiento y alteración emplazadas a lo largo de fracturas y fallas en un ambiente de rocas metamórficas intruidas por rocas ígneas (Redwood, 2021). Las características de este prospecto tienen una estrecha relación con modelos polimetálicos definidos con múltiples ejemplos no solo en el Cinturón del Cauca medio colombiano, si no a lo largo de Sur América y el mundo (Segal & Crosta, 2011).

La paragénesis mineral de la zona de estudio es descrita mediante el reconocimiento y cartografía de 18 muestras de túnel para las cuales se construye un formato de tablas de descripción que evidencian una amplia recopilación de minerales de mena y ganga como: Elementos nativos (Oro, plata, electrum), sulfuros (pirita, esfalerita, galena, calcopirita, argentita, matildita, covelina secundaria, etc.), sulfosales (tetraedrita-tennantita, freibergita, boulangerita, glaucodoto, safflorita, pirargirita y bournonita), óxidos (hematita, goethita), sulfatos (jarosita, yeso), entre otras especies minerales.

De manera que, la paragénesis de este prospecto está principalmente compuesta de **pirita, esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, ±calcopirita, oro y plata**. Mientras que los minerales de ganga corresponden a cuarzo, calcita y clorita.



8.1. Descripción mineralógica de minerales de mena y ganga

La descripción de las muestras de frente de mina exhibe una composición modal, texturas, hábitos y estilos de mineralización de los cuales se puede obtener información significativa sobre los procesos a los que estuvo sometido el área de estudio, las condiciones de equilibrio térmico, eventos estructurales, entre otros. Para ello la interpretación estuvo enfocada en determinar su composición porcentual y su relación con la roca encajante (microdiorita y microcuarzodiorita), además del tipo de alteración hidrotermal. A continuación, se presentan las descripciones de cada mineral de mena y ganga.

Sulfuros (S^{-2}), Sulfosales (Sb, S)

Es la clase mineral más común e importante de la zona de estudio y se compone de:

Pirita (FeS_2), es el mineral más abundante en la secuencia y se presenta generalmente como agregados cúbicos y piritoédricos subhedrales a euhedrales constituyendo más del 50% de los minerales de mena presentes en la zona. A pesar de que su aparición es transversal a lo largo del depósito, son distinguibles dos tipos de pirita (Py_1 y Py_2), cada una correspondiente a un evento mineralizante diferente.

La pirita temprana (Py_1) tiene una ocurrencia durante el evento mineral temprano como cristales cúbicos y piritoédricos euhedrales como se evidencia en la Figura 11a con hasta 6 mm de longitud diseminados aleatoriamente a lo largo de la roca encajante, y en pocos casos como agregados en una morfología lineal. Esta pirita se encuentra en contacto neto con un cuarzo primario, y es reemplazado por minerales subsiguientes presentes en vetillas de los eventos intermedio y post mineral. La cristalización de pirita 1 (Py_1) puede atribuirse entonces a un momento de enfriamiento lento del sistema en el que se contaba con el espacio disponible para un



desarrollo de todas las caras del mineral (Craig & Vaughan, 1981).

La pirita secundaria (Py_2) (Figura 11b) por su parte se presenta durante el evento mineral intermedio y corresponde a cristales cúbicos euhedrales a subhedrales de tamaños inferiores a 300 μm en texturas de relleno de espacios abiertos como en cinta y crustiforme en compañía de otros sulfuros y minerales ganga como cuarzo. Además de presentarse en texturas coloformes indicativo de una cristalización rápida y reemplazada por marcasita (FeS_2).

Esta pirita presenta texturas asociadas a eventos deformativos en el régimen frágil como “kinking” con fracturas casi paralelas, como se aprecia en la Figura 9e anteriormente descrita, y texturas de fracturamiento por cizalla como consecuencia de un deslizamiento continuo.

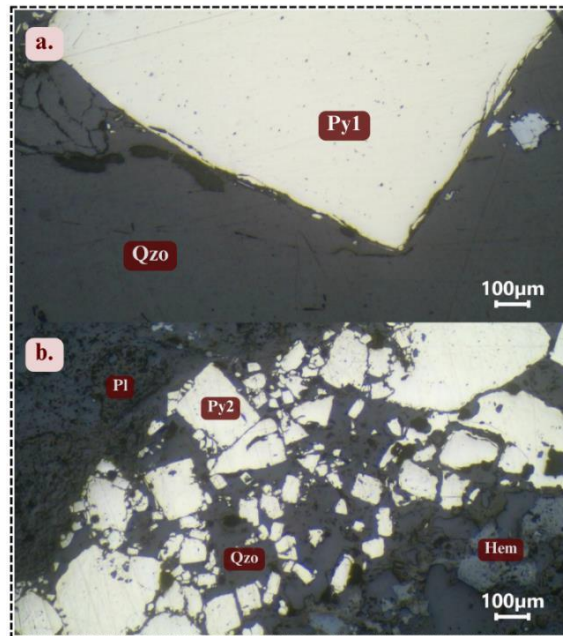


Figura 11. a. Pirita 1 (Py_1) cúbica euhedral (5x, PPL). b. Pirita 2 (Py_2) cúbica euhedral a subhedral en textura de relleno de espacios abiertos (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py_1), Pirita 2 (Py_2), Plagioclasa (Pl), Hematita (Hem).



Esfalerita ($ZnFeS$), es el segundo mineral más abundante en el prospecto presentándose masivamente y en cristales subhedrales a anhedrales de tamaños entre 100 μm a 2mm. Tiene una temporalidad subsecuente a pirita 1 (Py_1) debido a que se presenta como mineral reemplazante en texturas de contacto de carie, inverso de carie y esqueletal (Figura 9b). Se asocia sobre todo con texturas de exsolución como granular de contacto con tetraedrita-tennantita y galena, lo que es indicativo de una solución hidrotermal rica en Zn, Cu y Fe. En algunos casos la esfalerita se presenta reemplazada por calcopirita en “calcopirita disease” y penetrada por minerales de ganga (Cuarzo y Calcita).

Galena (PbS), dentro de la secuencia mineral se presenta en un hábito granular y masivo de grano medio-fino ocupando espacios intersticiales de pirita 1 (Py_1) y en contacto con tetraedrita-tennantita, en algunos casos en texturas esqueletales reemplazando esfalerita cuando esta se encuentra con “calcopirita disease”, lo que sugiere que aumentó su concentración en la misma temporalidad de aparición de la calcopirita y después de la acumulación de la esfalerita. Finalmente, en algunas muestras se observa reemplazada por calcita como se aprecia en la Figura 12.

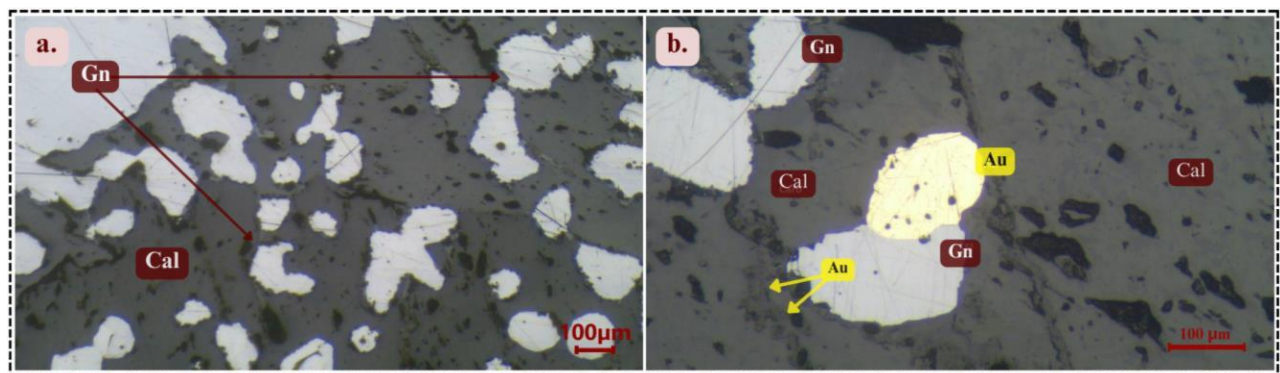


Figura 12. a. Galena (Gn) reemplazada por calcita (Cal)(5x, PPL). b. Galena (Gn) reemplazada por calcita (Cal) en contacto con oro (Au)(10x, PPL). Galena (Gn), Calcita (Cal).



Calcopirita ($CuFeS_2$), como mineral menos frecuente en la paragénesis y en tamaños inferiores a $50\ \mu m$ tiene una ocurrencia en la parte final del evento mineralizante intermedio con una textura predominante de “calcopirita disease” en la que se observan pequeños cristales en forma moteada sobre un grano masivo de esfalerita, y que corresponde a una textura de reemplazamiento, en algunos casos se genera una acumulación en el núcleo del cristal de esfalerita. Se presenta igualmente como brecha de relleno (Figura 9h) en contacto con pirita 1 (Py_1), algunos sulfuros de la etapa intermedia y carbonatos.

Marcasita (FeS_2) y **Covelina (CuS)** se presentan como minerales reemplazantes de pirita 1 y calcopirita respectivamente en tamaño fino y textura en borde. Lo que sugiere una cristalización tardía de estos minerales en la secuencia paragenética.

Argentita (Ag_2S), ocurre diseminada y en morfología granular anhedral asociada al evento mineral intermedio.

Dentro del grupo de las sulfosales se evidencian:

Tetraedrita-Tennantita (Cu, Fe)Sb, As_4S_{13}) es la sulfosal más común del prospecto presentándose en hábito masivo y en texturas de exsolución como granular de contacto y en halo con esfalerita y galena (Figura 13).

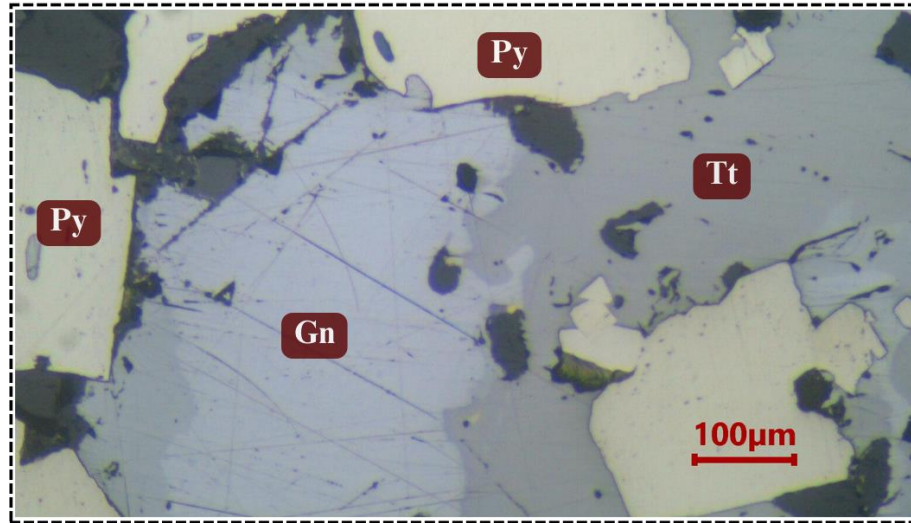


Figura 13. Tetraedrita-tennantita (Tt) en textura de exsolución granular de contacto con Galena (Gn) (10x, PPL). Pirita (Py), Tetraedrita-tennantita (Tt), Galena (Gn).

Boulangerita ($Pb_5Sb_4S_{11}$), Pirargirita (Ag_3SbS_3), Matildita ($AgBiS_2$) y Bournonita ($PbCuSbS_3$) se presentan como sulfosales menos comunes en hábitos granulares y texturas de exsolución como moteada y en halo con galena, lo que indica que la solución se encontraba cerca del punto de saturación y presenta un descenso de temperatura que causa una separación de sus componentes, dando origen a un mineral hospedante (host) que para este caso son las sulfosales encontradas y un mineral huésped (guest) que generalmente es tetraedrita-tennantita y/o galena (Figura 14). Además, tienen ocurrencia en la parte intermedia de la mineralización y son indicativos de proximidad a la zona más somera de la manifestación como vetillas polimetálicas. Para el caso de la matildita específicamente, corresponde a un ambiente de depósitos hidrotermales de moderada temperatura.

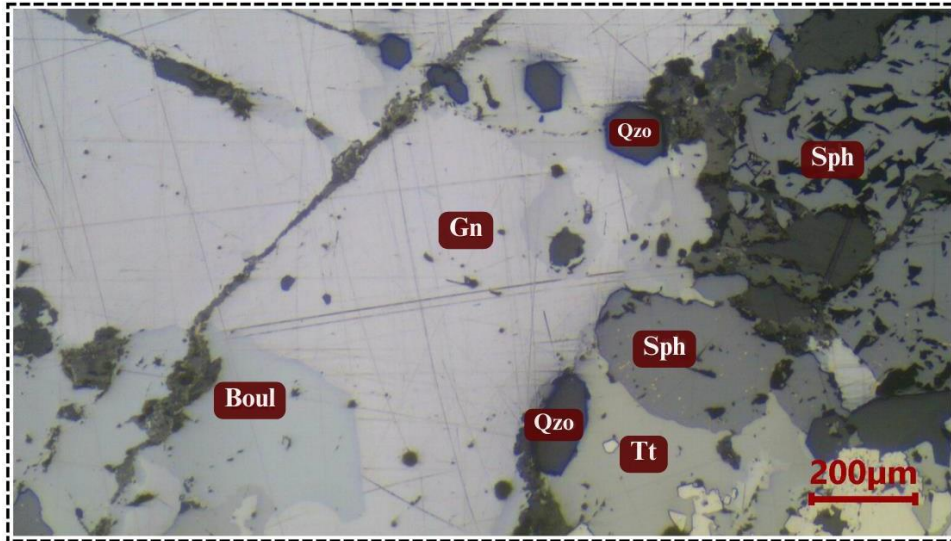


Figura 14. Textura de exsolución de Boulangerita (Boul) en Galena (Gn) (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Esfalerita (Sph), Tetraedrita-tennantita (Tt), Galena (Gn), Boulangerita (Boul).

Oxidos e hidróxidos (O, OH)

Para un sistema de tipo pórfido, los óxidos se emplean como herramienta de proximidad a la mineralización, determinando condiciones de presión, temperatura, pH, entre otros. Para la zona de estudio los más comunes son:

Hematita (Fe_2O_3) en una textura de bandeamiento coloforme rodeando cristales de pirita o como bordes de reacción en vetillas de hasta 4cm.

Goethita ($FeOOH$) en menor proporción, se presenta con hábito coloforme y en texturas de reemplazamiento de hematita.

Rutilo (TiO_2) se presenta en hábito acicular en baja proporción y probablemente asociado a alteración fílica (Figura 15).

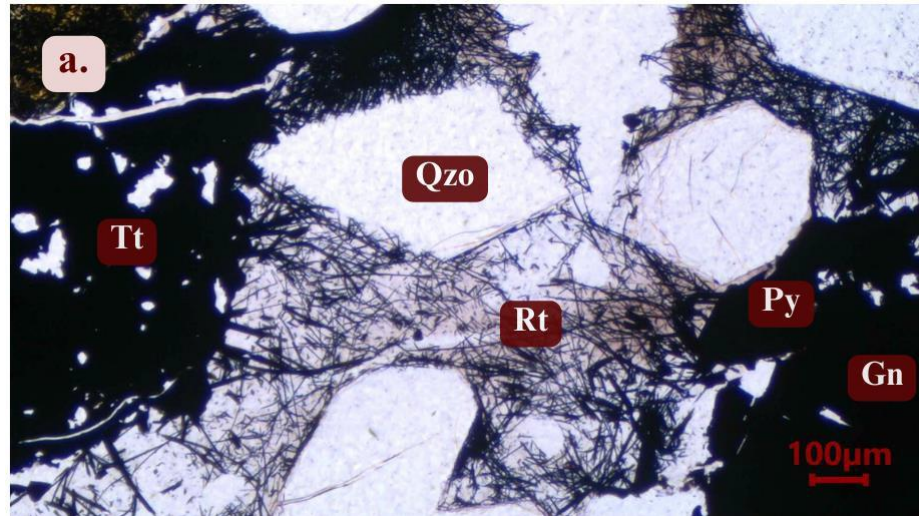


Figura 15. Rutilo (Rt) en hábito acicular (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita (Py), Tetradrita-tennantita (Tt), Galena (Gn), Rutilo (Rt).

Elementos nativos (Au, Ag)

Esta representa la fracción porcentual más relevante del prospecto desde el punto de vista económico y para la zona de estudio predomina la presencia de Oro (Au) y una aleación entre Oro y Plata (Au-Ag: Electrum).

Oro (Au), su aparición es transversal a todas las etapas del prospecto en morfologías generalmente redondeadas, sin embargo tiene una mayor concentración y mayor tamaño durante le etapa intermedia generalmente incluido en pirita 1 (Py_1) y en sus espacios intersticiales (Figura 16a), asociado a sulfuros formados en esta etapa como pirita 2 (Py_2), esfalerita, galena (Figura 16b) y como granos libres en contacto con minerales de ganga como cuarzo y calcita (Figura 16c). No se encuentra en contacto con arsenopirita ni incluido en esta, lo cual favorece las condiciones de beneficio a futuro en el prospecto.

