



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Caracterización mineralógica y química orientada a geometalurgia de los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada – Departamento de Nariño (Colombia)

Lina María Tabares Ocampo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias
Bogotá, Colombia
2020

Caracterización mineralógica y química orientada a geometalurgia de los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada – Departamento de Nariño (Colombia)

Lina María Tabares Ocampo

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Ciencias – Geología

Director

Geólogo MSc. Juan Carlos Molano Mendoza

Codirector

Ingeniero Químico MSc. Jorge Iván Londoño Escobar

Línea de Investigación:

Caracterización Tecnológica de Minerales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias

Bogotá, Colombia

2020

A mi familia por regalarme su tiempo

Agradecimientos

Son muchas las personas a las que quiero agradecer por contribuir a la realización de este trabajo, especialmente a los profesores Juan Carlos Molano Mendoza y Jorge Iván Londoño Escobar, por el apoyo, guía y las recomendaciones recibidas durante todas las etapas de su desarrollo.

Al Servicio Geológico Colombiano regional Cali por las secciones delegadas pulidas facilitadas para realizar este trabajo y la participación en algunas de las actividades de campo del proyecto *Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio del oro sin el uso de mercurio en La Llanada y Andes Sotomayor* (Nariño).

A los geólogos Andrés Ignacio Rodríguez Vargas por facilitarme las secciones delgadas pulidas de la Mina La Golondrina Norte, a Ricardo Stevan Molano Ramírez por su apoyo con los temas relacionadas con la petrografía y metalografía y a Julián Andrés López Isaza por sus observaciones, revisiones del texto y su gran disposición para buscar nuevos elementos que engrandecieran este trabajo.

A todas las personas que con sus aportes y voces de aliento y ánimo contribuyeron a la culminación de esta tesis.

Resumen

El sector oriental del Distrito Minero de La Llanada, ubicado entre los municipios de Los La Llanada y Andes-Sotomayor (departamento de Nariño), está conformado por rocas ígneas y metasedimentarias que hospedan mineralizaciones vetiformes de oro con cuarzo, y sulfuros (arsenopirita, pirrotina, telurobismutita?, esfalerita, calcopirita y galena, piritita y marcasita), así como carbonatos. Se considera como un depósito relacionado a intrusivos (López-Isaza et. al., 2018 Leal-Mejía, 2011) y también de tipo orogénico (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018; Torres et. al., 2019). A partir de análisis petrográficos, metalográficos y de química mineral de secciones delgadas pulidas de minas del área, se determinaron características del oro como asociaciones minerales, composición química, tamaños de grano, texturas y modo de ocurrencia del oro. Con esta información se definieron dos (2) unidades geometalúrgicas diferenciadas a partir de las variaciones en los tamaños de grano de oro, presencia de minerales que dificultan la recuperación mineral, y el tipo de unidad geológica en el cual se encuentra emplazada la mineralización. Si bien todo el depósito presenta texturas que benefician la liberación del oro, la presencia de tamaños de granos de oro menores de 50 micras y de minerales indeseables para proceso de recuperación mineral, permiten definir el depósito como de media a alta complejidad para el beneficio.

Palabras clave: Distrito Minero de La Llanada, Metalografía, Oro, Ocurrencia, Unidad geometalúrgica, Complejidad.

Abstract

The eastern sector of the La Llanada Mining District, located between La Llanada and Los Andes-Sotomayor municipalities (Nariño department), is geologically characterized by the presence of metasedimentary and igneous rocks that host gold vein mineralizations with quartz and sulfides (arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, galena and tellurobismuthite?).

Metallogenically is considered as an intrusive-related deposit (López-Isaza et. Al., 2018; Leal-Mejía, 2011) and a orgenic deposit (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018; Torres et. al., 2019). From petrographic, metallographic and mineral chemistry analyzes of thin sections polished from mines in the area, were determining characteristics like mineral associations, chemical composition, grain sizes, textures and gold's occurrence. With this information were defined (2) geometallurgy units whose distinguishing characteristics are the variations in the gold sizes grains, the presence of minerals that hinder the mineral recovery and the type of geological unit in which it is located the mineralization. Although the entire deposit has simple textures that benefit mining, the presence of gold sizes less than 50 microns and the undesirable minerals for the mineral recovery process, the deposit can be defining like medium to high complexity for recovery.

Key words: La Llanada Mining District, Metallography, Gold, Occurrence, Geometallurgical unit, Complexity

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Resumen | IX |
| Lista de figuras | XIII |
| Lista de tablas..... | XV |
| Lista de símbolos y abreviaturas..... | XVI |
| Introducción | 1 |
| Objetivos..... | 2 |
| Objetivo General | 2 |
| Objetivos Específicos | 2 |
| 1 Generalidades de la zona de estudio..... | 3 |
| 1.1 Localización | 3 |
| 1.2 Condiciones geográficas | 3 |
| 1.3 Marco geológico regional | 5 |
| 1.3.1 Estratigrafía | 5 |
| 1.3.2 Geología Estructural | 8 |
| 1.3.3 Depósitos Minerales auríferos | 9 |
| 2 Marco teórico..... | 11 |
| 2.1 Características Distrito Minero de La Llanada | 11 |
| 2.2 Tipo de depósito..... | 12 |
| 2.3 Geometalurgia..... | 14 |
| 2.3.1 Caracterización textural | 15 |
| 2.3.2 Caracterización del Oro | 17 |
| 2.3.3 Tamaño de partícula de oro | 17 |
| 2.3.4 Tipo de mena..... | 18 |
| 3 Metodología..... | 21 |
| 3.1 Adquisición de información..... | 21 |
| 3.2 Reconocimiento de campo | 22 |
| 3.3 Actividades de laboratorio | 23 |
| 3.3.1 Petrografía y metalografía | 23 |
| 3.3.2 Química mineral..... | 24 |
| 3.4 Análisis de información | 25 |
| 3.4.1 Paragénesis mineral | 26 |
| 3.4.2 Composición mineral | 26 |
| 3.4.3 Caracterización mineralógica aplicada en geometalurgia | 26 |
| 3.5 Resultados y discusión..... | 27 |
| 4 Análisis de información | 28 |
| 4.1 Características petrográficas..... | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2 | Paragénesis..... | 29 |
| 4.3 | Composición microquímica del oro | 32 |
| 4.4 | Minerales de mena | 37 |
| 4.5 | Caracterización mineralógica aplicada a geometalurgia..... | 38 |
| 4.5.1 | Tamaños del oro | 38 |
| 4.5.2 | Forma de presentación (ocurrencia) del oro | 41 |
| 4.5.3 | Caracterización textural minerales de mena..... | 44 |
| 5 | Resultados y discusión | 49 |
| 5.1 | Características diferenciadoras del depósito..... | 49 |
| 5.1.1 | Características petrográficas..... | 49 |
| 5.1.2 | Composición microquímica del oro..... | 50 |
| 5.1.3 | Presencia y tamaño minerales metálicos..... | 51 |
| 5.1.4 | Tamaños y características del oro | 53 |
| 5.2 | Unidades geometalúrgicas..... | 55 |
| 5.2.1 | Unidad geometalúrgica 1 (dominio metasedimentario)..... | 56 |
| 5.2.2 | Unidad geometalúrgica 2 (dominio ígneo)..... | 56 |
| 5.3 | Complejidad del depósito..... | 57 |
| 6 | Conclusiones y recomendaciones | 59 |
| | Conclusiones..... | 59 |
| | Recomendaciones..... | 61 |
| A | Anexo: Composición microquímica de granos de oro..... | 63 |
| B | Anexo: Composición microquímica sulfuros | 73 |
| C | Anexo: Peso y ocurrencia del oro | 85 |
| | Bibliografía | 89 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1-1: Localización de la zona de estudio..... | 4 |
| Figura 1-2: Geología del área de estudio (Tomado del Atlas Geológico de Colombia Plancha 5-18 - Gómez et al., 2015)..... | 6 |
| Figura 2-1: Distribución de los depósitos relacionados a intrusivos según el Mapa Metalogénico de Colombia, 2018. En el círculo rojo se muestra el sector de La Llanada | 13 |
| Figura 2-2. Tipos de intercrecimiento y su posibilidad de liberación (Craig & Vaughan, 1981). Tomado de Pérez-Barbueno, 2014..... | 16 |
| Figura 2-3: Tipos de ocurrencia del Au y su facilidad de liberación (Marsenden & House, 2009)..... | 17 |
| Figura 4-1: Porcentajes de asociaciones minerales relacionadas con oro | 29 |
| Figura 4-2: Paragénesis relacionada con las rocas metasedimentarias y el evento hidrotermal y los minerales de mena asociados | 31 |
| Figura 4-3: Paragénesis relacionada con rocas ígneas y el evento hidrotermal y los minerales de mena asociados | 33 |
| Figura 4-4: Distribución del contenido elemental en los granos de Au donde se señalan las mayores concentraciones de elementos de interés..... | 34 |
| Figura 4-5: Promedio de concentraciones Au/Ag para los granos de Au analizados en las minas de la zona de estudio | 35 |
| Figura 4-6: Fineza del Au en las minas del área de estudio..... | 36 |
| Figura 4-7: Distribución tamaños (longitud larga) granos de Au medidos en cada mina . | 39 |
| Figura 4-8: Distribución del número de partículas de Au y el peso, donde se observa que el mayor porcentaje en peso corresponde a los granos de Au más grandes | 40 |
| Figura 4-9: Forma de ocurrencia granos de Au por número de partículas consolidada para toda la mena | 41 |
| Figura 4-10: Fotografías de la forma de presentación (ocurrencia) de los granos de oro con relación a los minerales de mena presentes en la zona de estudio | 42 |
| Figura 4-11: Porcentaje de peso de los granos de oro según su forma de presentación (ocurrencia) para cada mina..... | 43 |
| Figura 4-12: Distribución de tamaños minerales hospedantes del Au para el área..... | 45 |
| Figura 4-13: Porcentaje de peso equivalente de Au por mineral hospedante | 46 |
| Figura 4-14: Algunos ejemplos de tipos de intercrecimiento presentes entre los sulfuros portadores de Au..... | 47 |
| Figura 5-1: Elementos presentes en Au minas El Canadá y La Palmera | 50 |
| Figura 5-2: Elementos presentes en Au minas La Golondrina Norte y El Páramo | 51 |

| | |
|--|----|
| Figura 5-3: Tamaño sulfuros hospedantes del Au Minas El Canadá y La Palmera | 52 |
| Figura 5-4: Tamaño sulfuros hospedantes del Au Minas La Golondrina Norte y El Páramo | 52 |
| Figura 5-5: Distribución de tamaños de Au minas El Canadá y La Palmera | 53 |
| Figura 5-6: Distribución de tamaños de Au Minas La Golondrina Norte y El Páramo | 54 |
| Figura 5-7: Porcentaje en peso de Au por mineral hospedante. A minas El Canadá y La Palmera. B. minas La Golondrina Norte y El Páramo..... | 55 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 2-1: Producción de oro y plata Distrito Minero La Llanada 2012-2018 (Fuente ANM, 2019)..... | 12 |
| Tabla 3-1: Secciones delgadas pulidas y testigos empleados en este trabajo..... | 22 |
| Tabla 3-2: Secciones delgadas pulidas analizadas por microsonda electrónica | 25 |
| Tabla 4-1: Secciones delgadas pulidas donde se identificó Au..... | 28 |
| Tabla 5-1: Distribución de oro en los minerales presentes en la mena | 54 |

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas del nombre de minerales encontrados para este estudio (modificado de Whitney & Evans, 2010 y Fontboté & Perroud, 2006).

| Minerales pre-mineralización | | Minerales de mena | | Minerales post-mineralización | |
|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|-----------|
| Abreviatura | Mineral | Abreviatura | Mineral | Abreviatura | Mineral |
| Arc | Arcilla | Apy | Arsenopirita | Brt | Barita |
| Bt | Biotita | Ccp | Calcopirita | Cb | Carbonato |
| Chl | Clorita | Cv | Covelina | Hem | Hematita |
| Fs | Feldespato | Cpr | Cuprita | Rt | Rutilo |
| Ms | Muscovita | Sp | Esfalerita | | |
| Pl | Plagioclasa | Gn | Galena | | |
| Prh | Prehnita | Mrc | Marcasita | | |
| Qz | Cuarzo | Py | Pirita | | |
| Ser | Sericita | Po | Pirrotina | | |
| | | Tel* | Telurobismutita | | |

**Abreviatura dada para el grupo de teluros*

Introducción

Colombia ha sido conocida desde tiempos prehispanicos por su potencial para minerales metálicos y preciosos como oro, el cual ha sido explotado principalmente de manera artesanal alcanzando incluso desarrollos de pequeña embergadura. En el departamento de Nariño, en el sector que comprende el límite entre los municipios de La Llanada y Los Andes-Sotomayor (Distrito Minero de La Llanada – Ministerio de Minas y Energia & Universidad de Cordoba, 2014), se encuentran depósitos de oro que han sido considerados de alto grado de complejidad desde el punto de vista extractivo (Molano, J.C., Londoño, S., Mojica, J., Londoño, J.I y Rojo, 2003), a partir de características como oro asociado a sulfuros reactivos, tamaño de grano de oro muy pequeño o presencia del metal en pátinas.

Determinar las condiciones a las que se enfrentarán los mineros durante los procesos de beneficio de oro permite desarrollar mejoras a los procesos establecidos para su recuperación. Para esto, es necesario conocer y caracterizar desde el punto de vista geológico, mineralógico y de química mineral el oro presente en los depósitos, lo cual es posible mediante la determinación de parámetros como tamaños, texturas y modo de ocurrencia o presentación de los granos de oro, relaciones texturales entre el oro y los minerales de ganga y mena, componentes químicos presentes en la partícula de oro, composición de la mena, entre otras.

Toda esta información no solo permite hacer consideraciones sobre la complejidad del depósito para su beneficio, si no también, aporta herramientas para definir un plan metalúrgico que permita una extracción eficiente del recurso, buscando obtener mayores porcentajes de recuperación mineral. Estas actividades realizadas con fines metalúrgicos hoy son denominadas *geometalurgia*, y corresponden al aporte desde el conocimiento geológico a los procesos de recuperación mineral buscando hacerlos más eficientes.

Objetivos

Objetivo General

Conocer y caracterizar desde el punto de vista geológico, mineralógico y químico los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada y sus implicaciones metalúrgicas para la recuperación del oro.

Objetivos Específicos

- Identificar los minerales presentes en el depósito y la relación entre ellos (paragénesis).
- Realizar la caracterización mineralógica del oro presente en los depósitos.
- Determinar las implicaciones metalúrgicas derivadas de las condiciones o características propias de la mineralización aurífera en el área de estudio.

1 Generalidades de la zona de estudio

1.1 Localización

El Distrito Minero de La Llanada se localiza en el centro-oriente del departamento de Nariño, extremo suroriental de Colombia (frontera con la República de Ecuador), en el flanco oriental de la cordillera Occidental. Lo conforman los municipios de Cumbitara, La Llanada, Los Andes-Sotomayor, Mallama, Samaniego y Santacruz. La zona se caracteriza por ser montañosa, de laderas muy escarpadas y presencia de volcanes.

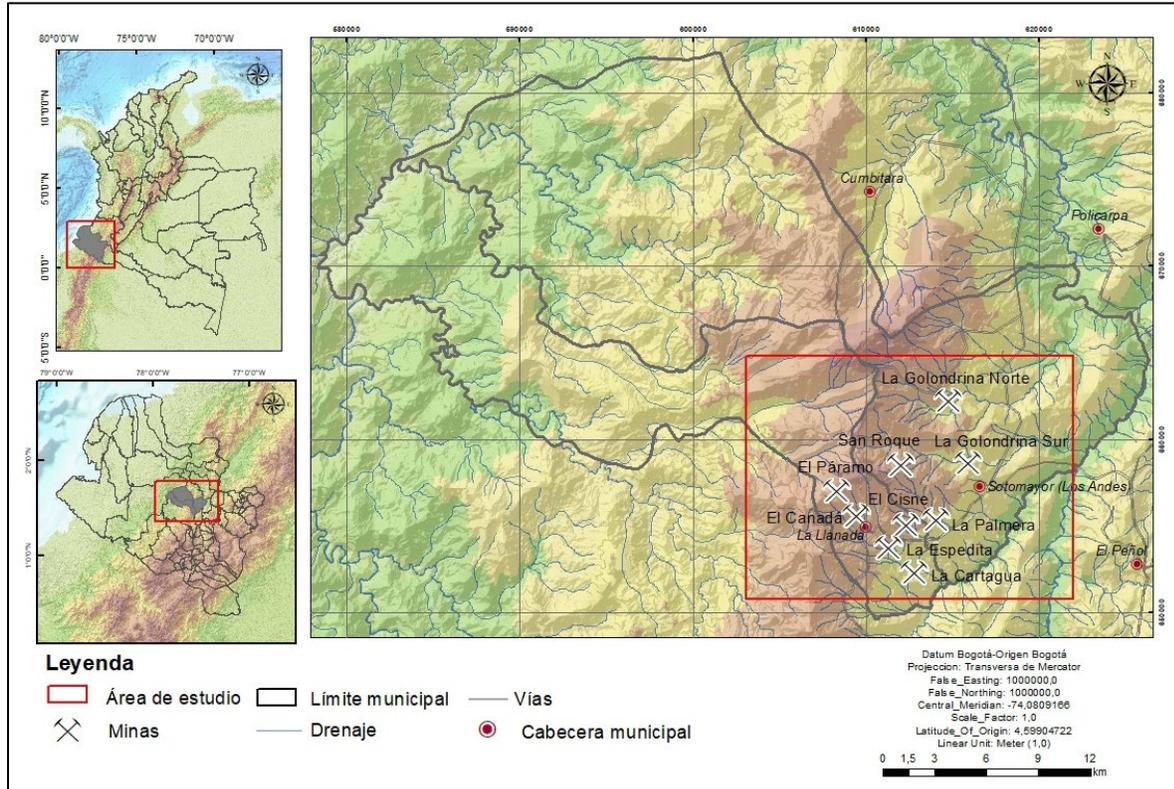
El área de estudio se localiza al nororiente del Distrito Minero, y está enmarcada en un polígono de aproximadamente 100 km² donde se ubican las minas: El Páramo, El Canadá, El Cisne, La Espedita, y La Cartagua (municipio de La Llanada) y San Roque, La Palmera, La Golondrina Norte y La Golondrina Sur (municipio de Sotomayor), entre otras. Corresponde a la plancha topográfica 410 escala 100K del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (Figura 1-1).

1.2 Condiciones geográficas

La zona de estudio se encuentra localizada entre los 1500 y 3000 msnm, piso térmico medio a frío. La temperatura media anual es de 19°C con variaciones entre 18 y 21°C y valores máximos en los meses de agosto y septiembre. Las épocas de lluvias obedecen a un régimen bimodal y se dan en los meses de enero–marzo y octubre–diciembre, con una precipitación media de 2400 mm/año.

Las zonas de vida presentes en el área de estudio son bosque muy húmedo montano, bosque pluvial montano y bosque húmedo montano. Hidrológicamente la zona se encuentra en las vertientes de los ríos Patía y Guaítara (Alcaldía de La Llanada, 2005; Alcaldía de Los Andes-Sotomayor, 2008).

Figura 1-1: Localización de la zona de estudio



Los suelos que se desarrollan en zonas de relieve muy fuerte son derivados principalmente de rocas diabásicas y cenizas volcánicas, y caracterizan por alto contenido de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico y alta retención de humedad, mientras que los suelos desarrollados en zonas de relieve mediano son de textura arcillo arenosa, buena capacidad de almacenamiento de agua y bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo, y se derivan principalmente de cenizas volcánicas (Alcaldía de La Llanada, 2005; Alcaldía de Los Andes-Sotomayor, 2008).

La cobertura vegetal se encuentra caracterizada por bosques de tipo primario intervenido y secundario, así como también por pastos naturales. Entre las principales actividades agropecuarias se destacan los cultivos de maíz, frijol, plátano, papa y hortalizas, así como la ganadería. La minería es una de las principales actividades económicas en el área, la cual se ha venido desarrollando desde épocas prehispánicas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) – Ministerio de Trabajo, 2013).

1.3 Marco geológico regional

El área donde se localizan las minas objeto de este trabajo hace parte del terreno Dagua (Etayo et al., 1983), también denominado como terreno: Calima (Toussaint & Restrepo, 1989), Cordillera Occidental (Estrada, 1995), Caribe (Gómez et al., 2015) o Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental-PLOCO (Nivia, 2001). Este terreno o provincia se encuentra constituido por sucesiones de rocas volcánicas y metasedimentarias de edad Cretácico, intruidas por plutones cuazodioríticos de edad Paleógeno? y Neógeno?, y afectadas por estructuras regionales que controlan el emplazamiento y precipitación de depósitos minerales auríferos. Corresponde a la acreción de corteza oceánica al continente suramericano.

1.3.1 Estratigrafía

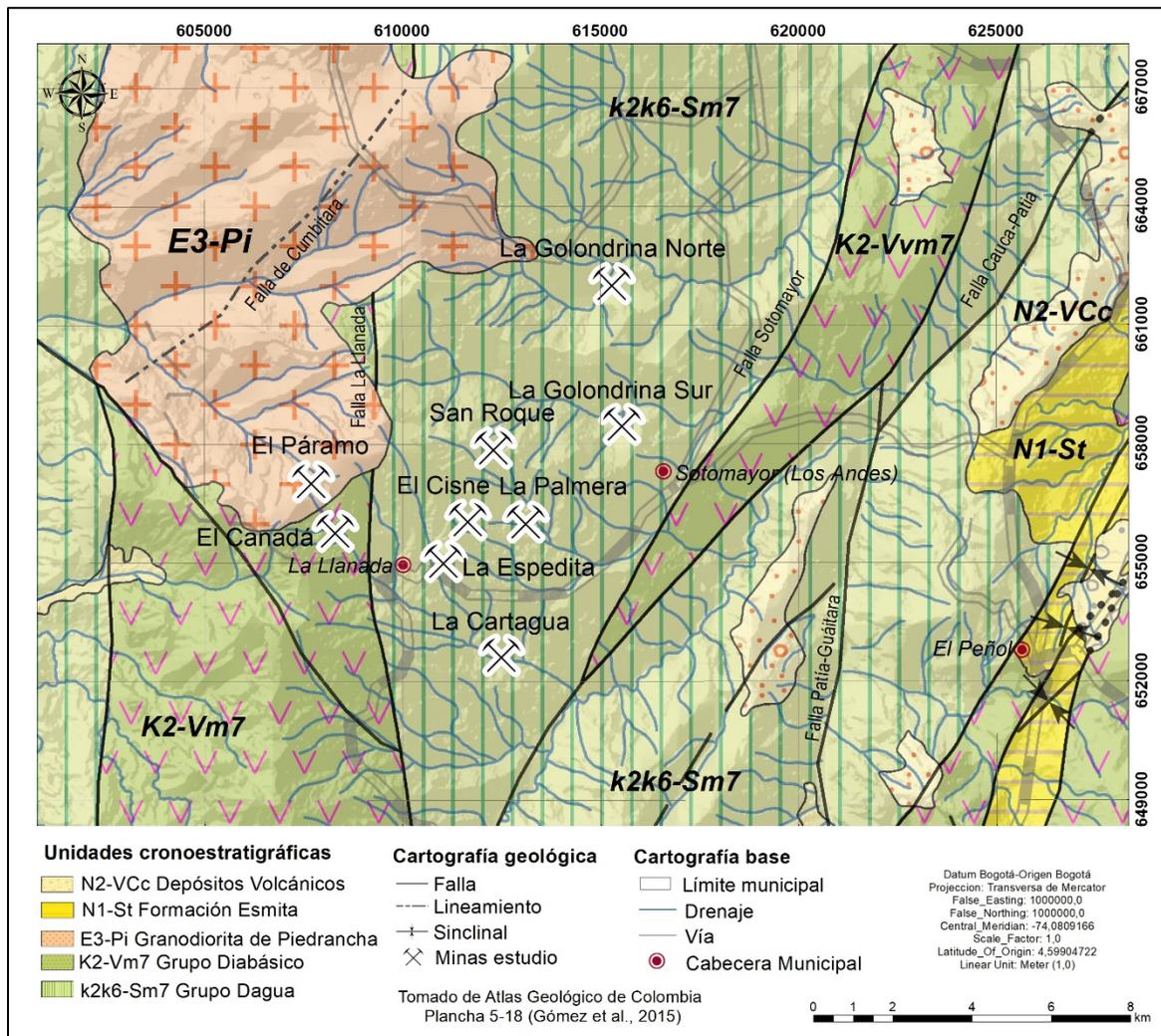
El área de influencia se encuentra constituida por las unidades litoestratigráficas Grupo Dagua, Grupo Diabásico (ambas de edad Cretácico) y Granodiorita de Piedrancha (de edad Mioceno), las cuales se encuentran localmente cubiertas por depósitos volcánicos de caída (Figura 1-2). A continuación, se presentan descripciones generalizadas de las unidades anteriormente mencionadas.

- **Grupo Dagua (k2k6-Sm7)**

Nombre dado por Nelson (1957) para describir un conjunto de rocas metasedimentarias que afloran en la Cordillera Occidental (carretera Buga-Buenaventura). Consta de metalimonitas, metagrawacas, metachert, metabasaltos y metadiabasas de origen oceánico con metamorfismo regional de facies Prehnita-Pumpellita (Arango & Ponce, 1980; Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) & Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), 2001).

Estas rocas fueron agrupadas por Murcia & Cepeda (1991), en tres (3) conjuntos litológicos: Conjunto A, conformado por metatobas verdes y violáceas de grano fino y metabasaltos amiogdalares compuestos por andesina, augita, prehenita y clorita.

Figura 1-2: Geología del área de estudio (Tomado del Atlas Geológico de Colombia Plancha 5-18 - Gómez et al., 2015)



Conjunto B, que corresponde a intercalaciones de metalimonitas, metagrawacas, metachert y algunos niveles de pizarras verdes y rojo-violáceo. Conjunto C: compuesta por intercalaciones de areniscas, arcillolitas y calizas y algunos bancos de chert negro. Los clastos de arenitas incluyen fragmentos de rocas como chert, filitas y esquistos, con ausencia de rocas volcánicas.

Análisis de facies de la secuencia indican un vulcanismo submarino tipo dorsal para el Conjunto A, turbiditas distales depositadas en una fosa oceánica para el Conjunto B y

turbiditas proximales depositadas en el pie de un talud continental para el Conjunto C. Se considera de edad Cretácico (Murcia & Cepeda, 1991).

▪ **Grupo Diabásico (K2Vm7)**

El Grupo Diabásico fue definido por Nelson (1962) y está conformado por diabasas, gabros y basaltos, con intercalaciones de conglomerados polimícticos, grawacas, chert y localmente limolitas calcáreas, rocas piroclásticas y andesitas porfiríticas (Arango & Ponce, 1980).

Barrero (1979) lo define como una sucesión de diabasas, pegmatitas, basaltos y lavas almohadilladas con metamorfismo de bajo grado que están intercaladas con rocas sedimentarias del Grupo Dagua, localizadas al oeste de Buga.

Las lavas están compuestas por piroxeno, hornblenda y plagioclasa, en una matriz de plagioclasa, vidrio y clorita. Las rocas piroclásticas tienen fragmentos de lavas porfiríticas, cristales rotos de piroxeno, plagioclasa y hornblenda, en una matriz compuesta por vidrio, calcita y clorita. Las facies metamórficas corresponden a prehnita–pumpellita y esquisto verde de fondo oceánico. La edad de la roca es considerada como Cretácico superior (Murcia & Cepeda, 1991).

▪ **Granodiorita de Piedrancha (E3Pi)**

Descrito por González, Zapata & Montoya (2013) como un cuerpo ígneo de origen plutónico que aflora en los alrededores del casco urbano del Municipio de Piedrancha (departamento de Nariño), generado a partir de un magma calco-alcalino y de composición predominante granodiorítica a tonalítica, ocasionalmente diorítica (hacia los bordes del cuerpo y en zonas de contacto).

Corresponden a rocas faneríticas, inequigranulares de grano grueso a medio, gris claro moteado a blanco y negro, ocasionalmente néisicas (principalmente hacia los bordes), con foliación protoclástica definida por la orientación paralela a subparalela de cristales tabulares de hornblenda y de láminas de biotita. Mineralógicamente está constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda y biotita en porcentajes variables. Como accesorios se presentan principalmente opacos (óxidos y sulfuros), cristales de

apatito, circón diseminado o incluido en ferromagnesianos, esfena y epidota. Gran parte de las mineralizaciones conocidas en esta zona están relacionadas al contacto de este cuerpo o de sus apófisis con las rocas de los Grupos Dagua y Diabásico (González, Zapata, & Montoya, 2013).

