

Paragénesis de las vetas de Intermedia Sulfuración del sector Minas Nuevas, “O Nivel”, ubicadas en el distrito minero aurífero-polimetálico Zaruma-Portovelo

Paragenesis of the Intermediate Sulphidation veins of Minas Nuevas zone, “O Nivel”, located at auriferous-polymetallic mining district Zaruma-Portovelo

José Paúl Añazco Moncayo¹

¹ Investigador independiente. Quito – Ecuador. *E-mail: jose.anazco93@gmail.com*

ISSN: 2661-6998



Fecha de recepción: : 29-01-2025

Fecha de aceptación: 05-10-2026

Resumen

El distrito minero Zaruma-Portovelo (DMZP) es un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración asociado con vetas de dirección N-S y buzamientos sub-verticales hacia el este. A pesar de haber sido explotado desde épocas incaicas hasta la actualidad, los estudios de los procesos hidrotermales involucrados en la formación de vetas auríferas-polimetálicas en el sector Minas Nuevas han sido escasos. Este estudio interpreta las fases mineralizantes y su relación con el Au en O Nivel mediante análisis macroscópico y microscópico de vetas, mapeo geológico y análisis químicos. Se identificaron tres estadias de mineralización: la primera de cuarzo (Qz)-calcedonia (Chc)-magnetita (Mt)-pirita (Py)± calcopirita (Ccp)-oro (Au), la segunda Qz-Chc-Ccp-marmatita (Mar)±galena (Gn)-tetraedrita (Ttr)-tenantita (Tnt)-electrum (El), la tercera de Ccp-esfalerita (Sph)-Gn-Ttr-Tnt. Por último, un evento de oxidación supérgena final asociado con azurita (Az) - malaquita (Mch)-hematita (Hm)-especularita (Spec). El Au se asocia con las estadias uno y dos, en vetas con texturas coloformes-crustiformes. Las vetas en O Nivel presentan características epi-mesotermiales de intermedia sulfuración y se encuentran en la zona de ebullición con presencia de adularia, en la transición de metales preciosos (Au-Ag) y base (Cu-Pb-Zn).

Palabras clave: Estadias, Mineralización, Oro, Textura, Vetas

Abstract

The mining district Zaruma-Portovelo (MDZP) is an intermediate sulfidation epithermal ore deposit related to N-S striking veins with sub-vertical dips to the east. Despite it has been exploited since incas to current time, the studies about hydrothermal processes involved in the auriferous-polymetallic veins formation at Minas Nuevas have been scarce. The goal of this study is to interpretate the mineralization stages and their relationship with Au at O Nivel mine using macroscopic and microscopic techniques of the veins, geological mapping and grade assays were performed. Three mineralization stages were identified: the first one quartz (Qz)- chalcedony (Chc)- magnetite (Mt)-pyrite (Py)± chalcopirite (Ccp)- gold (Au), the second one Qz-Chc-Ccp-marmatite (Mar) ± galena (Gn)-tetraedrite (Ttr)- tennantite (Tnt)- electrum (El), the third one Ccp-Sphalerite (Sph)-Gn-Ttr-Tnt and the last one of oxidation supergene event related to azurite (Az)- malachite (Mch)- hematite (Hm)- specularite (Spec). The Au is related with stages one and two, in veins with colloform-crustiform textures. The veins at O Nivel present epi-mesothermal features of intermediate sulfidation and they are located at adularia-boiling zone in the precious metals (Au-Ag) and base (Cu-Pb-Zn) transition.

Keywords: Gold, Mineralization, Stages, Texture, Veins

1. INTRODUCCIÓN

El distrito minero Zaruma-Portovelo (DMZP), ubicado en el suroeste del Ecuador, ha sido explotado desde épocas incaicas en lo que hoy se conoce como “Zaruma Urcu” [1], continuando con los españoles durante la conquista [2], pausada por el conflicto de independencia [3] y retomado entre 1871 y 1878 por compañías chilenas y británicas que realizaron estudios de exploración poco exitosos [3]. Desde 1896 hasta 1950 la South American Development Company (SADCO) explotó el DMZP realizando 13 niveles hacia arriba (separando cada nivel con letras desde A hasta R) y 13 niveles hacia abajo (separando cada nivel por números desde el 1 hasta el 13) desde el “pique americano” en Portovelo [2] y [3]. La SADCO extrajo 3.6 Moz de oro (Au) y 12 Moz de plata (Ag) [4]. Geológicamente el DMZP corresponde a un sistema epitermal de intermedia sulfuración [2], dividido en cuatro dominios estructurales *en échelon*, que controlan el emplazamiento de las vetas, así como, los ensambles de alteración y mineralización, descritos de sur a norte: Portovelo, Sesmo-Colorada, Muluncay y R Nivel [3]. El área minera O Nivel, es el área donde se realizó el presente estudio y es parte del dominio R Nivel [3]. O Nivel ha explotado Au y Ag desde la época de la SADCO [2] pero carece de estudios detallados sobre sus fases mineralizadoras y su relación con los minerales de mena. La mayoría de estudios de geología estructural, litología, alteración, mineralización, paragénesis, inclusiones fluidas, estimación de recursos y metalúrgicos se han concentrado en la zona central del yacimiento (dominio estructural Portovelo), dejando sectores como Minas Nuevas escasamente caracterizados. Este trabajo tiene como objetivo conocer los procesos geológicos que controlan la presencia de Au en las vetas y brechas en la zona. Interpretar las fases de mineralización de las vetas en O Nivel (veta X, Cristina y Jane) mediante el análisis textural y mineralógico, mapeo geológico-estructural de superficie, caracterización macroscópica, microscópica de minerales de mena y ganga y análisis químicos de laboratorio. Con los datos obtenidos se podrá optimizar futuras campañas de exploración y explotación, enfocándose en zonas con mayor potencial aurífero. Este estudio también aporta una comparación con las estadías de mineralización mencionadas en otros estudios del DMZP.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en tres fases: gabinete, trabajo de campo y gabinete post-campo.

2.1 Gabinete

Se recopiló bibliografía de artículos científicos, tesis de pre y posgrado y documentos históricos para conocer la historia geológica y minera del DMZP.

2.2 Trabajo de campo

- Mapeo geológico superficial en vías y quebradas del sector Minas Nuevas u O Nivel a escala 1:7500
- Mapeo mineralógico-textural a escala 1:2000 de las labores mineras subterráneas de la mina O Nivel, en el que se realizaron descripciones *in situ* de la dirección, buzamiento, potencia, mineralogía y texturas de las vetas X, Cristina y Jane.
- Muestreo no sistemático tipo *chip sampling* [8] de las vetas priorizando cambios en la cota, mineralogía y textura de las vetas. Un total de 29 muestras fueron tomadas para realizar un análisis petrográfico macroscópico durante la fase de campo.
- Muestreo aleatorio de las rocas de caja cerca y lejos de las vetas, para identificar minerales de alteración. Un total de 5 muestras fueron tomadas en las rocas de caja para un análisis petrográfico macroscópico en la fase de campo.
- Muestreo aleatorio en vetas con interés económico, mineralogía abundante y variable y con texturas que posiblemente se relacionen con Au. Un total de 8 muestras fueron enviadas al laboratorio Golden Lab. en Portovelo para análisis de Au (g/t), Ag (g/t) y Cu (%) mediante ensayo al fuego y lectura por absorción atómica.

2.3 Gabinete post-campo

- Análisis de las 29 muestras en microscopio binocular OPTIKA en el laboratorio de mineralogía y petrografía de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (FIGEMPA) de la Universidad Central del Ecuador.
- De las 29 muestras, se escogieron 7 muestras de las vetas más representativas para realizar cortes pulidos en el laboratorio de láminas delgadas y pulidas de la FIGEMPA.
- Las 7 muestras de láminas pulidas fueron analizadas en los microscopios de luz reflejada del Instituto de Investigación Geológico, Minero y Metalúrgico (INIGEMM), hoy renombrado como Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).
- Elaboración de mapas de superficie y subterráneos en el software ArcMap 10.8. La sección geológica del sector Minas Nuevas fue modelada en el software Leapfrog Geo 2024.1.2.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Geología Regional

El DMZP está dominado por rocas metamórficas Paleozoicas [9] del bloque Amotape-Tahuín al sur de la Falla Piñas-Portovelo (Fig. 1). Esta falla actúa como contacto entre rocas metamórficas como filitas, esquistos, paragneis de la Unidad La Victoria; anfíbolitas de la Unidad Piedras; granodioritas

pegmatíticas y foliadas de la Unidad La Bocana; y, rocas volcánicas de la Unidad Portovelo (Fig. 1) [2].