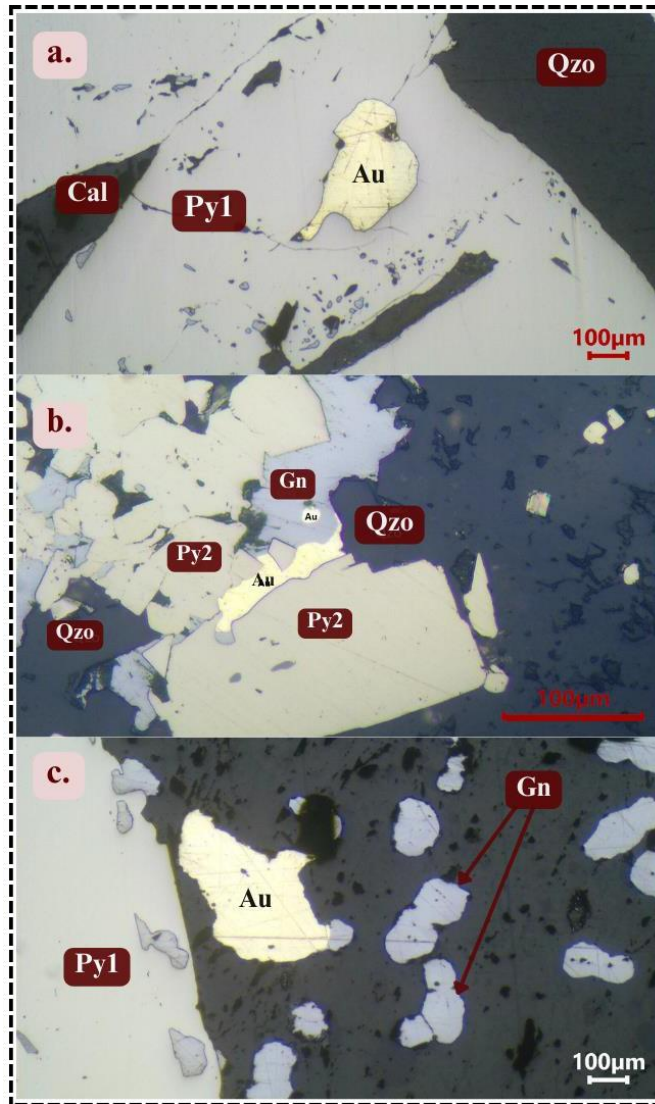


Figura 16. a. Oro (Au) incluido en Pirita 1 (Py1) ocurrido en la etapa mineral intermedia (5x, PPL). b. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) y Galena (Gn) ocurrido en la etapa mineral intermedia (20x, PPL). c. Oro (Au) libre en contacto con Calcita (Ca)l ocurrido en la parte final de la etapa mineral intermedia (5x, PPL). Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Galena (Gn), Calcita (Ca), Oro (Au).

Electrum (Au-Ag) aparece como granos anhedrales subredondeados diseminados en contacto con cuarzo policristalino y se distingue por su tonalidad blanquecita con respecto al oro (Figura 17).

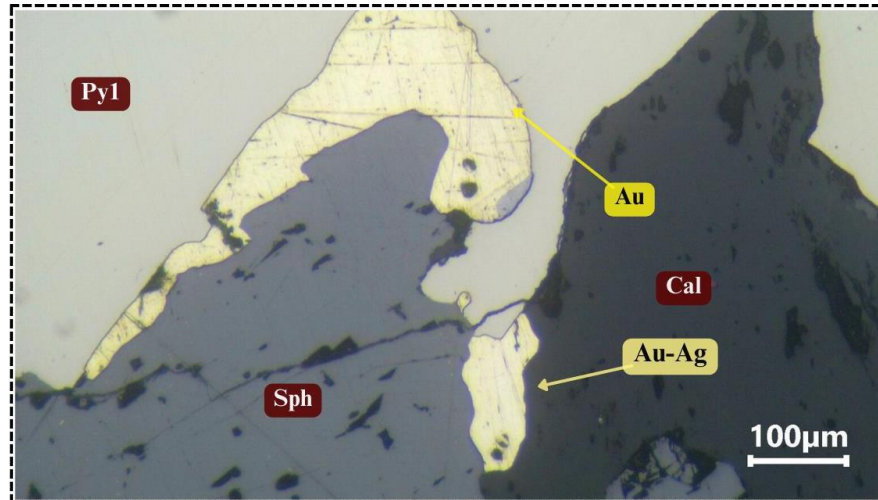


Figura 17. Electrum (Au-Ag) asociado a Esfalerita (Sph) y Pirita (Py) (10x, PPL). Pirita 1 (Py1), Esfalerita (Sph), Calcita (Cal), Oro (Au), Electrum (Au-Ag).

Ganga

Cuarzo (SiO_2), es el principal mineral ganga en el prospecto con una amplia distribución durante todas las etapas. Inicialmente se presenta como agregados microcristalinos en la masa fundamental de la microcuarzodorita y durante la etapa intermedia se produce una recristalización conformando agregados policristalinos que reemplazan varios minerales de la secuencia, penetrando cristales de esfalerita y pirita 1 (Py_1), rellenando fracturas y espacios intersticiales y conformando vetillas cuarzo + pirita que en general permean toda la manifestación.

Calcita ($CaCO_3$), la precipitación de este carbonato tiene lugar en la estancia final de la etapa intermedia y probablemente de manera simultánea con las vetillas polimetálicas que atraviesan el prospecto rellenando espacios abiertos con texturas de brecha de relleno y en cinta y reemplazando sulfuros como galena.

Clorita ($(Mg, Fe, Al, Li, Mn, Ni)_{-6}(Si, Al, B, Fe)_4O_{10}(OH, O)$), es el mineral ganga menos común en relación con los anteriores y se forma a partir del reemplazamiento de minerales



previos, presentándose en hábitos laminares fácilmente distinguible por su pleocroísmo leve y color de interferencia azul Berlín (Figura 18).

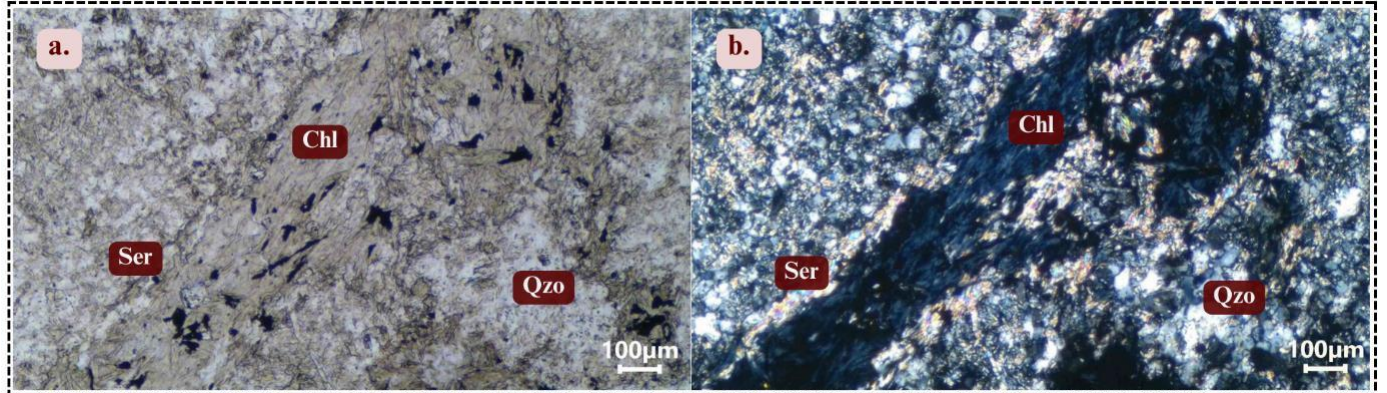


Figura 18. Clorita (*Chl*) en contacto con Sericita (*Ser*) asociada a alteración fílica. ((a) 5x, PPL (b) 5x, XPL). Cuarzo (*Qzo*), Sericita (*Ser*), Clorita (*Chl*).



9. VETILLAS

El Target Olympus se caracteriza por una marcada presencia de mineralización en vetas y vetillas con morfologías, texturas y espesores que reflejan información relevante sobre su génesis. Estas se relacionan directamente con la porosidad, permeabilidad, composición de la roca caja, composición del fluido y características espacio-temporales que dieron origen a la mineralización. Por esta razón, es necesario realizar una descripción petrográfica y metalográfica de las vetas y vetillas de zona de estudio con el fin de tener una perspectiva general del comportamiento del fluido que migró a través de las fracturas en la coja encajante teniendo en cuenta la clasificación de Sillitoe (2010) y Corbett & Leach (1998).

Dentro de la zona de estudio se definieron dos principales familias de vetillas agrupadas por su composición mineralógica, halos de alteración, morfología y texturas, entre otras características importantes.

9.1. Vetillas cuarzo + pirita

Se observaron microscópica y macroscópicamente atravesando la roca encajante de espesores desde 20 μm hasta 2 cm y se componen en su mayoría de cuarzo sacaroidal o granular con una textura en sección delgada pulida en mosaico (Figura 19b) con una morfología discontinua y segmentada probablemente a razón de tectonismo y recristalización que sufrió el prospecto. En algunos casos están acompañadas de pirita que le otorgan una tonalidad oscura, en texturas de stockwork o paralelas a subparalelas entre sí, sinuosas, sin halo de alteración y ocasionalmente con bandeamiento indicativo de episodios de sellamiento y reapertura de fracturas (Figura 19a).



Estas vetillas son indicativas de un evento temprano de aumento de temperatura en el prospecto en el cual se alcanza un punto de equilibrio entre la solución hidrotermal y el intrusivo que las contienen, de manera que corresponden a una temporalidad anterior al fracturamiento frágil y son cortadas por las demás vetillas posteriores (Fournier, 1999).

9.2. Vetillas de Carbonatos con Metales Base (CBM)

Se agrupan en esta categoría las vetas y vetillas de espesores variables (200 μm hasta decenas de cm) compuestas principalmente de sulfuros como pirita de cristales cúbicos subhedrales a ehedrales (Figura 19 c y 19d), en menor medida esfalerita + galena \pm calcopirita y en contacto con calcita y cuarzo, en morfologías rectilíneas cortando las vetillas cuarzo + pirita y donde se acumula la mayor mineralización de interés. En algunos casos prima la calcita por sobre el cuarzo (Figura 19 e y f).

Este tipo de vetillas son emplazadas en fases minerales intermedias y tardías, en condiciones en las que la roca ya está cristalizada con comportamiento netamente frágil, atribuyéndose posiblemente a la percolación de aguas meteóricas cargadas en CO_2 en niveles superficiales del depósito (Sillitoe, 2000; Camus, 2003).

A continuación se presenta un resumen esquemático de las principales vetillas observadas en el prospecto.

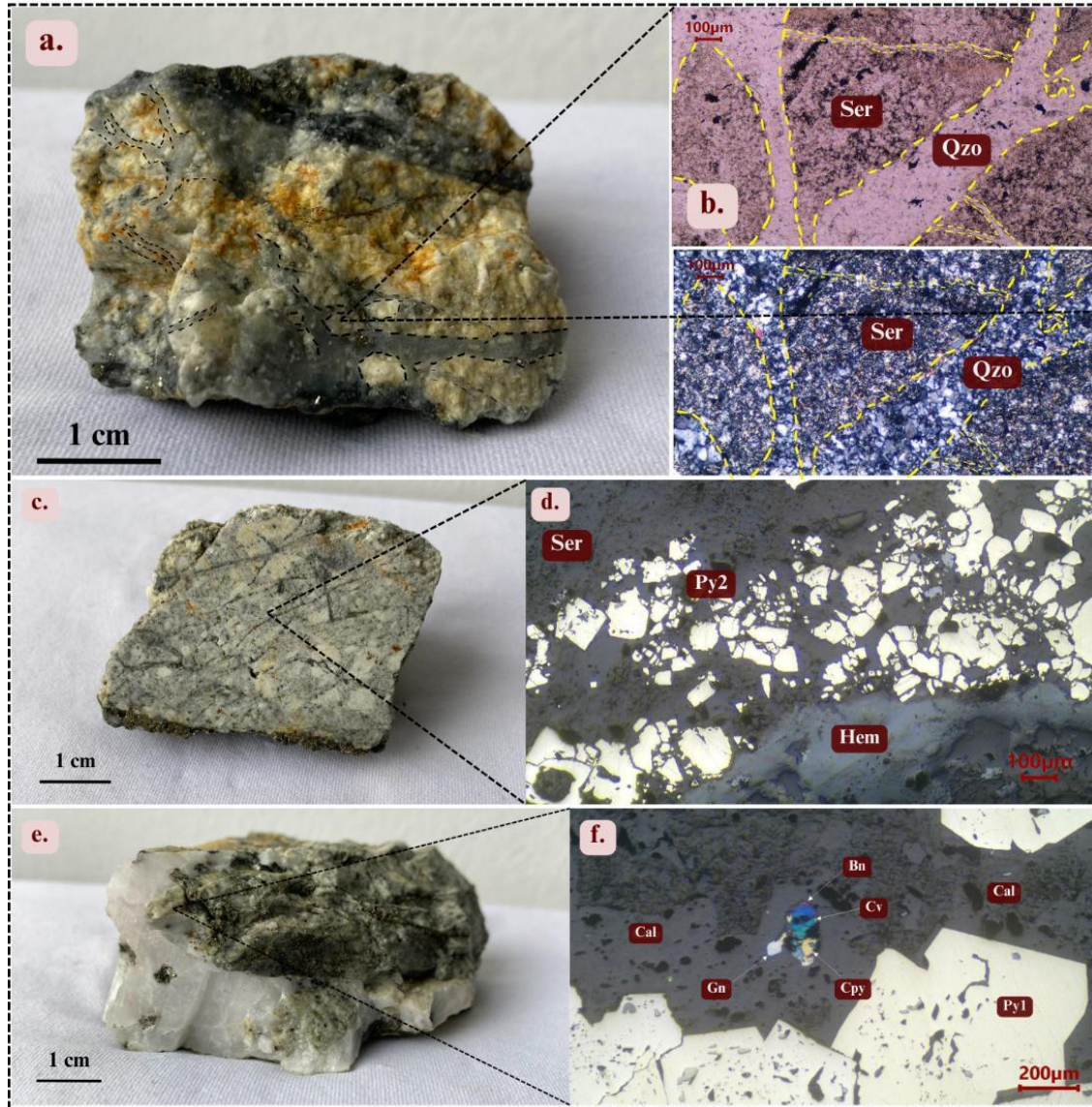


Figura 19. A. Vetillas de cuarzo de morfología discontinua y segmentada en textura de stockwork. b. Vetillas de cuarzo (Qzo) granular con textura en mosaico en contacto con sericita (Ser) sin halo de alteración aparente (5x, PPL, XPL). c. Vetillas compuesta por pirita en textura de stockwork y morfología rectilínea. d. Vetilla compuesta por pirita 2 (Py2) cúbica en contacto con sericita (Ser) y Hematita (Hem) (5x, PPL). e. Veta de carbonato y sulfuros (CBM) de varios cm de espesor. f. Vetilla de Calcita (Cal), pirita 1 (Py1), galena (Gn) y calcopirita (Cpy) alterándose a covelina (Cv) tipo CBM de morfología recta y continua. Cuarzo (Qzo), Sericita (Ser), Pirita 2 (Py2), Pirita 1 (Py1), Hematita (Hem), Calcita (Cal), Galena (Gn), Calcopirita (Cpy), Covelina (Cv).



10. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Este capítulo recopila la información obtenida a partir del conteo de 419 granos de Au en función de ciertos parámetros, a saber: longitud máxima y mínima en micrómetros para cada cristal, forma (muy redondeado, redondeado, subredondeado, subangular, angular y muy angular) y ocurrencia (libre, asociado e incluido). A continuación de evidencia una de las tablas con la información compilada, específicamente para la muestra CM003556.