Con respecto a la edad del cuerpo, dataciones recientes indican una edad entre 22-23 Ma mediante U-Pb en zircones (Leal-Mejía, 2011), que correspondería a la edad de cristalización del plutón. Otras edades reportadas y obtenidas por el método K-Ar en hornblenda y biotita (Álvarez & Linares, 1979; Álvarez, 1983) se encuentran entre 62,6 Ma y 23 ± 3 Ma., esta última más cercana a la edad U-Pb.

▪ **Depósitos asociados con actividad volcánica (N2VCa)**

Depósitos conformados por tobas, flujos de ceniza, pumita y lahares intercalados con aglomerados y conglomerados, ampliamente distribuidos en el área de influencia de la Plancha 410–La Unión. Para el área de trabajo no se hace una diferenciación debido al continuo cambio de facies (Murcia & Cepeda, 1991).

1.3.2 Geología Estructural

El principal rasgo estructural en el área está relacionado con el sistema de fallas Cauca-Patía (Figura 1-2) cuyo origen posiblemente corresponde con fracturas tensionales en la zona de inflexión de la corteza oceánica subducida (Murcia & Cepeda, 1991). Este sistema de fallas presenta un trazo principal bien definido en áreas de alto relieve, sugiriendo un ángulo extremadamente inclinado con un componente de desplazamiento en rumbo dextral (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) & Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), 2001). Tiene una cinemática principal de tipo inverso, con buzamiento fuerte hacia el oeste. Se extiende por una longitud de más de 400 km, atraviesa de sur a norte el país y controla en gran parte del trayecto del río Cauca. Demarca el límite oriental de la cordillera Occidental (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS); INGEOMINAS; Universidad de los Andes, 1998).

A este sistema pertenecen las fallas de extensión local La Llanada, Cumbitara y Sotomayor, las cuales presentan una orientación predominante NNE (Murcia & Cepeda,

1991), de movimiento principal en rumbo con componente inverso, y transporte tectónico hacia el occidente. Exhuman de forma escalonada y progresiva las rocas del Grupo Dagua, las cuales presentan un alto grado de deformación tectónica evidenciado por una geomorfología con relieve fuerte y escarpado, valles estrechos y profundos y rasgos erosivos moderados (Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) & Geología Regional y Prospección Ltda (GRP), 2011).

1.3.3 Depósitos Minerales auríferos

En el área se presentan depósitos de oro diseminado y de filón relacionados con la intrusión de cuerpos tonalíticos que atraviesan al Grupo Dagua. La mineralización filoniana corresponde a un proceso hidrotermal que originó vetas de reemplazamiento y relleno, compuestas de cuarzo y carbonatos enriquecidos con metales preciosos, especialmente oro nativo, asociados con sulfuros como arsenopirita, pirita, calcopirita, pirrotina, esfalerita y galena principalmente (Murcia & Cepeda, 1991).

INGEOMINAS (2011) definió para esta área la Anomalía Geoquímica Sotomayor (código P410_4), de alto grado y definida para metales y minerales preciosos (Au-Ag); también INGEOMINAS (2012), definió la zona potencial Samaniego 1, identificada con el código P409_02, para metales y minerales preciosos (Au-Ag) y calificada como de potencial medio.

Para Leal-Mejía (2011), el área presenta mineralizaciones vetiformes relacionadas con los batolitos que afloran en el sector (Piedrancha, El Vergel, Cuembí), donde la edad de las mineralizaciones corresponde con la edad de los intrusivos hospedantes (22-23 Ma). Clasifica el depósito como de tipo “*intrusión related*” (relacionado a intrusivos). De igual manera, López-Isaza et al. (2018) en el Mapa Metalogénico de Colombia, nombran el Distrito Minero como “Distrito Metalogénico de Au-Ag Cumbitara-La Llanada”, con 47 depósitos clasificados como de tipo relacionado a intrusivos sin clasificar. Se encuentra ubicado dentro del Dominio Metalogénico Andino, Provincia Metalogénica Occidental Andina.

El Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía (2018) lo consideran como un posible depósito mesotermal de tipo orogénico. Para Torres et. al. (2019) y a partir

de estudios microtermométricos y de espectrometría Raman, determinaron condiciones de presión, temperatura y composición de fluido correlacionable con una mineralización de tipo orogénico.

2 Marco teórico

2.1 Características Distrito Minero de La Llanada

El Distrito minero de La Llanada, localizado en el departamento de Nariño, está conformado por los municipios de Cumbitara, Los Andes-Sotomayor, La Llanada, Samaniego, Santacruz y Mallama. La explotación de oro se presenta desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad, ocupando hoy en la zona el segundo renglón en importancia económica después de la agricultura (Ministerio de Minas y Energía & Universidad de Córdoba, 2014).

La explotación minera es efectuada mediante trabajos subterráneos de guías o cámara y pilares, con recuperación de oro principalmente a partir de métodos gravimétricos, que inician con la trituración del material en molinos de pistones para luego pasar a procesos de concentración, en desarrollos mineros de pequeña minería. En el Distrito existen cooperativas que prestan el servicio de molinos, perforadoras, entre otros y a su vez, llevan a cabo la comercialización del oro (Ministerio de Minas y Energía & Universidad de Córdoba, 2014).

Actualmente en el municipio de La Llanada se sigue un solo modelo de extracción minera (hidrometalúrgico), el cual no incluye ni la amalgamación ni la cianuración para la extracción del oro, mientras que en el municipio de Los Andes-Sotomayor se emplea la concentración gravimétrica y la cianuración, más no la amalgamación (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018). La producción de oro y plata reportada por la Agencia Nacional de Minería (ANM) para el Distrito Minero de La Llanada se presenta en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Producción de oro y plata Distrito Minero La Llanada 2012-2018 (Fuente ANM, 2019)

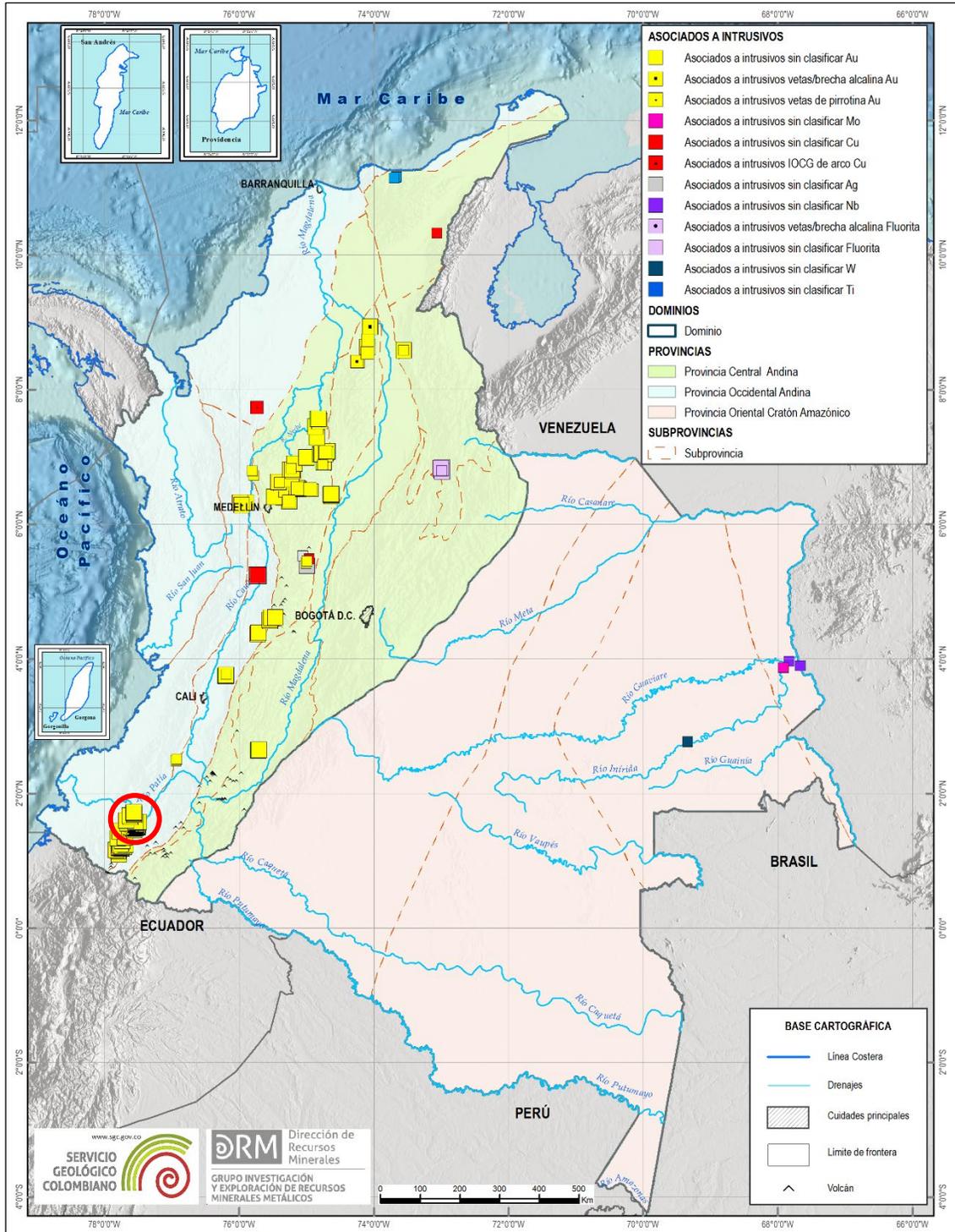
| ORO PRODUCCION 2012 A 2018 (en Onzas Troy) | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MUNICIPIO | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Cumbitara | 7273 | 1882 | 355 | 133 | 278 | 19 | 0 |
| La Llanada | 5999 | 3171 | 1411 | 77 | 1098 | 2007 | 325 |
| Los Andes-Sotomayor | 5286 | 901 | 118 | 0 | 41 | 184 | 0 |
| Samaniego | 0 | 0 | 1 | 0 | 344 | 243 | 0 |
| Santacruz | 18 | 495 | 867 | 746 | 279 | 0 | 0 |
| Mallama | 0 | 11 | 0 | 3 | 527 | 188 | 0 |
| PLATA PRODUCCION 2012 A 2018 (en Onzas Troy) | | | | | | | |
| MUNICIPIO | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Cumbitara | 142 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| La Llanada | 35 | 10 | 203 | 0 | 57 | 46 | 59 |
| Santacruz | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Los municipios que hacen parte de este estudio (La Llanada y Los Andes-Sotomayor), junto con el municipio de Cumbitara presentan los mayores valores de producción de oro. Resalta la producción de plata durante todo el rango de tiempo para el municipio de La Llanada, aunque con una producción muy baja.

2.2 Tipo de depósito

El Mapa Metalogénico de Colombia (López-Isaza et al., 2018) considera al Distrito Minero de La Llanada como un depósito relacionado a intrusivos, compuesto por venas y vetillas paralelas, en o cerca de una intrusión principalmente en la aureola de contacto y de edad Mioceno. Geológicamente está compuesto por dioritas, cuarzodioritas, tonalitas, granodioritas y granitos de texturas faneríticas inequigranulares principalmente, generadas en un ambiente de arco magmático desarrollado en una margen continental activa (Figura 2-1). Corresponde principalmente a un depósito de tipo vetiforme y eventualmente de relleno de fracturas de oro-plata asociado a sulfuros como calcopirita, pirita, molibdenita, esfalerita y galena (López-Isaza et al., 2018).

Figura 2-1: Distribución de los depósitos relacionados a intrusivos según el Mapa Metalogénico de Colombia, 2018. En el círculo rojo se muestra el sector de La Llanada



Otros estudios realizados en la zona definen la mineralización aurífera de los municipios de La Llanada- Sotomayor como un posible depósito mesotermal de tipo orogénico (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018). Consideran una mineralización conformada por filones de cuarzo ricos en sulfuros, principalmente arsenopirita y pirrotina, con cantidades menores de esfalerita, calcopirita y galena. Las vetas exhiben un fuerte control estructural y particularmente se alojan en las zonas de contacto entre rocas metasedimentarias y rocas ígneas. Se presenta poca o nula alteración hidrotermal y la roca caja presenta características de foliación y deformación metamórfica (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Según Blevin (2005), los tipos de depósitos presentes en el área de estudio pueden ser explotados mediante minería subterránea selectiva (en función de las venas), presentan bajas leyes y poco contenido de metales base, lo que conlleva a una metalurgia simple. El oro es de grano fino, con altos contenidos de arsénico, complejos minerales de bismuto y en algunos casos oro "refractario" en arsenopirita. Los componentes de la mena pueden ser susceptibles al tratamiento de lixiviación en pilas con cianuro. La producción típicamente es solo para oro (Blevin, 2005).

2.3 Geometalurgia

La geometalurgia es una herramienta que involucra la geología, la microscopía, la minería y la metalurgia extractiva para optimizar los procesos de explotación y beneficio de los minerales (SGS, 2007; Pérez, Gaspar & Brown, 2013; ProActiva, 2018). Los depósitos minerales son concentración de minerales y sus características fisicoquímicas determinan las condiciones del proceso de recuperación industrial. Conocer la composición química de la mena, la relación entre minerales y las texturas contribuyen a determinar la forma de liberación de los minerales de interés y los procesos de beneficio (Lund, Lamberg, & Lindberg, 2014).

Las características geometalúrgicas no solo son propias para cada depósito, sino que también permiten tener información desde la geología para que el metalurgista lleve a

cabo, de una manera más óptima, las actividades necesarias para la recuperación mineral con los mejores resultados.

Para el oro y otros minerales metálicos, la aplicación de la geometalurgia define las operaciones y procesos necesarios y más adecuados para la recuperación mineral. Es así como la intensidad de la molienda está definida por la textura, la asociación y los tamaños de partícula. Estas dos últimas características, sumadas al grado de liberación y a la composición de la mena, permiten definir el tipo de proceso (operación) utilizado para la recuperación. También permite predecir el porcentaje de recuperación mineral y definir el plan ambiental para llevar a cabo (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Algunas de las características relevantes y que son requeridas para este tipo de análisis son (Pérez, Gaspar & Brown, 2013; Zhou, Jago, Martin, & Lakefield, 2004):

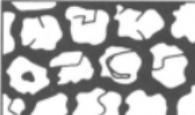
- Relaciones entre minerales de mena y ganga.
- Relación de especies minerales y características texturales entre ellas.
- Tipos de oro, forma de presentación.
- Tamaño de partícula de oro, asociación con otros minerales, revestimientos y bordes.
- Concentración de elementos indeseables para el proceso, presencia de minerales cianicidas, consumidores de oxígeno, oro refractario y oro submicroscópico, entre otros.

A continuación, se describen algunas de estas características y que fueron tenidas en cuenta durante el desarrollo de este estudio.

2.3.1 Caracterización textural

Las características texturales (cristalinidad, relaciones de límite entre los granos, orientación de los granos, fracturas, vetas, etc.), permiten determinar las condiciones de liberación de una mena. Los parámetros más importantes a tener en cuenta son el tamaño de grano, la irregularidad del borde de unión entre minerales y el tipo de intercrecimiento mineral, ya que influyen directamente en la rotura del mineral durante los procesos de molienda (Pérez-Barbueno, 2014; Petruk, 2000) (Figura 2-2).

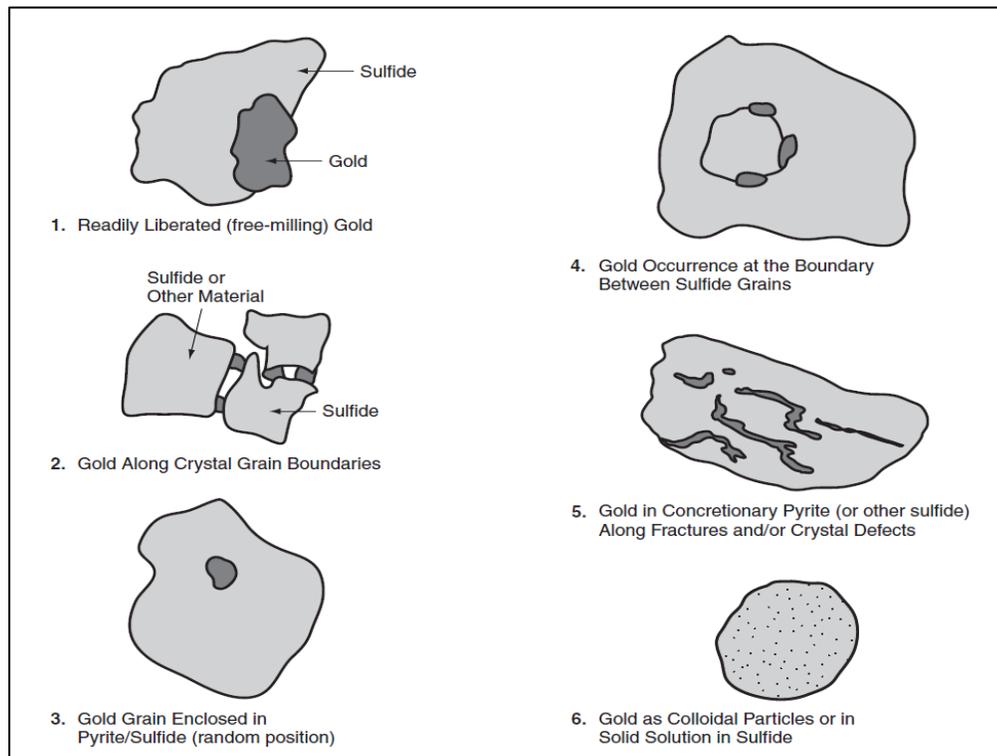
Figura 2-2. Tipos de intercrecimiento y su posibilidad de liberación (Craig & Vaughan, 1981). Tomado de Pérez-Barbueno, 2014

| DESCRIPCIÓN | | PROPIEDADES DE LIBERACIÓN |
|--|---|--|
| Intercrecimiento Simple. Bordes de grano rectilíneos. |  | Liberación fácil. Muy común en menas fuertemente recristalizadas y metamorizadas. También en minerales propios de secuencias deposicionales sucesivas. |
| Intercrecimiento Simple. Bordes de grano curvados sin interpenetración. |  | Liberación sencilla. Común en minerales de cristalización simultánea con energía libre interfacial similar. |
| Moteada o tipo "caries", con interpenetración parcial. Intercrecimiento relativamente simple. |  | Liberación sencilla. Propio de minerales que han sufrido procesos de reemplazamiento. |
| Gráfico o mirmequítico. Fuerte micropenetración. |  | Liberación completa difícil o imposible. No se presenta de manera frecuente. Se produce por exolución y reemplazamiento. |
| Diseminado, emulsión, goteado o eutectoide. Fases finamente diseminadas. |  | Liberación completa difícil o imposible. Requiere tratamiento químico. Exsolución (Au/arsenopirita; calcopirita/esfalerita) o reemplazamiento (pirita/esfalerita). |
| Intercrecimiento tipo revestimiento, envoltorio o corona. |  | Liberación completa difícil. Común en reacciones de reemplazamiento. Ejemplos: corona de hematites sobre oro; calcosina o covellina sobre pirita, galena o esfalerita. |
| Intercrecimiento concéntrico o esferulítico, capas coliformes. |  | Liberación bastante difícil. Común en menas de Fe, Mn y Al. Generalmente asociado a precipitación coloidal. |
| Intercrecimiento tipo veta, sándwich o lamelar. |  | Liberación variable. Exsolución (cubanita/calcopirita; ilmenita/magnetita) y reemplazamiento (magnetita/hematites) |
| Intercrecimiento tipo retículo o red. Interpenetración fina. |  | Liberación variable o difícil. Frecuente en procesos de reemplazamiento (bornita/calcopirita; anglesita/covellina) y exsolución (hematites/ilmenita/magnetita). |

2.3.2 Caracterización del Oro

Las características de un depósito mineral y de sus componentes minerales determinan los procesos que deben ser tenidos en cuenta para la extracción del oro (físicos y químicos). La mineralogía del oro es única en cada depósito y está determinada por su modo de ocurrencia, la distribución de tamaños de grano, los minerales hospedantes del oro y la ganga, sus asociaciones minerales, entre otras. La facilidad de liberación de las partículas de oro asociadas a sulfuros se pueden establecer en la Figura 2-3, donde de la Figura 1 a 3, el oro puede ser fácilmente liberado. Sin embargo para los tipos 5, 6 y posiblemente 4, el oro puede permanecer sin liberar incluso en tamaños finos (Marsenden & House, 2009).

Figura 2-3: Tipos de ocurrencia del Au y su facilidad de liberación (Marsenden & House, 2009).



2.3.3 Tamaño de partícula de oro

El tamaño de grano del oro es un factor de gran influencia en los procesos de liberación mineral. El oro grueso puede ser recuperado por métodos gravimétricos o puede quedar

atrapado aguas arriba del circuito de cianuración, o no ser transportado por las burbujas en el proceso de flotación. El oro ultrafino no es bien recuperado por técnicas de gravedad o flotación. Cuando el oro es muy fino ($<10\ \mu\text{m}$) y está asociado a sulfuros, el rendimiento de la cianuración puede también ser pobre (Marsenden & House., 1992).

2.3.4 Tipo de mena

Las menas de oro son comúnmente clasificadas en dos (2) categorías principales: mena sencilla o simple, conformada por minerales estables para el proceso de beneficio y donde aproximadamente el 90% del oro puede recuperarse mediante lixiviación y menas refractarias, donde la recuperación de oro solo es aceptable con el uso de reactivos o procesos de pretratamiento más complejos (Zhou, Jago, Martin, & Lakefield, 2004).

Para Parga y Carrillo (1996), en las menas refractarias la recuperación de oro por el proceso de cianuración convencional es baja ($<80\%$), siendo las causas más comunes de la refractabilidad la presencia de partículas submicroscópicas de oro y/o que el oro se encuentre encapsulado en minerales de sulfuros como la pirita y arsenopirita o en minerales de difícil disolución con soluciones de cianuro en la lixiviación convencional.

Otras posibles causas de la refractabilidad son las siguientes:

- Insolubilidad de minerales como telururos, auroestibinitas y maldonitas (Zhou, Jago, Martin, & Lakefield, 2004), así como la formación de compuestos de plomo, antimonio y arsénico (Parga y Carrillo, 1996).
- Formación de capas y pátinas de óxido y de compuestos de hierro, plomo, arsénico y antimonio alrededor de las partículas de oro durante algunos procesos de extracción, que inhiben la disolución del oro en la solución de cianuro (Parga y Carrillo, 1996).
- Descomposición de minerales como pirrotita, covelita y calcocita, en compuestos complejos que consumen cianuro y que disminuyen la acción de disolución del oro por el cianuro al consumir el oxígeno durante la descomposición de dichos minerales (Fleming, 1998).

- Presencia de minerales de carbón amorfo o materia carbonácea que confiere propiedades de pre-depositación (preg-robbing), es decir, el carbón adsorbe el oro disuelto durante la cianuración y dificulta su extracción.

La recuperación máxima es un objetivo constante para los operadores y productores de oro. El conocimiento de las características del mineral que afectan el oro contribuyen a diseñar o rediseñar el plan de recuperación mineral (Petruk, 2000). Conocer esta información permite determinar las mejores condiciones para el procesamiento mineral (Marsenden & House, 2009).

3 Metodología

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron diferentes actividades de manera secuencial, las cuales se describen a continuación.

3.1 Adquisición de información

Inicialmente se llevó a cabo una revisión y recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio, la cual permitiera el apoyo documental de la investigación realizada. El enfoque en búsqueda de información fue relevante en temas relacionados con el contexto geológico y metalogénico del área, técnicas analíticas y geometalurgia principalmente.

Para los análisis de laboratorio se emplearon 23 secciones delgadas pulidas (Tabla 3-1) y 13 testigos de roca correspondientes a nueve (9) minas del área de estudio (ver Figura 1-2): La Cartagua, San Roque, El Canadá, La Palmera, La Golondrina Sur, El Páramo, El Cisne, La Espedita y La Golondrina Norte. Estas secciones y testigos hicieron parte del trabajo de INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano-SGC) "Catálogo de las propiedades mineralógicas, físicas y químicas de los yacimientos auríferos primarios de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca" (Molano, J.C., Londoño, S., Mojica, J., Londoño, J.I. & Rojo, J., 2003). Para la mina La Golondrina Norte se contó con cuatro (4) secciones delgadas pulidas con sus correspondientes testigos que no hacen parte del trabajo de Molano et al. (2003).

Las secciones delgadas pulidas fueron sometidas a procesos de limpieza, remoción de pátinas y arreglo de portaobjetos. De los testigos de roca de la Mina El Canadá, se elaboraron las correspondientes secciones delgadas pulidas, ocho (8) en total, de los filones Las Moscas, La Guzga y El 18. Toda esta información se encontró debidamente almacenada y archivada en las oficinas del Servicio Geológico Colombiano en la regional de Cali.

Tabla 3-1: Secciones delgadas pulidas y testigos empleados en este trabajo

| IDENTIFICADOR | MINA | FILÓN | NORTE* | ESTE* |
|-----------------|---------------------|---------------|--------|--------|
| 806217 | La Cartagua | ----- | 652661 | 612502 |
| 806302 | | | | |
| 806227A | San Roque | ----- | 657896 | 612299 |
| 805659 | El Canadá | Las Moscas | 655800 | 608304 |
| 805679 | | | | |
| 805680 | | | | |
| 805682 | | La Guzga | | |
| 805667 | | | | |
| 805669 | | El 18 | | |
| 805675 | | | | |
| 805676 | | | | |
| 806211 | La Palmera | ----- | 656033 | 613119 |
| 806212 | | | | |
| 806212B | | | | |
| 806226 | La Golondrina Sur | ----- | 658497 | 615543 |
| ID-1 Golondrina | La Golondrina Norte | La Golondrina | 622046 | 615299 |
| ID-2 Calcita | | ----- | | |
| ID-3 Sotomayor | | Sotomayor | | |
| ID-4 Contacto | | ----- | | |
| 806213A | El Páramo | ----- | 657054 | 607699 |
| 806213B | | | | |
| 806216 | El Cisne | ----- | 656087 | 611658 |
| 806218 | La Espedita | ----- | 655033 | 611037 |

*Coordenadas originales en datum Bogotá, origen Bogotá

3.2 Reconocimiento de campo

En el mes de febrero de 2018 se realizó una visita conjunta entre la Universidad Nacional (UNAL) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC)-Regional Cali al área de estudio, como parte del proyecto UNAL–SGC denominado “*Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio del oro sin el uso de mercurio – La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)*”, el cual se realizó para el Ministerio de Minas y Energía (MME). Específicamente para este trabajo se visitaron las minas El Canadá y San Roque para identificar aspectos

como roca caja, tipo de mineralización, minerales de mena y ganga en muestra de mano, características estructurales, así como las condiciones de extracción y beneficio mineral.

En esta visita se observó una mineralización correspondiente a filones rectilíneos a sinuosos de cuarzo, carbonato, sulfuros y óxidos de hierro principalmente, emplazados en rocas metasedimentarias del Grupo Dagua, las cuales se encuentra con alto grado de silicificación. Los filones presentan un alto control estructural, con orientación N20-40W, E-W y N10-20E, siguiendo los sistemas de fallas y encajados principalmente en zonas de cizalla y a lo largo del contacto entre rocas metasedimentarias y rocas ígneas (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018).

3.3 Actividades de laboratorio

3.3.1 Petrografía y metalografía

La investigación microscópica en luz transmitida y reflejada de minerales, rocas, menas y otros materiales es un método no destructivo para la identificación de sustancias sólidas (cristalinas o amorfas). Estudiar las relaciones texturales (estructura, fábrica, asociaciones de fases, texturas de reacción), permite obtener información para comprender la génesis de un mineral, así como las características de liberación durante los procesos de molienda. La identificación de los minerales con el microscopio de luz polarizada se basa en las propiedades ópticas y morfológicas de los mismos. La microscopía de polarización encuentra sus límites cuando la composición química de soluciones sólidas requiere ser conocida o cuando el material es de grano tan fino que impide la identificación de las fases individuales (Raith, Raase, & Reinhardt, 2012).

Para el desarrollo de este trabajo se realizó identificación de minerales bajo microscopio petrográfico Olympus CX31 de luz reflejada y transmitida perteneciente al Laboratorio Microfluid Spectral del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional sede Bogotá. Este análisis se realizó para las 23 secciones delgadas pulidas relacionadas en la Tabla 3-1, donde se identificaron los minerales de mena (incluyendo oro), ganga y alteración, relación entre minerales, texturas, porcentajes de contenido mineral, entre otras características que permitieran la identificación de los minerales y su paragénesis, así como determinar las características texturales relevantes para el beneficio mineral

(relación entre los minerales, características de los bordes de contacto, tipos de intercrecimientos, entre otros).