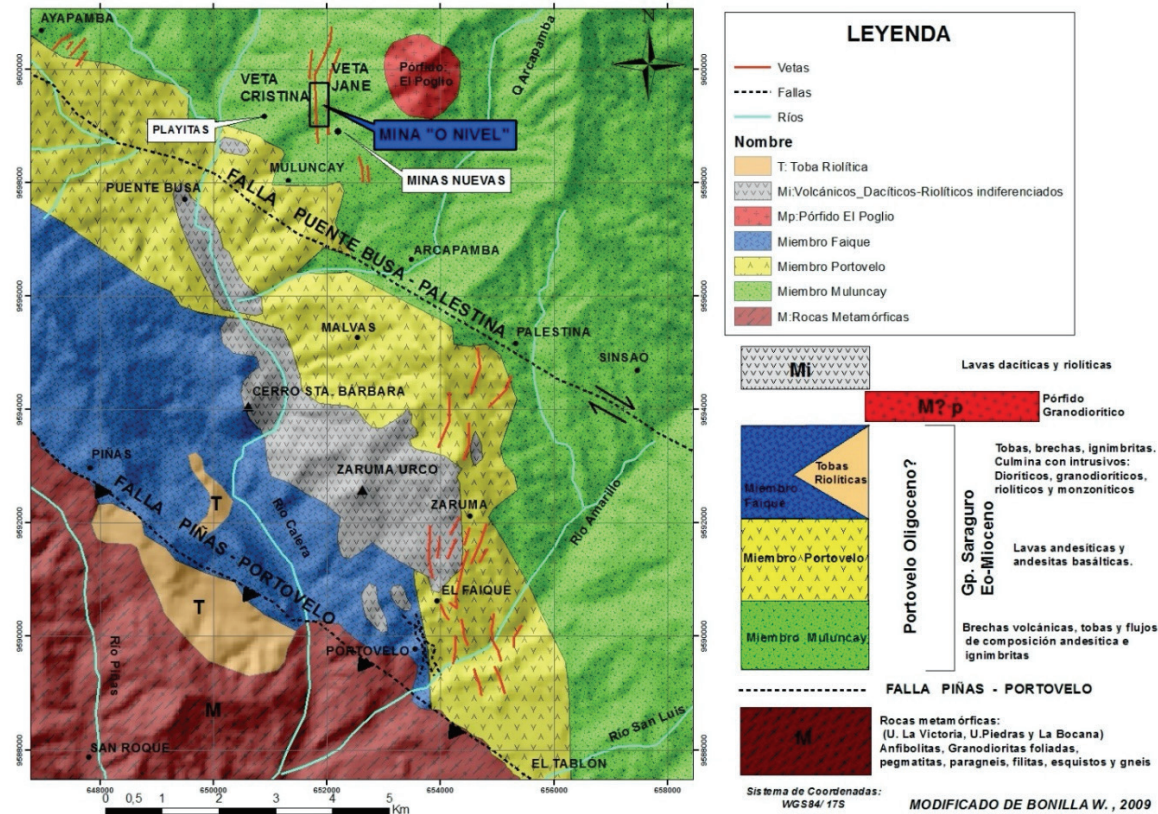


Figura 1: Mapa regional del distrito minero Zaruma-Portovelo, modificado de [2].

La Unidad Portovelo se encuentra al norte de la Falla Piñas-Portovelo, sobreyace discordantemente a las rocas metamórficas del complejo Amotape-Tahuín [9]. Esta unidad, parte del grupo Saraguro [10], ha sido datada entre 28.4 y 21.5 Ma (Oligoceno tardío – Mioceno temprano) [11]. Su litología incluye basaltos, andesitas basálticas, andesitas hornbléndicas, tobas y flujos piroclásticos de afinidad calco-alcalina [10]. La Unidad Portovelo está subdividida en tres miembros [1], de sur a norte (Fig. 1):

- **Miembro Muluncay:** son la base de la Unidad Portovelo y está compuesto por brechas volcánicas, tobas y flujos de composición andesítica e ignimbritas [2].
- **Miembro Portovelo:** compuesto por lavas andesíticas hornbléndicas y basálticas [2].
- **Miembro Faique:** Rocas volcanoclásticas como brechas volcánicas, ignimbritas, tobas y flujos de lava andesíticos [2]. Incluye también stocks, diques riolticos, intrusivos hipoabisales dioríticos y granodioríticos [3]. Entre ellos destaca el pórfido El Poglio al NE del área O Nivel (Fig. 1).

Las principales estructuras regionales son la Falla Piñas-Portovelo y la Palestina-Puente Buza, ambas con dirección NO-SE. La primera presenta un componente inverso-dextral y la segunda un componente dextral sin componente vertical observable [2] (Fig. 1).

3.2 Dominios estructurales, alteración y mineralización

El DMZP está dominado por estructuras en sentido NO-SE con movimientos inversos y dextrales [2], [3], [6]. Estas fallas han formado cuatro sistemas *en échelon* que controlan el emplazamiento de los sistemas de vetas del DMZP [2], [3], [6]. Enumerados de norte a sur son: Sistema R Nivel, Muluncay, Sesmo-Colorada y Portovelo (Fig. 2).

Las vetas del DMZP han sido caracterizadas como mesotermiales [13] y epitermales [2], [4], [6], con orientación N-S y buzamientos subverticales al este [6]. A pesar del escaso desplazamiento post-mineral [2] identifican reactivaciones locales de fallas NO-SE con posible movimiento sinistral a partir del sistema Muluncay (Fig. 2). El único límite estructural bien definido por estudios y observaciones de campo dentro del DMZP es la Falla Piñas-Portovelo, al sur.

Las vetas en el DMZP se extienden 15km en sentido N-S, 4km en sentido E-W y 1.4km en profundidad. Presentan espesores de 0.3 a 4-5m, con continuidad vertical y horizontal de hasta 1km [4].

Las vetas tienen una dirección preferencial N-S con pequeñas variaciones hacia el NE y NO, los buzamientos son verticales, pero en ciertas zonas, tienen buzamientos sub-verticales (60°-70°) hacia el este [6]. Muestran geometría tabular, pero localmente pueden adoptar formas anastomosadas tipo “rosario” [2].

La mineralogía de las vetas de los dominios R Nivel y Muluncay está compuesta principalmente por Py y Ccp, el sistema Sesmo-Colorada está dominado por Ccp-Sph-Gn y en el sistema Portovelo predomina Sph-Gn.

Las características de alteración y mineralización han permitido definir un enfriamiento del sistema hidrotermal desde el norte hacia el sur [3], [6] (Fig. 2). Cerca al pórfido El Poglio la presencia de *lithocap*, la mineralogía y características litológicas permiten inferir un gran potencial para explorar pórfidos cupríferos [13].

Se observa que la alteración hidrotermal en el DMZP hacia el norte, en el sistema R Nivel presenta minerales de alta temperatura que, progresivamente se van convirtiendo a minerales de menor temperatura hacia el sur [3], [6] (Fig. 2). El sistema R Nivel cercano al pórfido El Poglio (Fig.2) está dominado principalmente por minerales de alta temperatura como biotita (Bt), turmalina (Tur) y magnetita (Mt); el sistema Muluncay muestra minerales de alta-moderada temperatura como actinolita (Act) y Mt. El sistema Sesmo-Colorada está dominado por minerales de moderada-baja temperatura gradando hacia el sur con Act, epidota (Ep) y calcita (Cal); mientras que el sistema Portovelo se encuentra dominado por Cal, escasa Ep, il(III) e Ill-esmectita (Sme) (Fig. 2)