No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	25.2	11.3	Subredondeado	Incluido Sph	29	4.4	3.1	Subangular	Incluido Gn
2	139.4	24.8	Angular	Asociado Sph+Tt	30	31.9	17.9	Redondeado	Incluido Py
3	38.1	5.4	Angular	Incluido Sph	31	8.7	6.05	Redondeado	Incluido Py
4	19.9	6.1	Subredondeado	Incluido Sph	32	6.9	4.8	Redondeado	Incluido Py
5	25.01	12.4	Redondeado	Incluido Py	33	22.6	15.7	Muy redondeado	Incluido Py
6	32.6	18	Subangular	Libre	34	23.3	20.9	Subredondeado	Asociado Py
7	21.2	14.3	Angular	Incluido Py	35	61.7	11.6	Angular	Asociado Py
8	13.7	6.7	Subangular	Libre	36	29.4	5.7	Subangular	Asociado Py
9	60.2	5.1	Angular	Asociado Py+Sph	37	129.7	16.1	Angular	Incluido Py
10	61.3	24.7	Subredondeado	Incluido Py	38	30	10.7	Subangular	Incluido Tt
11	12.9	5.82	Subredondeado	Incluido Py	39	68.6	9.6	Angular	Asociado Py+Tt
12	13.9	6.31	Subredondeado	Incluido Py	40	6.3	4.7	Subredondeado	Libre
13	10.4	7.2	Redondeado	Incluido Py	41	97.1	8.9	Angular	Libre
14	5.81	4.2	Subangular	Libre	42	10.5	12.2	Angular	Asociado Py
15	32.5	8.1	Angular	Asociado Py	43	10.9	6.8	Subangular	Libre
16	8.61	2.6	Subangular	Asociado Py	44	40.6	25	Subredondeado	Incluido Py
17	5.71	1.7	Subangular	Incluido Py	45	6.11	1.8	Subredondeado	Incluido Py
18	94.2	3.2	Angular	Asociado Py	46	7.3	4.5	Subredondeado	Incluido Py
19	14	5.6	Subangular	Asociado Py	47	151.3	17.5	Subangular	Incluido Py
20	4.45	2.4	Subredondeado	Asociado Py	48	28.4	11.7	Subangular	Incluido Py
21	8.2	2.5	Angular	Libre	49	12.6	11.2	Subredondeado	Incluido Py
22	51.5	21.3	Angular	Asociado Py	50	12.5	7	Redondeado	Incluido Py
23	25.1	8.3	Angular	Asociado Py	51	37	12.3	Redondeado	Incluido Py
24	12.7	10.3	Subredondeado	Incluido Sph	52	33	11	Subangular	Incluido Py
25	52.8	19.4	Angular	Asociado Py	53	13.6	12	Redondeado	Incluido Py
26	7.5	3	Subangular	Libre	54	4.3	2.8	Redondeado	Incluido Py
27	15.9	6.2	Subangular	Libre	55	8.5	6	Redondeado	Incluido Py
28	5.3	3.9	Subredondeado	Libre					

Tabla 1. Conteo de granos de Au para la muestra CM003556

La Figura 20 evidencia la ocurrencia de algunos granos de Au en el prospecto

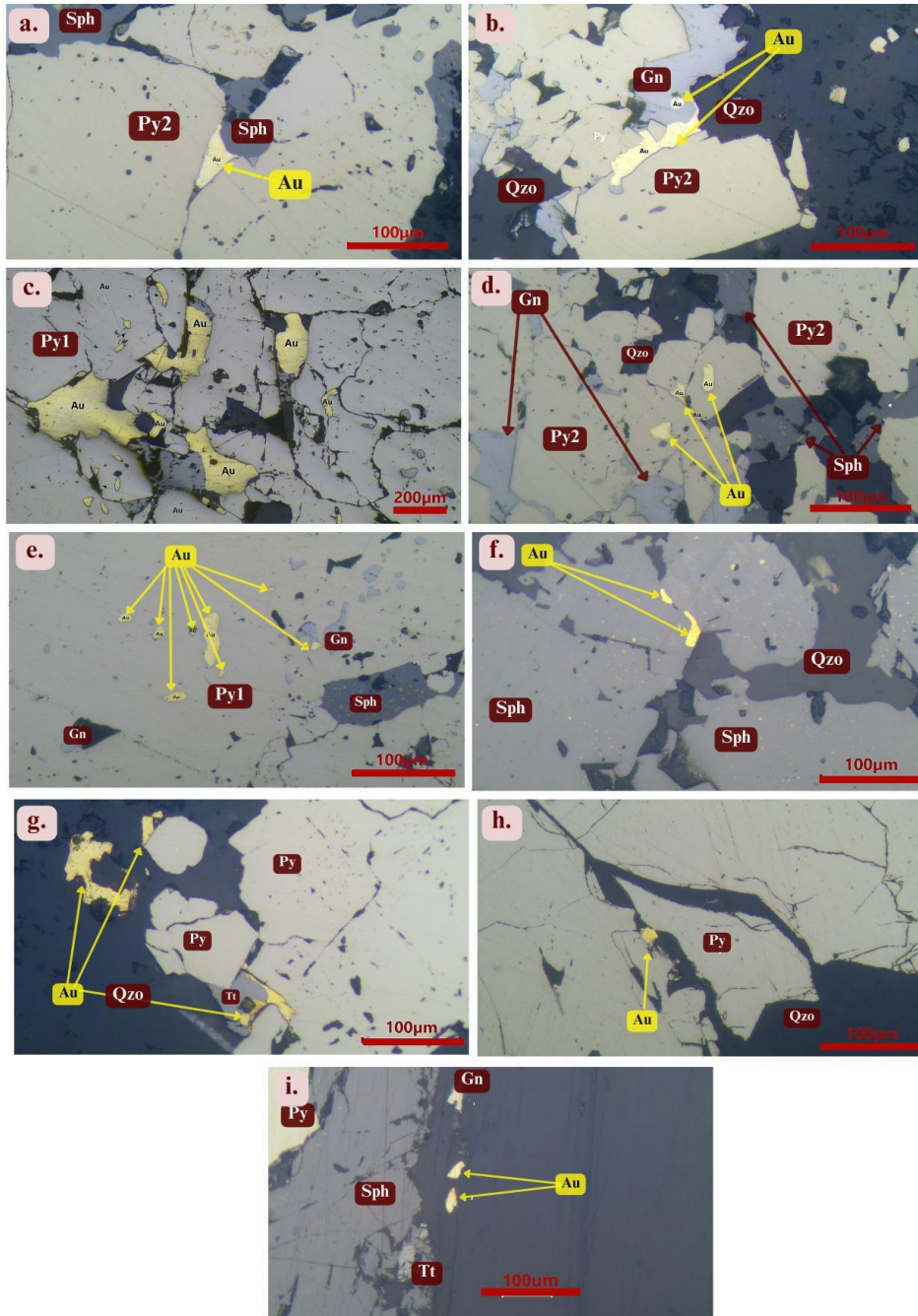


Figura 20. Cuarzo (Qzo), Pirita 1 (Py1), Pirita 2 (Py2), Galena (Gn), Esfalerita (Sph), Tetraedrita-tennantita (Tt), Oro (Au). a. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) relleno de espacios intersticiales (20x, PPL). b. Oro (Au) asociado a Pirita 2 (Py2) y Galena (Gn), e incluido en Galena (Gn) (20x, PPL). c. Oro (Au) incluido y asociado a Pirita 1 (Py1) como relleno de espacios intersticiales (20x, PPL). d. Oro (Au) incluido en Pirita 2 (Py2) (20x, PPL). e. Oro (Au) incluido en Pirita 1 (Py1) (20x, PPL). f. Oro (Au) incluido en Esfalerita (Sph) (20x, PPL). g. Oro (Au) asociado a Pirita (Py) y Tetraedrita-tennantita (Tt) y como cristal libre (20x, PPL). h. Oro (Au) libre en contacto con Cuarzo (Qzo) (20x, PPL). i. Cristales de Oro (Au) libre (20x, PPL).



Con base en la información recopilada es importante resaltar, como se muestra en la Figura 21 que para un total de 18 muestras recolectadas, el 61.1% cuentan con presencia de Oro visible, lo que da sustento a que la zona de estudio corresponde a un prospecto significativo de mineralización en el que actualmente se está llevando a cabo un desarrollo artesanal.

Muestras con Au visible

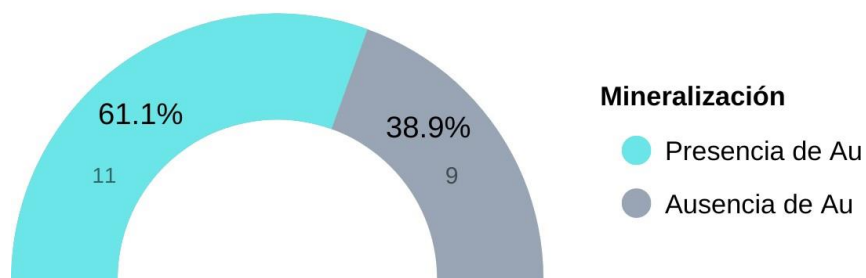


Figura 21. Diagrama radial para muestras con Au visible.



Por otra parte, el diagrama circular de la Figura 22 evidencia el contenido porcentual de una de las muestras estudiadas (CM00355) agrupando minerales petrogenéticos, de mena, accesorios y de alteración.



Figura 22. Diagrama circular porcentual de composición mineral para muestra CM003555 discriminado por minerales petrogenéticos, de mena, accesorios y de alteración.

En el caso, por ejemplo de la muestra CM003549, esta presenta la sección delgada pulida con mayor porcentaje de oro en el prospecto y este se encuentra en ocurrencia con calcita como mineral ganga con un 10.5% (Figura 23). En general se replica el mismo comportamiento para toda la manifestación aurífera.



Composición mineral muestra CM003549

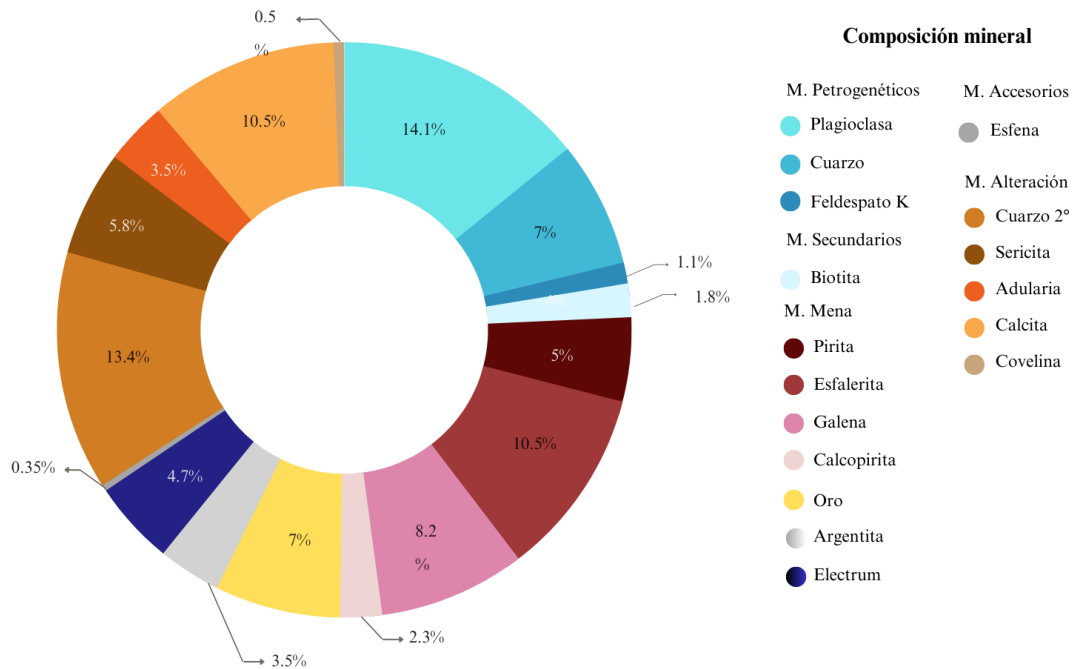


Figura 23. Diagrama circular de composición mineral para muestra CM003549 discriminado por minerales petrogenéticos, de mena, accesorios y de alteración.

Por otra parte, teniendo en cuenta los datos recopilados, se elabora un diagrama de barras y diagrama circular mediante los cuales se muestra la distribución en tamaño de las partículas de Au en la zona de estudio. Tomando intervalos cada 50 μm se logra distinguir que la mayor cantidad de cristales presentan una longitud máxima inferior a 50 μm , lo que representa un 62.5%, sin embargo, un porcentaje considerable de granos medidos (14.6%) se encuentran en un margen superior a 200 μm . De esta manera el prospecto presenta un comportamiento bimodal y no homogéneo en cuanto al tamaño de grano, argumento que se debe tener en cuenta en el momento del tratamiento y recuperación en la planta.



Tamaños de partículas de Au

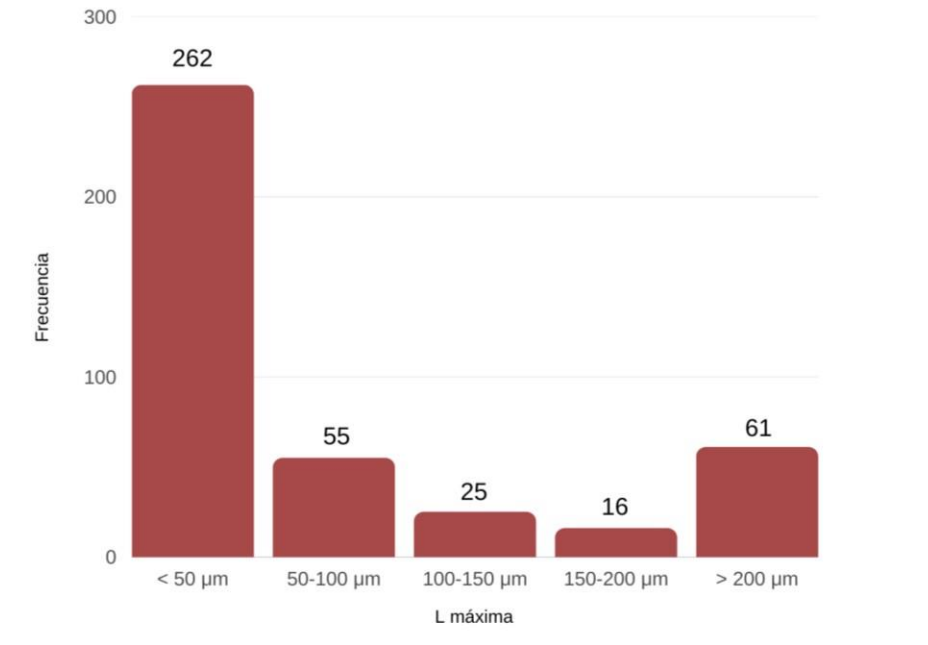


Figura 24. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au en intervalos de 50 μm.

Tamaños de partículas de Au

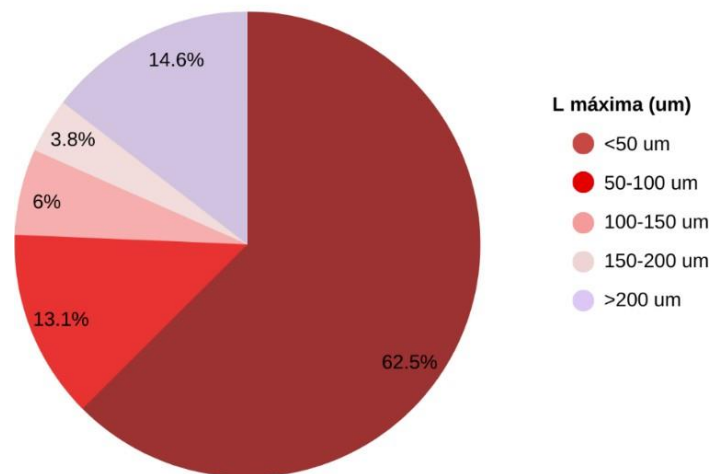


Figura 25. Diagrama circular para tamaños de partículas de Au en intervalos de 50 μm.



En cuanto al estilo de ocurrencia de los granos de Au, como lo evidencia la Figura 26, la mayoría se presentan incluidos en otros minerales (principalmente sulfuros) debido a su amplia distribución en el prospecto, mientras que un bajo porcentaje se encuentran como cristales libres, lo cual indicaría que estos tienen mayor facilidad para ser extraídos a través de una primera molienda.

Estilo de ocurrencia de partículas de Au

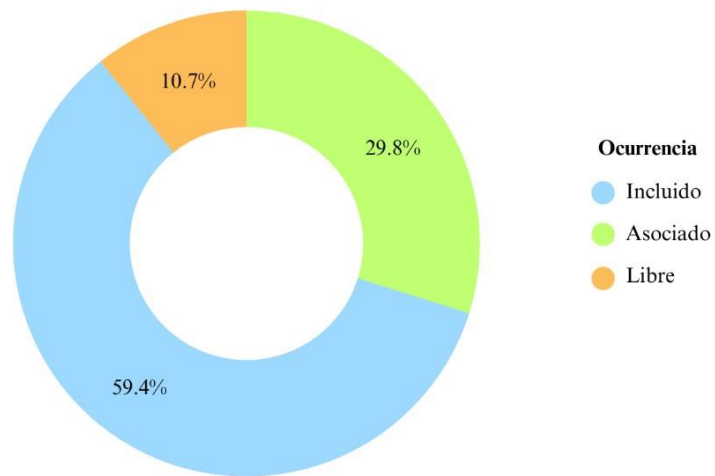


Figura 26. Diagrama circular para estilo de ocurrencia de partículas de Au

10.1. Oro asociado

Ahora bien, con base en lo anterior es importante analizar las variables en función al estilo de ocurrencia del oro, determinando los minerales que acompañan o incluyen y su tamaño. Para el 29.8% de partículas de Au que se encuentran asociadas se realiza el diagrama circular que se evidencia en la Figura 27, en el cual se observa una marcada afinidad a los cristales de pirita, bien sea como único cristal (27%) o en conjunto con esfalerita (29.2%), galena (14.6%) e incluso calcopirita (4.5%), esto a causa de que el evento de mineralización más importante del prospecto coincide con un aumento de concentración de sulfuros de Fe, Pb y Zn.



Asociación mineral para granos de Au

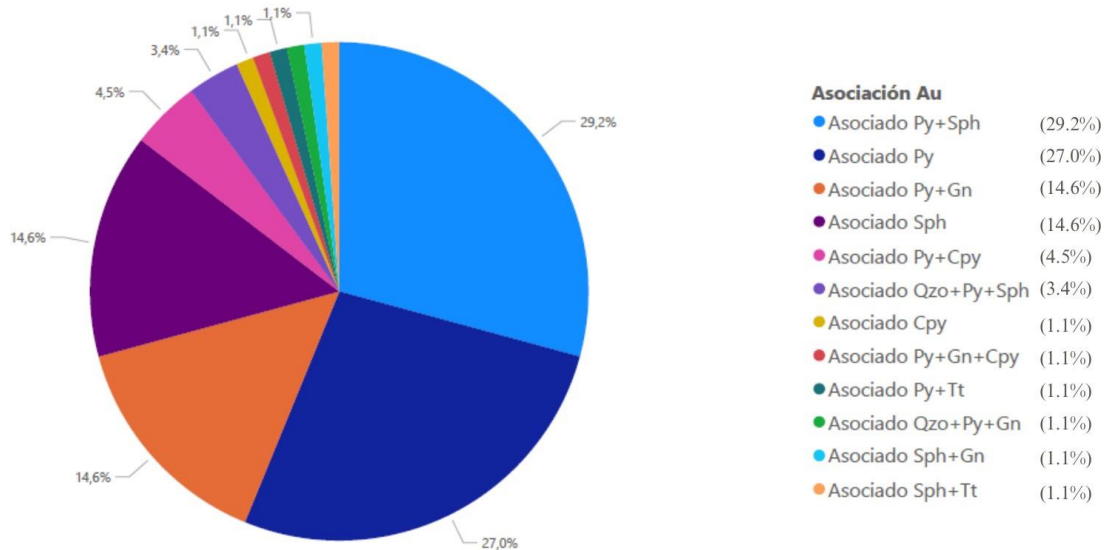


Figura 27. Diagrama circular de asociación mineral para granos de Au

En cuanto a la distribución de tamaños para cristales de Au asociados, como se evidencia en las Figuras 28 y 29 se refleja un comportamiento bimodal similar al que ocurre en el prospecto general, pero en una menor escala, ya que la mayor cantidad de cristales presenta una longitud máxima mayor a 200 μm seguido de cristales muy pequeños con una longitud máxima inferior a 50 μm . Sin embargo, el diagrama de dispersión muestra un comportamiento directamente proporcional entre las longitudes máxima y mínima de cada grano, predominando el aumento en la L máx, lo que indica una morfología alargada y por tanto mayor perímetro de contacto en el momento de la molienda.