En las placas donde se identificaron los granos de oro se determinaron los minerales asociados a este metal y las relaciones entre ellos. Mediante la utilización del microscopio petrográfico Olympus trinocular BX41 y el software ImagePro, se realizó conteo de granos de oro presentes en cada placa, toma de medidas correspondientes a la longitud máxima y mínima de los granos de oro y de los sulfuros hospedantes y se tomaron las fotos de los mismos. Con esta información se prepararon las placas para realizar los análisis de microsonda electrónica (EPMA).

3.3.2 Química mineral

El análisis de microsonda electrónica (EPMA) es una técnica de gran precisión y sensibilidad para el análisis cualitativo y cuantitativo de minerales, cuyo principio es bombardear un haz de electrones dirigido sobre una sustancia, con el fin de medir la longitud de onda e intensidad de los rayos-X característicos y emitidos, así como las intensidades de los electrones secundarios y electrones retrodispersados. Los rayos-X característicos y generados en la muestra son detectados por espectrómetros dispersores de longitud de onda (WDS) y, por lo tanto, un análisis cualitativo es fácil de obtener identificando las líneas de sus longitudes de onda. Comparando las intensidades de estas líneas con aquellas emitidas por los estándares (elementos puros o componentes de composición conocida), es posible también determinar las concentraciones de los elementos (análisis cuantitativo) (González, Pareja & Ballesteros, 1991).

Las determinaciones por microsonda electrónica (EPMA) permiten obtener el análisis químico de volúmenes muy pequeños (del orden de 1 μm), lo que posibilita el análisis puntual y sistemático de granos heterogéneos (zonados, exsoluciones, etc.) (Melgarejo, Proenza, Gali, & Llovet, 2010). Los elementos analizables por esta técnica corresponden a los de número atómico mayor a 3 (a partir del berilio), hasta el uranio inclusive. Los límites de detección dependen de cada elemento y en especial de las condiciones de análisis (energía, corriente del haz de electrones, tiempo de conteo). De forma rutinaria se obtiene

hasta las centésimas de porcentaje, llegando incluso al nivel de partes por millón (Melgarejo et al., 2010).

A partir de la petrografía, se seleccionaron 11 placas para realizar el análisis por microsonda electrónica (EPMA) (Tabla 3-2), donde, se determinaron los elementos químicos que componen el oro y los minerales de mena identificados. Así mismo, la técnica permite la elaboración de mapas composicionales, donde es posible identificar zonaciones de los elementos químicos presentes en ellos. El equipo utilizado para este análisis es el JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer de tres espectrómetros WDS, con las siguientes condiciones de medida: aceleración de voltaje de 15 kv; 20 nA de corriente del haz; diámetro del haz entre 5 μm - 10 μm ; tiempo de medida de cada elemento de 20 para el pico, y de 10 s para el fondo. El equipo se encuentra localizado en el Laboratorio de caracterización litológica del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Tabla 3-2: Secciones delgadas pulidas analizadas por microsonda electrónica

| IDENTIFICADOR | MINA | FILÓN |
|-----------------|---------------------|---------------|
| 806302 | La Cartagua | ----- |
| 805659 | El Canadá | Las Moscas |
| 805667 | | La Guzga |
| 805669 | | El 18 |
| 805675 | | |
| 805676 | | |
| 806212B | La Palmera | ----- |
| ID-1 Golondrina | La Golondrina Norte | La Golondrina |
| ID-3 Sotomayor | | Sotomayor |
| 806213A | El Páramo | ----- |
| 806213 | | |

3.4 Análisis de información

Con la información generada en la etapa de laboratorio, se realizaron como actividades principales las que se enumeran a continuación y que permiten alcanzar los objetivos del estudio.

3.4.1 Paragénesis mineral

La paragénesis corresponde a la asociación mineral y su representación gráfica, donde se muestra el orden temporal en que los minerales se depositaron en una zona mineralizada. A partir de la información generada en la fase de petrografía y los resultados de la microsonda electrónica, se realizó la identificación de los minerales analizados y se construyeron las paragénesis correspondientes a cada mina del área de estudio, información fundamental para determinar la relación entre los minerales presentes en el depósito, así como para hacer consideraciones sobre el tipo de depósito mineral.

3.4.2 Composición mineral

Con los resultados de contenido elemental obtenidos a través del análisis de microsonda electrónica (EPMA) para el oro se determinaron características como composición, ley (relación oro-plata), elementos químicos con concentraciones anómalas dentro del mismo.

La identificación de minerales hecha a partir del análisis de microsonda electrónica (EPMA) también permite realizar ajustes a la paragénesis mineral, una vez se identifican o corroboran minerales que mediante la petrografía no fue lo suficientemente clara para su identificación.

3.4.3 Caracterización mineralógica aplicada en geometalurgia

Para determinar las principales características, que desde la geología se deben tener en cuenta para los procesos de recuperación mineral, y que son conocidas como geometalurgia, se tuvo en cuenta información relacionada con las características del oro y de los minerales de mena a los cuales se encuentra relacionado mediante la descripción de sus características.

- **Caracterización del oro**

Con la información generada para el oro (principalmente de la petrografía), se determinaron relaciones de tamaños y peso, minerales hospedantes, forma de presentación del oro en el mineral hospedante, grado de exposición y facilidad de liberación, entre otras.

- Caracterización textural

También, y a partir de la petrografía, se realizó la identificación de las características texturales y de liberación para los minerales que conforman la mena y que están relacionados con el oro (tamaño de granos, irregularidades en los bordes de unión entre minerales, entre otros)

3.5 Resultados y discusión

A partir de los resultados obtenidos se determinaron las principales características que presenta el depósito (oro y mena), enfocado en el proceso de recuperación mineral (proceso geometalúrgico). Esta información permitió determinar unidades con similares características (unidades geometalúrgicas) y el grado de dificultad que se tendrá durante el proceso de beneficio mineral. También es posible hacer consideraciones sobre el tipo de depósito, los impactos ambientales que genera la actividad minera, así como determinar las técnicas de beneficio que generen mayor eficiencia en la recuperación del oro.

4 Análisis de información

4.1 Características petrográficas

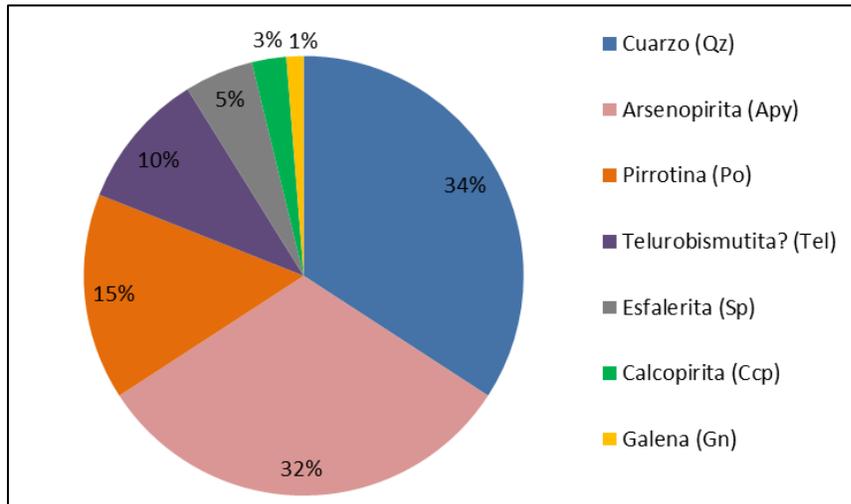
En las placas analizadas (ver Tabla 3-1) se identificaron líticos de rocas ígneas intrusivas (de composición tonalítica y granodiorítica) y sedimentarias (roca caja) y minerales como cuarzo (Qz), muscovita (Msv), plagioclasa (Pl) y biotita (Bio), todos minerales de la fase pre-mineralización, además de eventos de recristalización y brechamiento. Con respecto a la alteración hidrotermal para la etapa pre-mineral, se identificó la presencia de clorita (Chl), biotita secundaria (Bio sec) y sericita (Se). Los minerales de mena presentes son en orden de mayor a menor abundancia son arsenopirita (Apy), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), esfalerita (Sp), galena (Gn), pirita (Py), telurobismutita? (Tel) y marcasita (Mrc). Con respecto al oro (Au), este fue identificado en nueve (9) de las 23 placas analizadas, con un total de 79 granos (Tabla 4-1). Se precisa que la ausencia de oro en las demás placas analizadas no indica que las minas sean estériles para oro.

Tabla 4-1: Secciones delgadas pulidas donde se identificó Au

| IDENTIFICADOR | MINA | FILÓN | No. GRANOS |
|----------------------|---------------------|---------------|-------------------|
| 805659 | El Canadá | Las Moscas | 14 |
| 805667 (1) | | La Guzga | 13 |
| 805669 (2) | | | 5 |
| 805675 (1) | | El 18 | 3 |
| 805676 (2) | | | 3 |
| 806212B | | La Palmera | ----- |
| ID-1 Golondrina | La Golondrina Norte | La Golondrina | 15 |
| ID-3 Sotomayor | | Sotomayor | 17 |
| 806213B | El Páramo | ----- | 6 |
| Total granos de oro | | | 79 |

El oro se encuentra hospedado principalmente en cuarzo y en cuanto a sulfuros, se encuentra asociado a arsenopirita (Apy) y pirrotina (Po), le siguen en abundancia telurobismutita? (Tel), esfalerita (Sp), calcopirita (Ccp) y galena (Gn) (Figura 4-1).

Figura 4-1: Porcentajes de asociaciones minerales relacionadas con oro



Para la fase post-mineral, se pueden relacionar minerales como carbonatos (Cb), cuarzo (Qz) en mosaico y diferentes óxidos de hierro.

A excepción de la mina La Golondrina Norte filón La Golondrina, que tiene un contenido de oro superior al 5%, las demás placas donde se identificó este metal no sobrepasan 1% del total mineral. Las secciones donde se identificaron los granos de oro hacen parte de placas analizadas por medio de microsonda electrónica (EPMA) (ver Tabla 3-2), en las que mediante análisis puntuales, se determinó el contenido elemental de los granos de oro y se generaron algunos mapas composicionales del mismo, así como la identificación de minerales no reconocidos en la petrografía.

4.2 Paragénesis

Con la información obtenida de petrografía y metalografía realizada en cada una de las secciones delgadas pulidas se elaboraron las paragénesis minerales para cada mina. La integración de la información se realizó por mina y/o filón, determinando la secuencia de

precipitación del oro y su relación con las demás fases minerales. Con esta información se elaboraron dos (2) paragénesis generalizadas para el área relacionadas al evento mineralizante de oro y el tipo de roca hospedante de la mineralización, ya sea de dominio metasedimentario o de dominio ígneo.

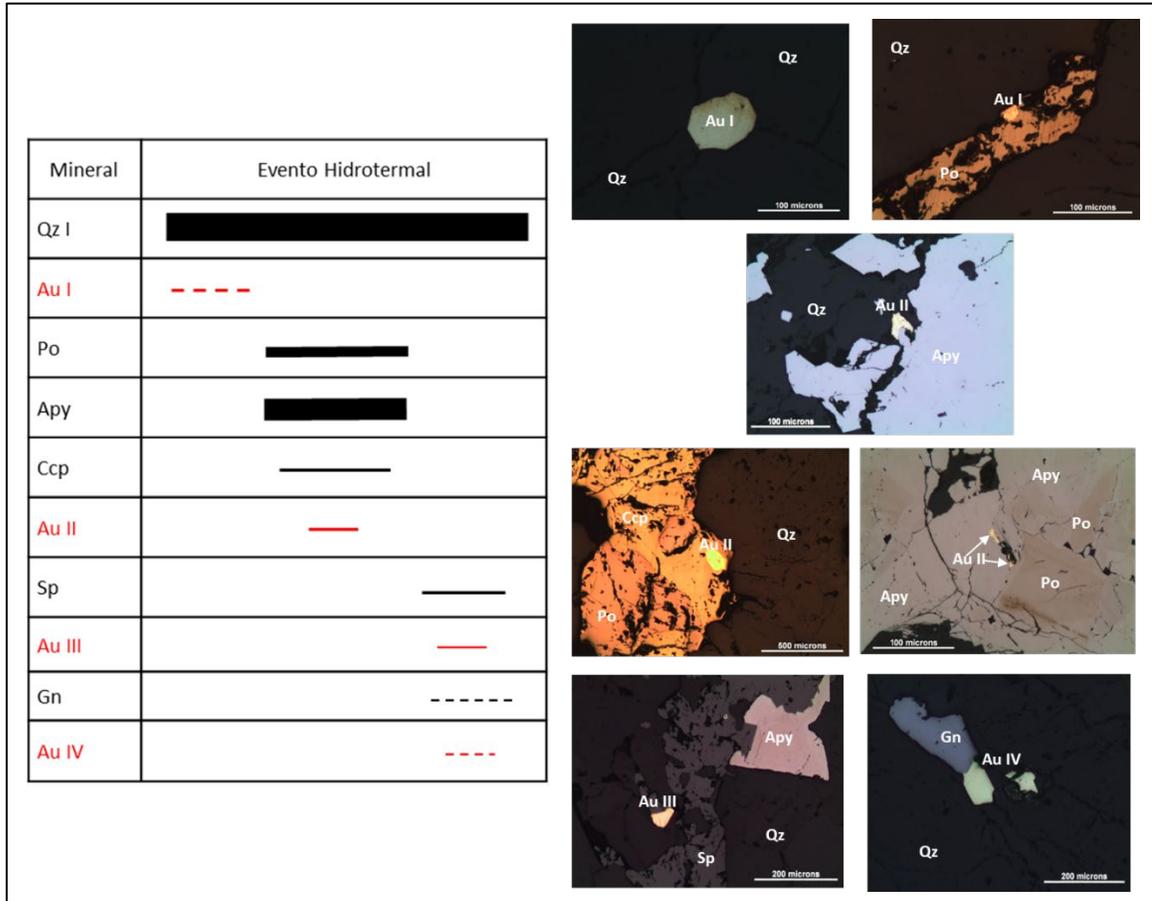
- Dominio metasedimentario:

En este dominio se localizan las minas El Canadá, El Cisne, La Cartagua, San Roque, La Golondrina Sur y La Palmera. Está conformado por lodolitas, arenitas lodosas y arenitas líticas, chert, calizas, tobas, aglomerados y localmente cataclasitas (Gómez, Montes, Nivia, & Diederix, 2015), las cuales presentan procesos metamórficos que permiten correlacionarlos con el Grupo Dagua (Murcia & Cepeda, 1991). Los minerales de mena presentes y en orden de abundancia son arsenopirita y pirrotina, le siguen calcopirita y esfalerita y en menor proporción galena.

Con respecto al oro, este metal fue identificado en cuatro (4) asociaciones diferentes respecto al mineral hospedante así: Au1 asociado con cuarzo euhedral a subhedral, de bordes rectos a sinuosos, Au2 asociado con arsenopirita-pirrotina-calcopirita, Au3 asociado a esfalerita y Au4 relacionado con galena. En la Figura 4-2 se presenta la paragénesis para el evento mineralizante en el dominio metasedimentario, así como las fotos para cada una de las asociaciones de oro determinadas. Los mayores contenidos de oro se encontraron asociados con arsenopirita-pirrotina-calcopirita, le sigue asociado a esfalerita y en menor proporción se encuentra asociado a cuarzo y galena.

Las características geológicas del dominio metasedimentario, así como los minerales presentes y relacionados con el oro, temperatura de emplazamiento y composición química de fluido permiten relacionar esta mineralización con un depósito tipo orogénico presente en las rocas metasedimentarias del Grupo Dagua (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018; Torres et. al., 2019, Rintá et al, 2019).

Figura 4-2: Paragénesis relacionada con las rocas metasedimentarias y el evento hidrotermal y los minerales de mena asociados



▪ Dominio ígneo:

Se presenta en las minas La Golondrina Norte y El Páramo. Si bien en el mapa geológico de la Figura 1-2 la mina La Golondrina Norte se localiza sobre la unidad metasedimentaria (Grupo Dagua), al realizar la petrografía se evidenció la presencia del cuerpo ígneo expuesto a profundidad, así como la zona de contacto entre estas unidades. Para efectos de este trabajo, se tomará esta mina como de composición ígnea, independiente de su localización en el mapa geológico. Las rocas ígneas de esta zona son granodioritas y tonalitas que varían a cuarzodioritas y dioritas, pertenecientes a la Granodiorita de Piedrancha.

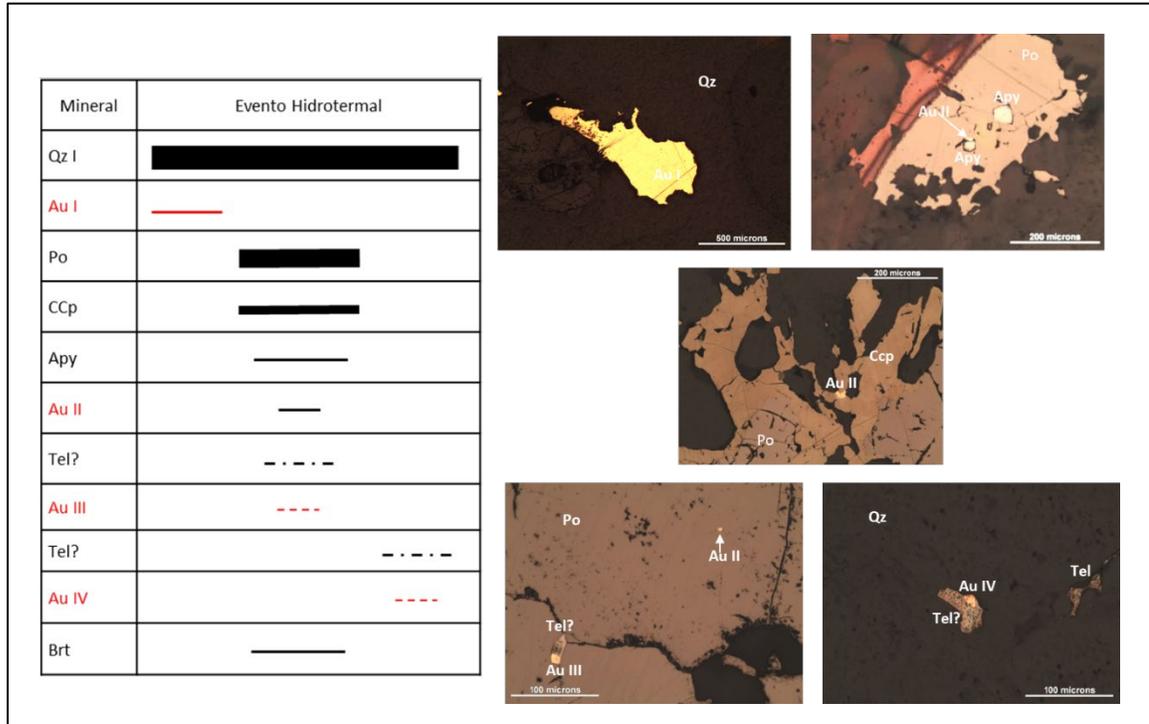
Como minerales de mena y en orden de abundancia se presenta pirrotina y calcopirita, seguidas de arsenopirita y en menor proporción telurobismutita? con variaciones a Bi nativo. Con respecto al oro, este metal fue identificado en cuatro (4) asociaciones diferentes respecto al mineral hospedante así: Au1 asociado con cuarzo euhedral a subhedral, de bordes rectos a sinuosos, Au2 asociado con pirrotina-calcopirita-arsenopirita; Au3 asociado con telurobismutita? que a su vez están relacionados a la mineralización de pirrotina-calcopirita-arsenopirita y Au4 relacionado a telurobismutita?. Los mayores contenidos de oro se encontraron asociados a cuarzo y pirrotina-calcopirita-arsenopirita y en una proporción menor a telurobismutita?. La paragénesis para el evento mineralizante en el dominio ígneo se presenta en la Figura 4-3, acompañada de las fotos para cada una de las asociaciones de oro determinadas

Las características geológicas del dominio ígneo, así como los minerales presentes y relacionados con el oro y la concordancia entre la edad de la mineralización y la del cuerpo hospedante, permiten relacionar esta mineralización con un depósito de tipo relacionado a intrusivos (*intrusion related*), tal como lo clasifica el Mapa Metalogénico de Colombia (López-Isaza et. al., 2018; Leal-Mejía, 2011).

4.3 Composición microquímica del oro

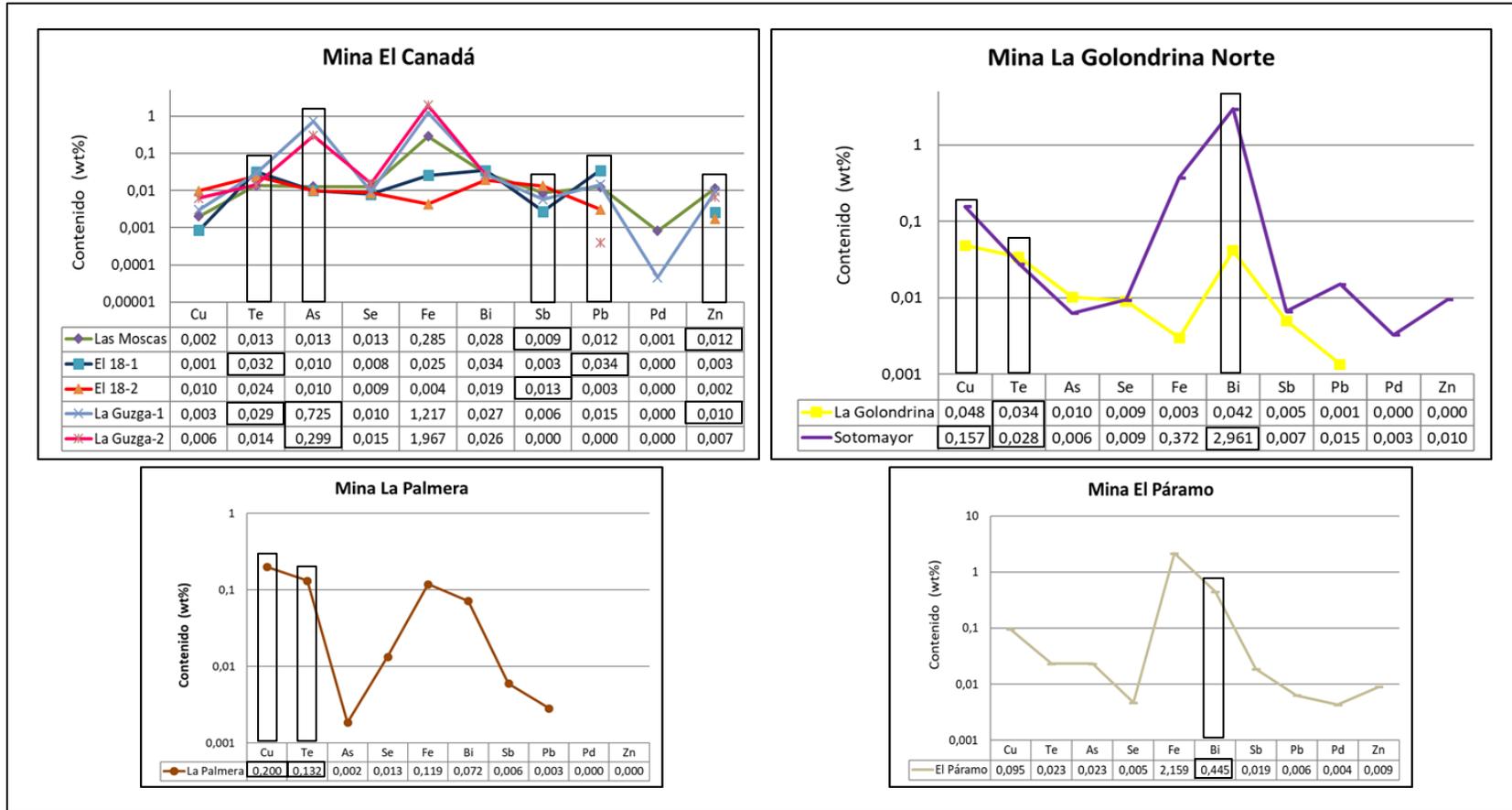
El contenido elemental promedio de los granos de oro determinado por microsonda electrónica (EPMA) para cada mina se presentan en la Figura 4-4 y Anexo A. Las gráficas de distribución elemental fueron elaboradas en logaritmo para evidenciar las diferencias de concentración. De la figura se pueden observar que los valores más altos (medidos en %wt) se relacionan con los elementos arsénico en la mina El Canadá (con mayores concentraciones en el filón La Guzga); antimonio, plomo y zinc en la mina El Canadá; telurio en las minas La Palmera (valor más alto), El Canadá y La Golondrina; cobre en las minas La Palmera y La Golondrina (filón Sotomayor) y bismuto en las minas El Páramo y La Golondrina-filón Sotomayor. Se presenta hierro de manera constante en todas las minas del área.

Figura 4-3: Paragénesis relacionada con rocas ígneas y el evento hidrotermal y los minerales de mena asociados



La distribución de estos elementos puede correlacionarse con los procesos de enfriamiento durante el emplazamiento de la mineralización en cada uno de los ambientes geológicos del área, así elementos como arsénico, antimonio, plomo y zinc corresponden más al ambiente metasedimentario de menores temperaturas de enfriamiento, elementos como bismuto, cobre y telurio corresponden a cristalización de alta temperatura relacionados con ambientes ígneos y cercanos los cuerpos intrusivos (Hart et al. (2002). La presencia de elementos de alta temperatura en minas de ambiente metasedimentario (La Palmera y algunos filones de la mina El Canadá), puede deberse a extensiones del cuerpo intrusivo en profundidad y que no se evidenciaron en la petrografía.

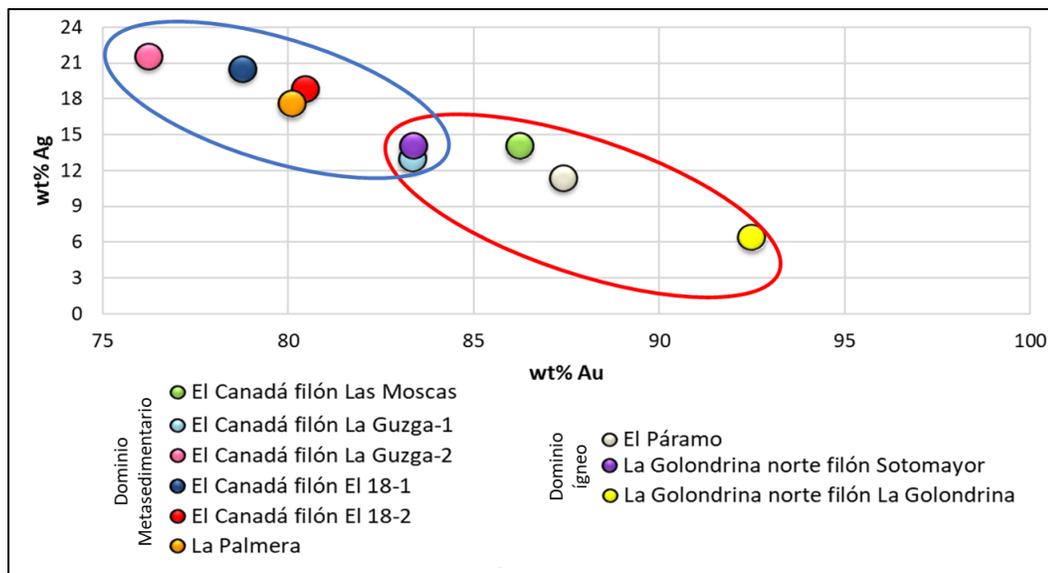
Figura 4-4: Distribución del contenido elemental en los granos de Au donde se señalan las mayores concentraciones de elementos de interés



▪ Relación oro-plata

Las minas de la zona de estudio presentan concentraciones de oro que varían entre 76 y 86 %wt y de plata entre 12 y 22 %wt y un valor fuera de este rango de 94,6 %wt de Au en la mina La Golondrina Norte–filón La Golondrina (Figura 4-5). En promedio para las minas de la zona se tiene una concentración de 83,16 de Au y 15,26 de Ag.

Figura 4-5: Promedio de concentraciones Au/Ag para los granos de Au analizados en las minas de la zona de estudio



Para las minas El Canadá (filón Las Moscas), El Páramo y La Golondrina Norte el oro encontrado es de tipo nativo, con contenido de oro mayor al 85% (Marsenden & House (2009). En las minas El Canadá (filones La Guzga y El 18), La Golondrina Norte (filón Sotomayor) y La Palmera, las concentraciones de oro varían entre 75 y 83% y con contenidos de plata de hasta del 22%, clasificándolo según Marsenden & House (2009), como oro tipo electrum.