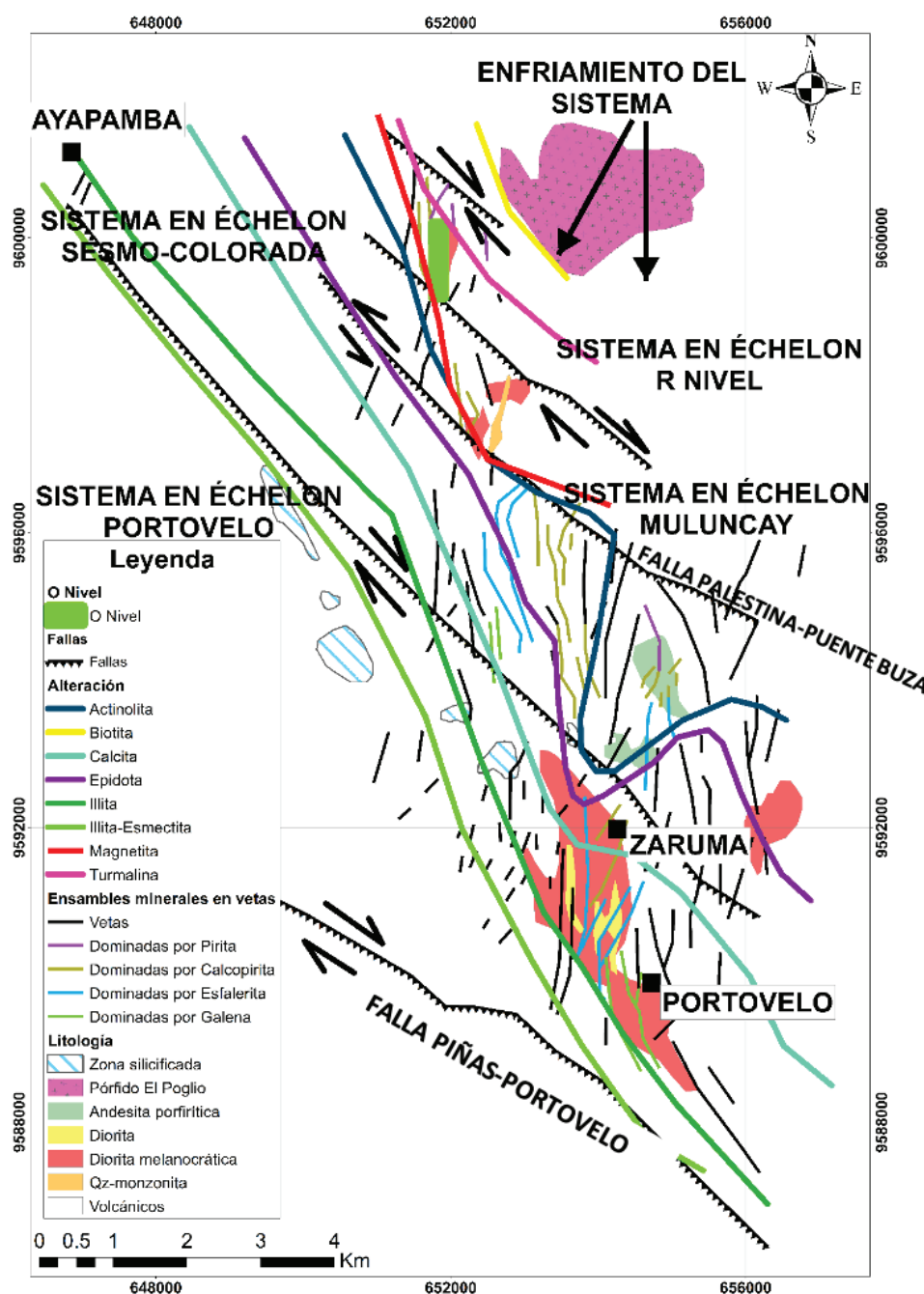


Figura 2: Mapa regional de los dominios estructurales, alteración y mineralización del DMZP. Modificado de [3] y [6].

3.3 Tipo de yacimiento

La mineralización en el DMZP es principalmente vetiforme o de tipo stockwork, ocasionalmente se presenta en texturas de reemplazo tipo *vuggy* [2]. Los halos de alteración de las vetas son escasos y generan halos de alteración estrechos con clorita (Chl)-Ep o de Ill-Sme con leyes de Au menores a 1 g/t, por lo que resultan sub-económicos.

Desde el punto de vista textural, predominan estructuras clásicas de sistemas epitermales de intermedia-baja sulfuración: coloforme, crustiforme, bandeadas, bandas tipo *ginguro*, cocardas o *cockade*, tipo peine, plumosa y musgo; y texturas de reemplazo como calcita *bladded* [2], [6], [14], [15], [16], [17]. Estas características lo hacen comparable con depósitos epitermales en Argentina [18] o con el yacimiento epitermal de intermedia sulfuración de clase mundial en Ecuador, Fruta del Norte (FDN) [19], [20], con variaciones mineralógicas propias de cada yacimiento.

Al norte del sistema Muluncay hay un predominio de texturas coloformes-crustiformes, peine, plumosa y cockade, y en menor cantidad texturas como calcita *bladded* y musgo.

Estudios isotópicos y con inclusiones fluidas han identificado un aporte meteórico mayor en el sistema Sesmo y Portovelo, pero también hay evidencia de aguas magmáticas [2], [21].

Estas características permiten clasificar al DMZP como un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración, aunque la parte al norte del sistema Muluncay puede catalogarse como epi-mesotermal de intermedia-sulfuración.

4. RESULTADOS

4.1 Geología local del sector Minas Nuevas

La zona Minas Nuevas se encuentra al norte del DMZP, al norte del sistema Muluncay y forma parte del sistema R Nivel (Fig. 2). Durante el mapeo geológico se identificaron seis unidades geológicas. Las vetas de la mina O Nivel no fueron identificadas en superficie, pero aparecen en el mapa con la proyección desde la mina O Nivel hacia la superficie.

4.1.1 Andesitas background

Afloran en la zona SO del poblado Minas Nuevas (Fig. 3) en la vía hacia Muluncay. También han sido observadas en la zona de Huertas y al NO del área de estudio.

Son andesitas basálticas y hornbléndicas, con niveles puntuales de tobas de cristales de composición andesítica y en menor proporción fragmentos líticos tamaño lapilli. Tienen textura porfirítica y afanítica. Las andesitas porfiríticas tienen una matriz afanítica (60 % - 65 %), y el 35 % son fenocristales de plagioclasa (Plg), hornblenda (Hbl) y piroxeno (Prx). La matriz se encuentra en su mayoría cloritizada y no se ha observado Mt.

Corresponde a las rocas descritas como Miembro Muluncay por [1], [2] y [6].

4.1.2 Tobas de cristales

Afloran en la zona oeste de la mina O Nivel, cerca de la boca mina, en los poblados del Recogimiento y Pampa Verde [650927, 9599796].

Son tobas de cristales y tobas líticas de grano medio, tamaño lapilli (más escasas). La matriz de grano fino (60 %), se encuentra cloritizada y se han observado *shards* de vidrio volcánico, mientras que los cristales corresponden a un 30 % de Plg y Hbl y un 10 % de fragmentos líticos de composición andesítica y dacítica.

No se ha observado el contacto entre las tobas de cristales y las andesitas *background* pero se infiere que sobreyacen discordantemente a las andesitas de *background* (Fig. 4).

4.1.3 Mantos lávicos

Afloran en gran parte del área de estudio, en la zona centro, centro-sur y centro-norte. Estas rocas volcánicas de composición básica afloran al sur del poblado Huertas [652022, 9600827] y también fueron observadas rocas de composición intermedia con un grado de meteorización medio – alto en las coordenadas [651347, 9599572] (Fig. 3).

Están compuestas por una matriz cloritizada (40 %), y un 60 % de cristales de Plg, Prx y Hbl, los minerales de alteración son Qz lechoso y kaolinita (Kln) en las Plg. Dentro de estas rocas se encontraron xenolitos de textura fanerítica de composición granodiorítica – diorítica sin alteración

Buzan sub-horizontalmente hacia el SSO y sobreyacen a las andesitas de *background* (Fig. 4). No se ha observado contacto con las tobas de cristales, pero por geomorfología, podrían ser coetáneas y corresponder a cambios laterales de facie.

4.1.4 Andesitas porfiríticas

Afloran al SO del área de estudio en la vía Playitas-Puente Buza. Son andesitas con una matriz de grano fino (65 %) y fenocristales (35 %) de Plg, Hbl y Prx muy puntual. Son muy similares petrográficamente a las andesitas de *background*, pero geomorfológicamente esta unidad se asocia a montañas redondeadas de pendiente pronunciada, por lo que se ha discriminado como otra unidad asociada a cuerpos sub-volcánicos. Esta unidad es similar a la mapeada por [6].