Tamaños de partículas de Au asociado

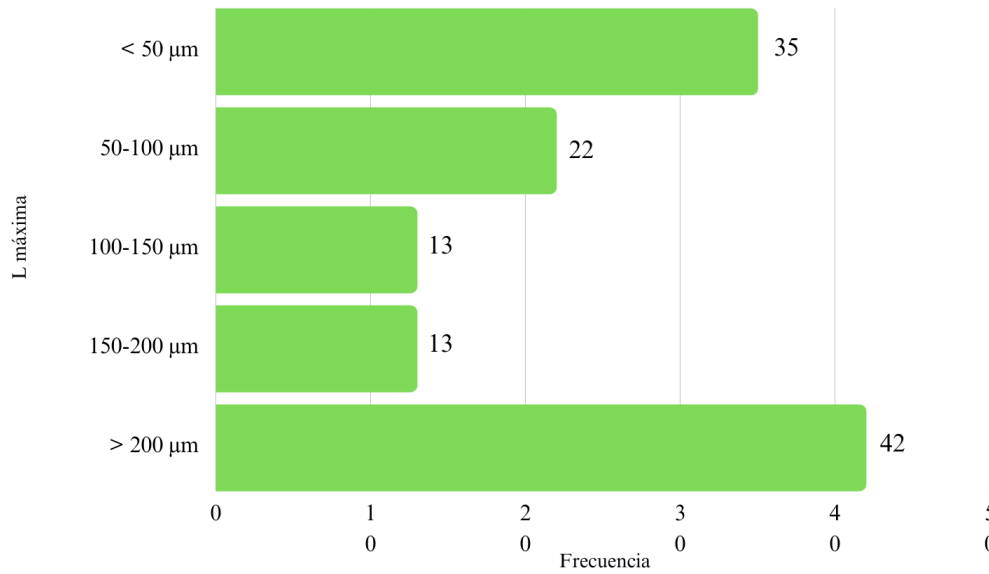


Figura 28. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au asociado en intervalos de 50 µm.

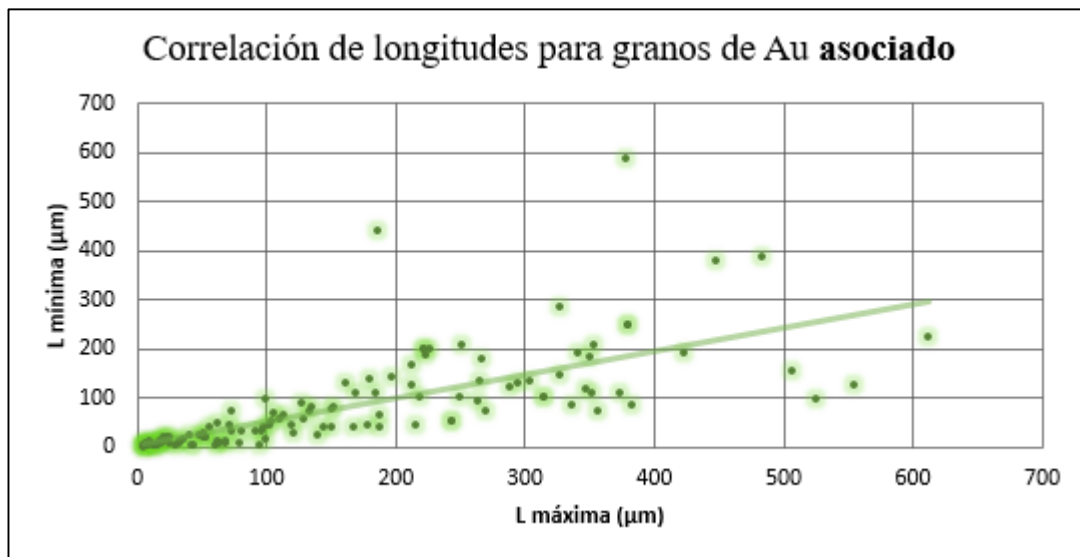


Figura 29. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au asociado que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.



10.2. Oro incluido

En cuanto al 59.4% de cristales de Oro incluido, se presenta la asociación mineral que se exhibe en la Figura 30, en la cual de la misma manera que en el caso anterior, hay una preferencia mayor por la pirita.

Asociación mineral para partículas de Au **incluido**

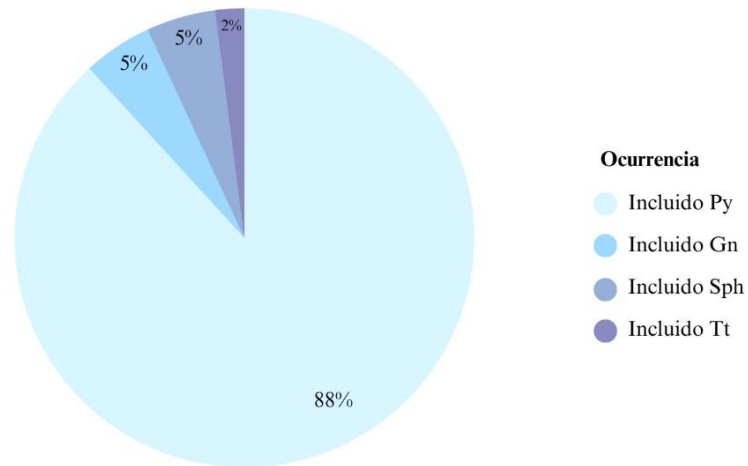


Figura 30. Diagrama circular de asociación mineral para partículas de Au incluido.

A diferencia del Oro asociado, en este caso la moda de los datos se encuentra en una longitud máxima inferior a 50 μm , y un muy pequeño porcentaje se encuentra en tamaños por encima de las 100 μm , además presenta un diagrama de dispersión con una tendencia directamente proporcional y una mayor acumulación de datos hacia los valores más pequeños de la recta para ambas longitudes, máxima y mínima (Figura 31, 33).

Tamaños de partículas de Au incluido

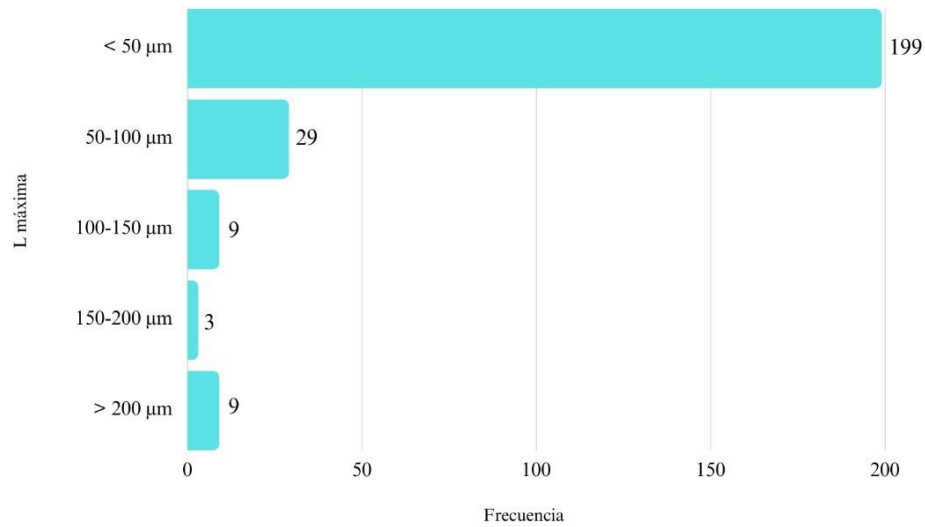


Figura 31. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au incluido.

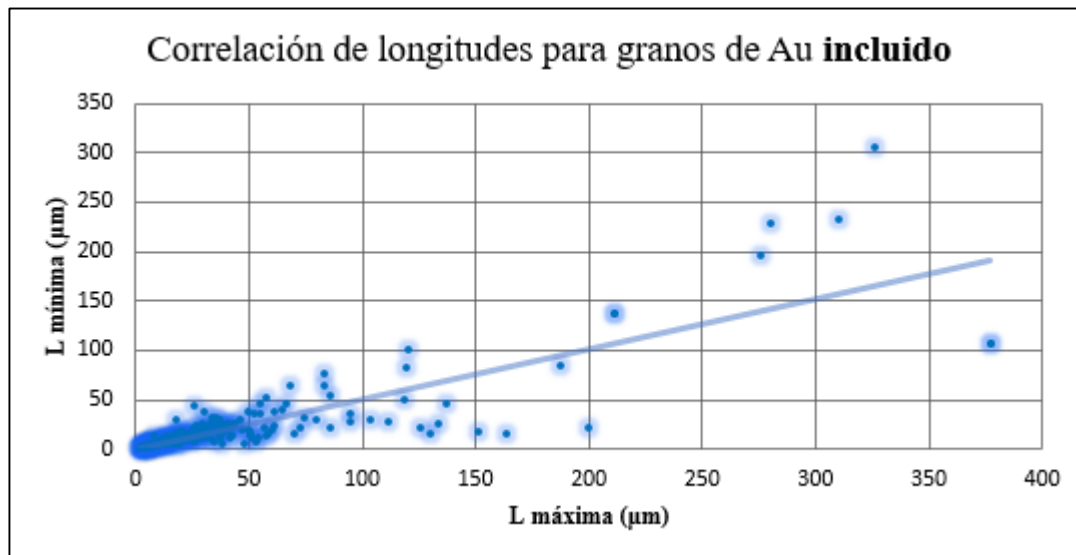


Figura 32. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au incluido que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.

11.3. Oro libre

Para el oro libre, que corresponde aproximadamente al 11% de los granos observados en las muestras se presentan las Figuras 33 y 34, en las cuales se evidencia un comportamiento similar al caso anterior, en el que la moda está por debajo de 50 μm , aunque con un considerable

porcentaje por encima de 200 μm . Sin embargo, el diagrama de correlación de longitudes muestra una amplia dispersión con respecto a la tendencia lineal directamente proporcional, lo cual podría indicar una morfología abrupta de los cristales que se encuentran libres. Es importante notar que la característica de cristales libres facilita la recuperación ya que para este porcentaje bastaría con emplearse métodos de separación gravimétrica.

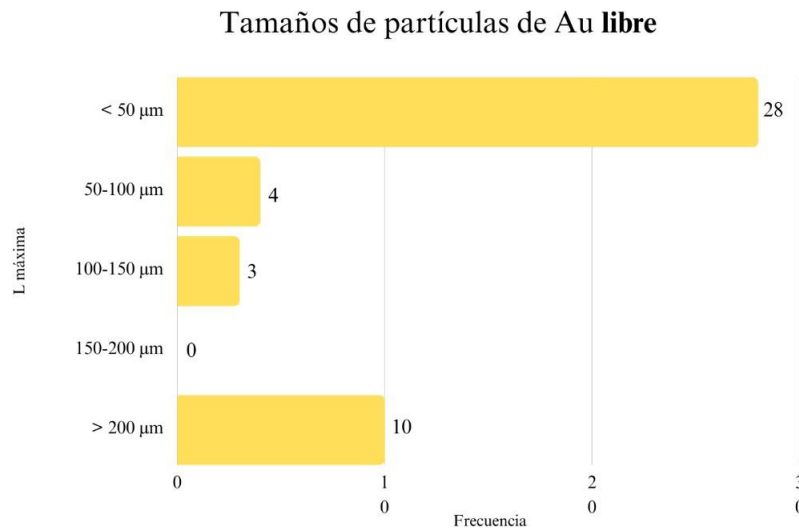


Figura 33. Diagrama de barras para tamaños de partículas de Au libre.

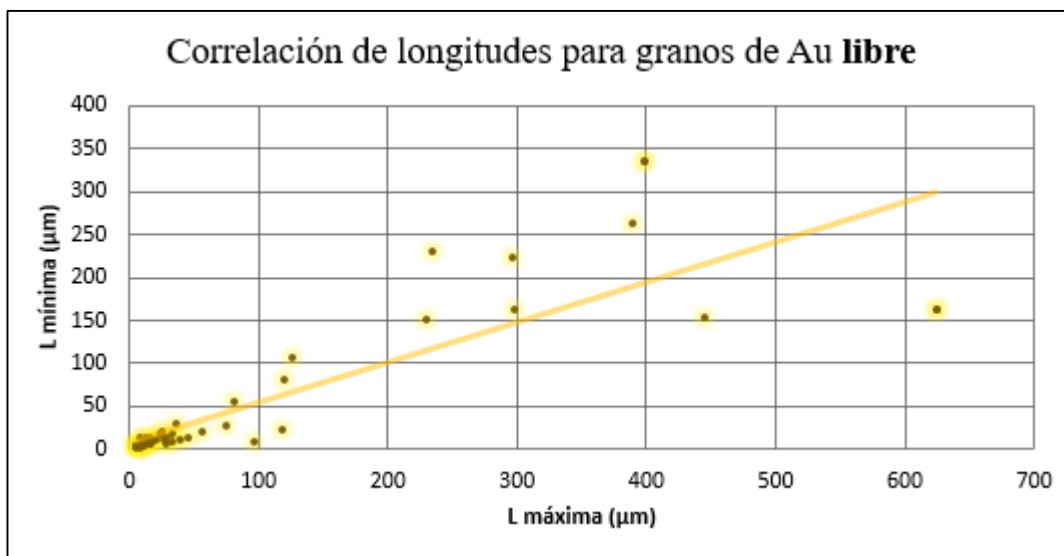


Figura 34. Diagrama de dispersión para longitud de granos de Au libre que relaciona L máxima y L mínima con una línea de tendencia aproximada.



Por otra parte, es relevante tener en cuenta la morfología de los granos, ya que esto determinará el área de contacto en el momento de la molienda y por tanto la dificultad con la que podrá extraerse el mineral de interés. La Figura 35 presenta un gráfico circular en el que aunque no se refleja una tendencia marcada, las partículas se sitúan en un rango de subredondeado a redondeado.

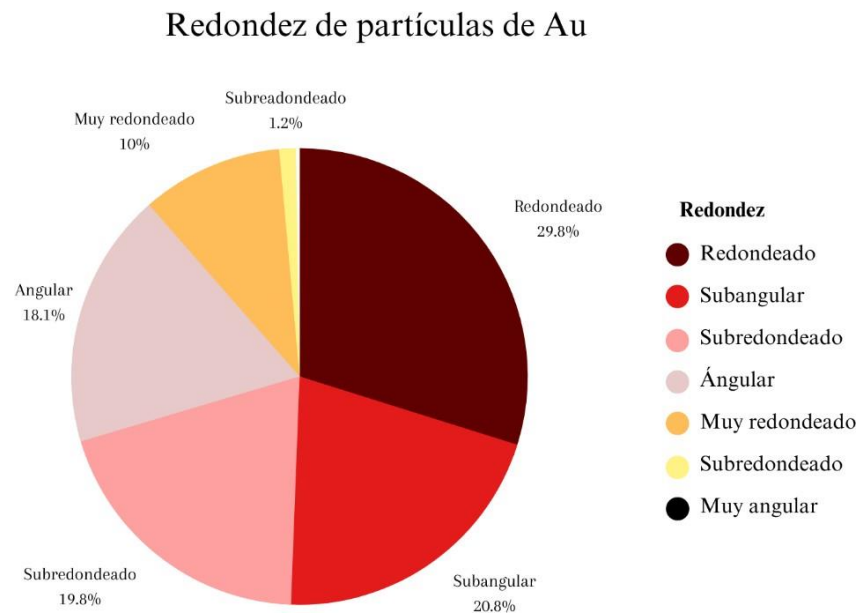


Figura 35. Diagrama circular de grado de redondez para partículas de Au.

De la misma manera se elabora el gráfico de las Figuras 36 y 37, en los cuales se agrupan los granos con base en su ocurrencia, y a partir de ello se analiza la longitud en relación a su forma. En la Figura 36 se observa como los cristales de Au asociado tienen una longitud máxima promedio cercana a las 160 μm , seguido de los cristales libres con un tamaño promedio de aproximadamente 120 μm y finalmente los cristales incluidos con un tamaño promedio considerablemente inferior a 50 μm .

Teniendo esto presente, la Figura 37 evidencia la morfología predominante con base en su ocurrencia, de manera que los cristales incluidos muestran una tendencia de cristales



subredondeados a redondeados, mientras que para aquellos que son asociados y libres las tendencias en morfología son homogéneas y predominantemente angulares a subangulares.