Esta relación entre oro nativo y oro electrum en el área puede relacionarse con la ubicación de las minas en los dominios geológicos, donde para el dominio ígneo se presentan los mayores valores de oro (de tipo nativo), mientras que para las minas ubicadas en el dominio metasedimentario, estos valores son más bajos, con predominancia de oro tipo electrum (con mayor contenido de plata).

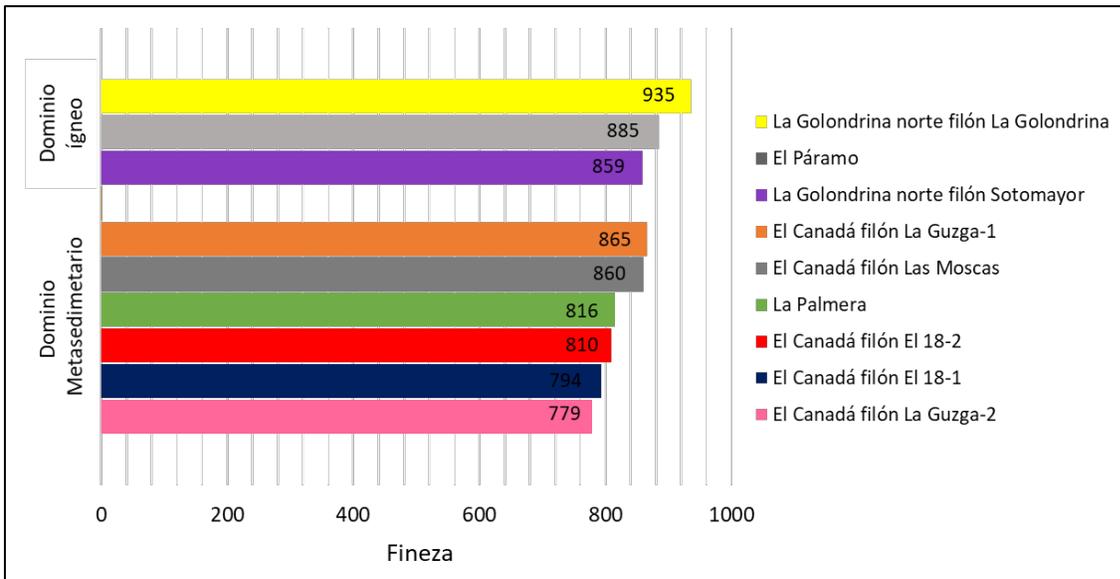
▪ Fineza

Es un término empleado comúnmente para expresar la pureza del oro con relación al contenido de plata y a otros elementos que pudiera contener y es calculada mediante la fórmula (Marsenden & House, 2009):

$$Fineza = \frac{(wt\%Au) \times 1.000}{(wt\%Au) + (wt\%Ag)}$$

En promedio la fineza del oro en el área es 846 y su valor por mina se presentan en la Figura 4-6, donde se observa que la fineza más alta (mayor a 900) corresponde a la mina La Golondrina Norte–filón La Golondrina, mientras que las minas El Canadá (filones La Guzga-2 y El 18-1, presentan los valores más bajos (menores a 800). Para las demás minas del área se tienen finezas entre 800 y 850.

Figura 4-6: Fineza del Au en las minas del área de estudio



Al igual que en la relación de oro-plata, es clara la correlación entre la fineza del oro y el dominio geológico donde se emplaza la mineralización, que se evidencia por presentar mayor valor de fineza en las minas ubicadas en el dominio ígneo. En el dominio metasedimentario se presentan las mayores concentraciones de plata, dado posiblemente

por la menor temperatura que requiere este elemento para su cristalización (Hart et al. (2002).

4.4 Minerales de mena

Los minerales de mena asociados al oro, en orden de abundancia, son arsenopirita, pirrotina, telurobismutita?, esfalerita, calcopirita y galena (ver Figura 4-1). Algunas de las principales características de los minerales de mena a tener en cuenta durante los procesos de beneficio se nombran a continuación (Marsenden & House, 2009; Adams, 2005; Petruk, 2000; Fleming, 1998)

- Pirrotina (Po): es el mineral más reactivo, la generación de compuestos por su desintegración aumentan el consumo de cianuro y oxígeno durante los procesos de beneficio.
- Arsenopirita (Apy): presenta algo de reactividad, siendo más reactivos los compuestos de arsénico como la pirita arseniosa.
- Calcopirita (Ccp): los minerales de cobre forman complejos fuertes de cianuro que no permiten la disolución del oro. La calcopirita oxidada genera pátinas y recubrimiento en el oro.
- Telurobismutita? (Tel): los telurios así como los telurios de bismuto se disuelven muy lentamente en soluciones de cianuro y generalmente requieren procesos adicionales y previos a la recuperación por medio de cianuración.
- Galena (Gn): aunque es un mineral relativamente estable durante los procesos de recuperación mineral, sin embargo, si el plomo está presentando procesos de oxidación, se comporta como cianicida.
- Esfalerita (Sp): es el mineral menos reactivo presente en la mena y no generarían afectación durante los procesos de recuperación mineral.

En algunos cristales de estos minerales se realizaron mediciones puntuales por medio de microsonda electrónica que permite evidenciar poca variabilidad en la composición elemental de los mismos (Anexo B).

4.5 Caracterización mineralógica aplicada a geometalurgia

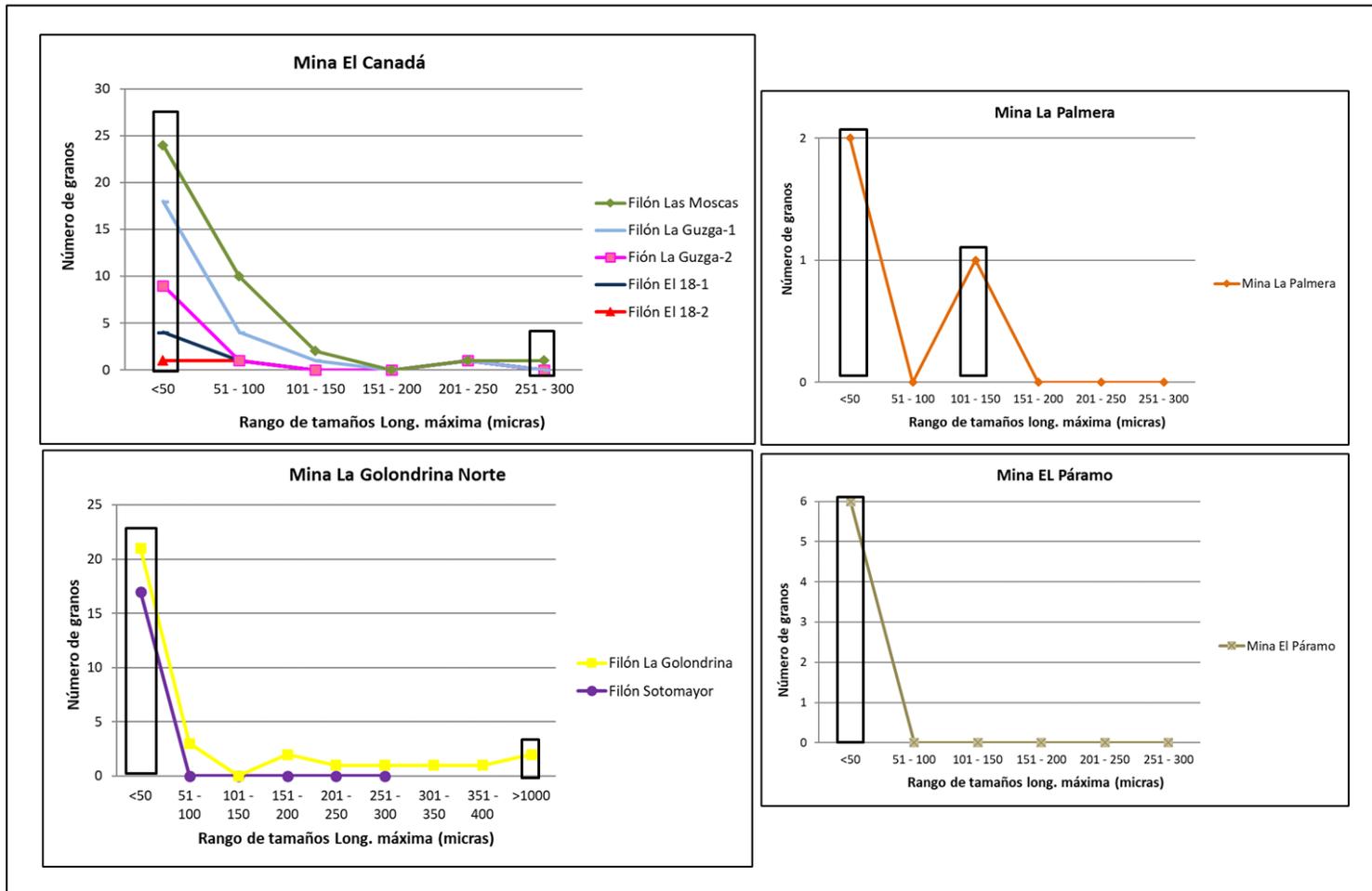
En la sección 2.3-Geometalurgia, se establecieron características relevantes del oro y de los minerales de mena que son requeridas para llevar a cabo los procesos metalúrgicos. A continuación, se presentan las características tenidas en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

4.5.1 Tamaños del oro

La distribución de tamaños (longitud máxima) de los 79 granos de oro medidos en cada mina (ver Tabla 4-1) se presentan en la Figura 4-7, donde el tamaño predominante es menor a 50 micras. De la distribución de tamaño de los granos de oro presentes en las minas del estudio, se puede hacer las siguientes consideraciones:

- Todas las minas de estudio presentan tamaños de oro hasta de 50 micras (53 granos).
- La Mina El Páramo (6 granos) y el filón Sotomayor (17 granos) de la mina La Golondrina Norte solo presentan tamaños de granos de oro hasta de 50 micras (entre 4 y 27 micras).
- Tamaños hasta 100 micras se presentan en la Mina El Canadá filones Las Moscas (6 granos), la Guzga (3 granos) y El 18 (1 grano).
- Los filones Las Moscas y La Guzga de la mina El Canadá y la mina La Palmera tienen un (1) grano de oro de tamaño mayor de 100 micras respectivamente.
- La mina El Canadá y sus filones Las Moscas y El 18 presentan un (1) grano con tamaño mayor de 200 micras respectivamente.
- El oro de la mina La Golondrina Norte presenta todos los rangos de tamaño de granos, incluyendo valores superiores a 250 micras hasta mayores a 1000 micras, los más altos de la distribución

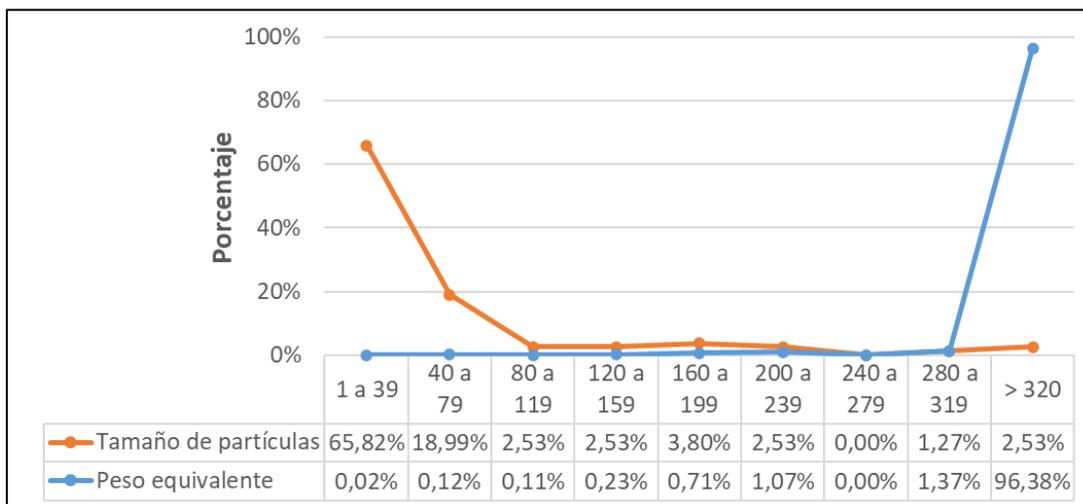
Figura 4-7: Distribución tamaños (longitud larga) granos de Au medidos en cada mina



Para las técnicas de beneficio del oro, los tamaños de grano menores de 50 micras son un limitante en la recuperación del metal, ya que tamaños mayores pueden ser recuperados por métodos gravimétricos convencionales, mientras que para los tamaños menores se requieren otro tipo de técnicas (no convencionales) (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Teniendo en cuenta que el área de los granos individuales corresponde estrictamente a la observada en la superficie, lo que supone una profundidad de detección nula, cada grano de oro se asoció a un diámetro circular equivalente (DCE), el cual relaciona el área con el volumen, bajo la hipótesis de $%A \approx %V$ (Russ, 1990 en Berrezueta, Castroviejo, Pantoja, & Álvarez, 2002), lo que permite considerar la contribución de los granos al contenido de oro (Guerra, 2017). En este sentido, en la Figura 4-8 se observa la distribución del tamaño de los granos de oro comparada con el peso equivalente calculado, donde el mayor peso de oro corresponde a los granos de tamaños de más grandes (>250 micras), aunque de menor presencia dentro de la mena (3 granos). Los demás tamaños representan solo al 5% del peso equivalente de oro. Para el rango entre 240-280 no hay presencia de granos de oro (Anexo C).

Figura 4-8: Distribución del número de partículas de Au y el peso, donde se observa que el mayor porcentaje en peso corresponde a los granos de Au más grandes

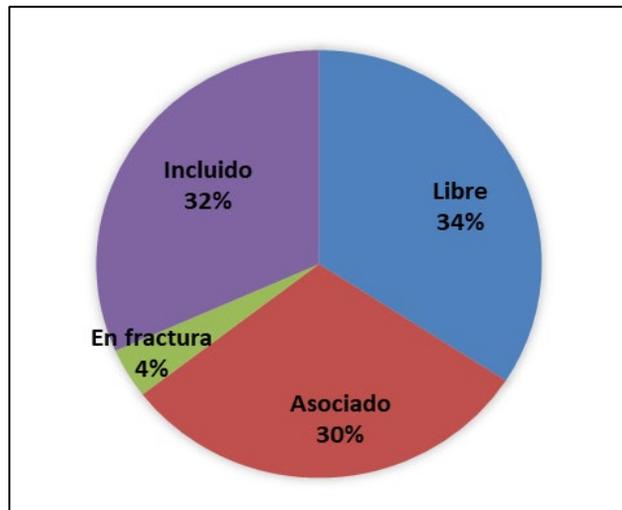


4.5.2 Forma de presentación (ocurrencia) del oro

La liberación del oro durante los procesos de recuperación mineral depende en gran medida de la presentación o forma en que están los granos de oro dentro de la mena (también conocida como ocurrencia) y está directamente asociada a la dificultad que se pueda tener para su liberación por procesos convencionales.

La ocurrencia o forma de presentación de los granos de oro identificados en este estudio se presentan en la Figura 4-9 y en la Figura 4-10 se muestran algunas fotografías de éstos. Para toda la mena y de manera general se observan porcentajes muy similares entre los tipos de ocurrencia del oro (libre, asociado e incluido), así como el menor porcentaje se presenta en oro en fracturas (Anexo C).

Figura 4-9: Forma de ocurrencia granos de Au por número de partículas consolidada para toda la mena



Cabe resaltar que al ser un análisis de veta intacta (muestras tomadas directamente del frente de mina), el oro incluido y/o asociado a cuarzo se considera como libre, al hacer parte de la masa mineral donde se encuentra contenida la mena. Así mismo, y para cada una de las minas del estudio y teniendo en cuenta el peso de cada partícula de oro y del mineral hospedante se construyeron gráficas comparativas de ocurrencia, las cuales se presentan en la Figura 4-11, donde se observa que el oro libre (Au1 para ambos dominios geológicos propuestos) corresponde al 100% del peso de los granos de oro en el filón E118-2 de la mina El Canadá y el filón La Golondrina de la mina La Golondrina Norte.

Figura 4-10: Fotografías de la forma de presentación (ocurrencia) de los granos de oro con relación a los minerales de mena presentes en la zona de estudio

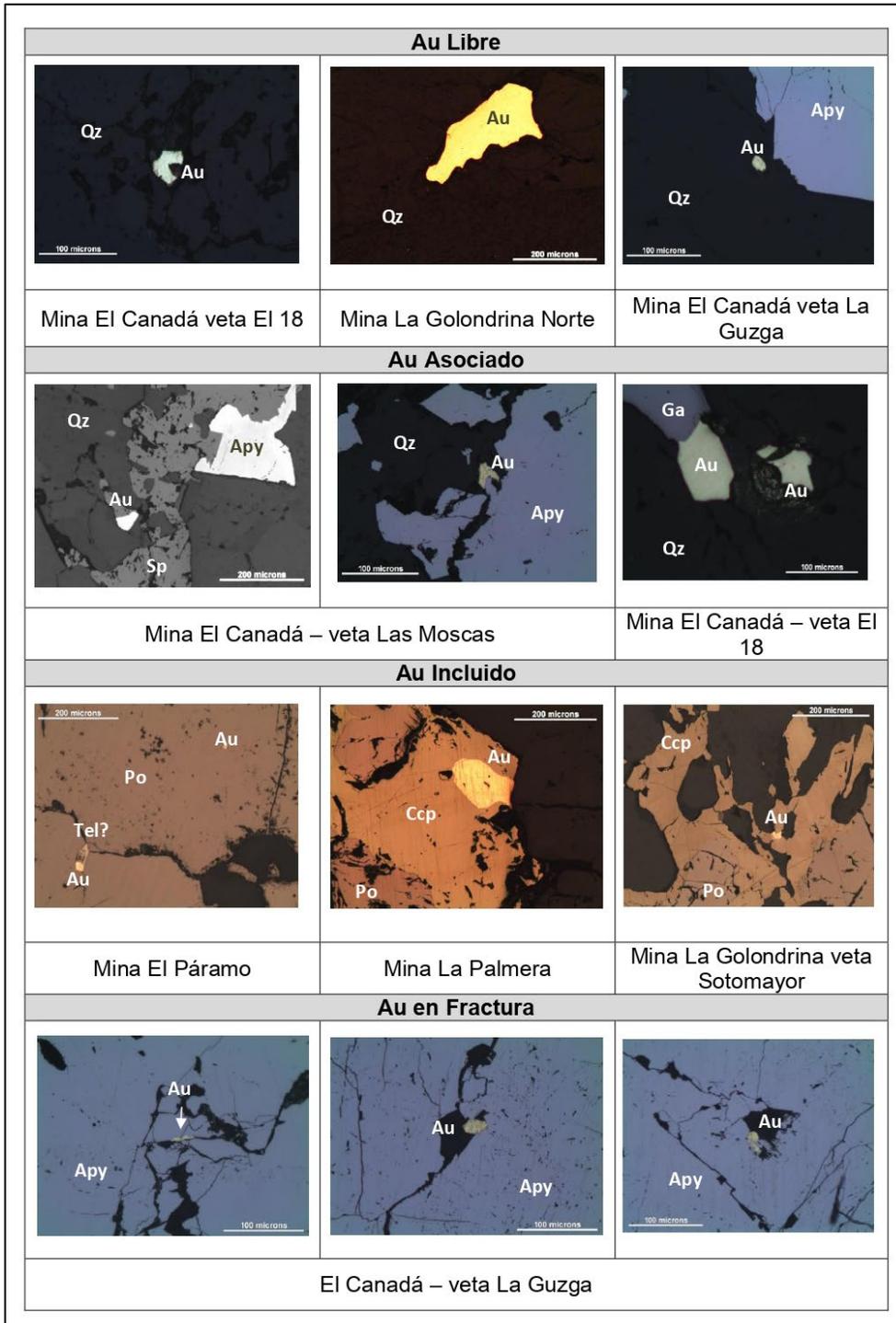
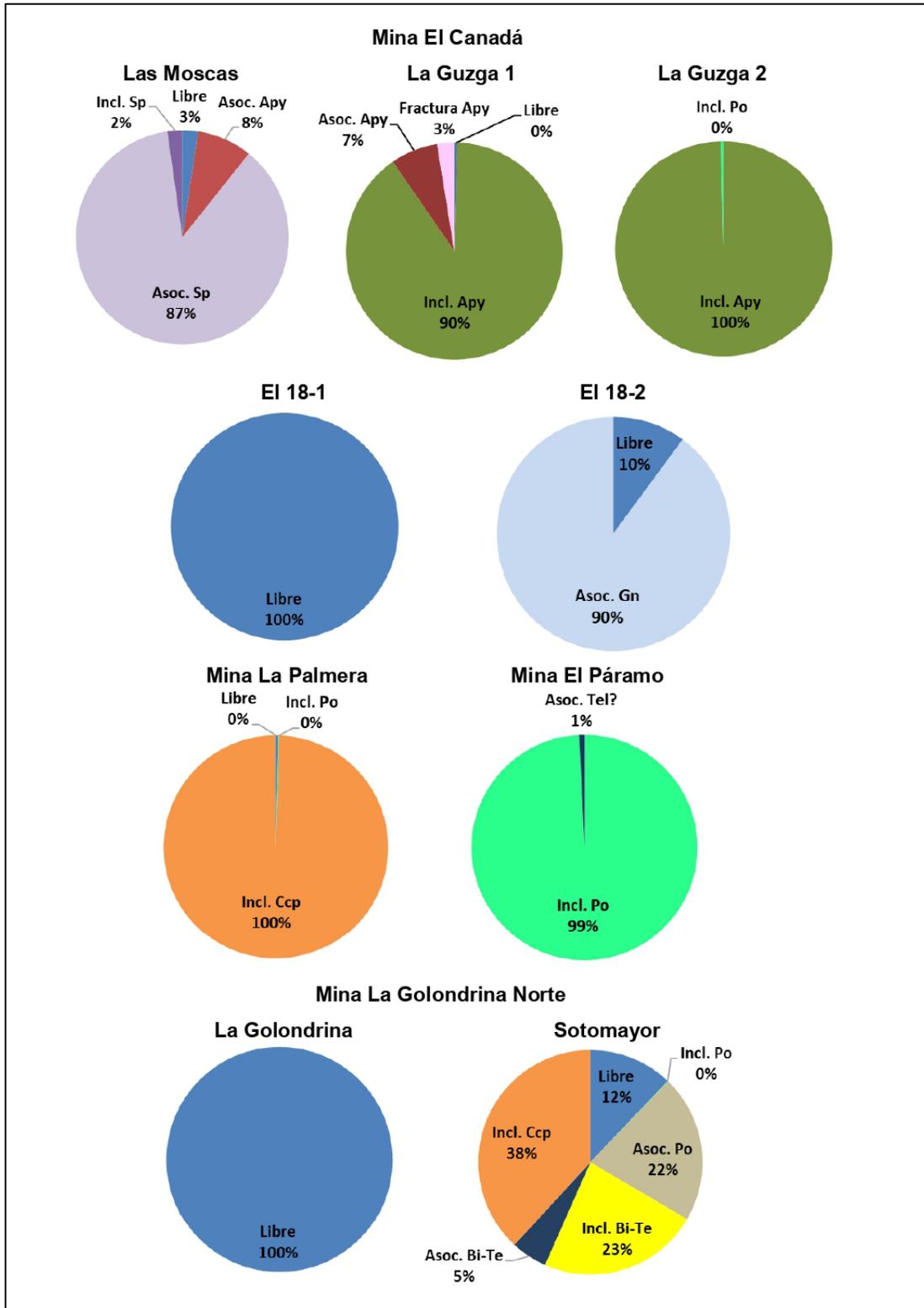


Figura 4-11: Porcentaje de peso de los granos de oro según su forma de presentación (ocurrencia) para cada mina



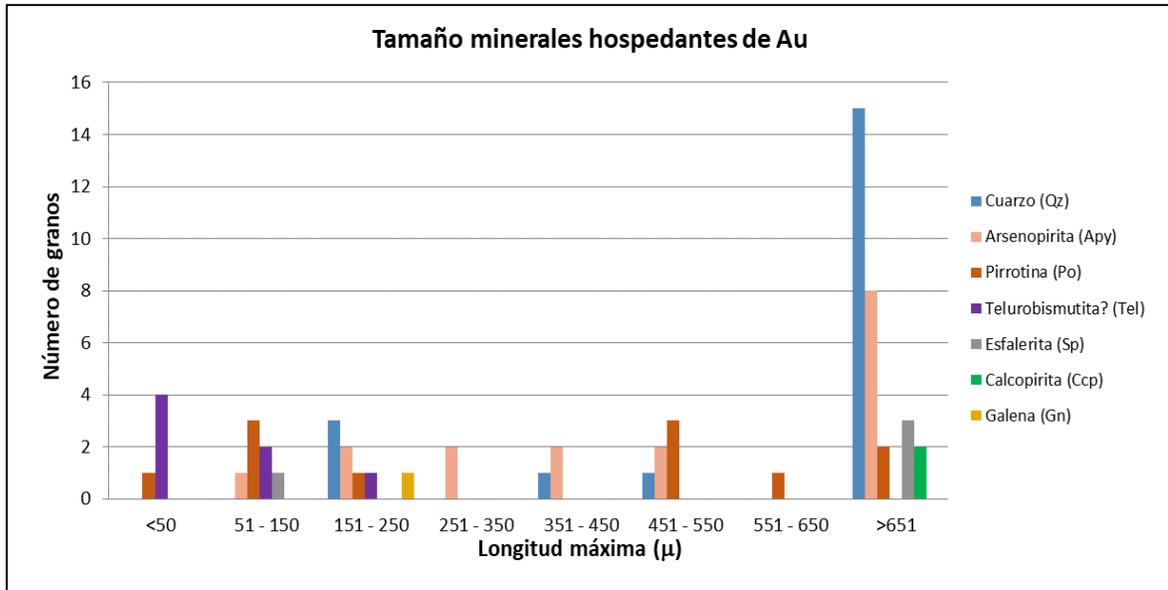
De la figura y para el dominio metasedimentario, los porcentajes representativos para oro asociado corresponden a esfalerita y galena (Au3 y Au4 filones Las Moscas y El 18-2 Mina El Canadá) y oro incluido en arsenopirita (Au2) en los filones La Guzga 1 y 2) y en calcopirita en la mina La Palmera (Au2).

En el dominio ígneo la presentación del oro con mayores porcentajes en peso corresponde con oro incluido en pirrotina en la mina El Páramo (Au2). En el filón Sotomayor de la mina La Golondrina Norte se presentan porcentajes variables para cada tipo de presentación de oro, con mayores porcentajes presentes como incluidos en calcopirita (Au3) y Telurobismutita? (Au4) y con menores porcentajes para oro asociado a pirrotina y Telurobismutita? (Au3).

Determinar la forma en que se presenta el oro con relación a los minerales de mena es fundamental para conocer la forma en que estos se separarán durante los procesos de reducción de tamaño (grado de liberación). En este sentido, los granos de oro que se presentan como incluidos presentan una mayor dificultad para ser liberados en los procesos de molienda, siendo necesario emplear procesos químicos para este fin. Sin embargo, al presentarse el oro en minerales como arsenopirita (Au2-dominio metasedimentario), pirrotina y calcopirita (Au2-dominio ígneo) y telurobismutita? (Au4-dominio ígneo), el proceso de recuperación se dificulta por ser estos minerales catalogados como refractarios, cianicidas y/o consumidores de oxígeno (ver sección 2.3.4-Tipo de mena), los cuales requieren de procesos adicionales para la recuperación del oro de manera eficiente.

4.5.3 Caracterización textural minerales de mena

Los parámetros más relevantes para la caracterización textural de los minerales de mena son el tamaño de minerales hospedantes del oro, las irregularidades entre los bordes de unión entre minerales y los tipos de intercrecimiento mineral (ver Figura 2-2). Los minerales hospedantes del oro en la mena son cuarzo y sulfuros (arsenopirita, pirrotina, telurobismutita?, calcopirita, esfalerita y galena) y su distribución de tamaños, expresada en rangos de la longitud larga medida en micras, se presenta en la Figura 4-12.