4.1.5 Andesita porfirítica sub-volcánica

Aflora al NO del área minera O Nivel, junto a la vía Playitas-Huerta, cerca al poblado de Guanachón en las coordenadas [651500, 9600672].

Está compuesta por andesitas con una matriz de grano fino (30 %) y fenocristales euhedrales de Plg y Hbl (70 %). Presenta minerales de alteración como Qz lechoso, Chl y Py.

Esta unidad se asocia a una geoforma redondeada tipo domo con pendientes abruptas y que tiene un contraste geomorfológico abrupto, que corresponde a las tobas de cristales.

4.1.6 Pórfido El Poglio

Aflora en la zona este del área de estudio, se asocia con geomorfologías redondeadas con pendientes pronunciadas y con cambios geomorfológicos bruscos en la coordenada [652750, 9600850]. Fue mapeado por [3] y responde a una anomalía aeromagnética positiva [22].

Los afloramientos en la zona de Minas Nuevas corresponden a una roca intrusiva de grano fino, con textura fanerítica equigranular, que principalmente contiene Qz, Hbl y Plg, esta roca, además, presenta Qz secundario y trazas de Py.

4.2 Geología estructural del sector Minas Nuevas

Existen cinco (5) fallas principales en la zona de Minas Nuevas (Fig. 3).

Dos fallas NO-SE con movimiento inverso-dextral, una de las cuales atraviesa la boca mina de O Nivel y tiene buzamiento vertical; mientras que, la otra está al este de la zona de estudio cerca al pórfido El Poglio y tiene un buzamiento de medio-bajo ángulo (40° - 50°) hacia el oeste.

Una falla ONO-ESE, que probablemente es subsidiaria del sistema NO-SE y tiene buzamiento de 60° hacia el oeste.

Dos fallas N-S con buzamiento sub-vertical (Fig. 4) y desplazamientos normales. Estas estructuras suelen estar paralelas a las vetas en O Nivel.

Las fallas N-S pueden ser syn-genéticas a la formación de las vetas de O Nivel y posteriores a las estructuras NO-SE y ONO-ESE.

Las estructuras NO-SE y ONO-ESE posiblemente corresponden a las estructuras que limitan los sistemas Muluncay y R Nivel (Fig. 3) y, por ende, tienen movimientos similares a los descritos por [2], [3], [6].

4.3 Caracterización de las vetas de la mina O Nivel

La mina O Nivel cuenta con una galería principal de 800 m de longitud desde la boca mina en la cota 1080 m s.n.m; con una dirección desde el NO hacia el SE (Fig. 5A). A los 300 m desde la boca mina se intercepta la veta Interventora, 425 m después se intercepta la veta X, 50 m después la veta Cristina y 25 m después se encuentra la veta Jane.

Desde la intercepción de las vetas X, Cristina y Jane; la mina O Nivel tiene una dirección N-S y una longitud de 500 m hacia el norte y 500 m hacia el sur. Se divide en tres niveles en profundidad: 1080, 1050 y 1020 (Fig. 5B).

El método de explotación utilizado es de corte y relleno con galerías de 1 m - 3 m de ancho y 1.5 m - 3 m de alto, aunque algunos pilares o "rebajes" pueden ser más largos.

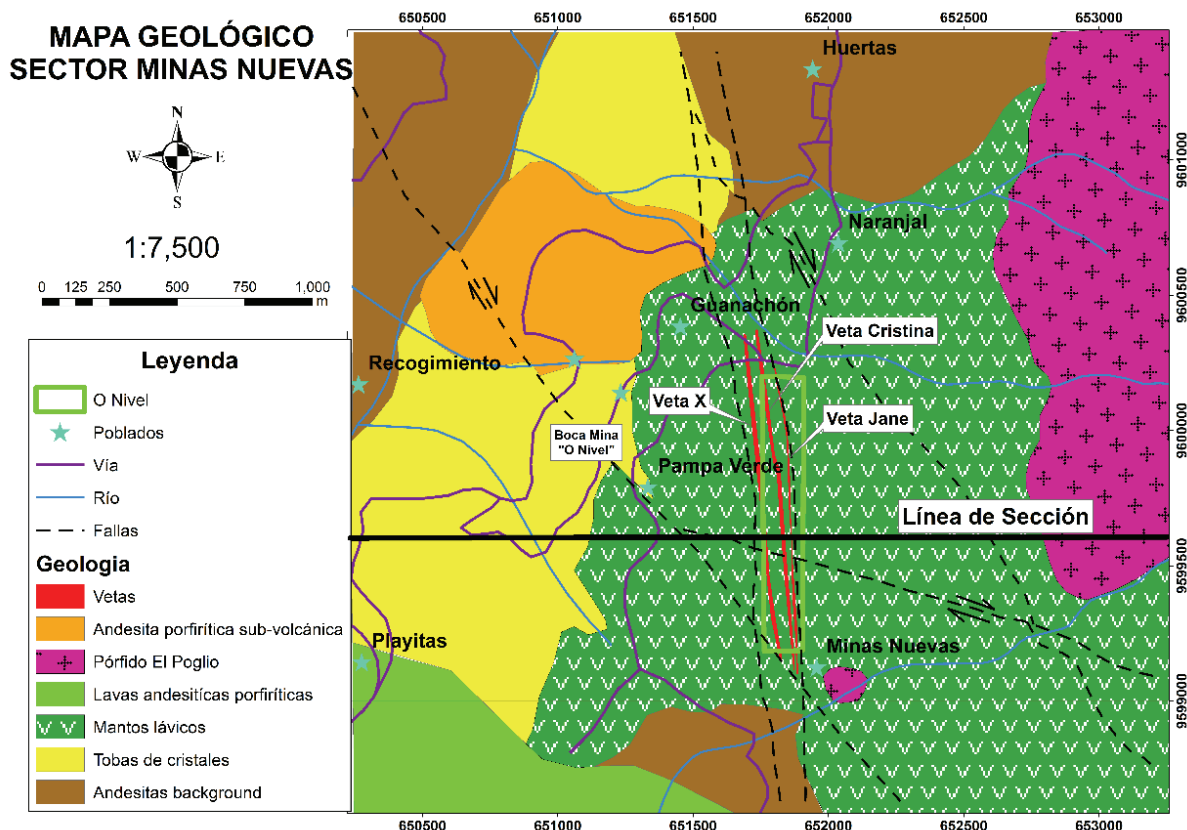


Figura 3: Mapa geológico-estructural del área Minas Nuevas, donde se muestran las unidades geológicas locales del miembro Muluncay [1] que atraviesan el área minera O Nivel. Las vetas no fueron mapeadas en superficie y es la proyección desde la mina subterránea hacia superficie.