Tamaño promedio de Au según su ocurrencia

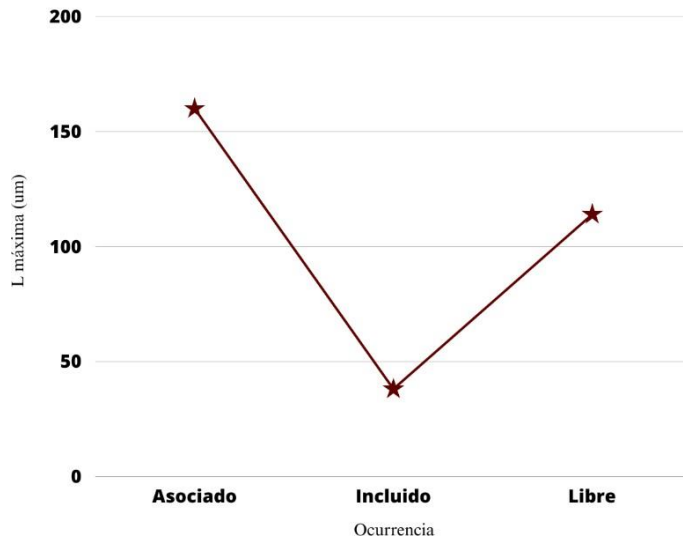


Figura 36. Gráfico ocurrencia vs L máxima promedio para granos de Au.

Forma de granos de Au según su ocurrencia

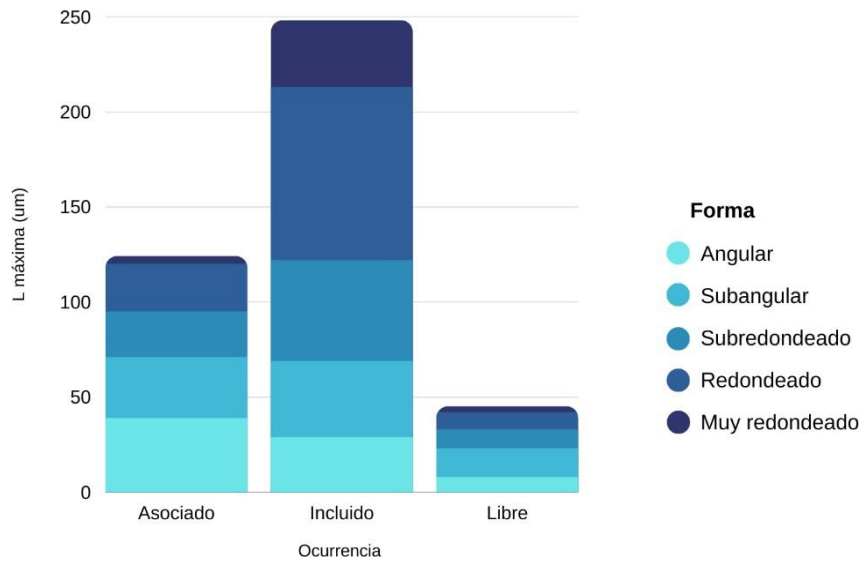


Figura 37. Gráfico de barras que relaciona la ocurrencia de granos de Au con su forma y L máxima medida en µm.



11. DISCUSIÓN

11.1. Secuencia paragenética

Corresponde a una representación gráfica de los minerales de mena observados en la zona de estudio con base en su ocurrencia y temporalidad, teniendo en cuenta que este tipo de depósitos ocurridos por el emplazamiento de un fluido mineralizante tienen múltiples eventos que varían en relación a su profundidad, composición química, temperatura, pH, entre otros. El reflejo de estas variaciones se manifiesta en la formación de nuevos minerales, en distintas proporciones y texturas.

Para la zona sur del Target Olympus del Proyecto Guayabales, a partir de los resultados de relaciones de campo, análisis de muestras y recopilación bibliográfica fue posible establecer que corresponde a un sistema de vetas polimetálicas de cuarzo-carbonato (CBM) que probablemente se emplazó mediante un fluido controlado por condiciones hidrostáticas a una profundidad somera (1 a 2 Km), una temperatura baja (100°C a 300°C), pH neutro y localizada distante de una fuente de calor magmática (Hedenquist & Lowenstern, 1994).

Este prospecto podría estar asociado temporal y espacialmente con el volcanismo subaéreo de composición intermedia que comprende domos andesíticos-dacíticos originados durante el Mioceno tardío a causa de la subducción de la Placa de Nazca y la colisión del Bloque Panamá-Chocó (Jaramillo *et al.*, 2019). Por lo cual presenta un importante control estructural de tendencia NW a escala local y regional actuando como lugar de almacenamiento para el fluido.

Por otra parte, la composición mineral del prospecto está enmarcada por la presencia de pirita a lo largo de toda la secuencia, y esfalerita, galena y tetraedrita-tennantita en una temporalidad siguiente en vetas de relleno y reemplazamiento. El fluido tiene entonces una asociación de Fe-



Zn-Pb con contenidos menores de Cu-Co-Au-Ag emplazado en rocas porfíricas de composición intermedia con una marcada alteración sericítica que transforma las plagioclasas a micas de grano fino y desarrolla cristales de clorita y cuarzo disseminados y en vetillas CBM.

Dentro del polígono de estudio se identificaron tres estados principales, una etapa mineral temprana (MT), etapa mineral intermedia (MI) y post-mineral (PM), explicadas a detalle en el numeral 7.2. A continuación se presenta la construcción gráfica de la secuencia paragenética.

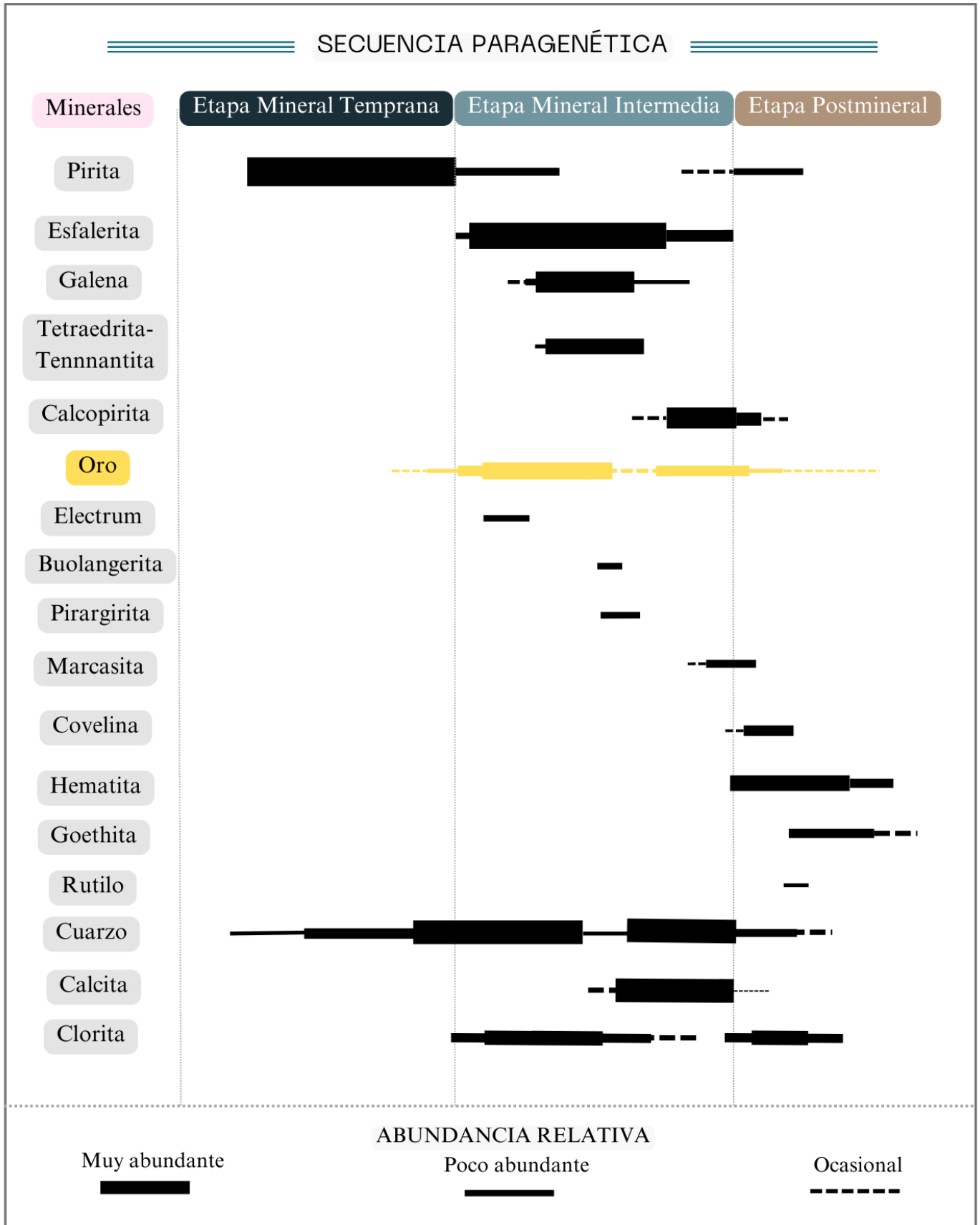


Figura 38. Secuencia paragenética para la zona de estudio.



11.2. Metodología de recuperación de Au

Con base en los resultados obtenidos durante el análisis de laboratorio se deben tener en cuenta varios estadios, inicialmente del lote total de muestras analizadas, más del 50% cuentan con algún porcentaje de oro visible en una distribución espacial que podría asociarse a una tendencia NW y NWW como lo delimita la línea punteada, lo cual es congruente con la localización del Distrito Minero Marmato que se sitúa a varios kilómetros del polígono de estudio en sentido SE, es decir que la búsqueda y explotación dentro de las cámaras de la mina debería procurar hacerse en este sentido al igual que la consideración de nuevos frentes siguiendo este *trend*.

En cuanto a la distribución de tamaños de partículas de oro (Figuras 24 y 25), es posible apreciar que se presenta un comportamiento bimodal, en el cual se tiene un evento con intervalos granulométricos gruesos y otro evento en intervalos muy finos, de longitudes inferiores a 50 μm , para ello es importante proponer una estrategia para cada fenómeno.

En el caso del oro grueso, se presenta una situación muy favorable para el prospecto, pues es fácilmente extraíble mediante una primer molienda, para lo cual se aconseja el uso del molino de bolas, reportado por Alegría (2014), que resulta más rentable que otros equipos como el molino chileno, pues ocupa menor disponibilidad de mano de obra, no necesita una trituración secundaria, emplea menor volumen de agua y mejora la concentración. Este oro se encuentra sobre todo asociado a sulfuros como pirita, esfalerita y galena, por lo cual se recomienda la instalación de pulsadores hidráulicos Jigs previos al proceso de concentración (Figura 39), que consisten en un equipo concentrador con un recipiente rectangular abierto, que se alimenta de partículas de roca previamente molidas y que forman un lecho sobre una malla sometida a varios pulsos de agua o aire que expanden y compactan cíclicamente (Concha, 2007), lo que genera que las partículas de



mayor peso específico se depositen en el fondo del lecho y las más livianas salgan mediante un drenaje. Es un proceso similar al de la decantación y facilita la concentración de oro, incluso en el caso del 10.7% que se encuentra libre a lo largo del prospecto (Figura 26).

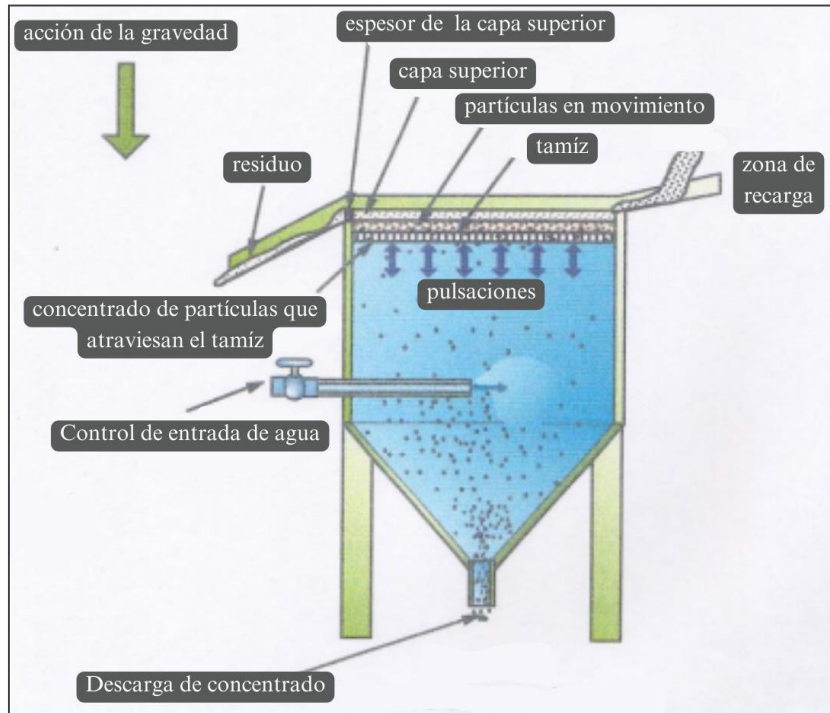


Figura 39. Esquema de pulsador hidráulico Jigs empleado en minería. Tomado y modificado de Concha (2007).

Ahora bien, en el caso de el oro fino, que se encuentra en algunos casos libre y otros incluido en piritita, galena, esfalerita y muy eventualmente en tetraedrita-tennantita (Figura 30), es necesario tratar el mineral con una remolienda muy fina. Se recomienda emplear alrededor de 250 mallas Tyler, que corresponde a un diámetro de partícula de 0.0025'' o aproximadamente 64 μm (Soiltest, 2019) para luego desarrollar el método de flotación espumante (Figura 40). Esta técnica contempla una fase sólida que es la materia mineral, una fase líquida que corresponde a la solución en la cual se realiza la separación y una fase gaseosa de aire inyectado en la pulpa, formando burbujas alrededor de las cuales se adhieren las partículas teniendo en cuenta sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas (Guzmán, 2014). Para el correcto desarrollo de esta técnica se debe



tener en cuenta la densidad del sólido, la densidad del fluido, la disponibilidad de un agente espumante, que generalmente corresponde a aceite de pino que funciona como tensoactivo para generar espuma, y un agente colector que para este caso en particular deben ser sustancias afines al azufre (SGC, 2018).

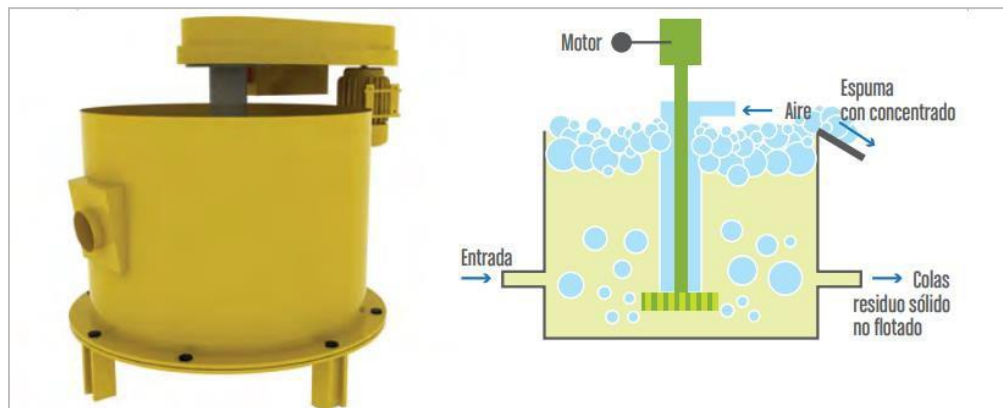


Figura 40. Modelo de celda de flotación espumante y diagrama de funcionamiento. Tomado de SGC (2018).

De esta manera se propone implementar el método de cianuración que consiste en la preparación de una pulpa a la cual se le adiciona cianuro de sodio hasta lograr un equilibrio en el pH (altos valores garantizando una solución alcalina) dejando actuar durante al menos 18 horas para finalmente, empleando dispositivos como filtro tambor, hacer la separación sólido-líquido. Es importante que este proceso se realice de manera tecnicada y controlando el pH de la solución con el fin de prevenir la hidrólisis del cianuro o su descomposición por contacto con el CO_2 del ambiente, ya que esto reduciría significativamente su efectividad. El método que se sugiere emplear es el proceso Merrill Crowe que permite la precipitación espontánea del oro en contacto con el zinc, a razón de que este es más electropositivo y se solubiliza en el fluido dando paso a la separación del oro, teniendo en cuenta que se debe garantizar una condición de vacío que evite la contaminación con oxígeno (SGC, 2018).

Es fundamental instaurar el proceso de cianuración por agitación en la zona del Valle de la



Llorona con el objetivo de aumentar significativamente la recuperación y extraer la mayor cantidad posible del mineral de las colas que en este momento no se aprovecha, sin embargo al requerirse una maquinaria especializada y un control estricto en los procesos se aconseja evaluar la posibilidad de la construcción de una planta de cianuración comunitaria in situ que tenga un aprovechamiento colectivo y que evite la necesidad de transportar el material al casco urbano del municipio de Marmato. Esto abarataría los costos de producción y tendría un beneficio considerable en la comunidad aurífera.

Finalmente, antes de la instauración de esta planta es primordial realizar un diagnóstico de los procesos actuales de las minas artesanales de la zona, que permita cuantificar las pérdidas reales y evaluar el desempeño de los procesos de reducción de tamaño y concentración gravimétrica que se desarrollan hasta la fecha. De igual manera llevar a cabo pruebas de laboratorio, particularmente de molienda, en las que se evalúe el porcentaje de oro liberado a diferentes tamaños de molienda, de flotación y de cianuración variando el número de mallas y teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la morfología de los granos, que en esta recomendación no cobraron especial importancia.



12. CONCLUSIONES

El sector del Target Olympus del Municipio de Marmato, Caldas representa un prospecto mineral conveniente de Au y Ag, teniendo en cuenta que:

La paragénesis mineral del prospecto corresponde en su mayoría a sulfuros de Fe, Zn y Pb con cuarzo, calcita y clorita como material ganga en la cual se generan acumulaciones significativas de oro a bajas profundidades y distribuidas en vetillas que atraviesan la roca con un potencial minero notable.