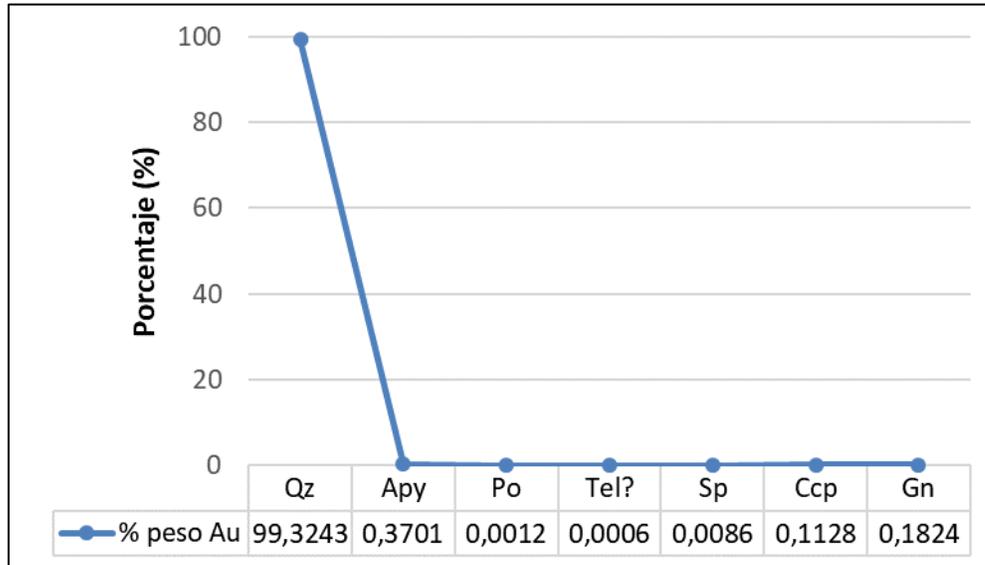
Figura 4-12: Distribución de tamaños minerales hospedantes del Au para el área

Los tamaños que presentan los minerales de mena y que están relacionados con el oro son predominantemente mayores a 650 micras, con lo cual se espera una liberación alta en las primeras etapas de molienda.

Para los demás rangos de tamaño, una molienda convencional (75 micras) alcanzaría a liberarían el oro hospedado en los demás sulfuros a excepción del oro hospedado en telurobauismutita? y algunas pirrotinas, las cuales presentan los tamaños más pequeños de toda la distribución (<50 micras) y que a ese tamaño mínimo de molienda los granos de oro aun permanecerían en la matriz mineral (sin liberar).

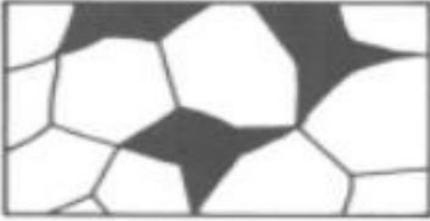
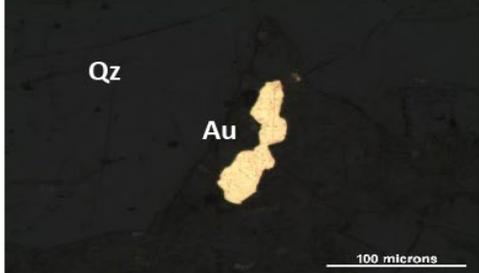
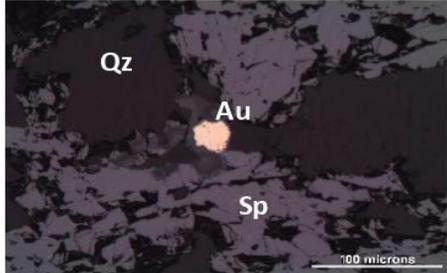
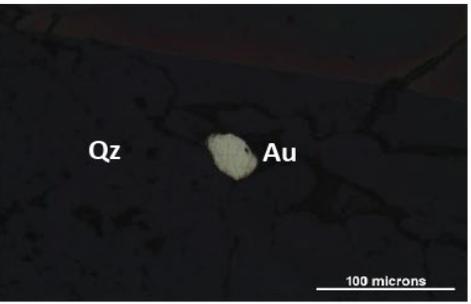
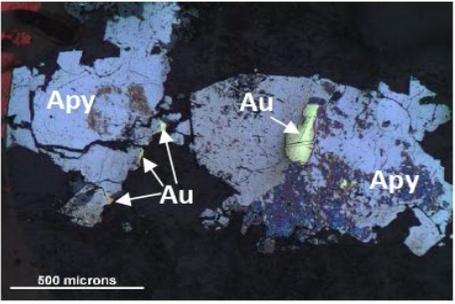
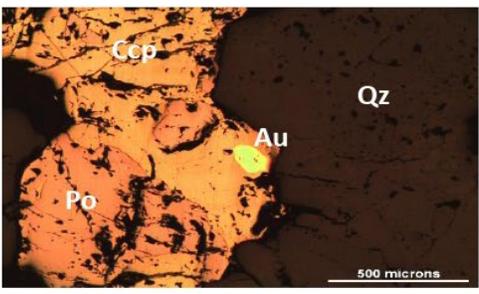
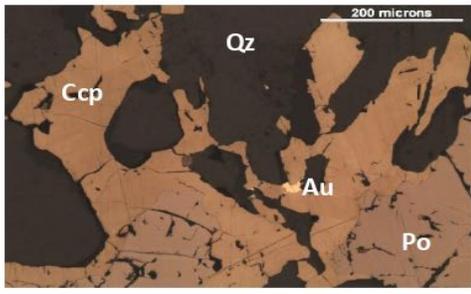
La relación en porcentaje entre el peso equivalente del oro y el mineral hospedante se presenta en la Figura 4-13, donde se observa que el 99% del peso de los granos de oro están relacionados con cuarzo (oro libre). El oro presente en los demás sulfuros que conforman la mena presenta porcentajes en peso muy pequeños, con el mayor porcentaje relacionado con arsenopirita (0,37% de peso equivalente de oro), seguido de galena y calcopirita.

Figura 4-13: Porcentaje de peso equivalente de Au por mineral hospedante



Con relación con las irregularidades de los bordes de unión entre minerales y los tipos de intercrecimiento para los minerales hospedantes del oro, se encontraron relaciones simples, de bordes rectilíneos a sinuosos (Figura 4-14), lo que implica facilidades en la liberación mineral durante los procesos de molienda.

Figura 4-14: Algunos ejemplos de tipos de intercrecimiento presentes entre los sulfuros portadores de Au

| Caracterización textural (Craig & Vaughan, 1981) | |
|---|--|
| Intercrecimiento simple, bordes rectos - liberación fácil | Intercrecimiento simple, bordes curvilíneos - liberación sencilla |
|  |  |
|  |  |
| Mina La Golondrina Norte – Veta La Golondrina | Mina El Canadá – veta Las Moscas |
|  |  |
| Mina El Canadá – veta El 18 | Mina El Canadá – veta Las Moscas |
|  |  |
| Mina La Palmera | Mina La Golondrina Norte – veta Sotomayor |

5 Resultados y discusión

El sector estudiado del Distrito Minero de La Llanada corresponde depósitos de oro caracterizados por presentar filones de cuarzo de formas rectilíneas a sinuosas emplazados en rocas metasedimentarias del Grupo Dagua principalmente y en menor medida en rocas ígneas del Batolito de Piedrancha, conformado por cuarzo y sulfuros como arsenopirita, pirrotina, telurobismutita?, esfalerita, calcopirita, galena, pirita y marcasita, así como carbonatos y óxidos de Fe. Con respecto al oro, se identificaron 79 granos asociado principalmente a cuarzo, arsenopirita y pirrotina en orden de abundancia y en menor proporción a telurobismutita?, esfalerita, calcopirita y galena.

Las características mineralógicas y de ambiente de depositación permiten considerar que en el área se presentan dos (2) tipos de depósito mineral relacionados entre sí, uno de tipo orogénico, localizado en la zona de emplazamiento de dominio metasedimentario y otro de tipo relacionado a intrusivos (*intrusion related*), localizado en el dominio ígneo (Torres et al., 2019; Rintá et al., 2019; Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018; López-Isaza et. al., 2018).

5.1 Características diferenciadoras del depósito

A partir de los resultados del análisis de información se determinaron características entre las minas del área que permitieron considerar la integración de una o varias minas de características similares. Algunos de estos elementos diferenciadores se mencionan a continuación.

5.1.1 Características petrográficas

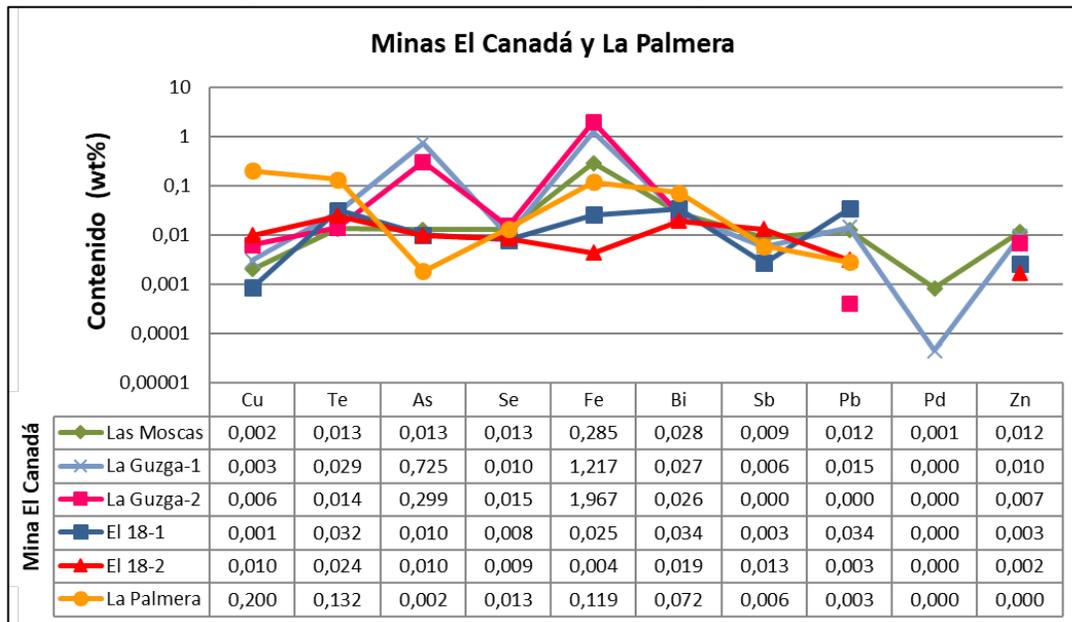
Acorde a la petrografía y a las paragénesis elaboradas para el área (Figura 4-1 y Figura 4-2), las cuales fueron divididas por el ambiente geológico y minerales diferenciadores como la telurobismutita?, las minas del área pueden ser asociadas por unidad geológica

así: para el dominio metasedimentario las minas El Canadá-La Palmera y para el dominio ígneo las minas La Golondrina Norte-El Páramo. La telurobismutita? es un mineral diferenciador porque solo pertenecen al dominio ígneo. Como se explicó en el apartado 4.2-Paragénesis, a pesar que la mina La Golondrina Norte cartográficamente se encuentra sobre la unidad metasedimentaria, se considera de composición ígnea por los resultados arrojados por la petrografía.

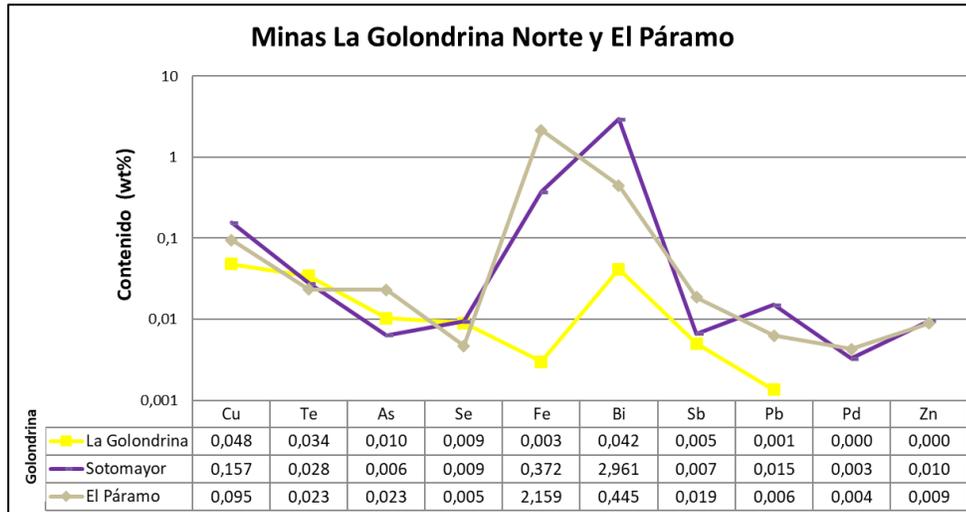
5.1.2 Composición microquímica del oro

De la composición del oro se pueden identificar elementos diferenciadores presentes como Cu, Te, As, Bi, principalmente. En cuanto al contenido elemental en el oro, este se presenta en la Figura 5-1 para las minas El Canadá y La Palmera, donde se observa la tendencia en Cu, Te, As, Sb, Pb y Zn.

Figura 5-1: Elementos presentes en Au minas El Canadá y La Palmera



En la Figura 5-2 se presenta esta misma información para las minas La Golondrina Norte y El Páramo, donde la concentración elemental del oro presenta una tendencia más armónica con concentración de elementos diferenciadores como Cu, Te y Bi.

Figura 5-2: Elementos presentes en Au minas La Golondrina Norte y El Páramo

Con respecto al tipo de oro y su fineza, para las minas El Canadá y La Palmera corresponde principalmente a oro electrum con una fineza menor a 850 en promedio, mientras que en las minas La Golondrina Norte y El Páramo el oro es tipo nativo con una fineza superior a 850 (ver Figura 4-4 y Figura 4-5). Los valores altos de fineza se relacionan con las minas del dominio ígneo, principalmente en el filón La Golondrina-mina La Golondrina, donde el oro presenta el mayor valor de toda el área (935). El dominio metasedimentario presenta los mayores contenidos de plata (hasta de 22 %wt), relacionado posiblemente con menores temperaturas de cristalización (ver Figura 4-5).

5.1.3 Presencia y tamaño minerales metálicos

Los sulfuros hospedantes del oro en las minas El Canadá y La Palmera (Figura 5-3) presentan tamaños por encima de las 50 micras para su longitud máxima, manteniéndose constante hasta las 550 micras. Por encima de 650 micras se presenta arsenopirita y esfalerita en el filón Las Moscas y calcopirita en la mina La Palmera. En el rango entre 550-650 micras no hay presencia de sulfuros para estas minas.

En las minas La Golondrina Norte y El Páramo (Figura 5-4) el valor más representativo corresponde a tamaños menores de 50 micras para telurobismutita y pirrotina (que se extiende hasta 250 micras en el filón Sotomayor y por encima de 650 micras en la mina El Páramo).

Figura 5-3: Tamaño sulfuros hospedantes del Au Minas El Canadá y La Palmera

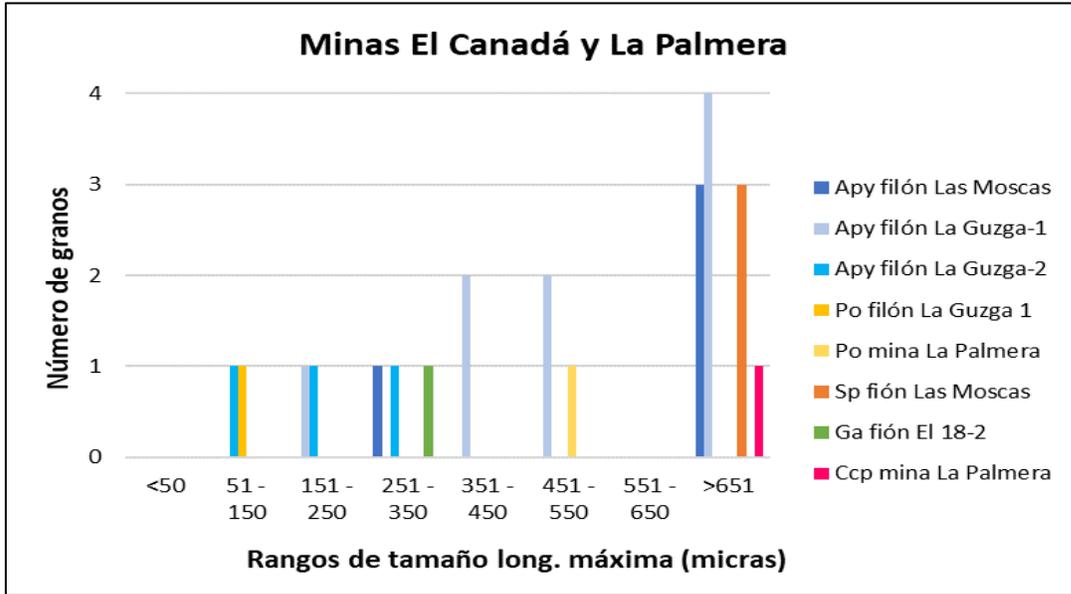
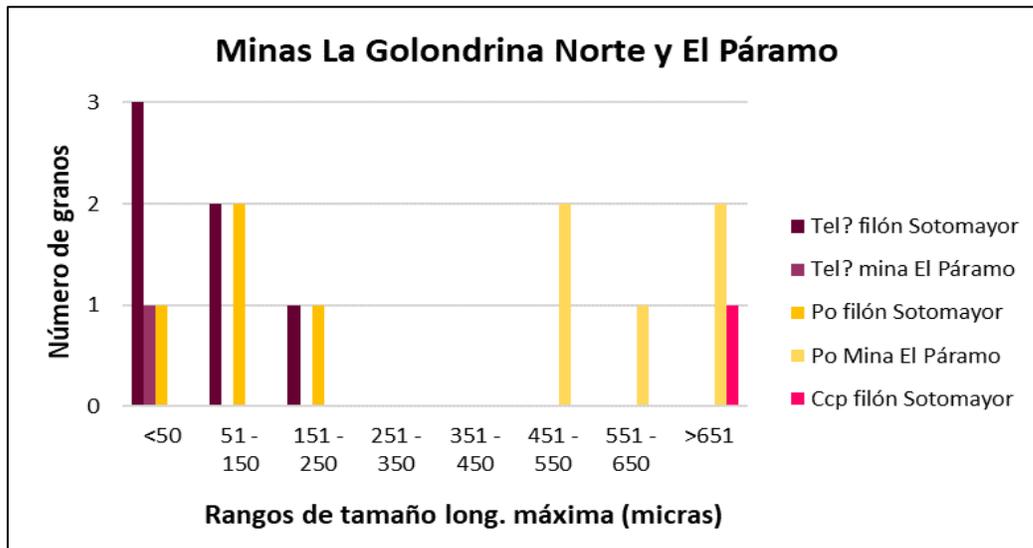


Figura 5-4: Tamaño sulfuros hospedantes del Au Minas La Golondrina Norte y El Páramo



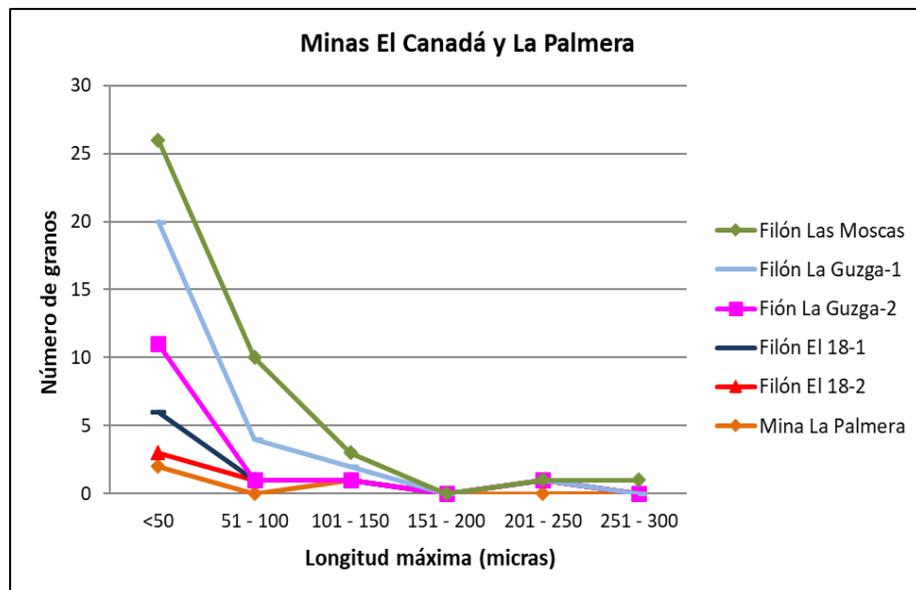
Por encima de 650 micras también se presenta calcopirita en el filón Sotomayor. En el rango entre 250-450 micras no hay presencia de sulfuros. Los filones El 18-1 (mina El Canadá) y La Golondrina (mina La Golondrina Norte) no se incluyeron en estas asociaciones ya que no presenta oro asociado a sulfuros.

De las figuras anteriores también se puede observar la distribución de los minerales de mena con respecto a los dominios geológicos, destacando la presencia de arsenopirita en el dominio metasedimentarios, así como de pirrontina y telurobismutita? en el dominio ígneo.

5.1.4 Tamaños y características del oro

El tamaño de los granos de oro, expresado como la longitud máxima medida en micras, también presentó características que permitieron su integración de manera similar a las características químicas del oro. Esta integración se presenta en las Figura 5-5 y Figura 5-6.

Figura 5-5: Distribución de tamaños de Au minas El Canadá y La Palmera



Tanto para la Mina El Canadá como para La Palmera se tienen valores de oro desde menores a 50 micras hasta 300 micras, con una distribución de tamaños en todos los rangos y mostrando una uniformidad en dicha distribución, mientras que en las minas La Golondrina Norte filón Sotomayor y El Páramo se tiene una predominancia de tamaños de oro menores a 50 micras. El filón La Golondrina presenta distribución de tamaños en todos los rangos hasta tamaños mayores a 1000 micras (1mm), que corresponden a los oros más grandes en toda el área de estudio (Figura 5-6).

Los valores y porcentajes en peso equivalente de oro y su relación con el mineral hospedante, consolidado para los 79 granos de oro medido y agrupados por minas en de cada dominio geológico se presenta en la Tabla 5-1, donde el mayor porcentaje en peso de oro para el área se presenta como oro libre o relacionado a cuarzo, proveniente principalmente del filón La Golondrina de la mina La Golondrina Norte.

Figura 5-6: Distribución de tamaños de Au Minas La Golondrina Norte y El Páramo

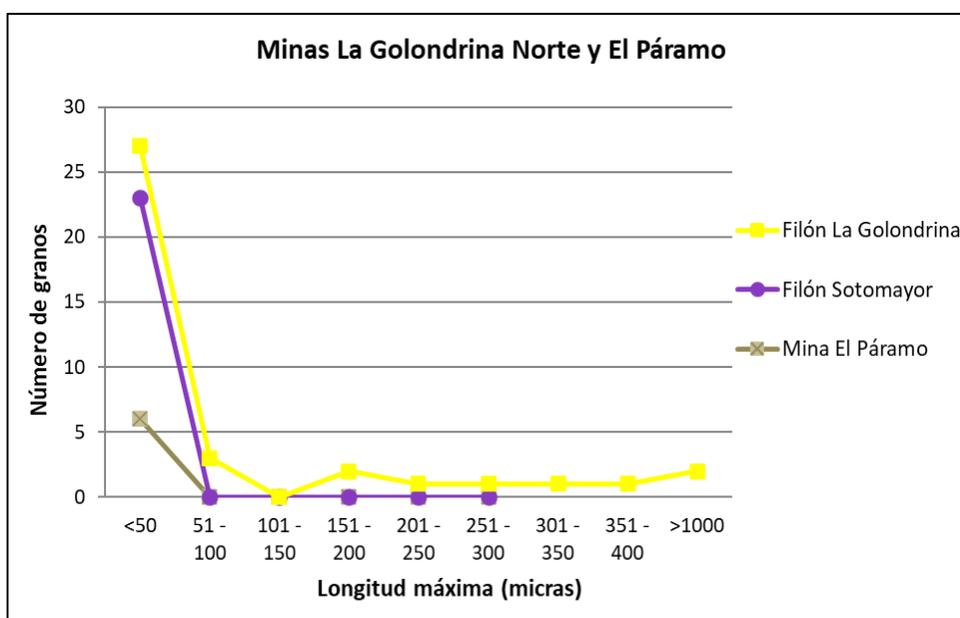
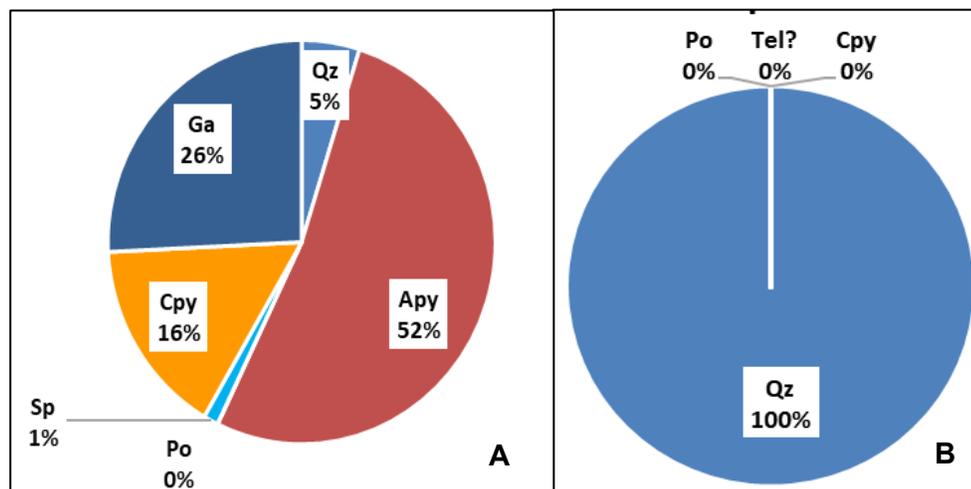


Tabla 5-1: Distribución de oro en los minerales presentes en la mena

| Minas El Canadá y La Palmera | | | Minas La Golondrina Norte y El Páramo | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Hospedante | Peso Au (μg) | % peso Au | Hospedante | Peso Au (μg) | % peso Au |
| Qzo | 0,00775 | 4,8252 | Qz | 22,55156 | 99,99757 |
| Apy | 0,08406 | 52,3140 | ----- | | |
| Po | 0,00005 | 0,0305 | Po | 0,00022 | 0,00096 |
| Sp | 0,00196 | 1,2207 | ----- | | |
| Ccp | 0,02543 | 15,8242 | Ccp | 0,00019 | 0,00084 |
| Gn | 0,04143 | 25,7855 | Tel? | 0,00014 | 0,00063 |
| Total Au | 0,16068 | 100 | Total Au | 22,55211 | 100 |

Para las minas El Canadá y La Palmera, el oro está relacionado principalmente a sulfuros y en baja proporción a cuarzo. Con respecto a la asociación del oro con sulfuros, se observa en la Figura 5-7 que para las minas El Canadá y La Palmera el oro presenta los mayores porcentajes en peso equivalente para arsenopirita, galena y calcopirita, mientras que en la integración de las minas La Golondrina Norte y El Páramo todo el peso de oro está en cuarzo.

Figura 5-7: Porcentaje en peso de Au por mineral hospedante. **A** minas El Canadá y La Palmera. **B.** minas La Golondrina Norte y El Páramo



5.2 Unidades geometalúrgicas

El conjunto de propiedades mineralógicas, texturales, físicas y químicas de un yacimiento repercuten sobre el tratamiento metalúrgico, por eso se hace necesario definir unidades que representen características similares y pueden ser correlacionables o no, con los tipos litológicos o de alteración que se conocen en un yacimiento. Esta asociación se representa como unidades geometalúrgicas y consideran similares características para la explotación y beneficio de minerales, lo que permite definir la ruta metalúrgica a seguir, la cual es específica para cada unidad (Pérez, Gaspar & Brown, 2013; Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018). Para este estudio se definieron dos (2) unidades geometalúrgicas, a partir de las características en común que permitieron su integración, y que se describen a continuación.

5.2.1 Unidad geometalúrgica 1 (dominio metasedimentario)

Comprende las minas El Canadá y La Palmera. Geológicamente corresponde con rocas metasedimentarias y metavolcánicas de los Grupos Dagua y Diabásico. Como minerales de mena presenta arsenopirita, pirrotina, calcopirita, esfalerita y galena y la ganga está compuesta por cuarzo. Se puede relacionar con un depósito de tipo orogénico.