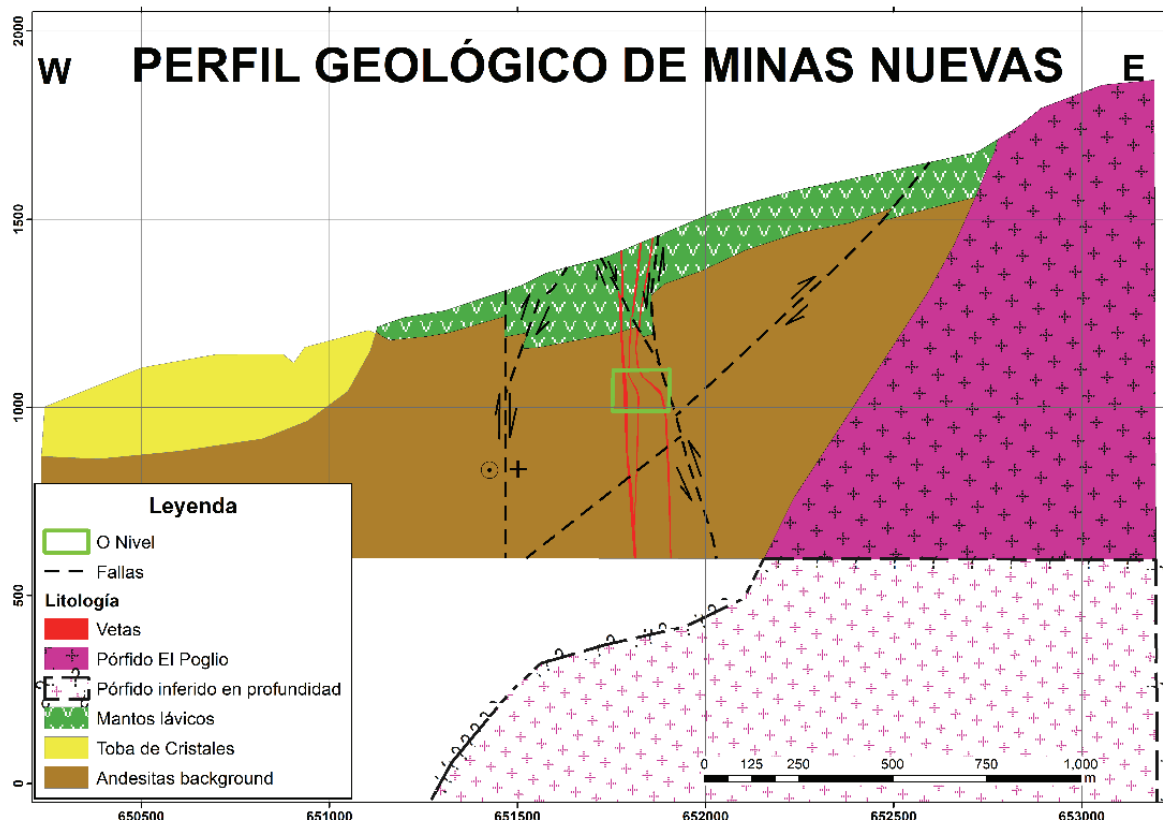


Figura 4: Sección E-O del área Minas Nuevas, donde se muestran las unidades geológicas del miembro Muluncay [1] y la interacción cronológica de las estructuras. Se observa la interpretación en profundidad del pórfido El Poglío y la geometría de las vetas en el área minera O Nivel en recuadro verde.

4.3.1 Veta Interventora

Esta veta es la primera en ser interceptada desde la boca mina, tiene una potencia entre 1.5 m - 2 m con dirección N-S/85°E, tiene zonas con textura brechosa con cemento de Qz lechoso. La mineralogía consta de Qz lechoso masivo sin sulfuros ni otros minerales de alteración o mineralización (sin Au ni Ag). No fue rentable, por ello, las galerías solo midieron 25 m de longitud. Esta veta fue excluida de la caracterización en campo, macroscópica, y microscópica.

4.3.2 Veta X

Esta veta fue interceptada después de la veta Interventora, su rumbo es N-S/60°-70° E y tiene una potencia entre 1.2 m - 1.5 m. Presenta textura coloforme-crustiforme y puntual textura brechosa. Hay una zonación de Qz y Qz-calcedónico. La mineralogía es Qz, Mt, hematite (Hm), Py, Ccp posiblemente adularia (Ad) y en los halos Chl, Cal y sericita (Ser). Los alrededores de la veta X contienen zonas de lixiviación de óxidos-hidróxidos de Fe y azurita (Az) con malaquita (Mch).

La veta está asociada a bajas leyes de Au, razón por la cual las galerías solo se explotaron 45 m hacia el norte y 100 m hacia el sur en la cota 1080 (Fig. 5B).

4.3.3 Veta Cristina

Se encuentra hacia el este de la veta X con rumbo N-S y variaciones de entre 15° - 20° hacia el NE y NO y su potencia varía entre 0.8 m hasta 1.7 m. Debido a su geometría anastomosada, la veta Cristina ha sido

observada con vetas subsidiarias del mismo rumbo, pero también, con vetas perpendiculares (E-O) que cortan a las vetas N-S (Fig. 6b). La veta Cristina ha sido explotada en la cota 1080 y un poco en la 1050.

La textura es variable, desde coloforme-crustiforme en el eje principal, hasta brechosa intercalada con Qz masivo (Fig. 5A y Fig. 6a). Los primeros metros hacia el norte en el eje principal tiene textura coloforme-crustiforme y luego brechosa hasta el final de las galerías. Hacia el sur los primeros 175 m tienen textura coloforme-crustiforme y hasta llegar al pozo Muluncay tiene textura brechosa y masiva. En la zona del Pozo Muluncay (Fig. 5A), la textura vuelve a ser coloforme-crustiforme, pero además tiene texturas tipo *cockade*, zonación de Qz, localmente musgo y plumosa, durante 110 m. Hasta el final de las galerías al sur la textura dominante es brechosa. Los niveles inferiores al principal solo muestran textura brechosa.

La mineralogía consta de Qz lechoso, Qz grisáceo cristalino azucarado, Qz masivo, calcedonia (Chc), Py, Ccp, Mt, Spec, Au de grano fino incluido en el Qz, esfalerita (Sph), tetrahedrita (Ttr)-tenantita (Tnt) y Cal, Az, Mch.

En la zona de la intercepción del eje principal la veta Cristina se asocia a leyes de Au moderadas, mientras que en la zona del pozo Muluncay a leyes altas de Au (Fig. 5A), mientras que en el nivel 1050 la veta no tiene valores importantes de Au (Fig. 5B).

En el 2004 se estimaron 33.5 koz indicadas y 43.3 koz inferidas para la veta Cristina [6].

4.3.4 Veta Jane

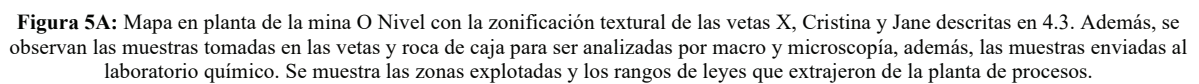
Es la veta más explotada en O Nivel, tiene una potencia variable entre 0.8 m - 1.4 m, aunque hay zonas puntuales donde se ha reportado potencias de más de 3 m [2], [6]. Su rumbo es N-S/55°-63° E, con variaciones entre 15° - 20° hacia el NE y NO. Ha sido explotada en los niveles 1080, 1050 y 1020 (Fig. 5B); el nivel 1080 contiene las leyes de Au más bajas y mejoran en profundidad.

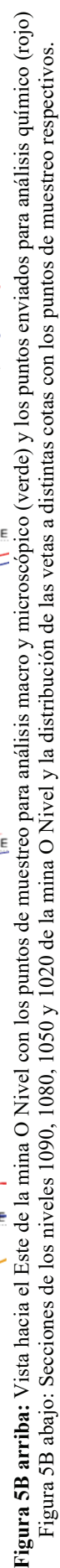
La textura de la veta Jane es muy variable, predominantemente brechosa en la cota 1080 y solamente en la zona del pozo Muluncay, cerca al final de las galerías donde conecta con la veta Cristina, tiene textura crustiforme-coloforme con zonas estilo *cockade*.

En el Pozo Muluncay (Fig. 5A), en las cotas 1050 y 1020 tiene textura coloforme-crustiforme (con bandas de Qz y Chc masiva), bandeada, con texturas de zonación, plumosa y musgo; incluso, hay bandas de 30 cm de brechas hidrotermales intercaladas con las bandas coloformes-crustiformes (Fig. 6d).

Hacia el norte, en la cota 1050 y 1020 en la zona “Terremoto” (Fig. 5A y 5B), la veta Jane tiene una textura muy similar al pozo Muluncay, pero en las bandas crustiformes dentro de la veta existen zonas masivas de Mt-Py con Ccp, Qz y Chc coloforme, incluso con bandas de Qz lechoso masivo, se han observado también texturas tipo *cockade* donde los centros suelen ser Mt-Py±Ccp rodeados por bandas de Qz-Chc y esporádicamente Mt (Fig. 6c). En esta zona se ha identificado Adularia (Ad) junto con las bandas de Qz.

La mineralogía consta de Qz lechoso, masivo, cristalinos, azucarado, Chc zonada y bandeada, Py, Ccp, Mt, Ttr-Tnt, marmatita (Mar), Sph, Gn, Cal, Az-Mch.