Se distinguieron al menos tres estados mineralizantes (MT, MI y TM) que se emplazaron a lo largo de la zona generando eventos de alteración hidrotermal cada uno con una manifestación aurífera en diferente proporción y con características texturales diferentes como: diseminados, en texturas de relleno de espacios abiertos (crustificación y brecha de relleno), texturas de exsolución (granular de contacto, moteada, etc.) y de reemplazamiento (en carie, esquelético, etc.) que reflejan un complejo sistema de actividad magmático-hidrotermal sobre el cual la empresa Collective Mining abarca un territorio importante.

En cuanto a la granulometría del prospecto, el comportamiento bimodal de los tamaños de grano de Au en conjunto con su estilo de ocurrencia principalmente incluido, pero con un porcentaje significativo de oro asociado y libre, su asociación mineral a sulfuros de Fe, Zn y Pb, y su morfología redondeada establecen un escenario favorecedor para el tratamiento y liberación de Au, lo que se ve reflejado en rentabilidad económica para el sector. Todo ello mediante la implementación de técnicas sencillas en las cuales se realice un aprovechamiento total de las colas que en este momento se desechan.



13. RECOMENDACIONES

Con el fin de proporcionar una descripción más detallada del target Olympus, se recomienda ratificar los resultados de la mineralogía de la presente investigación mediante análisis geoquímicos en muestras de roca, sedimentos activos y muestras de suelo con el fin de pulir aún más la composición mineral del prospecto, sus alteraciones hidrotermales y los eventos que dieron paso a la acumulación de interés. Además de poder establecer un tenor de oro en el depósito para futuras observaciones.

De la misma manera, se sugiere someter las muestras a análisis de microtermometría de inclusiones fluidas que permita entender a detalle la composición, temperatura, presión, pH, entre otras características de los fluidos mineralizantes en la zona.

En cuanto a la granulometría y la metodología de recuperación aurífera, es de suma importancia llevar a cabo un estudio detallado de las plantas de tratamiento de cada una de las minas analizadas, con el fin de cuantificar el porcentaje real de pérdida durante el proceso de concentración gravimétrica, para de esta manera hacer uso del material desechado actualmente sometiéndolo a pruebas metalúrgicas de chancado y conminución que permitan establecer técnicas minuciosas de optimización de los procesos.



REFERENCIAS

- Alegría, D. R. (2014). Propuesta de mejora para la recuperación aurífera en la zona “La Bella” de la Concesión Bella Rica, ubicada en el Distrito Ponce Enríquez. Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador.
- Allen, R. L. (1996). Atlas of alteration: a field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. A. J. B. Thompson. *Geological association of Canada, Mineral deposits division*.
- Álvarez, J., Arias, A. (1970). Geología del área de Marmato. Ingeominas. *Informe No. 1573, 47*.
- Álvarez, E., González, H. (1978). Geología y geoquímica de la Plancha I-7 (Urrao). Mapa escala 1:100.000. Ingeominas. *1761, 347*.
- Barrero, D., Álvarez, A, J. & Kassem, T. (1969); Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central. Ingeominas. *Boletín de Geología, 17(1-3), 145-173*.
- Bedoya, O. G. (1998). Geology, hydrothermal alteration, paragenetic sequence and fluid inclusion analysis of La Maruja level, Marmato District, Caldas department, Colombia. *Colorado State University. Fort Collins, Colorado*.
- Camus, F. (2003). Geología de los sistemas porfiríticos en los Andes de Chile. *Servicio Nacional de Geología y minería*. Santiago de Chile, Chile.
- Cediel, F. & Cáceres, C. (2000). Mapa Geológico de Colombia. Geotec, Ltd, 3. *Formato digital con leyenda y carta cronoestratigráfica*, Bogotá D.C.
- Cediel, F., Shaw, R. P., Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the northern Andean block. *American Association of Petroleum Geologist (AAPG)*. *79, 815-848*.
- Collective Mining. (2022). Corporate Presentation. *TSXV: CNL. OTCQX: CNLMF*.
- Concha, H. I. (2007). Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un Jig de laboratorio. *Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia*.
- Corbet, G. J. Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralisation. *Soc Econ Geol Spec Pub, 6, 234*.
- Craig, J. R. & Vaughan, D. J., (1981). Ore microscopy and ore petrography – 1st ed. *Mineralogical Society of América. John Wiley and Sons*.
- Echeveste, H., Del Blanco, M. & Bodaño, M. (2014). Atlas de minerales opacos. *Universidad Nacional de la Plata. Argentina*.



Etayo, F., Barrero, D., Lozano, H., Espinosa, A., Gonzales, H., Orgeno, A., Zambrano, F., Duque, H., Vargas, R., Núñez, A., Álvarez, J., Ballesseros, L., Cardozo, G., Forero, H., Galvis, N., Ramírez, C., Sarmiento, L. (1986). Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. *Ingeominas*, 23, 1-174.

Fournier, R. O. (1999). Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Economic Geology*, 94 (8), 1193-1211.

Fuentes, C. E. (1990). Origen tectónico de la cuenca sedimentaria Filadelfia-La Merced. Filadelfia, Caldas, Colombia.

Garcés-Gonzalez, H. (1975). Posibilidades mineras actuales – Minas de Marmato: Informe privado para Cía. *Minera de Marmato*, 30.

Grosse, E. (1926). Estudio Geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia en la parte Occidental de la Cordillera Central de Colombia entre el río Arma y Sacaoyal. *Dietrich Rimer, Berlín*. 361.

Guiral-Vega, J. S., Rincón-Gamero, J. J. & Ordóñez-Carmona, O. (2015). Geología de la porción sur del batolito de Sabanalarga: Implicaciones para la teoría de terrenos al occidente de Colombia. *Boletín de ciencias de la tierra*, 38, 41-48.

Hedenquist, J. W. & Lowenstern, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370(6490), 519-527.

Hemley, J. J. & Jones, W. R. (1964). Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Economic Geology*. 59(4), 538-569.

Ibarra-Bustos, P.D. (2017). Petrografía de los esquistos azules de San José de Albán, Nariño. *Tesis de grados. Universidad de Caldas*. Manizales, Colombia.

Jaramillo, J. S., Cardona, A., Monsalve, G., Valencia, V., León, S. (2019). Petrogenesis of the late Miocene Combia volcanic complex, northwestern Colombian Andes: Tectonic implication of short term and compositionally heterogeneous arc magmatism. *Lithos, an international journal of Petrology, Geochemistry and Mineralogy*. 330-331, 194-210.

Leal, H. L. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. *Doctoral dissertation*. Universidad de Barcelona.

Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic Gold Metallogeny in the Colombian Andes: A tectono-magmatic approach. *Ph.D. thesis. Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, España*, p. 1000.



- Loaiza, D. (2021). Caracterización geoquímica, mineralógica y aspectos genéticos de las mineralizaciones del sistema porfirítico del Proyecto Campana, en el municipio de Pácora-Caldas. *Universidad de Caldas, Manizales, Colombia*.
- Lopez-Rendon, J.E., 1989, Geología, mineralogía, y aspectos genéticos de la Mina Echandía, Distrito Minero de Marmato, Departamento de Caldas, Colombia. I. Niveles La Palma y La Negra: in J. Valdiri-Wagner, ed., *Memorias, V Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga – Colombia, Marzo 14-17 de 1989, Tomo I, pp.561-588*.
- Maya, M., González, H. (1995). Unidades litodémicas de la Ridge Central de Colombia. *Boletín Geológico, Ingeominas, 35(2-3), 43-57*.
- Mccourt, W. J., Aspden, J. A., Brook, M. (1984). New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society, 141(5), 831-845*.
- Mojica, J., Rojas Barbosa, S., Cardona Sánchez, Óscar D., Duarte Hernández, P., Concha, H., Montenegro, W. D., Galindo Aguirre, B., Ramírez Pita, F., Fuentes Torres, S., Ruiz Solano, V., Pérez, V., Cañón Romero, Y., & Marentes Laverde, Y. (2018). Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso del mercurio. Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca). *Servicio Geológico Colombiano*.
- Mora-Páez, H., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., Mencia, D., Fernandez, R. M. S., Diederix, H., Lafemina, P., Cardona-Piedrahita, L., Lizarazo, S., Peláez-Gaviria, J. R., Díaz-Mila, F., Bohórquez-Orozco, O., Giraldo-Londoño, L., Corchuelo-Cuero, Y. (2019). Crustal deformation in the northern Andes – a new GPS velocity field. *Journal of South American Earth Sciences, 89, 76-91*.
- Moreno-Sánchez, M. & Pardo-Trujillo, A. (2003). Stratigraphical and sedimentological constraints on western Colombia: Implications on the evolution of the Caribbean Plate. in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 891–924*.
- Naranjo, A., Horner, J., Jahoda, R., Diamond, L. W., Castro, A., Uribe, A., Weil, J. (2018). La Colosa Au porphyry deposit, Colombia: Mineralization styles, structural controls, and age constraints. *Economy Geology, 113(3), 553-578*.
- Ramdohr, P. (1969). *The ore minerals and their intergrowths. Oxford: Pergamon Press, 1174*.



- Redwood, S. (2021). NI 43-101 TECHNICAL REPORT for the Guayabales Gold Project. Collective Mining Ltd. Caldas, Colombia.
- Restrepo, J. J., Toussaint, J. F. (1988). Terranes and Continental Accretion in the Colombian Andes. *Episodes*. 11(3), 189-193.
- Rodríguez, G. & Arango, M. I. (2013). Formación Barroso: Arco volcánico toleítico y diabasas de San José de Urama: Un prisma acrecionado T-Morb en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *Boletín de ciencias de la tierra*. 33, 17-38.
- Segal, S. & Crosta, S. (2011). Atlas de asociaciones paragenéticas de menas de la República Argentina. *Servicio geológico minero argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales*, 172. Buenos Aires, Argentina.
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso del mercurio. Marmato, Riosucio, Quinchía y Caramanta. Bogotá, Colombia.
- Sillitoe, R. H. (2000). Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *Reviews in Economic Geology*, 13, 315-345.
- Soiltest. (2019). Product Catalogue: Civil & environmental engineering test equipment. *ELE interational. Issue 13*.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry cooper systems. *Economic geology*. 105(1), 3-41.
- Soiltest. (2019). Product Catalogue: Civil & environmental engineering test equipment. *ELE interational. Issue 13*.
- Toro-Toro, L. M., Alvarán-Echeverri, M., Borrero-Peña, C. A. (2008). Rocas con afinidad adakítica al sureste de Manizales: Rasgos petrogenéticos y geoquímicos. *Boletín de Geología*. 302, 49.60.
- Toussaint, J. F. & Restrepo, J. J. (2020). Tectonostratigraphic terranes in Colombia: An Update Second Part: Oceanic Terranes. *The Geology of Colombia*, 2(7), 237-259.
- Toussaint, J. F. (1996). Evolución geológica de Colombia, Cretácico. *Universidad Nacional de Colombia, Medellín*. 142.
- Wagner, L. S., Jaramillo, J. S., Ramírez-Hoyos, L. F., Monsalve, G., Cardona, A., Becker, T. W. (2017), Transient slab flattening beneath Colombia. *Geophysical Research Letters*. 44, 6616-6623.



ANEXOS

a. Tablas de composición mineral

Código de muestra		CM003548
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (µm)	10.2-3000	
Textura general	Porfírica de tamaño medio - grueso de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	16	Prismatico subhedral
Cuarzo	5	Granular
Feldespatos K	1	Microfenocrystal
Biotita	1	Pseudomorfismo a Chl
Alteración		
Sericita	10	Reemplazando plagioclasa
Clorita	4	Reemplazando biotita
Mineralización		
Pirita	16	En carie con Sph
Esfalerita	13	En brecha de relleno
Tenantita	12	Granular de contacto con Py+Sph
Galena	7	Granular xenomórfico
Calcopirita	4	Diseminada
Boulangerita	6	Reemplazo en halo de Gn
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Asociación Tt+Sph+Gn		
No presenta Au libre		
Textura de exsolución en bordes de Tt en Py		
Pirita muy triturada		
Sph variedad acaramelada		

Tabla 2. Composición mineral para muestra CM003548



Código de muestra		CM003549
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (µm)	10.2-3000	
Textura general	Porfirítica de tamaño medio - grueso de anhedral subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	12	Prismático Anhedral
Cuarzo	7	Fenocristal
Feldespato K	1	Microfenocristal
Biotita	1.6	Pseudomorfismo a arcillas
Alteración		
Sericita	5	Reemplazando Pl
Adularia	4	Prismatico subhedral
Cuarzo secundario	11.4	Policristalino
Calcita	9	Vetillas CBM
Covelina	0.8	En bordes de reacción de Cpy
Mineralización		
Oro	6	Diseminado
Pirargirita	2	Incluido en Sph
Argentita	3.1	Diseminado
Electrum	4	Diseminado
Esfalerita	9.2	Esqueletal con Carb
Galena	7	Reemplazada por calcita
Calcopirita	2	Disease con Sph
Boulangerita	1.3	Reemplazo en halo de Gn
Accesorios		
Esfena	0.3	Rómbico ehedral
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Asociación del Au: Bordes de Py; Carb+Py+Gn±Esf Au con mayor contenido de Ag (electrum) Cal reemplazando Gn Freibergita (Boulangerita rica en Ag) Carbonate Base Metal veins (CBM)		

Tabla 3. Composición mineral para muestra CM003549.



Código de muestra		CM003550
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (µm)	2.3-500	
Textura general	Porfírica de tamaño fino - medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	14	Fenocristal prismático subhedral
Cuarzo	5	Fenocristal
Feldespato K	1.5	Microfenocristal
Alteración		
Sericita	8	Reemplazando Pl
Adularia	7	Dentro de Sph
Carbonatos	3.2	Dentro de Sph
Cuarzo secundario	12	Policristalino como reemplazo en veta
Moscovita	4.5	Agregados finos en Ser
Mineralización		
Esfalerita	11	Granular xenomórfico
Tenantita	7	Granular de contacto con Py+Cpy
Galena	9.1	Granular xenomórfico
Calcopirita	3	Disease con Sph y diseminada
Oro	0.7	En borde y diseminado
Accesorios		
Esfena	0.4	Rómbico ehedral
Apatito	0.6	Prismático subhedral
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Textura crustiforme Qzo+Py Asociación Au con Py+Sph+Gn		

Tabla 4. Composición mineral para muestra CM003550



Código de muestra		CM003551
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	100-2000	
Textura general	Porfírica de tamaño medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	10	Prismático subhedral
Cuarzo	3	Granular
Feldespato K	5	Prismatico anhedral
Alteración		
Caolín	12	Reemplazando Pl y FK
Cuarzo secundario	10	En cinta
Moscovita	6	Subhedral con cristal plegado
Illita	8	Reemplazando Pl
Biotita secundaria	7	En cinta
Allunita	6	Reemplazando Pl
Hematita	10	Coloforme y en reemplazamiento
Clorita	7	En bordes de Bt
Pirofilita nose	10	Reemplazando Pl
Mineralización		
Galena	1	En cinta con Py
TOTAL	100	
NOTAS		
Textura de boxwork de Py		

Tabla 5. Composición mineral para muestra CM003551



Código de muestra		CM003552
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	85-3500	
Textura general	Porfírica de tamaño medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	15	Alterada
Cuarzo	2	Diseminada
Feldespato K	2	Prismatico anhedral
Alteración		
Caolín	12	Reemplazando Pl y FK
Moscovita	2	Reemplazando Bt en cristal plegado
Jarosita	4	Reemplazando Pl
Biotita secundaria	8	En vetillas y textura esquelética con Qzo
Yeso	7	En peine
Clorita	2	En bordes de Bt
Cuarzo secundario	15	En peine
Hematita	12	Alteración de Bt
Pirofilita	6	Reemplazando Plag
Mineralización		
Esfalerita	4	Diseminada
Pirita	9	Textura en cinta y diseminada
TOTAL	100	
NOTAS		

Tabla 6. Composición mineral para muestra CM003552



Código de muestra		CM003579
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	70-3000	
Textura general	Porfírica de tamaño medio anhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	14	Alterada a sericita y caolín
Cuarzo	1	Granular
Feldespato K	1	Prismatico anhedral
Alteración		
Cuarzo secundario	13	En peine
Caolín	12	Reemplazando PI y FK
Goethita	6	Reemplazando minerales máficos
Jarosita	10	Reemplazando PI
Biotita secundaria	5	En cinta y esqueletal con Qzo
Moscovita	7	Reemplazando PI
Hematita	14	Coloforme
Sericita	3	Reemplazando PI
Mineralización		
Pirita	10	Textura en cinta y diseminada
Esfalerita	4	Diseminada
TOTAL	100	
NOTAS		
Vetillas tipo A		
Vetillas tipo D		

Tabla 7. Composición mineral para muestra CM003579



Código de muestra		CM003580
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	100-2000	
Textura general	Porfírica de tamaño medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	18	Fenocristal prismático subhedral
Cuarzo	1	Fenocristal
Feldespato K	1	Microfenocristal
Alteración		
Covelina	5	En bordes de reacción de Cpy
Cuarzo secundario	20	En cinta y crustificación
Sericita	12	Alteración de Pl
Mineralización		
Pirita	12	Diseminada y en cinta
Tenantita	5.5	Granular de contacto con Gn
Calcopirita	1	Disease con Sph
Galena	7	Diseminada
Matildita	0.1	Moteada en Gn
Esfalerita	8.4	Diseminada
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Vetillas tipo A y D		