Presenta tamaños de oro entre menores de 50 hasta 300 micras y para sulfuros hasta mayores de 650 micras (longitud máxima). Los componentes químicos del oro representativos son Cu, Te, As, Sb, Pb y Zn. El oro está relacionado principalmente con arsenopirita (incluido, asociado y en fractura), esfalerita (asociado), galena (asociado) y calcopirita (incluido). Para su recuperación se requiere una molienda primaria inicial a 300 micras, donde se liberaría el 90% de los sulfuros (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018), para una posterior recuperación gravimétrica. La recuperación de tamaños de oro más fino requiere de una molienda secundaria fina y de procesos de recuperación de oro no convencionales.

5.2.2 Unidad geometalúrgica 2 (dominio ígneo)

Conformada por las minas La Golondrina Norte y El Páramo. Geológicamente corresponde con un cuerpo intrusivo de características tonalíticas relacionado con el Batolito de Piedrancha que intruye rocas metasedimentarias del Grupo Dagua. La mena está conformada por pirrotina, telurobismutita?, calcopirita y cuarzo como ganga. Se puede correlacionar con un depósito tipo relacionado a intrusivos.

Los tamaños de oro que predominan en esta unidad son menores a 50 micras, sin embargo, para el filón La Golondrina se tienen granos de Au libre hasta de 1 mm. En cuanto a sulfuros presenta una distribución bimodal, entre menores 50 y 250 micras y superiores a 450 micras (para la longitud máxima). Como elementos anómalos presentes en el oro se encuentran Cu, Te y Bi. El oro de esta unidad está relacionado principalmente a cuarzo (oro libre) y en porcentajes muy pequeños (<1%) a sulfuros como pirrotina (incluido y asociado), calcopirita (incluido) y telurobismutita? (incluido y asociado). Para su beneficio es necesario contar con una molienda gruesa de la ganga cuarzosa (mayor a 600 micras-Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018) para aplicar

posteriormente procesos de recuperación gravimétrica. La recuperación de los tamaños mas finos de oro requiere una remolienda de la ganga cuarzosa y sulfuros para posteriormente llevar a cabo procesos de flotación para la recuperación del mismo, ya que por la presencia de pirrotina y telurobismutita?, los procesos químicos como la cianuración serían muy complejos.

5.3 Complejidad del depósito

De las características definidas para cada unidad geometalúrgica se puede determinar que el depósito es una mena principalmente de oro libre que, mediante métodos gravimétricos podría recuperarse el mayor porcentaje de oro, sobre todo el relacionado con el filón La Golondrina y para la unidad geometalúrgica 1. Para los tamaños menores de 50 micras de oro (presente en ambas unidades geometalúrgicas), se requiere técnicas de recuperación química y/o procesos especiales, lo cual presentarían un grado de dificultad mayor por la presencia de minerales refractarios (telurobismutita?), cianicidas y consumidores de oxígeno (pirrotina, calcopirita y arsenopirita) principalmente (ver sección 2.3.4-Tipo de mena).

De las características texturales y relaciones de borde entre el oro y los minerales hospedantes, se considera una mena de fácil liberación durante los procesos la molienda para ambas unidades, ya que tienen características texturales muy similares.

Lo anteriormente expuesto permite considerar a los depósitos presentes en el área de estudio como una mena de media a alta complejidad para la recuperación mineral, dado principalmente por las características texturales y de relaciones de borde que permiten una fácil liberación durante la molienda; liberación alta del oro de mayor tamaño en las primeras etapas de molienda, aunque la presencia de oro de tamaño menor a 50 micras, así como de minerales cianicidas y refractarios en la mena, generan bajas tasas de recuperación durante el beneficio. Así mismo, los bajos contenidos de plata presentes en el oro y la presencia de carbonato en la mena contribuyen a optimizar los procesos de cianuración.

6 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Entre los municipios de La Llanada y Sotomayor (departamento de Nariño) se ubican depósitos de oro dispuestos en forma de filones rectilíneos a sinuosos de cuarzo, con alto control estructural y orientación N20-40W, E-W y N10-20E (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018), emplazados en rocas metasedimentarias (Grupo Dagua) e ígneas (Batolito Piedrancha) y compuesto por cuarzo, arsenopirita, pirrotina, esfalerita, calcopirita, galena y pirita, así como carbonatos y óxidos de hierro.

A partir de la información de petrografía se generaron dos (2) paragénesis para el área, una relacionada a las rocas metasedimentarias y otra relacionada con rocas ígneas. El depósito es considerado como de posibles tipo orogénico y relacionado a intrusivos respectivamente.

En el análisis petrográfico realizado en las minas El Canadá, La Palmera, El Páramo y La Golondrina Norte se identificaron 79 granos de oro que, según las paragénesis generadas para el área, se encuentran hospedados principalmente en cuarzo y en sulfuros como arsenopirita, pirrotina, telurobismutita?, esfalerita, calcopirita y en menor proporción galena. Los principales componentes químicos del oro son As, Bi, Te y Cu.

El tamaño del oro se encuentra en el rango entre menor a 50 y 300 micras (para la longitud máxima) y prevalencia de tamaños pequeños, a excepción del filón La Golondrina-mina La Golondrina Norte, donde se encontraron granos de oro hasta de 1000 micras (1 mm). Con respecto a las texturas y a las relaciones de bordes entre granos de oro se identificaron texturas sencillas, de bordes sinuosos a rectos.

Con la información generada para cada mina se determinaron características diferenciadoras y que tienen implicaciones desde el punto de vista geometalúrgico, relacionadas con el tamaño de grano y componentes elementales en el oro, relación oro-plata, forma de presentación del oro, así como minerales hospedantes. Esto permitió asociar las minas de similares características en dos (2) unidades geometalúrgicas las cuales corresponden a los dominios geológicos presentes y a las paragénesis elaboradas para el área.

La unidad geometalúrgica 1 corresponde a las minas El Canadá y La Palmera. Se caracteriza por estar ubicada sobre rocas metasedimentarias del Grupo Dagua y fue correlacionado con un depósito de tipo orogénico (Servicio Geológico Colombiano & Ministerio de Minas y Energía, 2018; Torres et. al., 2019, Rintá et. al., 2019). El oro presenta tamaños entre 50 hasta 300 micras, compuesto principalmente por Cu, Te, As, Sb, Pb y Zn. El oro es de tipo electrum con una fineza promedio entre 800-850. Se encuentra incluido y asociado a arsenopirita y esfalerita, asociado a galena e incluido en calcopirita y libre. El oro de esta unidad podría ser recuperado por métodos gravimétricos.

La unidad geometalúrgica 2 está conformada por las minas La Golondrina Norte y El Páramo, las cuales se encuentran relacionadas con las rocas ígneas del área y pueden ser correlacionable con un depósito relacionado a intrusivos (López-Isaza et. al., 2018 Leal-Mejía, 2011). El oro presenta dos (2) familias de tamaños de grano relacionado a sulfuros, una desde menor a 50 hasta 250 micras, asociados e incluidos en telurobismutita? e incluidos en pirrotina y desde 450 hasta 650 micras incluido en pirrotina y calcopirita. Para el oro libre se presentan tamaños desde menores a 50 micras hasta mayor a 1000 micras (1 mm). Corresponde a oro nativo con fineza promedio superior a 850. Como elementos anómalos presentes en el oro se encuentran Cu, Te y Bi. Con respecto al beneficio, para el filón La Golondrina, prevalece un proceso gravimétrico, mientras que para el filón Sotomayor y la mina El Páramo se hacen necesarios métodos de recuperación especiales los cuales se consideran de alta dificultad por la presencia de minerales refractarios y cianicidas (telurobismutita?, pirrotina y calcopirita principalmente).

Para ambas unidades se consideran relaciones texturales sencillas, con relaciones de borde entre minerales sinuosas a rectas, lo que facilita los procesos de liberación durante la molienda.

Desde el punto de vista geometalúrgico, el sector estudiado del Distrito Minero de La Llanada se considera un depósito aurífero de media a alta complejidad de beneficio, dado por las características texturales y de relaciones de bordes entre los granos de oro y minerales de mena que facilitan la liberación durante los procesos de molienda; así mismo el mayor porcentaje en peso de oro corresponde con los granos de mayor tamaño (menos frecuentes en la mena), los cuales se encuentran libres y pueden ser recuperados por métodos gravimétricos. Sin embargo, la presencia de minerales refractarios y cianicidas generan problemas durante los procesos de beneficio no convencionales y necesarios para recuperar el oro menor a 50 micras a los cuales se encuentra asociado.

El conocimiento de las características geológicas enfocadas a la geometalurgia de un depósito mineral permite considerar de antemano, las actividades necesarias para llevar a cabo una recuperación mineral más óptima y eficiente por parte de los metalurgistas.

Recomendaciones

Realizar estudios que permitan determinar si el oro que se encuentra dentro del cuarzo (incluido), se comporta de igual manera durante los procesos de beneficio (liberación) que uno que esté formado entre los bordes de los cristales de cuarzo.

Se hace necesario al momento del beneficio no mezclar el material del filón La Golondrina con el filón Sotomayor buscando mayor efectividad en el proceso de recuperación del oro

Gracias a que en toda el área prevalece los tamaños de oro <50 micras, es recomendable llevar a cabo procesos de recuperación en las colas de beneficio, lo que permitiría recuperar el oro de menor tamaño.

Durante las labores explotación mineral así como cuando se hace su beneficio, se debe tener especial atención en la forma de disposición del material final, ya que al contener minerales como arsenopirita, pirrotina, calcopirita, pirita, se podrían estar generando

afectaciones al medio ambiente por los procesos de meteorización de las rocas, como la liberación de elementos potencialmente tóxicos para la salud como As (que puede llegar a las fuentes de agua de consumo) o la generación de drenaje ácido de mina por la oxidación de hierro y liberación de iones de hidrógeno.

A Anexo: Composición microquímica de granos de oro

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------------|
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| El Canadá filón Las Moscas | 5659-4.1 | 89,376 | 11,923 | <LD | <LD | 0,009 | <LD | 0,69 | 0,079 | <LD | <LD | <LD | <LD | 102,077 |
| | 5659-4.2 | 89,108 | 12,251 | <LD | 0,05 | 0,003 | 0,047 | 0,509 | <LD | 0,01 | <LD | <LD | 0,003 | 101,981 |
| | 5659-4.3 | 88,626 | 12,294 | 0,015 | 0,006 | 0,039 | 0,021 | 1,028 | 0,052 | <LD | <LD | <LD | <LD | 102,081 |
| | 5659-7.2 | 83,705 | 17,16 | <LD | 0,05 | <LD | <LD | 0,667 | 0,01 | <LD | <LD | <LD | <LD | 101,592 |
| | 5659-7.3 | 88,398 | 12,44 | <LD | 0,043 | <LD | <LD | 0,164 | <LD | <LD | 0,007 | <LD | 0,049 | 101,101 |
| | 5659-7.4 | 87,666 | 13,713 | <LD | <LD | 0,014 | 0,039 | 1,033 | <LD | 0,001 | <LD | <LD | 0,007 | 102,473 |
| | 5659-1.4 | 82,582 | 16,697 | <LD | <LD | 0,021 | <LD | 0,09 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,049 | 99,439 |
| | 5659-1.5 | 82,476 | 16,705 | <LD | 0,007 | 0,033 | <LD | 0,073 | 0,01 | <LD | <LD | <LD | 0,061 | 99,365 |
| | 5659-1.6 | 82,696 | 16,574 | <LD | 0,035 | 0,033 | <LD | 0,001 | 0,073 | 0,025 | <LD | <LD | <LD | 99,437 |
| | 5659-10.1 | 88,134 | 12,39 | <LD | <LD | 0,004 | <LD | 0,012 | 0,011 | <LD | 0,012 | <LD | <LD | 100,563 |
| | 5659-10.2 | 89,091 | 12,126 | <LD | 0,016 | 0,033 | 0,051 | <LD | <LD | <LD | 0,012 | <LD | <LD | 101,329 |
| | 5659-10.3 | 88,611 | 12,428 | <LD | <LD | <LD | 0,011 | <LD | <LD | <LD | 0,034 | <LD | 0,002 | 101,086 |
| | 5659-10.4 | 78,463 | 20,259 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,197 | 0,07 | 0,023 | <LD | <LD | 0,037 | 99,049 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| El Canadá filón La Guzga 1 | 5667-10.1 | 84,993 | 14,827 | <LD | <LD | <LD | 0,016 | 0,09 | <LD | 0,019 | <LD | <LD | <LD | 99,945 |
| | 5667-10.2 | 85,364 | 14,752 | <LD | 0,051 | 0,004 | <LD | 0,119 | 0,031 | 0,01 | 0,044 | <LD | 0,012 | 100,387 |
| | 5667-10.3 | 84,286 | 15,237 | <LD | <LD | <LD | 0,055 | 0,083 | 0,086 | 0,018 | <LD | 0,001 | 0,022 | 99,788 |
| | 5667-3.1 | 92,577 | 9,234 | <LD | <LD | 0,088 | 0,022 | 1,748 | 0,015 | <LD | <LD | <LD | 0,029 | 103,713 |
| | 5667-9.1 | 64,644 | 11,902 | <LD | <LD | 0,574 | <LD | 3,624 | 0,003 | 0,028 | <LD | <LD | 0,033 | 80,808 |
| El Canadá filón La Guzga 1 | 5667-7.1 | 82,819 | 13,641 | <LD | <LD | 0,035 | <LD | 0,311 | <LD | <LD | 0,02 | <LD | <LD | 96,826 |
| | 5667-7.2 | 86,038 | 13,811 | 0,02 | 0,15 | 0,051 | <LD | 0,118 | <LD | <LD | 0,016 | <LD | 0,022 | 100,226 |
| | 5667-7.3 | 86,927 | 12,438 | <LD | 0,051 | 0,03 | <LD | 0,52 | 0,074 | 0,023 | 0,012 | <LD | <LD | 100,075 |
| | 5667-7.4 | 85,712 | 12,64 | <LD | 0,059 | <LD | 0,002 | 0,314 | <LD | <LD | 0,069 | <LD | <LD | 98,796 |
| | 5667-7.5 | 68,179 | 10,1 | <LD | <LD | 5,336 | <LD | 6,62 | 0,034 | <LD | <LD | <LD | 0,025 | 90,294 |
| El Canadá filón La Guzga-2 | 5669-1.1 | 64,506 | 25,093 | 0,015 | <LD | 0,184 | 0,03 | 2,123 | 0,06 | <LD | <LD | <LD | <LD | 92,011 |
| | 5669-1.2 | 69,566 | 30,001 | <LD | <LD | 0,24 | 0,026 | 1,573 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,019 | 101,425 |
| | 5669-1.3 | 73,112 | 27,207 | <LD | 0,019 | 0,07 | 0,009 | 1,159 | <LD | <LD | 0,002 | <LD | <LD | 101,578 |
| | 5669-4.1 | 87,124 | 11,863 | <LD | <LD | 0,962 | 0,003 | 3,262 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 103,214 |
| | 5669-2.1 | 86,903 | 13,557 | 0,016 | 0,051 | 0,04 | 0,008 | 1,716 | 0,07 | <LD | <LD | <LD | 0,015 | 102,376 |
| El Canadá filón El 18-1 | 5675-3.1 | 76,805 | 20,104 | <LD | 0,012 | <LD | <LD | 0,043 | 0,035 | 0,002 | 0,069 | <LD | <LD | 97,07 |
| | 5675-3.2 | 79,05 | 20,167 | <LD | 0,032 | 0,022 | <LD | 0,014 | 0,065 | <LD | 0,002 | <LD | <LD | 99,352 |
| | 5675-3.3 | 78,082 | 20,211 | <LD | <LD | 0,01 | 0,024 | 0,043 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 98,37 |
| | 5675-1.1 | 79,282 | 21,044 | <LD | <LD | <LD | 0,019 | 0,016 | <LD | 0,016 | <LD | <LD | <LD | 100,377 |
| | 5675-1.2 | 80,187 | 20,49 | 0,006 | 0,088 | 0,025 | 0,013 | 0,002 | 0,01 | <LD | 0,028 | <LD | <LD | 100,849 |
| | 5675-1.3 | 79,325 | 20,649 | <LD | 0,09 | <LD | <LD | <LD | 0,042 | 0,001 | 0,071 | <LD | 0,018 | 100,196 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| | | Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| El Páramo | 6213-3.1 | 85,892 | 11,637 | <LD | <LD | <LD | <LD | 1,925 | <LD | 0,023 | <LD | <LD | <LD | 99,477 |
| | 6213-3.2 | 85,72 | 11,685 | 0,016 | 0,049 | 0,064 | <LD | 3,857 | 1,642 | 0,025 | 0,013 | 0,01 | 0,002 | 103,083 |
| | 6213-3.3 | 85,394 | 11,765 | <LD | <LD | <LD | 0,023 | 1,924 | 0,833 | 0,014 | <LD | <LD | <LD | 99,953 |
| | 6213-3.4 | 83,252 | 11,408 | <LD | 0,05 | 0,035 | <LD | 2,473 | <LD | 0,012 | <LD | <LD | <LD | 97,23 |
| | 6213-5.7 | 91,554 | 11,033 | 0,494 | 0,064 | <LD | <LD | 1,596 | 0,07 | <LD | 0,05 | <LD | 0,011 | 104,872 |
| | 6213-5.8 | 91,028 | 10,956 | 0,407 | 0,005 | 0,028 | <LD | 1,65 | 0,015 | 0,055 | <LD | <LD | <LD | 104,144 |
| La Golondrina Norte filón Sotomayor | ID3-2.1 | 84,585 | 12,562 | <LD | <LD | 0,032 | 0,007 | 0,273 | 3,436 | 0,03 | <LD | 0,001 | <LD | 100,926 |
| | ID3-2.2 | 85,786 | 12,578 | <LD | 0,027 | <LD | <LD | 0,268 | 2,544 | <LD | <LD | <LD | <LD | 101,203 |
| | ID3-1.6 | 91,803 | 6,87 | <LD | 0,017 | 0,008 | 0,014 | 0,026 | <LD | 0,008 | 0,038 | 0,041 | <LD | 98,825 |
| | ID3-1.7 | 91,453 | 7,164 | 0,01 | 0,05 | 0,008 | <LD | 0,018 | 5,851 | <LD | 0,024 | <LD | <LD | 104,578 |
| | ID3-10.1 | 86,559 | 14,576 | <LD | 0,06 | 0,023 | 0,018 | 0,098 | 2,677 | 0,011 | <LD | <LD | <LD | 104,022 |
| | ID3-10.2 | 84,079 | 13,809 | <LD | <LD | <LD | 0,021 | 0,094 | 1,337 | 0,016 | 0,005 | <LD | <LD | 99,361 |
| | ID3-10.3 | 83,433 | 13,782 | <LD | 0,018 | <LD | <LD | 0,129 | 1,21 | 0,016 | <LD | <LD | <LD | 98,588 |
| | ID3-3.4 | 81,436 | 16,921 | 0,585 | 0,057 | 0,005 | <LD | 0,396 | 2,755 | 0,006 | 0,024 | 0,004 | 0,026 | 102,215 |
| | ID3-3.5 | 82,095 | 16,891 | 0,316 | 0,013 | <LD | <LD | 0,201 | 2,815 | <LD | <LD | <LD | <LD | 102,331 |
| | ID3-3.6 | 81,643 | 17,581 | 0,889 | 0,035 | 0,004 | <LD | 0,614 | 1,768 | <LD | <LD | <LD | <LD | 102,534 |
| | ID3-4.1 | 82,737 | 17,249 | 0,595 | 0,013 | 0,01 | <LD | 1,202 | 2,187 | 0,016 | 0,01 | <LD | 0,045 | 104,064 |
| | ID3-4.2 | 80,825 | 17,882 | 0,496 | 0,085 | <LD | <LD | 0,593 | 2,119 | 0,011 | <LD | <LD | <LD | 102,011 |
| | ID3-4.3 | 80,856 | 17,91 | 0,253 | 0,02 | <LD | <LD | 0,412 | 1,603 | <LD | 0,043 | <LD | 0,039 | 101,136 |
| | ID3-8.1 | 83,75 | 13,617 | 0,017 | <LD | <LD | 0,028 | 0,55 | 1,655 | <LD | 0,057 | <LD | <LD | 99,674 |
| ID3-8.2 | 52,315 | 8,755 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,464 | <LD | <LD | 0,03 | <LD | <LD | 61,564 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--------|------------|
| | | Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| La Golondrina Norte filón La Golondrina | ID1- 5.3 | 92,877 | 6,714 | 0,027 | 0,011 | 0,009 | 0,037 | <LD | 0,057 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,732 |
| | ID1- 5.4 | 92,893 | 6,645 | 0,053 | 0,038 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,629 |
| | ID1- 5.5 | 92,741 | 6,607 | 0,014 | 0,028 | 0,026 | <LD | <LD | <LD | 0,021 | <LD | <LD | <LD | 99,437 |
| | ID1- 5.6 | 92,873 | 6,545 | <LD | 0,074 | 0,016 | <LD | <LD | 0,005 | <LD | 0,001 | <LD | <LD | 99,514 |
| | ID1- 5.7 | 92,343 | 6,593 | 0,089 | 0,052 | 0,005 | <LD | <LD | 0,05 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,132 |
| | ID1- 5.8 | 93,38 | 6,546 | 0,006 | 0,002 | 0,005 | <LD | 0,003 | <LD | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 99,946 |
| | ID1- 5.9 | 92,219 | 6,493 | 0,035 | 0,101 | <LD | 0,011 | 0,005 | 0,091 | <LD | <LD | <LD | <LD | 98,955 |
| | ID1- 5.10 | 92,692 | 6,693 | 0,058 | <LD | 0,051 | <LD | <LD | 0,258 | 0,01 | <LD | <LD | <LD | 99,762 |
| | ID1- 5.11 | 92,884 | 6,625 | 0,045 | <LD | 0,001 | <LD | <LD | <LD | 0,038 | <LD | <LD | <LD | 99,593 |
| | ID1- 5.12 | 86,783 | 6,608 | 0,054 | 0,036 | 0,02 | 0,022 | 0,009 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 93,532 |
| | ID1- 5.13 | 92,223 | 6,621 | 0,054 | 0,083 | 0,015 | <LD | 0,014 | <LD | 0,021 | <LD | <LD | <LD | 99,031 |
| | ID1- 5.14 | 92,995 | 6,663 | 0,033 | 0,039 | <LD | <LD | <LD | 0,171 | 0,005 | <LD | <LD | <LD | 99,906 |
| | ID1- 6.1 | 93,839 | 6,906 | 0,045 | <LD | 0,02 | <LD | <LD | 0,259 | <LD | <LD | <LD | <LD | 101,069 |
| | ID1- 6.2 | 93,137 | 6,938 | 0,031 | 0,095 | <LD | 0,026 | 0,018 | <LD | 0,003 | 0,011 | <LD | <LD | 100,259 |
| | ID1- 6.3 | 93,318 | 7,086 | 0,035 | 0,092 | <LD | 0,011 | 0,002 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 100,544 |
| | ID1- 6.4 | 92,14 | 7,01 | 0,038 | <LD | <LD | <LD | 99,188 |
| | ID1- 6.5 | 93,378 | 6,94 | 0,022 | 0,091 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 100,431 |
| | ID1- 6.6 | 92,909 | 6,875 | <LD | 0,051 | 0,025 | <LD | <LD | <LD | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 99,864 |
| | ID1- 6.7 | 93,19 | 7,008 | 0,036 | 0,061 | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 0,001 | <LD | <LD | <LD | 100,3 |
| | ID1- 6.8 | 92,562 | 6,916 | 0,005 | 0,025 | <LD | <LD | <LD | 0,264 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,772 |
| ID1- 6.9 | 92,937 | 6,86 | 0,039 | 0,058 | <LD | 0,045 | 0,002 | <LD | 0,011 | <LD | <LD | <LD | 99,952 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---------|------------|
| | | Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| La Golondrina Norte filón La Golondrina | ID1-3.10 | 93,529 | 6,186 | 0,048 | 0,06 | <LD | 0,033 | 0,021 | 0,016 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,893 |
| | ID1-3.11 | 92,406 | 6,213 | 0,063 | 0,04 | 0,035 | <LD | 0,003 | 0,054 | 0,007 | 0,009 | <LD | <LD | 98,83 |
| | ID1-3.12 | 91,866 | 6,153 | 0,038 | 0,04 | <LD | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 0,003 | <LD | <LD | 98,104 |
| | ID1-3.13 | 93,129 | 6,256 | 0,044 | 0,05 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,479 |
| | ID1-2.1 | 91,595 | 6,022 | 0,062 | 0,026 | <LD | <LD | <LD | 0,022 | <LD | <LD | <LD | <LD | 97,727 |
| | ID1-2.2 | 92,061 | 6,229 | 0,079 | 0,019 | <LD | 0,024 | <LD | <LD | 0,005 | <LD | <LD | <LD | 98,417 |
| | ID1-2.3 | 93,138 | 6,238 | 0,091 | 0,048 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,515 |
| | ID1-2.4 | 93,6 | 6,242 | 0,062 | 0,012 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,916 |
| | ID1-2.5 | 94,012 | 6,208 | 0,057 | 0,031 | <LD | 0,004 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 100,312 |
| | ID1-2.6 | 92,921 | 6,309 | 0,03 | 0,03 | 0,019 | 0,008 | 0,005 | 0,059 | 0,011 | <LD | <LD | <LD | 99,392 |
| | ID1-2.7 | 87,821 | 5,688 | 0,061 | 0,068 | <LD | <LD | <LD | 0,113 | <LD | <LD | <LD | <LD | 93,751 |
| | ID1-2.8 | 92,434 | 6,23 | 0,043 | <LD | <LD | 0,035 | 0,008 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 98,75 |
| | ID1-2.9 | 93,755 | 6,3 | 0,083 | 0,061 | <LD | <LD | 0,002 | <LD | 0,019 | <LD | <LD | <LD | 100,22 |
| | ID1-2.10 | 92,486 | 5,975 | 0,102 | 0,016 | 0,017 | <LD | 0,002 | 0,1 | 0,008 | <LD | <LD | <LD | 98,706 |
| | ID1-2.11 | 93,095 | 6,233 | 0,049 | <LD | 0,01 | 0,014 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,401 |
| | ID1-2.12 | 93,703 | 6,136 | 0,079 | <LD | <LD | 0,01 | 0,012 | 0,046 | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 99,99 |
| | ID1-2.13 | 94,064 | 6,256 | 0,068 | 0,022 | <LD | 0,003 | 0,006 | <LD | 0,026 | <LD | <LD | <LD | 100,445 |
| | ID1-2.14 | 91,361 | 6,126 | 0,066 | 0,062 | 0,004 | 0,015 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 97,634 |
| | ID1-2.15 | 91,417 | 6,22 | 0,064 | 0,067 | 0,008 | <LD | <LD | <LD | 0,027 | <LD | <LD | <LD | 97,803 |
| | ID1-C1 Line 1 | 95,985 | 6,312 | 0,065 | 0,08 | 0,016 | <LD | <LD | 0,143 | <LD | <LD | <LD | <LD | 102,601 |
| ID1-C1 Line 2 | 90,327 | 5,89 | 0,057 | <LD | <LD | 96,274 | |
| ID1-C1 Line 3 | 97,309 | 6,646 | 0,085 | 0,086 | <LD | 0,011 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 104,137 | |
| ID1-C1 Line 4 | 93,153 | 6,146 | 0,06 | <LD | 0,003 | <LD | 0,023 | 0,033 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,418 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------------|
| | | Unidades % wt | | | | | | | | | | | | |
| | | Au | Ag | Cu | Te | As | Se | Fe | Bi | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| La Golondrina Norte filón La Golondrina | ID1-C1 Line 5 | 88,367 | 5,952 | 0,049 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 94,368 |
| | ID1-C1 Line 6 | 92,079 | 6,063 | 0,04 | <LD | 0,013 | 0,006 | <LD | 0,191 | <LD | <LD | <LD | <LD | 98,392 |
| | ID1-C1 Line 7 | 93,803 | 6,131 | 0,066 | 0,029 | <LD | 0,017 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 100,046 |
| | ID1-C1 Line 8 | 93,584 | 6,23 | 0,073 | 0,108 | <LD | 0,029 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 100,024 |
| | ID1-C1 Line 9 | 92,224 | 6,12 | 0,032 | 0,086 | 0,048 | <LD | <LD | 0,001 | <LD | <LD | <LD | <LD | 98,511 |
| | ID1-C1 Line 10 | 93,47 | 6,127 | 0,097 | 0,053 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,009 | <LD | <LD | <LD | 99,756 |
| | ID1-C1 Line 11 | 93,343 | 6,239 | 0,03 | 0,009 | <LD | <LD | <LD | 0,018 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,639 |
| | ID1-C1 Line 12 | 93,298 | 6,124 | 0,017 | <LD | <LD | 0,028 | 0,006 | 0,102 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99,575 |