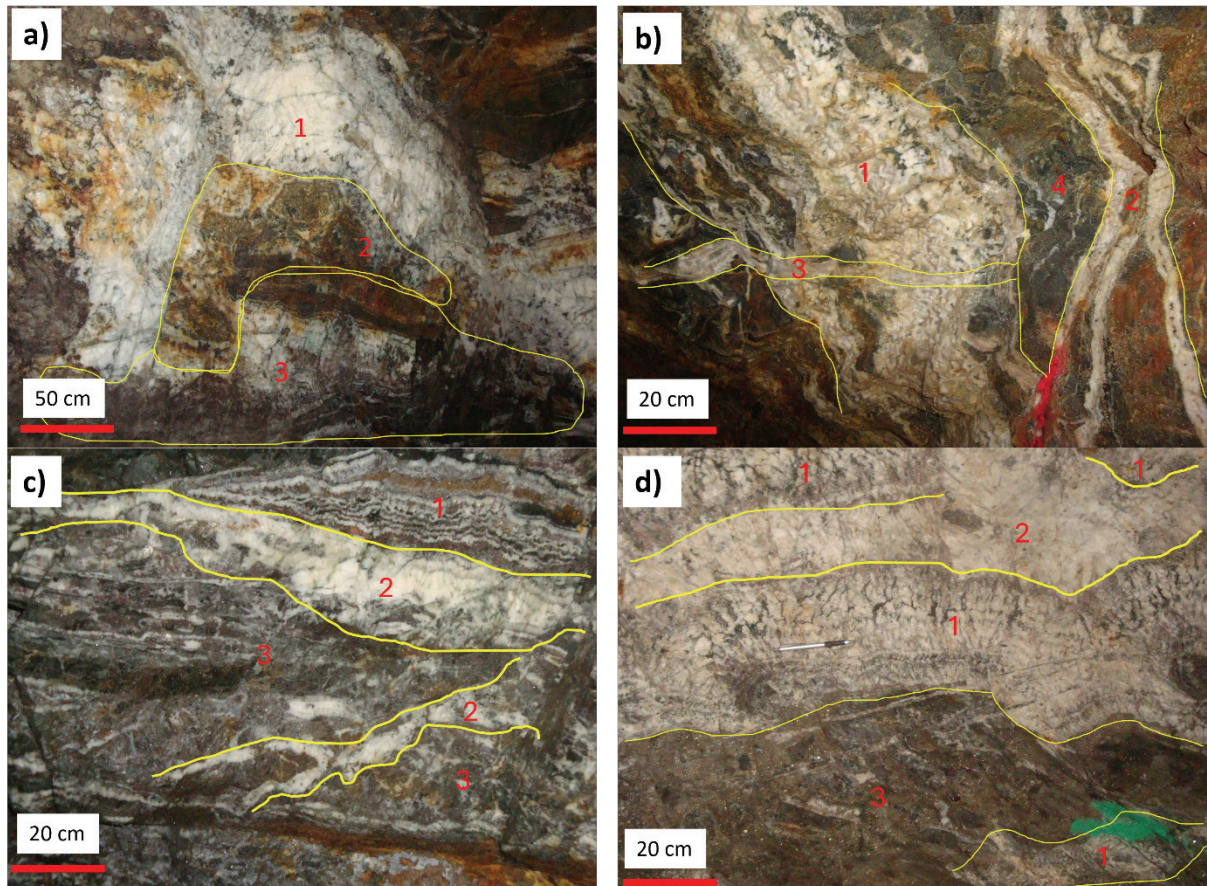


Figura 6: Vetas de O Nivel. a) Veta Cristina, en 3 se observan bandas coloformes crustiformes con tonos negros y rojos asociados con Mt-Hm, en 2 se observa una brecha con clastos piritizados con textura tipo *cockade* y en 1 se observan bandas de Qz lechoso masivo y Qz lechoso, cristalino y Chc tipo coloforme-crustiforme. b) Veta Cristina donde 1 es la veta principal, 2 vetas subsidiarias, ambas con texturas coloformes crustiformes de Qz lechoso, Chc gris-rosácea y bandas de Mt; 3 vetas perpendiculares más tardías con textura coloforme-crustiforme sin Mt y 4 roca de caja con poca alteración hidrotermal. c) Veta Jane en zona Terremoto donde en 1 se observan bandas crustiformes y algo coloformes de Mt, Hm, Qz lechoso, Qz gris y Chc y en el centro Py con textura *cockade*; 2 corresponde a vetas de Qz lechoso de varias tendencias que cortan a la veta principal y no tienen bandas de Mt-Hm-Py y 3 la veta principal con zonas de Mt-Hm-Py masiva con zonas brechosas y pocas vetas de Qz lechoso intercaladas. d) veta Jane del pozo Muluncay donde 1 es la veta principal con bandas coloformes-crustiformes de Qz lechoso, Qz grisáceo y Chc con bandas de Mt y zonas de textura plumosa; 2 corresponde a bandas de Qz lechoso masivo y 3 son bandas de brecha hidrotermal con clastos de vetas coloformes-crustiformes con un cemento de Py. Abreviaturas: Mt= magnetita, Hm= hematita, Qz= Cuarzo, Chc=calcedonia, Py=pirita

En la zona de la intercepción del eje principal, en la cota 1080, la veta tiene bajas leyes de Au, mientras que en el pozo Muluncay y en la zona Terremoto, tanto en la cota 1050 y 1020, la veta Jane se asocia a leyes altas de Au (Fig. 5A).

En el 2004 se estimaron 27.2 koz indicadas y 23.7 koz inferidas para la veta Jane [6].

4.4 Descripción Microscópica de las vetas de O Nivel con binocular

Fueron descritas 29 muestras en microscopio binocular para identificar minerales, relaciones de contacto y texturas. Con las muestras más representativas se realizaron cortes pulidos. Los minerales de ganga identificados durante el análisis de microscopio binocular fueron: Qz lechoso, grisáceo, y morado; Qz cristalino azucarado, Chc gris, rosácea y blanca; Ad blanquecina, Cal y Yeso (Gy). El Qz lechoso se asocia con bandas coloformes-crustiformes, vetas con textura masiva y como cemento de algunas brechas (Fig. 6a, 6b, 6c y 6d), también en vetas con textura *cockade* (Fig 7d). El Qz cristalino estaban asociadas principalmente

a bandas crustiformes y la Chc grisácea con bandas coloformes (Fig. 6b y 6c). Por último, la Cal y Gy se asociaron con vetillas que cortaban a las vetas principales.

Los minerales de mena encontrados fueron: Py, Ccp, Mt, Mar, El, Gn, Sph, Ttr-Tnt. La Py se encontraba como bandas junto con el Qz (Fig. 6c), como cemento de brechas (Fig. 6d) o granos tipo *cockade* (Fig. 7d), la Ccp se asociaba a bandas de Qz junto con Py y Mt. La Mt fue identificada reemplazando a la Py formando pseudomorfos (Fig. 7f) y como bandas intercaladas con Qz, Py y Ccp; la Spec (Fig. 7b) se encontraba junto con la Mt en una asociación similar. Las vetas con bandas de sulfuros principalmente se asociaban con El, Mar, Sph, Gn y Py donde la Sph rodeaba Mar (Fig. 7c). La Ttr-Tnt se asociaron a bandas tipo *ginguro* intercaladas con bandas de Qz. Los minerales supérgenos encontrados como Az, Mch, Spec y Hm se relacionaban a vetas que tenían Ccp, Ttr-Tnt o Mt.

4.5 Descripción Microscópica de las vetas de O Nivel

De las 29 muestras analizadas en el microscopio binocular, siete (7) fueron seleccionadas para un análisis de láminas pulidas en microscopio de luz reflejada. Los minerales identificados son similares a aquellos observados en binocular, pero varias relaciones paragenéticas y texturales se observaron durante el análisis de láminas pulidas.

La Py cúbica asociada con Ccp, muestra bordes mutuos, pero también texturas en caries, también se observan cristales relictos de Py incluidos en la Ccp sugiriendo reemplazamiento de Py por Ccp (Fig. 7b). En el contacto de Gn con Ccp también se observan texturas en caries, indicando la cristalización posterior de la Gn (Fig. 8c)

Estas relaciones texturales indican que existe una fase de depositación de Py temprana reemplazada por un Ccp y luego Gn (Fig. 8a)

En una zona de veta, se observan cristales de Py cúbicos, fracturados, reemplazados por Ccp y también se identifica Mt rellenando estas fracturas. La Mt deja cristales relictos de Ccp y texturas en caries, Las relaciones texturales indican una depositación inicial de Py, seguida de Ccp y posteriormente de Mt. La Ccp y la Sph comparten bordes mutuos, pero se observan inclusiones de Ccp dentro de Sph (Fig. 8c y 8d)

Esto implicaría una formación temprana de Py reemplazada por Ccp y luego ambos reemplazados por Mt, aunque los bordes mutuos (Fig. 8c y 8d) sugieren que la Ccp tuvo una segunda etapa de precipitación.