Tabla 8. Composición mineral para muestra CM003580



Código de muestra		OLCC_012@108.5m	
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (μm)	2.5-500		
Textura general	Porfírica de tamaño fino - medio de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	12	Prismático Anhedral	
Cuarzo	5	Granular	
Feldespato K	2	Prismatico subhedral	
Alteración			
Sericita	10	Reemplazando Pl	
Cuarzo secundario	12	Policristalino en crustificación	
Mineralización			
Esfalerita	15.8	Granular xenomórfico	
Tenantita	10	Granular de contacto con Py+Cpy	
Galena	13	En carie con Qzo	
Calcopirita	2	Disease con Sph; Diseminada	
Accesorios			
Apatito	1.2	Prismático subhedral	
TOTAL	100		
NOTAS			
Alteración fílica			
Exsolución Py+Gn+Tet			
Py muy triturada (evento frágil de deformación)			

Tabla 9. Composición mineral para muestra OLCC_012@108.5



Código de muestra		OLCC_004@77.5m
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (µm)	5.3-420	
Textura general	Porfírica de tamaño fino - medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	12	Prismático Subhedral
Cuarzo	3	Granular
Feldespato K	1	Microfenocristal
Hornblenda	2.5	Pseudomorfismo a Ep
Alteración		
Sericita	4.5	Reemplazando Pl
Biotita secundaria	4.5	Textura esquelética
Goethita	7	Reemplazando minerales máficos
Epidota	3	Reemplazando Hb
Hematita	10	Coloforme rodeando Py
Caolín	9	Reemplazando Pl
Cuarzo secundario	13	Policristalino y en crustificación
Mineralización		
Pirita	6	Diseminada subhedral
Tennantita	7.5	Textura esquelética
Calcopirita	1.8	Brecha de relleno
Galena	3.1	Dentro de Py
Oro	0.1	Diseminado e incluido en Hem
TOTAL	100	
NOTAS		
Py muy triturada (evento frágil de deformación) Textura esquelética de Hem en Py Bordes de reacción en Py		

Tabla 10. Composición mineral para muestra OLCC_004@77.5m



Código de muestra		CM003553
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	2.3-500	
Textura general	Porfírica de tamaño fino - medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	13	Prismático subhedral
Cuarzo	7	Granular
Feldespato K	2	Microfenocristal
Alteración		
Cuarzo secundario	13	Policristalino en cinta
Clorita	7	Reemplazamiento de micas
Moscovita	4	Reemplazando Pl
Epidota	2	Reemplazamiento de minerales máficos
Sericita	7	Reemplazando Pl
Covelina	2	Reemplazando Cpy
Mineralización		
Pirita	9	Diseminada
Esfalerita	7	Textura en cinta y coronítica con Cpy
Calcopirita	6	Brecha de relleno; Disease con Sph
Altaita	3	Diseminado
Tetraedrita-tenantita	3	Granular de contacto con Gn
Galena	7	Textura en cinta y en atolón
Oro	0.5	Diseminado
Accesorios		
Zircón	0.5	Rómbico subhedral
Turmalina	0.3	Prismático alargado
Apatito	0.7	Incluido en Py
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Textura brechoide en la roca		
Vetilla polimetálica: Py+Sph+Gn+Cpy		

Tabla 11. Composición mineral para muestra CM003553



Código de muestra			CM003554
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (µm)	50-6000		
Textura general	Porfírica de tamaño medio a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	12	Prismatico subhedral	
Cuarzo	4.2	Granular	
Feldespatos K	1	Microfenocristal	
Alteración			
Cuarzo secundario	13	Cuarzo policristalino y en peine	
Adularia	6.8	Alteración	
Clorita	4	Alteración de Bt	
Jamesonita	2	Alteración de Gn	
Sericita	8	Alteración de Pl	
Mineralización			
Esfalerita	10	Estrellas de Sph	
Calcopirita	7	Diseminada	
Galena	10.5	Granular de contacto con Tt	
Oro	0.1	Diseminado	
Tenantita	6	Granular de contacto con Gn+Sph	
TOTAL	100		
NOTAS			

Tabla 12. Composición mineral para muestra CM003554



Código de muestra		CM003555
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	oct-00	
Textura general	Porfírica de tamaño medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	12	Prismatico subhedral
Cuarzo	5	Granular
Feldespato K	2	Microfenocristal
Alteración		
Cuarzo secundario	13	Policristalino y en peine
Hematita	3	En bordes de reacción
Clorita	4.5	Reemplazando Bt
Marcasita	1	Alteración de Py arseniosa
Sericita	7.5	Reemplazando plagioclasa
Mineralización		
Pirita	9.5	Diseminada
Pirargirita	1.5	Exsolución con Gn
Tenantita	8	Exsolución con Gn
Esfalerita	10	Moteada de Py en Sph
Calcopirita	2.5	Disease con Sph
Galena	8.5	Diseminada
Oro	2	Diseminado
Accesorios		
Zircón	0.5	Rómbico subhedral
Rutilo	0.2	Agujas de Rutilo
Turmalina	0.8	Prismático alargado
TOTAL	100	
NOTAS		
Alteración fílica		
Tetraedrita-tenantita en varieda Freibergita (Rica en Ag)		

Tabla 13. Composición mineral para muestra CM003555



Código de muestra			CM003556
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (µm)	15.2-4000		
Textura general	Porfírica de tamaño medio a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	16.7	Prismatico subhedral	
Cuarzo	4	Granular	
Feldespatos K	2	Microfenocristal	
Hornblenda	1	Prismático subhedral a anhedral	
Alteración			
Cuarzo secundario	16	Policristalino y en diente de perro	
Jarosita	1.5	Alteración de Py	
Clorita	6	Reemplazando Bt	
Sericita	10	Reemplazando Pl	
Mineralización			
Pirita	12	Diseminada	
Esfalerita	11	Exsolución con Gn+Py	
Calcopirita	2	Diseminada con Sph	
Tennantita	5	Exsolución con Gn	
Galena	10	Diseminada	
Oro	0.8	Diseminado	
TOTAL	100		
NOTAS			
Alteración fílica			
Vetillas de Py			

Tabla 14. Composición mineral para muestra CM003556



Código de muestra			CM003557
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (μm)	11.8-5200		
Textura general	Porfírica de tamaño medio a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	12	Anhedral alterado a sericita	
Cuarzo	1	Granular	
Feldespato K	1	Prismatico anhedral	
Biotita	1.5	Pseudomorfismo a Chl	
Alteración			
Cuarzo secundario	28.5	Policristalino en cinta	
Moscovita	4	Dentro de sericita	
Clorita	6	Reemplazando Bt	
Sericita	16	Reemplazando Pl	
Mineralización			
Pirita	20	En cinta	
Esfalerita	7	En cinta	
Galena	3	Diseminada	
TOTAL	100		
NOTAS			
Py muy fracturada Vetillas tipo Cuarzo + Pirita			

Tabla 15. Composición mineral para muestra CM003557



Código de muestra			CM003558
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (μm)	30.2-5400		
Textura general	Porfírica de tamaño medio a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	12	Prismático subhedral	
Cuarzo	1	Diseminado	
Feldespato K	1	Diseminado	
Anfibol	2	Tabular anhedral	
Biotita	2	Laminar subhedral	
Alteración			
Cuarzo secundario	12	Policristalino y diente de perro	
Clorita	2	Alteración de Bt	
Sericita	5	Alteración de Plag	
Hematita	8	Coloforme	
Caolín	4	Alteración de Plag	
Moscovita	1	Alteración sericítica	
Covelina	0.6	Alteración de Cpy	
Mineralización			
Pirita	3	Diseminada	
Esfalerita	10	Diseminada	
Bournonita	2	En borde de Gn	
Tenantita	7	Exsolución Tt y Sph	
Calcopirita	5	Disease con Sph	
Oro	0.2	En cristal de Py	
Galena	9.5	Diseminado	
TOTAL	100		
NOTAS			
Alteración fílica			
Vetillas de Qzo+Py+Sph			

Tabla 16. Composición mineral para muestra CM003558



Código de muestra			CM003559
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (µm)	6.4-8600		
Textura general	Porfirítica de tamaño fino a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	13	Prismático subhedral	
Cuarzo	2	Diseminado	
Feldespato K	1	Diseminado	
Biotita	1	Laminar subhedral	
Alteración			
Cuarzo secundario	12	Policristalino y diente de perro	
Clorita	3	Alteración de Bt	
Sericita	8	Alteración de Pl	
Moscovita	4	Alteración	
Yeso	4.5	Incluido y asociado a Qzo	
Covelina	0.5	Alteración de Cpy	
Mineralización			
Pirita	12	Textura en carie	
Esfalerita	8	Reemplazamiento de Py	
Tenantita	8	Exsolución Frb y Gn	
Bournonita	2	En borde de Gn	
Calcopirita	6.2	Disease con Sph	
Oro	0.2	En cristal de Py	
Galena	8.1	Dentro de Py	
Accesorios			
Esfena	0.1	Incluido en Py	
Apatito	1.5	Prismático ehedral	
Zircón	0.3	Rómbico subhedral incluido en Py	
TOTAL	100		
NOTAS			
Alteración fílica			

Tabla 17. Composición mineral para muestra CM003559



Código de muestra		CM003560
Tipo de roca	Ígnea	
Textura general	Holocristalina	
Tamaño de grano (μm)	2.5 - 4700	
Textura general	Porfírica de tamaño medio de anhedral a subhedral	
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito
Litología		
Plagioclasa	8	Prismática subhedral
Cuarzo	2	Granular
Feldespato K	1	No distingible
Alteración		
Cuarzo secundario	10	Policristalino
Calcita	28.2	Relleno de espacios abiertos
Sericita	7	Alteración de Plag
Covelina	0.6	Alteración de Cpy
Mineralización		
Pirita	13	Diseminada
Esfalerita	10	Diseminada
Tetraedrita	8	Exsolución Tt+Sph
Calcopirita	4	Disease con Sph
Oro	0.2	Incluido y diseminado
Galena	8	Diseminada
TOTAL	100	
NOTAS		
Carbonate Base Metal veins (CBM)		

Tabla 18. Composición mineral para muestra CM003560



Código de muestra		CM003561	
Tipo de roca	Ígnea		
Textura general	Holocristalina		
Tamaño de grano (µm)	17.3-4950		
Textura general	Porfírica de tamaño medio a grueso de anhedral a subhedral		
Composición mineral	Porcentaje (%)	Textura / Hábito	
Litología			
Plagioclasa	16	Tabular subhedral	
Cuarzo	2	Granular	
Feldespato K	2	Prismatico anhedral	
Alteración			
Cuarzo secundario	14	Relleno de espacios abiertos	
Caolín	3	Reemplazamiento de Pl	
Sericita	13	Reemplazamiento de Pl	
Moscovita	8	Reemplazamiento	
Mineralización			
Esfalerita	11	Exsolución Gn, Esf, Py	
Tenantita	11.5	Exsolución Tet, Gn	
Calcopirita	1	Enfermedad de la Cpy	
Oro	0.5	Diseminado	
Galena	5.5	Exsolución Gn, Esf, Py	
TOTAL	100		
NOTAS			
Au asociado a Py + Sph			

Tabla 19. Composición mineral para muestra CM003561



b. Tablas de granulometría de Oro

Código de muestra CM003549									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	19.1	11	Subangular	Asociado a Sph	56	377.1	107.7	Angular	Incluido en Py
2	28.4	6.6	Subredondeado	Libre	57	119.6	83.6	Redondeado	Incluido en Py
3	26.7	11.6	Subredondeado	Libre	58	126	22.7	Angular	Incluido en Py
4	17.8	9.2	Subredondeado	Libre	59	66.4	46.6	Redondeado	Incluido en Py
5	39.6	12.2	Subangular	Libre	60	118.2	50.1	Angular	Incluido en Py
6	120.1	81.1	Subredondeado	Libre	61	111.2	28.6	Angular	Incluido en Py
7	445.2	154.6	Subredondeado	Libre	62	327.4	283.4	Muy redondeado	Asociado a Gn+Sph
8	215.8	45	Redondeado	Asociado a El+Sph	63	73.3	72.1	Muy redondeado	Asociado a Gn+Sph
9	126.8	89.3	Subredondeado	Asociado a El	64	383.1	85.9	Muy angular	Asociado a Py+Gn+Sph
10	352.7	111.4	Redondeado	Asociado a El	65	185.1	109.8	Angular	Asociado a Py+Gn+Sph
11	33.9	32.2	Muy redondeado	Incluido en El	66	85.8	54.5	Redondeado	Incluido en Gn
12	197.8	143.3	Redondeado	Asociado a El	67	83.4	63.7	Redondeado	Incluido en Gn
13	224.1	185.6	Subredondeado	Asociado a El	68	74.3	32.7	Redondeado	Incluido en Py
14	347.6	116.4	Redondeado	Asociado a El+Sph+Py	69	60.7	38.3	Subredondeado	Incluido en Py
15	554.3	125.1	Subredondeado	Asociado a El+Sph	70	55.2	36.8	Subredondeado	Incluido en Py
16	126.1	107.8	Redondeado	Libre	71	310.2	233.5	Subangular	Incluido en Gn
17	249.7	101.2	Redondeado	Asociado a El+Sph	72	275.3	196.1	Subangular	Incluido en Py
18	378	586	Redondeado	Asociado a Sph	73	389.8	263.8	Subredondeado	Libre
19	129	58	Subredondeado	Asociado a Sph	74	325.7	305	Redondeado	Incluido en Py
20	167	40.5	Subredondeado	Asociado a Sph	75	23.4	11.7	Subredondeado	Incluido en Gn
21	144.1	42.1	Subangular	Asociado a Sph	76	103.8	52.7	Subredondeado	Asociado a Gn+Sph
22	294.2	131.9	Subredondeado	Asociado a Gn+Py	77	356.6	72.3	Redondeado	Asociado a Gn+Sph
23	49.4	38.8	Subredondeado	Incluido en Sph	78	135.7	80.6	Redondeado	Asociado a Gn+Sph
24	41.9	22.1	Subredondeado	Incluido en Sph	79	179.4	139.1	Redondeado	Asociado a Gn+Sph
25	226.3	199	Subangular	Asociado a Sph	80	187.2	66.1	Angular	Asociado a Gn+Sph
26	213.2	165	Redondeado	Asociado a Gn	81	327.5	147.5	Subredondeado	Asociado a Gn+Sph
27	484.1	385.3	Redondeado	Asociado a Gn	82	219.2	101.7	Redondeado	Asociado a Gn+Sph
28	213.3	125	Redondeado	Asociado a Sph	83	185.7	441.7	Redondeado	Asociado a El
29	288.5	123.1	Subangular	Asociado a Sph	84	267.5	179.7	Redondeado	Asociado a El
30	353.5	206.2	Angular	Asociado a Gn+Qzo+Sph	85	169.8	109.3	Subangular	Asociado a Gn+Py+Sph
31	187.1	39.2	Subangular	Asociado a Gn+Sph	86	611.7	224.3	Subangular	Asociado a Py
32	32.4	10.8	Subangular	Asociado a Py+Sph	87	350.3	183.7	Redondeado	Asociado a Py
33	136.9	47.1	Subredondeado	Incluido en Sph	88	234.7	230	Redondeado	Libre
34	51.4	12.5	Redondeado	Incluido en Sph	89	117.9	22.9	Subangular	Libre
35	20.7	11.4	Subangular	Asociado a Py+Sph	90	57.9	51.3	Muy redondeado	Incluido en Py
36	120.8	27	Angular	Asociado a Py+Sph	91	251.6	208.1	Subangular	Asociado a Py
37	11.5	8.6	Subangular	Asociado a Py+Sph	92	161.8	128.5	Angular	Asociado a Py
38	507.2	156	Subangular	Asociado a Py+Gn	93	120.6	100.4	Muy redondeado	Incluido en Sph
39	80.5	55.1	Subredondeado	Libre	94	222.3	200.4	Redondeado	Asociado a Py+Gn
40	83.3	75.9	Subredondeado	Incluido en Py	95	151.5	79.2	Subredondeado	Asociado a Py+Gn
41	41.1	20.3	Subredondeado	Incluido en Py	96	624.3	163.5	Angular	Libre
42	53.9	12.3	Subredondeado	Incluido en Py	97	398.1	335.1	Redondeado	Libre
43	280	228.7	Angular	Incluido en Py	98	380.3	249.3	Subangular	Asociado a Py+Gn
44	229.6	152.2	Subangular	Libre	99	211.6	137.9	Angular	Incluido en Py
45	297.9	163.8	Muy redondeado	Libre	100	57	40.4	Subangular	Asociado a Sph
46	373.7	110.4	Subangular	Asociado a El	101	243	52.3	Subangular	Asociado a Sph



47	222.4	200.5	Redondeado	Asociado a Py+Gn	102	315.2	100.8	Subredondeado	Asociado a Gn+Py
48	151.4	79.1	Subredondeado	Asociado a Py+Gn	103	377	107.6	Angular	Incluido en Py
49	624.2	163.2	Subangular	Libre	104	187	83.9	Redondeado	Incluido en Gn
50	398	335	Redondeado	Libre	105	200	22.6	Angular	Incluido en Gn
51	380.2	249.2	Subangular	Asociado a Py+Gn	106	29	14.7	Subangular	Libre
52	211.5	137.8	Angular	Incluido en Py	107	62.3	48.3	Redondeado	Asociado a Gn+Sph
53	150.8	40.3	Subangular	Asociado a Sph	108	112.9	64.2	Subangular	Asociado a Gn+Sph
54	244	52.2	Subangular	Asociado a Sph	109	263.4	93	Subredondeado	Asociado a Py+Gn
55	315.3	100.5	Subredondeado	Asociado a Gn+Py	110	423	192.2	Angular	Asociado a Gn