B Anexo: Composición microquímica sulfuros

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Arsenopirita (unidades % wt) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|--------|--------|-------|-------|-----|-------|--------|--------|
| | | As | Fe | S | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| El Canadá filón Las Moscas | 805659-1.7 | 41,190 | 36,943 | 20,489 | <LD | 0,018 | <LD | <LD | <LD | 98.583 |
| | 805659-1.8 | 41,059 | 36,821 | 20,158 | <LD | 0,014 | <LD | <LD | 0,049 | 98.053 |
| | 805659-1.9 | 41,325 | 36,821 | 20,039 | 0,009 | 0,018 | <LD | <LD | 0,058 | 98.264 |
| | 805659-2.7 | 40,356 | 36,319 | 20,646 | 0,025 | 0,023 | <LD | <LD | <LD | 97.338 |
| | 805659-2.8 | 41,376 | 36,862 | 20,575 | <LD | 0,007 | <LD | <LD | 0,015 | 98.803 |
| | 805659-2.9 | 41,029 | 36,555 | 20,398 | <LD | 0,009 | <LD | 0,003 | 0,030 | 98.021 |
| | 805659-4.4 | 42,139 | 37,147 | 20,341 | <LD | 0,013 | <LD | <LD | <LD | 99.622 |
| | 805659-4.5 | 41,932 | 37,246 | 20,264 | 0,007 | 0,020 | <LD | 0,008 | <LD | 99.472 |
| | 805659-4.6 | 42,242 | 37,381 | 20,037 | <LD | 0,029 | <LD | 0,018 | <LD | 99.703 |
| | 805659-7.1 | 41,572 | 37,000 | 20,368 | 0,013 | 0,011 | <LD | <LD | 0,015 | 98.972 |
| | 805659-7.5 | 41,739 | 37,327 | 20,436 | <LD | 0,025 | <LD | <LD | <LD | 99.498 |
| | 805659-7.6 | 41,092 | 37,111 | 20,985 | 0,003 | 0,029 | <LD | <LD | <LD | 99.165 |
| | 805659-8.1 | 40,177 | 37,057 | 21,075 | 0,003 | 0,020 | <LD | <LD | <LD | 98.329 |
| 805659-8.2 | 41,145 | 36,980 | 20,901 | <LD | 0,025 | <LD | <LD | <LD | 98.982 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Arsenopirita (unidades % wt) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|--------|--------|-------|-------|-----|-------|---------|---------|
| | | As | Fe | S | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| El Canadá filón Las Moscas | 805659-8.3 | 42,000 | 36,969 | 20,339 | 0,010 | 0,015 | <LD | <LD | 0,003 | 99.317 |
| | 805659-9.9 | 41,350 | 37,267 | 21,089 | <LD | 0,018 | <LD | <LD | 0,059 | 99.745 |
| | 805659-9.10 | 41,583 | 37,025 | 21,146 | 0,009 | 0,023 | <LD | <LD | 0,008 | 99.773 |
| | 805659-9.11 | 41,831 | 37,215 | 20,629 | <LD | 0,013 | <LD | <LD | <LD | 99.644 |
| El Canadá filón La Guzga 1 | 805667-1.4 | 43,678 | 35,951 | 20,488 | <LD | 0,017 | <LD | 0,014 | <LD | 100.121 |
| | 805667-1.5 | 44,392 | 35,800 | 19,630 | <LD | 0,028 | <LD | 0,011 | 0,051 | 99.903 |
| | 805667-1.6 | 44,327 | 35,417 | 19,964 | <LD | 0,009 | <LD | 0,009 | 0,020 | 99.740 |
| | 805667-2.3 | 45,396 | 35,581 | 19,806 | 0,011 | 0,008 | <LD | <LD | 0,019 | 100.813 |
| | 805667-2.4 | 44,668 | 35,890 | 20,063 | 0,018 | 0,010 | <LD | <LD | <LD | 100.604 |
| | 805667-2.5 | 45,162 | 35,658 | 19,685 | <LD | 0,024 | <LD | 0,009 | 0,027 | 100.562 |
| | 805667-3.3 | 43,967 | 36,067 | 20,154 | <LD | 0,010 | <LD | <LD | 0,010 | 100.169 |
| | 805667-3.4 | 43,957 | 36,066 | 20,577 | <LD | 0,022 | <LD | <LD | <LD | 100.603 |
| | 805667-3.5 | 43,096 | 36,235 | 21,113 | <LD | 0,017 | <LD | <LD | 0,018 | 100.462 |
| | 805667-4.3 | 43,333 | 36,515 | 20,995 | <LD | 0,028 | <LD | <LD | <LD | 100.847 |
| | 805667-4.4 | 43,934 | 36,316 | 20,882 | <LD | 0,016 | <LD | 0,006 | 0,020 | 101.167 |
| | 805667-8.4 | 42,549 | 35,581 | 20,871 | 0,042 | 0,017 | <LD | 0,003 | <LD | 99.041 |
| | 805667-8.5 | 43,880 | 35,315 | 20,203 | 0,015 | 0,031 | <LD | <LD | 0,029 | 99.452 |
| | 805667-8.6 | 43,447 | 35,417 | 20,552 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,047 | 99.437 |
| | 805667-8.7 | 43,866 | 35,344 | 19,650 | 0,019 | <LD | <LD | <LD | 0,043 | 98.943 |
| | 805667-9.2 | 43,896 | 35,521 | 20,103 | 0,010 | 0,018 | <LD | <LD | 0,038 | 99.582 |
| | 805667-9.3 | 44,092 | 35,832 | 20,442 | <LD | 0,011 | <LD | 0,015 | <LD | 100.363 |
| | 805667-9.4 | 43,959 | 36,055 | 20,342 | 0,001 | 0,007 | <LD | <LD | <LD | 100.331 |
| 805667-9.5 | 44,282 | 36,082 | 20,393 | 0,033 | 0,019 | <LD | <LD | <LD | 100.776 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Arsenopirita (unidades % wt) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|
| | | As | Fe | S | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| El Canadá filón La Guzga 1 | 805669-1.4 | 41,522 | 39,374 | 20,558 | <LD | 0,008 | <LD | 0,051 | 0,089 | 101.590 |
| | 805669-1.5 | 40,119 | 39,890 | 21,248 | 0,010 | 0,018 | <LD | <LD | 0,033 | 101.314 |
| | 805669-1.6 | 39,598 | 39,692 | 21,664 | <LD | 0,033 | <LD | <LD | 0,276 | 101.241 |
| | 805669-1.7 | 39,239 | 39,670 | 20,705 | <LD | 0,024 | <LD | <LD | 0,031 | 99.641 |
| | 805669-1.8 | 39,338 | 40,133 | 21,924 | 0,024 | 0,018 | <LD | 0,001 | 0,014 | 101.452 |
| | 805669-2.2 | 40,632 | 39,720 | 20,996 | 0,013 | 0,006 | <LD | <LD | <LD | 101.325 |
| | 805669-2.3 | 42,161 | 38,562 | 19,685 | <LD | 0,022 | <LD | 0,061 | 0,018 | 100.493 |
| | 805669-2.4 | 40,626 | 39,023 | 20,593 | <LD | 0,006 | <LD | 0,175 | 0,295 | 100.717 |
| | 805669-2.5 | 40,786 | 38,871 | 20,699 | <LD | 0,034 | <LD | 0,181 | 0,256 | 100.807 |
| | 805669-3.4 | 40,580 | 38,986 | 20,754 | 0,015 | 0,029 | <LD | 0,017 | 0,018 | 100.399 |
| | 805669-3.5 | 40,668 | 39,321 | 21,326 | 0,007 | 0,014 | <LD | 0,047 | <LD | 101.373 |
| | 805669-4.2 | 40,759 | 39,998 | 21,238 | 0,025 | 0,017 | <LD | <LD | 0,037 | 102.048 |
| | 805669-4.3 | 39,680 | 40,411 | 21,637 | 0,014 | 0,010 | <LD | <LD | <LD | 101.741 |
| | 805669-4.4 | 41,491 | 39,740 | 20,683 | <LD | 0,009 | <LD | <LD | 0,032 | 101.927 |
| El Canadá filón El 18-2 | 805676-4.1 | 43,328 | 36,175 | 20,815 | 0,003 | 0,018 | <LD | <LD | 0,016 | 100.335 |
| | 805676-4.6 | 43,753 | 36,152 | 20,943 | 0,030 | 0,018 | <LD | <LD | <LD | 100.818 |
| | 805676-4.8 | 43,374 | 36,382 | 20,307 | 0,009 | 0,004 | <LD | <LD | <LD | 100.055 |
| | 805676-4.9 | 43,663 | 36,263 | 20,342 | 0,013 | 0,033 | <LD | <LD | 0,004 | 100.314 |
| El Páramo | 806213-3.7 | 42,699 | 34,326 | 19,059 | 0,044 | <LD | 0,007 | 21,500 | <LD | 98.285 |
| | 806213-5.1 | 45,073 | 33,772 | 19,458 | 0,100 | 0,034 | <LD | 19,710 | 0,015 | 100.423 |
| | 806213-5.2 | 45,930 | 32,738 | 19,951 | 1,376 | 0,023 | <LD | 25,920 | 0,033 | 102.643 |
| | 806213-5.6 | 44,898 | 33,300 | 19,690 | 0,188 | 0,013 | <LD | 23,800 | <LD | 100.464 |
| El Páramo A | 806213-3.6 | 41,195 | 35,716 | 19,786 | <LD | <LD | 0,020 | 0,893 | <LD | 97.608 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Arsenopirita (unidades % wt) | | | | | | | | |
|-------------|----------------|---|--------|--------|-------|-------|-----|-----|-------|---------|
| | | As | Fe | S | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| La Cartagua | 806302-2.2 | 44.484 | 36.274 | 21.469 | 0,001 | 0.027 | <LD | <LD | 0,019 | 102.261 |
| | 806302-2.3 | 44.207 | 36.383 | 21.784 | 0,004 | 0.008 | <LD | <LD | 0,005 | 102.369 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Pirrotina (unidades % wt) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | Fe | S | As | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| El Canadá filón La Guzga 2 | 805669-2.4 | 60,559 | 38,678 | 0,336 | <LD | <LD | 0,011 | <LD | <LD | 99.538 |
| | 805669-2.5 | 59,191 | 38,630 | 0,115 | 0,005 | <LD | <LD | <LD | <LD | 97.916 |
| La Palmera | 806212-3.8 | 61.193 | 39,664 | <LD | 0,046 | 0,013 | <LD | <LD | <LD | 100,857 |
| | 806212-3.9 | 60.827 | 39,441 | <LD | 0,064 | <LD | <LD | <LD | 0,037 | 100,376 |
| El Páramo | 806213-1.2 | 61,843 | 38,496 | 0,038 | <LD | <LD | 0,019 | 0,024 | <LD | 100.406 |
| | 806213-1.3 | 62,228 | 38,648 | <LD | 0,009 | <LD | 0,012 | <LD | <LD | 100.837 |
| | 806213-2.3 | 61,696 | 38,790 | 0,007 | <LD | <LD | <LD | 0,020 | <LD | 100.485 |
| | 806213-2.4 | 62,049 | 38,917 | <LD | <LD | <LD | 0,016 | <LD | <LD | 100.908 |
| | 806213-2.5 | 62,230 | 38,744 | <LD | 0,008 | <LD | 0,028 | <LD | <LD | 101.000 |
| | 806213-3.5 | 61,745 | 38,578 | 0,019 | <LD | <LD | 0,006 | <LD | <LD | 100.291 |
| | 806213-3.8 | 62,056 | 38,598 | 0,005 | <LD | <LD | 0,015 | 0,014 | <LD | 100.653 |
| | 806213-4.2 | 61,423 | 38,425 | <LD | <LD | <LD | 0,015 | 0,017 | <LD | 99.873 |
| El Páramo A | 806213-4.5 | 61,139 | 38,882 | 0,028 | <LD | <LD | <LD | 0,012 | <LD | 100.033 |
| | 806213-Po-2.3 | 61.111 | 38.758 | 0.019 | 0.028 | 0.003 | 0.022 | 0.002 | <LD | 99.898 |
| | 806213-Po-2.4 | 61.295 | 38.814 | <LD | <LD | 0.006 | <LD | <LD | <LD | 100.012 |
| | 806213-Po-2.7 | 61.136 | 38.754 | 0.005 | <LD | 0.004 | 0.010 | <LD | <LD | 99.822 |
| | 806213-Po-2.8 | 61.388 | 38.729 | 0.005 | <LD | 0.004 | <LD | <LD | <LD | 100.024 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Pirrotina (unidades % wt) | | | | | | | | |
|--|----------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | | Fe | S | As | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| El Páramo A | 806213-Po-2.9 | 61.291 | 38.572 | 0.038 | 0.019 | 0.009 | 0.010 | 0.002 | 0.008 | 99.949 |
| | 806213-Po-2.10 | 61.170 | 38.762 | <LD | <LD | 0.003 | 0.002 | <LD | 0.038 | 99.945 |
| | 806213-Po-2.11 | 61.168 | 38.944 | 0.012 | <LD | <LD | <LD | 0.020 | 0.004 | 100.111 |
| | 806213-Po-2.12 | 61.290 | 38.753 | <LD | <LD | 0.012 | <LD | <LD | <LD | 99.967 |
| | 806213-Po-3.5 | 60.343 | 39.398 | 0.056 | 0.272 | <LD | <LD | 0.022 | 0.011 | 100.084 |
| | 806213-Po-3.8 | 60.990 | 39.435 | 0.011 | 0.094 | 0.009 | <LD | 0.013 | <LD | 100.516 |
| | 806213-Po-3.10 | 60.775 | 39.380 | 0.044 | 0.429 | 0.006 | <LD | 0.001 | 0.020 | 100.631 |
| | 806213-Po-3.11 | 61.371 | 38.708 | <LD | 0.008 | 0.001 | 0.003 | <LD | <LD | 100.060 |
| | 806213-Po-3.12 | 61.752 | 38.576 | 0.034 | 0.027 | <LD | <LD | <LD | <LD | 100.312 |
| | 806213-Po-3.13 | 61.409 | 38.762 | 0.039 | <LD | 0.003 | <LD | 0.002 | 0.018 | 100.204 |
| | 806213-Po-3.14 | 61.490 | 38.682 | 0.012 | 0.021 | <LD | <LD | 0.002 | <LD | 100.168 |
| | 806213-Po-3.15 | 61.145 | 38.923 | 0.052 | 0.002 | 0.002 | 0.006 | 0.010 | 0.006 | 100.146 |
| | 806213-Po-3.16 | 61.344 | 38.852 | <LD | 0.021 | 0.012 | 0.001 | <LD | 0.008 | 100.162 |
| | 806213-Po-3.22 | 60.800 | 39.371 | <LD | 0.150 | <LD | <LD | <LD | <LD | 100.256 |
| | 806213-Po-5.1 | 61.471 | 38.504 | <LD | <LD | 0.010 | <LD | -0.030 | <LD | 99.900 |
| | 806213-Po-5.2 | 61.385 | 38.569 | 0.023 | 0.008 | <LD | 0.004 | <LD | 0.047 | 99.998 |
| | 806213-Po-5.3 | 61.438 | 38.748 | 0.065 | <LD | <LD | <LD | 0.007 | <LD | 100.197 |
| | 806213-Po-5.4 | 61.568 | 38.497 | 0.001 | <LD | 0.005 | <LD | <LD | 0.007 | 99.989 |
| 806213-Po-5.5 | 61.464 | 38.620 | <LD | 0.001 | 0.013 | <LD | 0.007 | 0.039 | 100.138 | |
| La Golondrina Norte filón Sotomayor | ID3-1.1 | 61,985 | 38,914 | <LD | 0,003 | <LD | <LD | <LD | <LD | 100.873 |
| | ID3-1.11 | 61,124 | 38,734 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,007 | <LD | 99.857 |
| | ID3-10.4 | 61,701 | 39,624 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,011 | <LD | 101.313 |
| | ID3-10.5 | 61,050 | 39,670 | 0,012 | 0,026 | <LD | 0,017 | 0,008 | <LD | 100.783 |
| | ID3-10.7 | 61,086 | 39,264 | <LD | 0,016 | <LD | <LD | 0,026 | <LD | 100.374 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Pirrotina (unidades % wt) | | | | | | | | |
|--|----------------|--|--------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|---------|
| | | Fe | S | As | Cu | Mn | Ni | Co | Au | Total |
| La Golondrina Norte filón Sotomayor | ID3-2.7 | 62,093 | 39,322 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 101.376 |
| | ID3-2.8 | 62,177 | 39,113 | <LD | <LD | <LD | 0,004 | 0,001 | <LD | 101.249 |
| | ID3-2.9 | 61,885 | 39,063 | <LD | 0,039 | <LD | <LD | <LD | <LD | 100.839 |
| | ID3-3.7 | 61,681 | 38,638 | <LD | 0,033 | <LD | 0,005 | 0,013 | <LD | 100.361 |
| | ID3-3.8 | 61,879 | 38,597 | 0,030 | 0,053 | <LD | 0,009 | 0,049 | <LD | 100.617 |
| | ID3-4.5 | 60,629 | 39,573 | 0,026 | 0,011 | <LD | 0,007 | <LD | <LD | 100.213 |
| | ID3-4.6 | 61,329 | 39,249 | 0,039 | 0,010 | <LD | 0,020 | 0,007 | <LD | 100.654 |
| | ID3-5.7 | 61,234 | 38,671 | 0,001 | 0,012 | <LD | 0,001 | 0,013 | <LD | 99.932 |
| | ID3-5.8 | 61,047 | 39,560 | <LD | <LD | <LD | 0,013 | 0,020 | <LD | 100.607 |
| | ID3-8.7 | 62,173 | 39,071 | 0,017 | 0,013 | <LD | <LD | 0,002 | <LD | 101.272 |
| | ID3-9.3 | 61,242 | 39,748 | 0,023 | 0,039 | <LD | 0,009 | <LD | <LD | 101.055 |
| | ID3-9.4 | 61,839 | 38,600 | <LD | <LD | <LD | 0,013 | 0,017 | <LD | 100.446 |
| ID3-9.5 | 61,763 | 39,040 | 0,002 | <LD | <LD | 0,005 | 0,003 | <LD | 100.786 | |
| La Cartagua | 806302-2.1 | 47.231 | 52.749 | 0.011 | 0.017 | <LD | <LD | <LD | <LD | 99.965 |
| | 806302-2.4 | 47.325 | 52.942 | <LD | <LD | 0.007 | <LD | <LD | 0.026 | 100.235 |
| | 806302-2.5 | 47.211 | 53.036 | 0.017 | 0.001 | <LD | 0.007 | 0.004 | 0.024 | 100.284 |
| | 806302-2.8 | 47.033 | 52.429 | 0.006 | 0.024 | <LD | 0.007 | <LD | <LD | 99.447 |
| | 806302-Po-4.1 | 60.614 | 39.335 | <LD | 0.015 | <LD | 0.006 | 0.012 | <LD | 99.941 |
| | 806302-Po-4.2 | 60.747 | 39.518 | 0.063 | <LD | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.006 | 100.345 |
| | 806302-Po-4.3 | 60.157 | 39.558 | <LD | 0.016 | 0.002 | <LD | 0.014 | 0.010 | 99.696 |
| | 806302-Po-4.4 | 60.754 | 39.599 | <LD | <LD | 0.008 | 0.020 | <LD | 0.003 | 100.310 |
| | 806302-Po-4.5 | 60.624 | 39.420 | <LD | 0.011 | <LD | <LD | <LD | 0.018 | 100.059 |
| | 806302-Po-4.6 | 60.563 | 39.380 | <LD | 0.002 | 0.003 | -0.036 | 0.001 | 0.013 | 99.915 |
| | 806302-Po-4.7 | 60.989 | 39.347 | 0.023 | 0.020 | <LD | <LD | 0.003 | 0.011 | 100.380 |
| 806302-Po-4.8 | 60.665 | 39.376 | 0.001 | 0.016 | 0.005 | <LD | 0.011 | 0.030 | 100.081 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Telurobismutita y bismuto nativo? (unidades % wt) | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------------|
| | | Te | Bi | Au | Ag | Cu | Se | Fe | Sb | Pb | Pd | Zn | Total Suma |
| El Páramo | 6213-1.6 | 36,584 | 58,386 | 0,005 | 0,042 | 0,025 | 0,198 | 1,386 | 0,516 | 0,268 | 0,011 | <LD | 97,421 |
| | 6213-1.7 | 29,360 | 46,230 | 0,005 | 0,003 | 0,027 | 0,190 | 13,930 | 0,405 | 0,240 | 0,005 | 0,040 | 90,435 |
| La Golondrina Norte filón Sotomayor | ID3-2.4 | 17,520 | 78,502 | 0,001 | <LD | 0,007 | 0,063 | 0,153 | 0,209 | 0,022 | 0,002 | 0,012 | 96,491 |
| | ID3-2.5 | 17,302 | 78,844 | 0,017 | <LD | 0,023 | 0,057 | 0,068 | 0,255 | 0,055 | <LD | 0,043 | 96,664 |
| | ID3-2.6 | 0,022 | 94,046 | <LD | <LD | 0,025 | 0,031 | 0,075 | 0,184 | <LD | <LD | <LD | 94,383 |
| | ID3-1.2 | <LD | 90,913 | <LD | <LD | <LD | 0,064 | 0,145 | 0,140 | 0,027 | 0,016 | <LD | 91,305 |
| | ID3-1.3 | <LD | 93,945 | 0,004 | <LD | <LD | 0,043 | 0,045 | 0,093 | <LD | 0,004 | 0,021 | 94,155 |
| | ID3-1.4 | 0,072 | 92,610 | 0,016 | <LD | <LD | 0,028 | 0,062 | 0,152 | <LD | 0,002 | <LD | 92,942 |
| | ID3-1.5 | 19,169 | 77,928 | 0,036 | <LD | 0,004 | 0,055 | 0,052 | 0,239 | <LD | 0,033 | 0,002 | 97,518 |
| | ID3-1.8 | 20,132 | 71,941 | 0,006 | <LD | <LD | 0,046 | 0,027 | 0,168 | 0,134 | <LD | 0,027 | 92,481 |
| | ID3-1.10 | 0,095 | 89,751 | <LD | <LD | <LD | 0,001 | 1,293 | 0,121 | <LD | 0,010 | <LD | 91,271 |
| | ID3-10.8 | 17,447 | 78,089 | <LD | 0,026 | <LD | 0,036 | 0,095 | 0,272 | 0,041 | <LD | 0,034 | 96,040 |
| | ID3-10.9 | 17,564 | 78,498 | <LD | <LD | 0,010 | 0,024 | <LD | 0,238 | 0,032 | <LD | 0,025 | 96,391 |
| | ID3-10.10 | 0,042 | 94,159 | <LD | <LD | 0,031 | 0,045 | 0,078 | 0,164 | <LD | <LD | 0,081 | 94,600 |
| | ID3-3.2 | 16,527 | 76,813 | 0,920 | 0,241 | 0,735 | 0,540 | 0,456 | 0,232 | 0,031 | <LD | 0,017 | 96,512 |
| | ID3-3.3 | 16,156 | 78,155 | <LD | <LD | 1,502 | 0,557 | 1,074 | 0,232 | 0,021 | 0,023 | 0,024 | 97,744 |
| | ID3-8.5 | 17,058 | 77,258 | <LD | <LD | 0,017 | 0,097 | 0,184 | 0,144 | 0,063 | 0,012 | <LD | 94,833 |
| | ID3-8.6 | 17,438 | 79,431 | <LD | <LD | 0,010 | 0,116 | 0,111 | 0,234 | 0,023 | <LD | <LD | 97,363 |
| | ID3-7.3 | 17,272 | 79,349 | 0,029 | <LD | 0,013 | 0,109 | 0,026 | 0,206 | 0,045 | <LD | 0,071 | 97,120 |
| | ID3-7.4 | 17,050 | 78,273 | <LD | <LD | 0,138 | 0,188 | 0,106 | 0,264 | 0,045 | 0,026 | <LD | 96,090 |
| | ID3-7.5 | 16,717 | 75,831 | 0,010 | 0,005 | 0,767 | 0,217 | 0,576 | 0,243 | 0,043 | 0,001 | 0,010 | 94,420 |
| ID3-6.1 | 21,434 | 73,016 | 0,036 | <LD | <LD | 0,237 | 0,380 | 0,252 | 0,145 | <LD | <LD | 95,500 | |
| ID3-6.2 | 21,175 | 74,216 | <LD | <LD | <LD | 0,218 | 0,319 | 0,244 | 0,156 | <LD | 0,053 | 96,381 | |
| ID3-5.2 | 0,058 | 92,175 | 0,007 | <LD | <LD | 0,038 | 0,040 | 0,086 | 0,017 | <LD | 0,007 | 92,428 | |
| ID3-5.3 | 0,047 | 93,260 | 0,001 | <LD | <LD | 0,038 | 0,028 | 0,180 | 0,019 | <LD | 0,026 | 93,599 | |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Calcopirita (unidades % wt) | | | | | | | | | | |
|------------|----------------|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|---------|
| | | Cu | Fe | S | As | Mn | Co | Sn | Sb | Zn | Au | Total |
| La Palmera | 806212-2.3 | 33,464 | 30,663 | 34,737 | 0,013 | 0,003 | 0,002 | | | | <LD | 98,857 |
| | 806212-2.4 | 33,574 | 31,066 | 34,906 | <LD | <LD | 0,008 | | | | <LD | 99,49 |
| | 806212-2.5 | 33,465 | 30,823 | 34,54 | <LD | 0,009 | 0,014 | | | | <LD | 98,779 |
| | 806212B-3.10 | 33,702 | 31,533 | 35,043 | <LD | 0,006 | 0,009 | 0,001 | <LD | 0,002 | 0,009 | 100,264 |
| | 806212-3.11 | 33,284 | 32,161 | 35,607 | <LD | 0,019 | 0,019 | <LD | <LD | <LD | 0,045 | 101,102 |
| | 806212-3.12 | 33,351 | 31,727 | 34,985 | 0,041 | <LD | <LD | 0,013 | <LD | 0,067 | <LD | 100,122 |
| | 806212-4.4 | 33,396 | 31,495 | 34,599 | 0,002 | 0,014 | <LD | <LD | <LD | 0,026 | 0,027 | 99,53 |
| | 806212-4.5 | 33,567 | 31,404 | 34,825 | <LD | <LD | 0,006 | 0,024 | <LD | 0,084 | 0,028 | 99,85 |
| | 806212-4.6 | 33,569 | 31,364 | 34,801 | 0,035 | <LD | a<LD | <LD | <LD | 0,006 | 0,002 | 99,698 |
| | 806212-4.7 | 33,428 | 31,441 | 34,714 | 0 | 0,015 | 0,002 | 0,012 | <LD | 0,119 | 0,038 | 99,726 |
| | 806212-4.8 | 33,514 | 31,562 | 34,877 | 0,006 | 0,017 | 0,002 | <LD | <LD | 0,029 | 0,005 | 99,968 |
| | 806212-4.9 | 33,156 | 31,383 | 34,819 | <LD | 0,004 | <LD | 0,013 | <LD | 0,026 | <LD | 99,317 |
| | 806212-4.10 | 33,256 | 30,6 | 35,18 | 0,034 | 0,011 | <LD | 0,021 | <LD | 0,004 | 0,009 | 99,075 |
| El Páramo | 806213-5.3 | 32,826 | 31,421 | 34,393 | <LD | <LD | 0,015 | | | | <LD | 98.646 |
| | 806213-5.4 | 33,729 | 31,290 | 34,455 | 0,002 | <LD | <LD | | | | <LD | 99.458 |
| | 806213-5.5 | 33,215 | 31,519 | 34,763 | 0,014 | <LD | <LD | | | | <LD | 99.483 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Calcopirita (unidades % wt) | | | | | | | | | | |
|--|------------------|--|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | Cu | Fe | S | As | Mn | Co | Sn | Sb | Zn | Au | Total |
| El Páramo A) | 806213-Ccpy-2.1 | 33.073 | 30.180 | 34.050 | <LD | 0.014 | <LD | 0.017 | <LD | 0.018 | <LD | 97.245 |
| | 806213-Ccpy-2.2 | 33.267 | 30.591 | 34.906 | 0.077 | -0.004 | <LD | <LD | <LD | 0.043 | 0.010 | 98.845 |
| | 806213-Ccpy-2.5 | 33.373 | 30.422 | 34.932 | 0.040 | -0.006 | <LD | 0.019 | <LD | 0.076 | <LD | 98.810 |
| | 806213-Ccpy-2.6 | 33.457 | 30.755 | 34.576 | 0.002 | 0.002 | <LD | 0.007 | 0.006 | 0.052 | 0.003 | 98.869 |
| | 806213-Ccpy-3.1 | 33.611 | 30.968 | 34.862 | 0.044 | 0.004 | <LD | 0.008 | <LD | 0.035 | 0.014 | 99.503 |
| | 806213-Ccpy-3.2 | 33.747 | 31.178 | 34.854 | 0.032 | 0.006 | <LD | 0.009 | <LD | 0.014 | <LD | 99.847 |
| | 806213-Ccpy-3.3 | 33.505 | 31.372 | 35.000 | 0.017 | 0.011 | <LD | 0.010 | <LD | -0.001 | 0.006 | 99.887 |
| | 806213-Ccpy-3.4 | 33.174 | 31.499 | 35.075 | <LD | 0.006 | <LD | <LD | <LD | 0.086 | <LD | 99.771 |
| | 806213-Ccpy-3.9 | 33.617 | 31.129 | 34.554 | 0.021 | 0.008 | <LD | <LD | <LD | 0.028 | <LD | 99.238 |
| | 806213-Ccpy-3.17 | 33.735 | 31.138 | 34.782 | 0.014 | -0.000 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99.599 |
| | 806213-Ccpy-3.18 | 33.647 | 31.005 | 34.824 | 0.065 | -0.016 | <LD | <LD | <LD | 0.017 | 0.003 | 99.462 |
| | 806213-Ccpy-3.19 | 33.534 | 31.131 | 34.966 | <LD | -0.011 | <LD | 0.021 | <LD | 0.033 | 0.017 | 99.515 |
| | 806213-Ccpy-3.20 | 33.464 | 31.105 | 34.722 | 0.034 | 0.002 | <LD | <LD | <LD | 0.017 | <LD | 99.284 |
| | 806213-Ccpy-3.21 | 33.431 | 31.181 | 34.824 | 0.023 | 0.008 | <LD | 0.021 | <LD | 0.012 | 0.015 | 99.510 |
| | 806302-Ccpy-2.6 | 32.939 | 31.387 | 34.642 | <LD | 0.003 | 0.005 | 0.008 | <LD | 0.007 | 0.004 | 98.958 |
| 806302-Ccpy-2.7 | 32.951 | 31.304 | 34.702 | 0.010 | -0.017 | <LD | 0.012 | 0.008 | 0.090 | <LD | 99.127 | |
| La Golondrina Norte filón Sotomayor | ID3-3.10 | 33,566 | 31,050 | 34,494 | 0,027 | <LD | <LD | | | | <LD | 99.114 |
| | ID3-3.11 | 33,404 | 30,874 | 34,712 | <LD | <LD | <LD | | | | <LD | 98.964 |
| | ID3-3.9 | 33,232 | 30,499 | 34,746 | 0,040 | <LD | <LD | | | | <LD | 98.500 |
| | ID3-4.7 | 33,035 | 30,695 | 34,283 | 0,030 | <LD | 0,008 | | | | <LD | 98.039 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Esfalerita (unidades % wt) | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|--------|--------|-------|--------|--------|
| | | Zn | Fe | S | Cd | Mn | Total |
| El Canadá filón Las Moscas | 805659-9.6 | 50,042 | 14,275 | 33,421 | 2,255 | 0,367 | 99.532 |
| | 805659-9.1 | 49,816 | 13,986 | 33,285 | 2,283 | 0,334 | 98.771 |
| | 805659-9.4 | 49,863 | 13,992 | 33,450 | 2,233 | 0,348 | 99.074 |
| | 805659-1.1 | 53,411 | 11,153 | 33,395 | 2,163 | 0,243 | 99.507 |
| | 805659-1.2 | 53,625 | 11,284 | 32,935 | 2,134 | 0,258 | 99.522 |
| | 805659-1.3 | 53,022 | 11,234 | 33,188 | 2,175 | 0,231 | 99.140 |
| | 805659-2.1 | 53,239 | 10,954 | 33,150 | 2,154 | 0,255 | 99.077 |
| | 805659-2.2 | 52,789 | 11,043 | 33,020 | 2,176 | 0,242 | 98.529 |
| | 805659-2.3 | 53,261 | 11,026 | 33,011 | 2,176 | 0,236 | 98.813 |
| | 805659-3.1 | 52,966 | 10,622 | 33,251 | 2,103 | 0,223 | 98.427 |
| | 805659-3.2 | 51,224 | 10,314 | 32,274 | 2,110 | 0,192 | 95.454 |
| 805659-3.3 | 52,888 | 10,602 | 33,220 | 2,187 | 0,182 | 98.172 | |
| El Canadá filón El 18-2 | 805676-4.2 | 54,878 | 9,068 | 33,562 | 1,928 | 0,350 | 99.047 |
| | 805676-4.3 | 54,704 | 9,004 | 33,964 | 1,991 | 0,327 | 99.281 |
| El Páramo A | 806213-Sph-3.6 | 54.729 | 9.198 | 33.482 | 0.328 | 0.012 | 97.849 |
| | 806213-Sph-3.7 | 55.020 | 10.498 | 33.554 | 0.313 | 0.016 | 99.396 |