La Gn reemplaza a la Sph dejando cristales relictos con inclusiones de Ccp. La galena probablemente no es argentífera (debido a sus características macroscópicas, no es color gris-morado) y se ha observado clivaje tipo

triangular pits (Fig. 8c). El Au se ha observado en los bordes de granos de Sph o dentro de Gn como inclusión. También se lo encontró asociado al Qz (Fig. 8d). No se logró obtener una imagen clara de la relación del Au con la Mt, no obstante, se lo ha observado en las texturas coloformes-crustiformes durante el mapeo de las galerías (Fig. 6b, 6c y 6d).

Eléctrum se observó junto con Ttr-Tnt y metales base, no se han observado telururos, seleniuros o bismutos; ni relación paragenética de alta sulfuración como Bornita (Bn)- Py o Calcosina-Covelina hipógena (Cc-Cv) con Py [23]. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar El relacionado con otros sulfuros como sucede en Fruta del Norte [19] [20].

4.6 Resultados químicos de las vetas de O Nivel

Las muestras enviadas al laboratorio fueron seleccionadas debido a su representatividad textural, mineralógica y relación con leyes de Au explotadas en O Nivel, la Tabla 1 detalla el código de la muestra, valores de Au, Ag y Cu; y la textura dominante en la veta. Además, se ha colocado el nivel y veta a la cuál corresponden, en la Figura 5B se puede observar la distribución espacial de las mismas.

Tabla 1: Código de muestras, textura dominante en la veta y los valores de Au, Ag y Cu de cada muestra

Cod. Muestra	Nivel	Veta	Textura	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)
EPCS	1080	CRISTINA	Brecha Hidrotermal	0.3	14.8	0.53
MCS	1080	CRISTINA	Brecha Hidrotermal	2.85	25.75	0.32
MP2-JN	1050	JANE	Coloforme-Crustiforme	72.65	295.4	2.31
MP1-JCV	1070	CRISTINA	Coloforme-Crustiforme	0.3	72.65	0.63
PP-SCR	1080	X-CRISTINA	Brecha Hidrotermal	0.45	19.25	0.39
PP_NJT	1090	JANE	Masiva Mt-Py	25.02	82.3	0.36
PP_NJT_49	1090	JANE	Masiva Mt-Py	4.3	29.88	0.52
PP_NJT_29	1090	JANE	Masiva Mt-Py	3.1	22.22	0.38

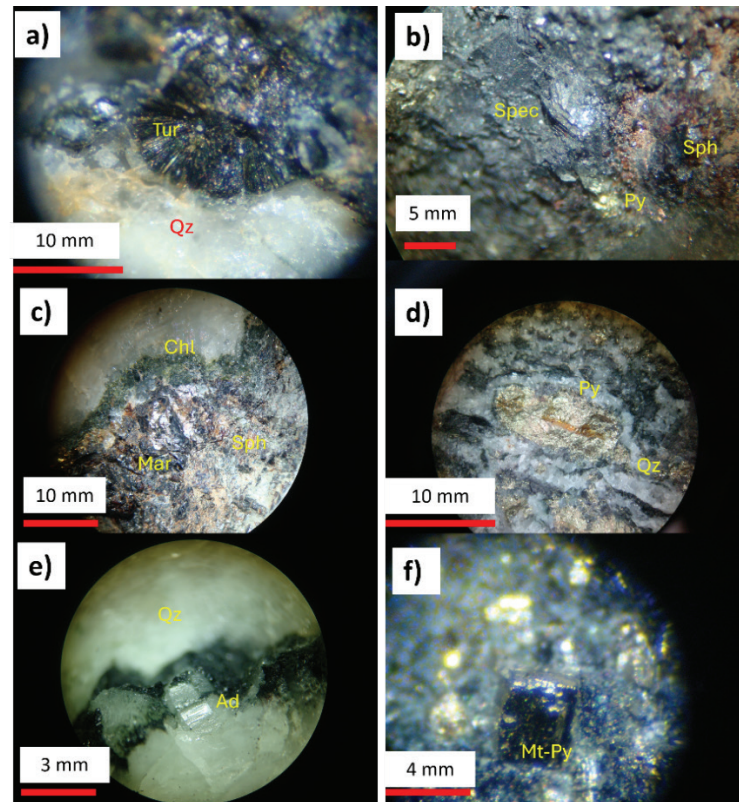


Figura 7: Muestras en binocular de las vetas de O Nivel. a) Tur en una veta de Qz cristalino, b) Spec con Sph y Mar con Py subordinada, c) Mar rodeada por Sph y ambos con Chl, d) Py rodeada por Qz cristalino azucarado y bandas de Mt como textura tipo cockade, e) Ad en veta de Qz lechoso y f) Cubo de Py reemplazado por Mt, conservando su hábito (pseudomorfismo).

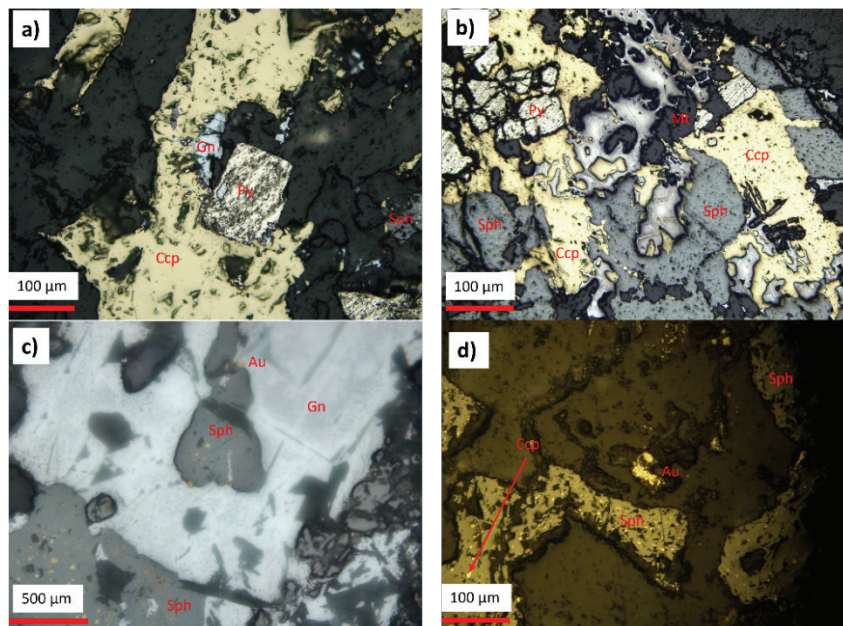


Figura 8: Muestras de láminas pulidas de las vetas de O Nivel. a) Py reemplazada por Ccp, esta última en contacto limpio con Gn, b) Py reemplazada por Mt y ambos reemplazados por Ccp y Sph con textura disease, c) Gn con triangular pits rodeando Mar con granos de Au en sus bordes, d) Sph con textura disease de Ccp y un Au en la matriz de Qz.
Abreviaturas Tur= turmalina, Qz= cuarzo, Spec= specularita, Sph= esfalerita, Mar= marmatita, Py=pirita, Chl=Clorita, Mt= magnetita, Ad= adularia, Ccp= calcopirita, Gn= galena, Au=oro

4.7 Paragénesis en las vetas de O Nivel

Después de correlacionar el mapeo de campo y la descripción macroscópica realizada *in-situ*, la descripción microscópica en el binocular y en el microscopio de luz reflejada; y los análisis químicos, se realizó un mapa de la mina O Nivel para zonificar

las asociaciones minerales en las distintas partes de la mina según cada veta (Fig. 9).

Se puede observar que en la zona donde se interceptan las tres vetas en el eje principal existe una asociación mineral de Chc-Py-Ccp relacionada a leyes moderadas

de Au. 50 m al norte y sur de esta zona existe una zona de Qz-Chc-Ccp-Ttr-Tnt con leyes bajas de Au (Fig. 9). La zona al norte del pozo Muluncay en el nivel 1080 se asocia con Ccp-Az-Mch sin Au.