Tabla 20. Granulometría de oro para muestra CM003549

Código de muestra CM003550									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	99.1	98.9	Muy redondeado	Asociado Py+Gn	18	120.2	46.4	Angular	Asociado Qzo+Py+Sph
2	96.2	34.2	Subredondeado	Asociado Py+Gn	19	36.7	31.2	Subangular	Libre
3	50.5	18.6	Angular	Incluido en Py	20	12	13.1	Muy redondeado	Libre
4	18.1	15	Muy redondeado	Incluido en Py	21	106.1	68	Subredondeado	Asociado Qzo+Py+Sph
5	24.8	12.4	Redondeado	Incluido en Py	22	25.6	44.6	Redondeado	Incluido en Py
6	12.1	10.4	Muy redondeado	Incluido en Gn	23	30.2	38.8	Redondeado	Incluido en Py
7	19.5	18.5	Muy redondeado	Incluido en Sph	24	18.9	5	Subangular	Incluido en Py
8	68.7	10.5	Subredondeado	Asociado Py+Sph	25	9.2	7.1	Subangular	Incluido en Py
9	51.2	26.7	Redondeado	Asociado Py+Sph	26	41.2	26.1	Muy redondeado	Incluido en Py
10	60.2	19.7	Angular	Incluido en Py	27	73.3	30.8	Redondeado	Asociado Py+Sph
11	30	21.7	Muy redondeado	Incluido en Py	28	81	34.3	Muy redondeado	Asociado Py+Sph
12	133.5	71	Subangular	Asociado a Py+Sph	29	28.5	17.9	Muy redondeado	Incluido en Py
13	45.9	29.8	Redondeado	Incluido en Py	30	43.3	25.5	Redondeado	Incluido en Py
14	110.9	57.9	Redondeado	Asociado Qzo+Py+Sph	31	6.6	4.6	Muy redondeado	Incluido en Py
15	71.3	45.8	Subredondeado	Asociado a Py+Qzo	32	5.3	4.9	Muy redondeado	Incluido en Py
16	67.9	65	Redondeado	Incluido en Py	33	48.3	23.8	Angular	Asociado Qzo+Py+Gn
17	86.2	22	Angular	Incluido en Sph					

Tabla 21. Granulometría de oro para muestra CM003550

Código de muestra OLCC_004@77.5m				
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	94.88	35.9	Subangular	Incluido en Hem
2	36.8	29.7	Muy redondeado	Incluido en Hem
3	5	4.2	Muy redondeado	Libre

Tabla 22. Granulometría de oro para muestra OLCC_004@77.5m



Código de muestra CM003553									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	75.1	26.8	Angular	Libre	19	7.2	6.1	Subredondeado	Asociado Py+Gn
2	33.4	10.2	Angular	Libre	20	25.1	19.9	Subredondeado	Libre
3	55.8	20.2	Angular	Libre	21	9.1	5.5	Redondeado	Libre
4	43.2	23	Subangular	Incluido Py	22	8.5	4.6	Redondeado	Libre
5	48.1	6.5	Subangular	Incluido Py	23	15.6	6.6	Subangular	Libre
6	14.6	5.7	Angular	Asociado Py+Cpy	24	11.5	4	Redondeado	Libre
7	177.9	43.6	Subredondeado	Asociado Py+Cpy	25	28.5	11.2	Subredondeado	Incluido Py
8	18.1	10.3	Redondeado	Asociado Py+Gn	26	18.8	14.5	Angular	Incluido Py
9	80.2	8.3	Angular	Asociado a Qzo+Py+Cpy	27	13.4	3.4	Angular	Asociado Py
10	42.3	4.2	Angular	Asociado Py+Cpy	28	18.6	11	Angular	Asociado Py
11	39	23.5	Subangular	Incluido Py	29	6.7	5.1	Angular	Asociado Py
12	20.1	11.6	Redondeado	Libre	30	6	2.2	Angular	Asociado Py
13	64.1	7.1	Angular	Asociado Cpy	31	53.3	7.4	Subangular	Incluido Py
14	23.2	18.2	Subangular	Libre	32	16	5.3	Subangular	Asociado Py
15	44.8	13.2	Angular	Libre	33	53.4	19.8	Angular	Asociado Py+Sph
16	296	223.3	Angular	Libre	34	43.9	4.7	Angular	Asociado Py+Gn+Cpy
17	99.6	16.4	Angular	Asociado Py+Gn	35	12.4	5.6	Angular	Asociado Py+Cpy
18	13.1	9.5	Muy redondeado	Incluido Gn					

Tabla 23. Granulometría de oro para muestra CM003553

Código de muestra CM003554				
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	64.4	39.1	Redondeado	Incluido Py
2	6.2	5.1	Muy redondeado	Incluido Py
3	20.8	17.7	Angular	Incluido Py
4	57.5	14.1	Subangular	Incluido Py
5	6.8	5	Muy redondeado	Incluido Py
6	9.2	7.8	Muy redondeado	Incluido Py
7	8.1	7.4	Muy redondeado	Incluido Py
8	23	10.8	Muy redondeado	Incluido Py
9	12.5	9.9	Muy redondeado	Incluido Py
10	14.2	7.3	Muy redondeado	Incluido Py
11	4.6	3.1	Muy redondeado	Incluido Py
12	15	8.3	Redondeado	Incluido Py
13	30	20.9	Subredondeado	Incluido Py
14	4.7	3.3	Redondeado	Incluido Py

Tabla 24. Granulometría de oro para muestra CM003554



Código de muestra CM003555									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	29	25.5	Muy redondeado	Incluido Py	21	32.7	25.2	Redondeado	Incluido Py
2	6.8	7.6	Muy redondeado	Incluido Py	22	336.2	84.5	Angular	Asociado Py+Sph
3	32.2	13.7	Angular	Incluido Py	23	163.4	15.4	Angular	Incluido Py
4	36.4	17.3	Redondeado	Incluido Py	24	133.5	25	Angular	Incluido Py
5	25.1	20.5	Subangular	Asociado Sph+Gn	25	264.8	134.3	Subangular	Asociado Py+Sph
6	103.3	30.3	Subangular	Incluido Py	26	447.9	377.4	Angular	Asociado Py
7	8.3	13.8	Redondeado	Incluido Py	27	97.7	41.1	Subangular	Asociado Py+Sph
8	36.8	24.4	Muy redondeado	Incluido Py	28	102	44.8	Subredondeado	Asociado Py+Sph
9	43.7	26.3	Subangular	Incluido Py	29	41	24.9	Subredondeado	Asociado Py+Sph
10	19.4	6.9	Subangular	Asociado Py+Sph	30	36.7	17.5	Redondeado	Asociado Py+Sph
11	7.9	3.8	Angular	Asociado Py+Sph	31	36.9	25.6	Subredondeado	Incluido Py
12	270.4	74.9	Angular	Asociado Py+Sph	32	21.2	18.3	Angular	Asociado Sph
13	524.8	98.5	Angular	Asociado Py	33	6.5	2.5	Redondeado	Incluido Py
14	91.5	33.9	Angular	Asociado Py	34	1.6	2	Redondeado	Incluido Py
15	31.7	15.5	Subangular	Incluido Py	35	35.9	23.5	Subredondeado	Incluido Py
16	56.6	22.6	Subangular	Incluido Py	36	11.5	7.5	Subredondeado	Incluido Py
17	31.9	14.2	Subredondeado	Incluido Py	37	6.1	3.3	Redondeado	Incluido Py
18	50	19.9	Subangular	Incluido Py	38	5.1	4.1	Redondeado	Incluido Py
19	35.5	32.9	Redondeado	Incluido Py	39	7.4	3.6	Subredondeado	Incluido Py
20	26.7	24.8	Redondeado	Incluido Py					

Tabla 25. Granulometría de oro para muestra CM003555

Código de muestra CM003559				
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	11.4	9.6	Subredondeado	Incluido Py
2	25.9	21.5	Redondeado	Incluido Sph
3	18	10.8	Subangular	Incluido Py

Tabla 26. Granulometría de oro para muestra CM003559



Código de muestra CM003560									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	5.8	3.5	Redondeado	Incluido Py	39	10.7	5.92	Subangular	Incluido Py
2	14.3	5.65	Subredondeado	Incluido Py	40	26	7.5	Subangular	Incluido Py
3	4.11	3.7	Redondeado	Incluido Py	41	29.4	14.5	Angular	Incluido Py
4	19	11	Subredondeado	Incluido Py	42	37.1	15.6	Angular	Incluido Py
5	4.12	3.31	Redondeado	Incluido Py	43	7	4.81	Redondeado	Incluido Py
6	2.51	2.01	Redondeado	Incluido Py	44	2.9	2.05	Redondeado	Incluido Py
7	3.41	3.01	Redondeado	Incluido Py	45	7.7	5.01	Subredondeado	Incluido Py
8	3.81	2.31	Redondeado	Incluido Py	46	6.71	3.62	Subredondeado	Incluido Py
9	5.1	3.29	Subredondeado	Incluido Py	47	4.91	4.09	Redondeado	Incluido Py
10	7.21	2.81	Subredondeado	Incluido Py	48	8.4	4.9	Subredondeado	Incluido Py
11	4.5	2.02	Redondeado	Incluido Py	49	2.5	1.8	Redondeado	Incluido Py
12	3.82	2.4	Redondeado	Incluido Py	50	2.06	1.5	Redondeado	Incluido Py
13	4.32	3.42	Redondeado	Incluido Py	51	13.8	5.9	Subangular	Incluido Py
14	5.91	5.2	Redondeado	Incluido Py	52	3.83	3.2	Redondeado	Incluido Py
15	2.91	2.2	Redondeado	Incluido Py	53	18.3	7.1	Subangular	Incluido Py
16	2.82	2.03	Redondeado	Incluido Py	54	4.401	3.64	Redondeado	Incluido Py
17	13.6	12.11	Subredondeado	Incluido Py	55	10.5	7.6	Subangular	Incluido Py
18	4.71	3.61	Redondeado	Incluido Py	56	8.9	4.1	Angular	Incluido Py
19	8.81	3.4	Subangular	Incluido Py	57	22.5	11.8	Angular	Incluido Py
20	15.4	7.8	Subredondeado	Incluido Py	58	3.1	2.6	Redondeado	Incluido Py
21	22.51	14.1	Subangular	Asociado Py+Sph	59	6.1	2.07	Subangular	Asociado Py+Sph
22	7.41	5.7	Redondeado	Incluido Py	60	6	4.2	Subangular	Asociado Py+Sph
23	7.2	5.61	Redondeado	Incluido Py	61	4.75	1.6	Angular	Asociado Py+Sph
24	9.5	3	Subangular	Incluido Py	62	5.5	3.6	Subredondeado	Asociado Py+Sph
25	13.11	7.42	Redondeado	Incluido Py	63	4.85	2.7	Subredondeado	Incluido Gn
26	10.71	6.4	Subredondeado	Incluido Py	64	33.2	18.2	Subredondeado	Incluido Py
27	13.12	7.4	Subredondeado	Incluido Py	65	42.4	14.2	Angular	Incluido Py
28	4	3.21	Redondeado	Incluido Py	66	14.6	5	Angular	Incluido Py
29	18	15.2	Muy redondeado	Incluido Py	67	13.1	4.8	Subangular	Incluido Py
30	8.8	4.3	Subredondeado	Incluido Gn	68	2.09	2	Muy redondeado	Incluido Py
31	3.32	1.1	Redondeado	Incluido Py	69	17.5	29.7	Redondeado	Incluido Py
32	3.22	1.81	Redondeado	Incluido Py	70	12.1	4.7	Subredondeado	Incluido Py
33	34.9	6.8	Subangular	Incluido Py	71	6.7	3.8	Redondeado	Incluido Py
34	2.8	2.1	Redondeado	Incluido Py	72	11.2	5.3	Subangular	Incluido Py
35	3.23	2.52	Redondeado	Incluido Py	73	3.3	2.3	Muy redondeado	Incluido Py
36	70	15.3	Angular	Incluido Py	74	4.6	4.4	Muy redondeado	Incluido Py
37	19.8	13.7	Angular	Incluido Py	75	19.1	6.3	Subredondeado	Incluido Py
38	5.6	2.04	Redondeado	Incluido Py					

Tabla 27. Granulometría de oro para muestra CM003560



Código de muestra CM003561									
No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia	No	Máx. L(μm)	Mín. L(μm)	Forma	Ocurrencia
1	94.4	28.4	Subredondeado	Incluido Py	23	6.1	5	Redondeado	Incluido Py
2	15.3	11.7	Subangular	Incluido Tt	24	22.1	13.5	Subredondeado	Incluido Py
3	15.1	10.7	Subangular	Incluido Tt	25	26.2	13.3	Subredondeado	Incluido Py
4	341.8	191	Angular	Asociado Py+Sph	26	22	10.31	Redondeado	Incluido Py
5	24	14.2	Redondeado	Incluido Py	27	24.8	12.8	Subredondeado	Incluido Py
6	47	19.2	Subredondeado	Incluido Py	28	73	21	Redondeado	Incluido Py
7	12.1	6.5	Subredondeado	Incluido Py	29	20.8	17.6	Redondeado	Incluido Py
8	17.51	8.11	Subredondeado	Incluido Py	30	7.1	5.4	Redondeado	Incluido Py
9	17.7	14.01	Muy redondeado	Incluido Py	31	39.1	17.8	Redondeado	Incluido Py
10	8.9	4.51	Redondeado	Incluido Py	32	13.9	10.6	Redondeado	Incluido Py
11	10.2	4.1	Redondeado	Incluido Py	33	25	18.1	Subredondeado	Incluido Py
12	8.2	7.3	Redondeado	Incluido Py	34	55.3	45.8	Subangular	Incluido Py
13	10.5	8.5	Muy redondeado	Incluido Py	35	23.4	13.4	Redondeado	Incluido Py
14	38.7	20.6	Redondeado	Incluido Py	36	22.5	10.3	Subredondeado	Incluido Py
15	5.82	5.6	Muy redondeado	Incluido Tt	37	17.5	13.1	Redondeado	Incluido Py
16	12.2	5.8	Redondeado	Incluido Tt	38	14.8	11.5	Redondeado	Incluido Py
17	7.5	6	Redondeado	Incluido Py	39	9.6	8.1	Redondeado	Incluido Py
18	11.4	4.7	Subredondeado	Incluido Py	40	14.51	14	Muy redondeado	Incluido Py
19	25.2	9.61	Subangular	Incluido Py	41	16	14.5	Subangular	Libre
20	12.7	8.12	Redondeado	Incluido Py	42	4.5	3	Redondeado	Libre
21	15.7	9.1	Subangular	Incluido Gn	43	36.1	16.8	Subredondeado	Incluido Py
22	79.8	29.2	Redondeado	Incluido Py	44	16.7	5.5	Subangular	Incluido Py

Tabla 28. Granulometría de oro para muestra CM003561



c. Texturas de mineralización

TEXTURAS DE MINERALIZACIÓN					
Mineral	Hábito	Exsolución o exmezcla	Espacios abiertos	Reemplazamiento	Deformación
Pirita	Diseminada	Seriada en Sph	Brecha de relleno	En carie con Sph	Ciza
	Cúbico	Granular de contacto con Gn	En cinta	En carie con Qzo	Zonación
	Porfirítico	Granular de contacto con Sph	Boxwork (?)	Esqueletal con Sph	Kinking
	Agregado subhedral a ehedral		Crustificación Qzo+Bt	Esqueletal con Qzo Centrífugo por Qzo Pseudomorfismo a Mrc	
Cuarzo	Prismático		En peine	En carie con Py	
	Subhedral a ehedral		En cinta	Reemplazo en veta	
	Porfirítico		Crustificación Bt Crustificación Py	Centrífugo de Hem	
Esfalerita	Granular	Granular de contacto con Gn+Py	Brecha de relleno	Esqueletal con Carb	Ciza
	Diseminada Anhedral a subhedral	Granular de contacto con Tt	En cinta	Coronítica con Cpy	
Galena	Granular	Granular de contacto con Tt	Brecha de relleno	En carie con Qzo	Kinking
	Diseminada	Granular de contacto con Py	En cinta	Reemplazamiento por Carb	
	Anhedral a subhedral	Moteada en Sph Moteada en Carb (?)		Esqueletal con Qzo Centrífugo por Qzo	
Tetraedrita - tenantita	Cúbico	Granular de contacto con Sph		Esqueletal con Hem	
	Anhedral	Granular de contacto con Py+Cpy En halo con Py			
Calcopirita	Granular		Brecha de relleno	Disease en Sph	
	Diseminada Subhedral a anhedral			En borde de Gn (?)	
Hematita	Masivo y coloforme			Esqueletal	
	Anhedral			Centrífugo por Qzo Zonal de Bt En carie con Py Centrípeto de Py	
Carbonatos	Agregados subhedrales		Brecha de relleno	Reemplazando Gn	



			En cinta		
Safflorita	Star-shaped Subhedral a ehedral				
	Anhedral				
Covelina	Masivo Anhedral			En borde de Cpy	
Boulangerita	Masivo Anhedral			En halo con Gn	
Pirargirita	Masivo Anhedral			Incluido en Sph	
Matildita	Granular Subhedral	Moteada en Gn			
Oro	Granular subhedral Diseminado				
Argentita	Masivo subhedral Diseminado				
Electrum	Granular subhedral Diseminado				
Altaita	Masivo anhedral Diseminado				
Vetillas	Tipo A: Qzo (60-90%) equigranular; cortadas por Tipo D; Muy sinuosas; En algunos casos con Cpy Tipo D: Py±Cpy; Halo de alteración fílica; Rectilíneas regulares De Calcita+Py+Gn+Sph				

Tabla 29. Consolidado de texturas de mineralización y hábito para cada mineral