| Mina | Puntos medidos | Contenido elemental de oro medido por microsonda electrónica (EPMA) Galena (unidades % wt) | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | Pb | S | Ag | Cd | In | Mn | Zn | Cu | Total |
| El Canadá filón Las Moscas | 805669-4.4 | 86,787 | 13,484 | 0,585 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,032 | 100.626 |
| | 805669-4.5 | 86,049 | 13,420 | 0,606 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99.881 |
| | 805669-4.7 | 86,163 | 13,398 | 0,499 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,015 | 100.032 |
| El Canadá filón Las Guzga 2 | 805669-4.4 | 86,787 | 13,484 | 0,585 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,032 | 100.626 |
| | 805669-4.5 | 86,049 | 13,420 | 0,606 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | 99.881 |
| | 805669-4.7 | 86,163 | 13,398 | 0,499 | <LD | <LD | <LD | <LD | 0,015 | 100.032 |
| El Canadá filón El 18-2 | 805676-3.5 | 86,085 | 13,424 | <LD | 0,209 | 0,016 | 0,005 | 0,007 | <LD | 99.718 |
| | 805676-3.6 | 85,006 | 13,259 | <LD | 0,259 | <LD | 0,011 | 0,043 | <LD | 98.323 |
| | 805676-3.7 | 84,602 | 13,307 | <LD | 0,211 | 0,064 | <LD | 0,013 | <LD | 98.017 |

C Anexo: Peso y ocurrencia del oro

| No. grano | Mina | Longitud máxima μm | Longitud mínima μm | Área_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | Área corregida_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | DCE Diámetro Circular Equivalente μm | Volumen DCE μm^3 | Peso Au (μg) Densidad Au 19,3 [^] -9 $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ | Ocurrencia |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------|---|-----------------|
| 1 | El Canadá filón Las Moscas | 16,1 | 8,97 | 144,417 | 123,4069371 | 12,54 | 1031,274577 | 1,99036E-05 | Incluido en Apy |
| 2 | | 30,97 | 18,68 | 578,5196 | 484,0268029 | 24,83 | 8010,674186 | 0,000154606 | Incluido Sp |
| 3 | | 31,51 | 19,59 | 617,2809 | 512,7110835 | 25,55 | 8733,212147 | 0,000168551 | Incluido Sp |
| 4 | | 32,06 | 28,25 | 905,695 | 714,1830892 | 30,16 | 14357,51555 | 0,0002771 | Asociado a Sp |
| 5 | | 36,16 | 26,42 | 955,3472 | 768,9569441 | 31,29 | 16040,50312 | 0,000309582 | Asociado a Apy |
| 6 | | 37,36 | 23,86 | 891,4096 | 735,8978873 | 30,61 | 15017,28025 | 0,000289834 | Asociado a Apy |
| 7 | | 54,21 | 28,84 | 1563,4164 | 1354,285346 | 41,53 | 37491,27586 | 0,000723582 | Asociado a Apy |
| 8 | | 57,65 | 44,87 | 2586,7555 | 2063,707301 | 51,26 | 70524,02688 | 0,001361114 | Asociado a Sp |
| 9 | | 65,39 | 52,57 | 3437,5523 | 2732,12417 | 58,98 | 107427,5327 | 0,002073351 | Asociado a Apy |
| 10 | | 66,72 | 44,19 | 2948,3568 | 2415,306867 | 55,46 | 89294,23597 | 0,001723379 | Libre |
| 11 | | 68,88 | 17,34 | 1194,3792 | 1459,643987 | 43,11 | 41950,32843 | 0,000809641 | Asociado a Apy |
| 12 | | 74,3 | 39,29 | 2919,247 | 2533,442808 | 56,80 | 95924,95594 | 0,001851352 | Asociado a Apy |
| 13 | | 105,15 | 16,21 | 1704,4815 | 2891,891809 | 60,68 | 116987,1102 | 0,002257851 | Incluido Apy |
| 14 | | 255,3 | 108,26 | 27638,778 | 25952,73278 | 181,78 | 3145137,19 | 0,060701148 | Incluido Apy |

| No. grano | Mina | Longitud máxima μm | Longitud mínima μm | Área_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | Área corregida_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | DCE Diámetro Circular Equivalente μm | Volumen DCE μm^3 | Peso Au (μg) Densidad Au $19,3^{19}$ $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ | Ocurrencia |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------|---|--------------------|
| 15 | El Canadá filón La Guzga-1 | 9,03 | 5,43 | 49,0329 | 41,05513566 | 7,23 | 197,8865097 | 3,81921E-06 | Incluido en Apy |
| 16 | | 11,41 | 4,96 | 56,5936 | 52,61726432 | 8,19 | 287,115969 | 5,54134E-06 | Incluido en Apy |
| 17 | | 16,72 | 10,66 | 178,2352 | 147,1966049 | 13,69 | 1343,419479 | 2,5928E-05 | Asociado a Apy |
| 18 | | 17,15 | 12,42 | 213,003 | 171,6854751 | 14,79 | 1692,252964 | 3,26605E-05 | En fractura de Apy |
| 19 | | 22,33 | 14,83 | 331,1539 | 271,1329606 | 18,58 | 3358,446433 | 6,4818E-05 | Libre |
| 20 | | 28,6 | 17,69 | 505,934 | 420,731731 | 23,15 | 6491,915407 | 0,000125294 | En fractura de Apy |
| 21 | | 29,24 | 15,58 | 455,5592 | 394,4342417 | 22,41 | 5892,870081 | 0,000113732 | Asociado a Apy |
| 22 | | 29,84 | 17,52 | 522,7968 | 440,407081 | 23,68 | 6952,586342 | 0,000134185 | En fractura de Apy |
| 23 | | 36,44 | 5,5 | 200,42 | 345,3725029 | 20,97 | 4828,326033 | 9,31867E-05 | En fractura de Apy |
| 24 | | 60,34 | 29,55 | 1783,047 | 1586,549646 | 44,95 | 47538,49747 | 0,000917493 | Asociado a Apy |
| 25 | | 69,15 | 53,93 | 3729,2595 | 2974,444575 | 61,54 | 122032,0122 | 0,002355218 | Incluido en Apy |
| 26 | | 90,48 | 32,98 | 2984,0304 | 2992,839664 | 61,73 | 123165,7987 | 0,0023771 | Incluido en Apy |
| 27 | | 111,42 | 79,46 | 8853,4332 | 7154,046493 | 95,44 | 455189,8702 | 0,008785164 | Incluido en Apy |
| 28 | | El Canadá filón La Guzga-2 | 3,29 | 1,86 | 6,1194 | 5,207692875 | 2,58 | 8,939906917 | 1,7254E-07 |
| 29 | 5,19 | | 3,86 | 20,0334 | 16,08155588 | 4,53 | 48,51287886 | 9,36299E-07 | incluido en Apy |
| 30 | 7,34 | | 2,88 | 21,1392 | 20,50844334 | 5,11 | 69,86569718 | 1,34841E-06 | incluido en Apy |
| 31 | 19,98 | | 3,28 | 65,5344 | 106,2307693 | 11,63 | 823,6457104 | 1,58964E-05 | Incluido en Apy |
| 32 | 22,73 | | 6,72 | 152,7456 | 170,2948459 | 14,73 | 1671,734123 | 3,22645E-05 | Incluido en Apy |
| 33 | El Canadá filón El 18-1 | 34,14 | 23,09 | 788,2926 | 643,0998339 | 28,62 | 12268,24803 | 0,000236777 | Libre |
| 34 | | 41,79 | 24,86 | 1038,8994 | 872,2303879 | 33,33 | 19378,1258 | 0,000373998 | Libre |
| 35 | | 43,16 | 35,43 | 1529,1588 | 1212,733803 | 39,30 | 31769,70455 | 0,000613155 | Libre |
| 36 | El Canadá filón El 18-2 | 43,29 | 28,47 | 1232,4663 | 1011,103854 | 35,88 | 24185,69656 | 0,000466784 | Libre |
| 37 | | 82,45 | 66,65 | 5495,2925 | 4365,019544 | 74,55 | 216942,3 | 0,004186986 | Libre |
| 38 | | 200,13 | 119,97 | 24009,5961 | 20118,80836 | 160,05 | 2146685,052 | 0,041431022 | Asociado a Gn |

| No. grano | Mina | Longitud máxima μm | Longitud mínima μm | Área_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | Área corregida_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | DCE Diámetro Circular Equivalente μm | Volumen DCE μm^3 | Peso Au (μg) Densidad Au 19,3 ⁻⁹ $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ | Ocurrencia |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------|--|-----------------|
| 39 | El Páramo | 4,28 | 4,45 | 19,046 | 14,96440292 | 4,37 | 43,54657882 | 8,40449E-07 | Incluido en Po |
| 40 | | 4,88 | 21,94 | 107,0672 | 141,2369897 | 13,41 | 1262,663511 | 2,43694E-05 | Incluido en Po |
| 41 | | 12,88 | 12,15 | 156,492 | 123,0134517 | 12,52 | 1026,346152 | 1,98085E-05 | Incluido en Po |
| 42 | | 14,17 | 9,04 | 128,0968 | 105,77455 | 11,61 | 818,3455613 | 1,57941E-05 | Incluido en Po |
| 43 | | 14,26 | 12,39 | 176,6814 | 139,4521879 | 13,33 | 1238,805001 | 2,39089E-05 | Incluido en Po |
| 44 | | 15,51 | 11,47 | 177,8997 | 142,9271705 | 13,49 | 1285,396597 | 2,48082E-05 | Incluido en Po |
| 58 | La Palmera | 19,66 | 14,14 | 277,9924 | 224,318094 | 16,90 | 2527,326846 | 4,87774E-05 | Incluido en Po |
| 63 | | 27,7 | 13,29 | 368,133 | 329,9033626 | 20,50 | 4507,596829 | 8,69966E-05 | Libre |
| 64 | | 171,31 | 100,71 | 17252,6301 | 14528,89477 | 136,01 | 1317388,35 | 0,025425595 | Incluido en Ccp |
| 45 | La Golondrina Norte filón Sotomayor | 4,03 | 2,49 | 10,0347 | 8,34691704 | 3,26 | 18,14070233 | 3,50116E-07 | Incluido en Po |
| 46 | | 5,46 | 4,51 | 24,6246 | 19,51736672 | 4,99 | 64,86296314 | 1,25186E-06 | Asociado a Tel |
| 47 | | 5,78 | 3,83 | 22,1374 | 18,13333484 | 4,81 | 58,0873378 | 1,12109E-06 | Asociado a Po |
| 48 | | 6,51 | 3,44 | 22,3944 | 19,43914088 | 4,98 | 64,47339684 | 1,24434E-06 | Libre |
| 49 | | 7,54 | 7,76 | 58,5104 | 45,9635715 | 7,65 | 234,41511 | 4,52421E-06 | Asociado a Tel |
| 50 | | 8,37 | 5,15 | 43,1055 | 35,89089504 | 6,76 | 161,7489181 | 3,12175E-06 | Asociado a Tel |
| 51 | | 9,49 | 2,71 | 25,7179 | 29,224734 | 6,10 | 118,8477056 | 2,29376E-06 | Libre |
| 52 | La Golondrina Norte filón Sotomayor | 9,75 | 3,92 | 38,22 | 36,69170852 | 6,84 | 167,1925238 | 3,22682E-06 | Incluido en Tel |
| 53 | | 14,23 | 9,11 | 129,6353 | 106,9627621 | 11,67 | 832,1734675 | 1,60609E-05 | Asociado a Po |
| 54 | | 14,4 | 8,64 | 124,416 | 104,2307482 | 11,52 | 800,4952035 | 1,54496E-05 | Asociado a Po |
| 55 | | 16,1 | 7,76 | 124,936 | 111,7819765 | 11,93 | 889,0427153 | 1,71585E-05 | Asociado a Tel |
| 56 | | 17,3 | 11,88 | 205,524 | 167,1866057 | 14,59 | 1626,174597 | 3,13852E-05 | Incluido en Tel |
| 57 | | 17,52 | 10,56 | 185,0112 | 154,8193046 | 14,04 | 1449,114227 | 2,79679E-05 | Libre |

| No. grano | Mina | Longitud máxima μm | Longitud mínima μm | Área_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | Área corregida_Eq \approx Vol_Eq μm^2 | DCE Diámetro Circular Equivalente μm | Volumen DCE μm^3 | Peso Au (μg) Densidad Au $19,3^{19}$ $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ | Ocurrencia |
|-----------|---|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------|---|-----------------|
| 59 | La Golondrina Norte filón Sotomayor | 25,84 | 2,58 | 66,6672 | 158,5911881 | 14,21 | 1502,392928 | 2,89962E-05 | Libre |
| 60 | | 26,23 | 13,83 | 362,7609 | 315,1031869 | 20,03 | 4207,693961 | 8,12085E-05 | Incluido en Tel |
| 61 | | 27,18 | 26,05 | 708,039 | 556,3445499 | 26,62 | 9871,444503 | 0,000190519 | Asociado a Ccp |
| 62 | | 27,18 | 11,61 | 315,5598 | 295,440796 | 19,40 | 3820,064084 | 7,37272E-05 | Asociado a Po |
| 65 | La Golondrina Norte filón La Golondrina | 6,39 | 5,95 | 38,0205 | 29,89931406 | 6,17 | 122,9863149 | 2,37364E-06 | Libre |
| 66 | | 19,31 | 15,72 | 303,5532 | 240,9412617 | 17,52 | 2813,401546 | 5,42986E-05 | Libre |
| 67 | | 32,51 | 19,63 | 638,1713 | 533,7931045 | 26,07 | 9277,359592 | 0,000179053 | Libre |
| 68 | | 46,54 | 30,92 | 1439,0168 | 1178,110132 | 38,73 | 30418,91979 | 0,000587085 | Libre |
| 69 | | 54,97 | 47,79 | 2627,0163 | 2073,380916 | 51,38 | 71020,47891 | 0,001370695 | Libre |
| 70 | | 84,63 | 58,27 | 4931,3901 | 4009,547504 | 71,45 | 190988,8423 | 0,003686085 | Libre |
| 71 | | 91,56 | 23,19 | 2123,2764 | 2585,450897 | 57,38 | 98893,87455 | 0,001908652 | Libre |
| 72 | | 199 | 243,68 | 48492,32 | 38477,8421 | 221,34 | 5677812,068 | 0,109581773 | Libre |
| 73 | | 199,38 | 29,26 | 5833,8588 | 10264,44161 | 114,32 | 782290,2979 | 0,015098203 | Libre |
| 74 | | 228,09 | 47,79 | 10900,4211 | 14944,1542 | 137,94 | 1374269,67 | 0,026523405 | Libre |
| 75 | | 254,4 | 106,51 | 27096,144 | 25575,77112 | 180,46 | 3076862,271 | 0,059383442 | Libre |
| 76 | | 309,42 | 162,3 | 50218,866 | 43691,75456 | 235,86 | 6870117,729 | 0,132593272 | Libre |
| 77 | | 366,45 | 260,39 | 95419,9155 | 77151,48851 | 313,42 | 16120607,93 | 0,311127733 | Libre |
| 78 | | 1082,75 | 372,98 | 403844,095 | 416095,0697 | 727,87 | 201908129,8 | 3,896826906 | Libre |
| 79 | 1473,22 | 950,83 | 1400781,773 | 1153756,213 | 1212,03 | 932257810,6 | 17,99257574 | Libre | |

Bibliografía

- Adams, M.D. (2005). Advances in the gold ore processing. Developments in Mineral Processing 15. Elsevier. Amsterdam
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) & Geología Regional y Prospección Ltda (GRP). (2011). Cartografía geológica escala 1:100.000 de las planchas 340, 362, 385 y 409 localizadas en la cuenca de Tumaco. Plancha 409-Las Cruces. Bogota.
- Agencia Nacional de Minería – ANM (2019). Producción Nacional de Minerales 2002-2018. Vicepresidencia de Seguimiento y Control-Grupo de Regalías y Contraprestaciones Económicas. Bogotá. Recuperado de https://www.anm.gov.co/?q=regalias-contraprestaciones-economicas&field_tipo_de_regal_a_y_o_contra_value=ProduccionNacionalMinerales
- Alcaldía de la Llanada (2005). Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de La Llanada – visión futuro 2005 - 2016. La Llanada. 523 p
- Alcaldía de Los Andes Sotomayor (2008). Plan de desarrollo municipal 2008 – 2011. Sotomayor. 174 p.
- Álvarez, J. (1983). Geología de la Cordillera Central y el occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Meso – Cenozoicos. INGEOMINAS, Bol. Geol., 26 (2): 1 – 175. Bogotá.
- Álvarez, J. & Linares, E.(1979). Determinación de K/Ar del Batolito de Piedrancha y el Stock de Arboledas, departamento de Nariño. U. Nal., Bol. Cienc. Tierra, 5 – 6: 113 - 118. Medellín
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), & Geología Regional y Prospección Ltda (GRP). (2011). Cartografía geológica escala 1:100.000 de las planchas 340, 362, 385 y 409 localizadas en la cuenca de Tumaco. Plancha 409-Las Cruces. Bogota.
- Arango, J., & Ponce, a. (1980). Reseña explicativa del Mapa geológico del Departamento de Nariño. INGEOMINAS Informe 1818., (1818), 40.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS); INGEOMINAS; Universidad de los

- Andes. 1998. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. INGEOMINAS, Publ. Geol. Esp. 252p. Bogotá.
- Barrero, D. 1979. Geology of the Central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Especiales del INGEOMINAS, 4:Pp 12-17.
- Berrezueta, E., Castroviejo III, R., Pantoja, F., & Álvarez, R. (2002). Estudio mineralógico y cuantificación por análisis digital de imagen de las menas auríferas de Nariño (Colombia). Aplicación a la mejora del proceso mineralúrgico, 113(4), 369–379.
- Blevin, P. L. (2005). Intrusion related gold deposits: explorable characteristics. Gold Short Course. Cordilleran Exploration Roundup, (September), 12.
- Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1981). Ore microscopy and ore petrography.
- Estrada, J., 1995. Paleomagnetism and accretion events in the Northern Andes. Tesis PhD., State University of New York at Binghamton, 172 p. Binghamton.
- Etayo, f. & 22 autores más. 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Pub. Geol. Esp. INGEOMINAS, 14 (1): 1 – 235 p. Bogotá
- Fleming, C.A. (1998). Cyanidation of gold and silver. Royal Melbourne Institute of Technology, Gold Symposium, Melbourne, Australia
- Fontboté, L. and Perroud, P. (2006). Recommended abbreviations for studies on ore deposits. Universidad de Ginebra. Consultado en https://www.unige.ch/sciences/terre/research/Groups/mineral_resources/opaque/or_e_abbreviations.php
- Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, Á. & Diederix, H., compiladores. 2015. Plancha 5–18 del Atlas Geológico de Colombia 2015. Escala 1:500 000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.
- González, R., Pareja, R. y Ballesteros, C. (1991). Microscopía electrónica. Capítulo 8: métodos de preparación de muestras. Eudema (ediciones de la universidad complutense, s.a.), pp.134-125.
- González, H., Zapata, G., & Montoya, D. (2013). Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: Granodiorita de Piedrancha. Servicio Geológico Colombiano, 49.
- Guerra, J. C. (2017). Evaluación mineralógica e implicaciones para el proceso de beneficio de una manifestación aurífera en la mina San Miguel, Santa Rosa de Osos – Antioquia, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, 59.

- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (2012). Mapa con Zonas con Potencial Integral para Recursos Minerales. Bogotá
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (2011). Mapa de Anomalías Geoquímicas de Colombia. Bogotá
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), & Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2001). Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Tomo 1 Geología. Bogotá.
- Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic Gold Metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-Magmatic Approach. Tesis de Doctorado, 1000.
- López, J.A., Leal, H., Luengas, C.S., Velásquez, L.E., Celada, C.M., Sepúlveda, M.J., Prieto, D.A., Gómez, M., Hart, C.J.R. (2018). Mapa Metalogénico de Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Lund, C., Lamberg, P., & Lindberg, T. (2014). A new method to quantify mineral textures for geometallurgy. *Process Mineralogy*, 30.
- Marsden, J., & House, C. Iain. (2009). *The Chemistry of Gold Extraction* (Second Ed). USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).
- Marsden, J. & House, I. (1992). *The chemistry of gold extraction*. Ellis Horwood, pp. 597,
- Melgarejo, J.-C., Proenza, J. A., Galí, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Techniques of Mineral Characterization and Their Use in Mining Exploration and Exploitation*, 62(1), 1–23. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=geh&AN=2013-096532&lang=es&site=ehost-live>
- Ministerio de Minas y energía, & Universidad de Córdoba. (2014). *Minería de Oro*, 5–125.
- Molano, J.C., Londoño, S., Mojica, J., Londoño, J.I y Rojo, J. . (2003). Catálogo de las propiedades mineralógicas, físicas y químicas de los yacimientos auríferos primarios de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca. Publicación INGEOMINAS, 148.
- Murcia, A., & Cepeda, H. (1991). Geología de la Plancha 410 - La Unión (departamento de Nariño). Escala 1:100.000. Publicación INGEOMINAS, 32.
- Nelson, H. W., 1962. Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental, sección carretera Cali - Buenaventura. *Serv. Geol. Nal., Bol. Geol.*, 10 (1 - 3): 81- 108. Bogotá.
- Nelson, H. W., 1957. Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of

- Colombia in the sector between Ibagué and Cali. *Leidse Geol. Medel.*, 22: 1– 76.
- LeidenNivia, A., 2001. Mapa geológico del Departamento del Valle del Cauca, escala 1: 250.000, memoria explicativa. INGEOMINAS, 148 p. Bogotá.
- Parga, J.R. y Carrillo, F.R. (1996). Avances en los métodos de recuperación de oro y plata de minerales refractarios. *Rev. Metal Madrid*, 32 (4). Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España.
- Pérez-Barbueno, L. (2014). Caracterización automatizada de texturas de mena mediante análisis digital de imágenes para su aplicación en geometalurgia. Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, E., Gaspar, J. C., & Brown, F. (2013). La Geometalurgia: Una Excelente Herramienta Multidisciplinaria Para La Vinculación Universidad-Industria. *Epistemus*, 73–76.
- Petruk, W. (2000). *Applied mineralogy in the mining industry*. (Elsevier, Ed.). Ottawa, Ontario, Canadá.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD – Ministerio de Trabajo (2013). Perfil productivo Los Andes Sotomayor, Nariño. Bogotá. 81p
- Raith, M. M., Raase, P., & Reinhardt, J. (2012). Guía para la microscopía de minerales de lámina delgada (Vol. second edi). Retrieved from file://d/Tesis Doctoral/Bibliograf?a/00001052_Raith_et_al2012.pdf
- Rintá, J.S., Molano, J.C., Morales, M.J., Londoño, J. I., Mojica, J., Jiménez, J.F, Carrasco, E., Acuña, A. y Conde, J. (2019). Eventos de mineralización en rocas del municipio de La Llanada, Nariño: secuencia paragenética y química mineral. XVII Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta
- Servicio Geológico Colombiano, & Ministerio de Minas y Energía. (2018). Guía Metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio del oro sin el uso del mercurio. La Llanada y Andes-Sotomayor (Nariño). Bogota.
- Torres, O., Molano, J.C., Santacruz, L., Mojica, J. y Londoño, J. (2019) Microtermometría y espectroscopía Raman de los fluidos hidrotermales asociados a las mineralizaciones de Au en el distrito de La Llanada, Nariño. XVII Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta
- Toussaint, J. F. & Restrepo, J. J., 1989. Acreciones sucesivas en Colombia: Un nuevo

- modelo de evolución geológica. Mem. V Congr. Col. Geol, 1: 127 – 146. Bucaramanga.
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1), 185–187. <http://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Zhou, J., Jago, B., Martin, C., & Lakefield, S. G. S. (2004). Establishing the Process Mineralogy of Gold Ores.