El pozo Muluncay tiene ensambles minerales complejos de Qz-Chc-Mt-Sph-Gn-Ccp-El en los cuales están juntos minerales de alta y baja temperatura, no obstante, en el apartado 4.7 se pudo determinar que existen relaciones de corte entre algunos de estos minerales. Esta zona es la de mejores leyes en la zona sur de la mina (Fig. 9).

Al sur del pozo Muluncay existe un dominio de metales base como Ccp-Gn-Sph y sulfosales de Cu como Ttr-Tnt asociadas con leyes moderadas-bajas de Au.

La zona terremoto también presenta variedad de ensambles o asociaciones minerales en las cuales domina Qz-Mt-Spec-Py-Ccp-Chc-Ttr-Tnt y se relaciona con leyes altas de Au (Fig. 9). Con los análisis microscópicos se pudo observar que, si bien minerales de distintas temperaturas de formación están juntos, no se formaron al mismo tiempo.

4.8 Estadias de mineralización del área O Nivel

De acuerdo con el mapeo mineralógico e identificación de asociaciones minerales en las vetas de O Nivel y las relaciones paragenéticas identificadas en el análisis microscópico, se han identificado cuatro etapas o estadias de mineralización en O Nivel descritas a continuación y en la Tabla 2:

- **Estadía 1:** Asociada con Qz cristalino grisáceo y azucarado en bandas crustiformes, intercalado con bandas de Mt-Py $\pm$ Ccp. Esta estadía se asocia a minerales de temperaturas moderadas a altas como Mt que según [23] puede formarse en alteración potásica a temperaturas mayores a 500°C. Las leyes de Au asociadas a esta fase son altas. Tur, podría haberse formado en esta etapa, ya que se asociaría con Qz cristalino tal como se observa en la Figura 7a.
- **Estadía 2:** Asociadas con Qz lechoso-Chc y Qz cristalino subordinado con texturas coloformes-crustiformes, plumosa, musgo y *cockade* cuya mineralogía dominante es Ccp-Mar $\pm$ Gn-Ttr-Tnt y El. Ad podría haberse formado en esta etapa porque se encuentra junto con bandas de Qz lechoso como en Fig. 7e. Esta estadía corresponde a temperaturas moderadas-bajas y las leyes de Au asociadas son moderadas, más asociadas con El.
- **Estadía 3:** Se asocia con Qz lechoso y Chc con texturas crustiformes-coloformes y la mineralogía es Ccp-Gn-Sph $\pm$ Ttr-Tnt. Cal, Chl-Ep pudo haberse formado en esta etapa. Las leyes de Au son bajas en esta estadía y probablemente se asocian con Ttr-Tnt, que es subordinado.
- **Evento Supérgeo:** Se asocia con procesos supérgeos de lixiviación y oxidación de minerales primarios. La mineralogía se asocia con Spec-Hm-Az-Mch. El Gy pudo haberse formado en esta etapa.

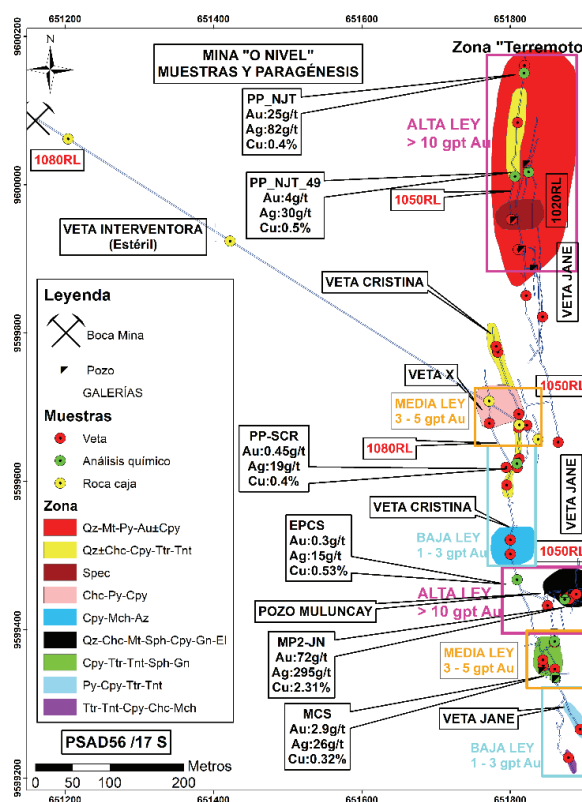


Figura 9: Mapa de la mina O Nivel con las muestras tomadas, las asociaciones minerales en las vetas y los rangos de leyes explotadas en la mina.

Tabla 2: Minerales y etapa de formación en las vetas de O Nivel con su abundancia relativa en cada etapa.

	Estadía 1	Estadía 2	Estadía 3	Evento Supérgeno
Qz	████████████████████	████████████████████	████████████████████	
Au	████████████████████	-----		
Py	████████████████████	████████████████████	-----	
Cpy	████████████████████	████████████████████	-----	
Mt	████████████████████	-----		
Mar	████████████████████	████████████████████	-----	
Eléctrum	████████████████████	████████████████████	-----	
Ttr-Tnt		████████████████████	-----	
Gn		████████████████████	████████████████████	
Sph		████████████████████	████████████████████	
Cal		-----	████████████████████	
Spec				████████████████████
Hm				████████████████████
Az				████████████████████
Mch				████████████████████
	Abundante	-----	Poco Abundante	

5 DISCUSIÓN

La Zona Minas Nuevas está compuesta por flujos de lava de composición andesita hornblédica y basálticas; tobas de cristales de la misma composición y andesitas porfíricas relacionadas con cuerpos subvolcánicos. Estos tipos de roca han sido descritos desde 1926 por [1], [2], [3] y [6] y las han asociado al miembro Muluncay, el cual es parte de la Unidad Portovelo del Grupo Saraguro [10], las principales rocas que hospedan las vetas de O Nivel son andesitas porfíricas y mantos lávicos del miembro Muluncay, similar a lo que propone [1], [2] y [6].

Las estructuras NO-SE y ONO/ESE de la zona Minas Nuevas tienen dirección y movimiento similar a las estructuras que delimitan los sistemas *en échelon* a lo largo del DMZP propuestas por [3] y corroboradas luego por [2] y [6], por ende, las estructuras NO-SE y ONO/ESE son el producto de una cizalla principal en sentido NO-SE tal como lo plantea [2] y [3]. Las fallas N-S con movimientos normales paralelas a las vetas Cristina y Jane en O Nivel son la zona de dilatación más favorable para albergar las vetas; y por ende, la mineralización relacionada al Au, tal como ocurre a lo largo del DMZP, según [1] [2] [3] y [6].

En cuanto a la paragénesis, los minerales de ganga dentro de las vetas identificados en el mapeo de campo, microscopía binocular y de luz reflejada son: Mt, Tur, Spec, y Chl coherentes con los estudios realizados en el sistema R Nivel, que está dominado por Bt, Mt, Tur

[3]. En el caso de O Nivel no se observó la Bt, a diferencia de otras zonas del mismo sistema.

Los minerales al norte de O Nivel, en la zona Terremoto indican mayores temperaturas que aquellos que están en el sur de la mina, mostrando que el sistema se enfría hacia el sur [3].

Si bien, existen muchas zonas de Qz lechoso o cristalino masivas en O Nivel, la mayoría de las vetas presentan textura coloforme-crustiforme, *cockade*, musgo y plumosa; lo cual, contrasta con estudios anteriores [2] y [14], quienes asignaban este tipo de texturas a la zona del sistema Sesmo o Portovelo.

La primera estadía de mineralización propuesta en este estudio difiere de estudios anteriores [2], [4], [5] y [6], porque O Nivel tiene concentraciones medias-altas de Au asociadas a vetas cuarzosas con Mt-Py-Ccp, interpretado como el inicio de fluidos magmático-hidrotermales, pobres en Au [2], mientras que otros autores ([5] y [6]) no consideran la Mt parte de la mineralización. Este estudio es pionero en sugerir una etapa caliente de Qz-Mt-Py-Ccp relacionada con leyes altas de Au, debido a que en trabajos anteriores [4], a pesar de considerar la Mt como parte de las estadías de mineralización, no la relacionan directamente con Au. Si bien, las secciones pulidas no muestran esta relación, si se la observa en las texturas coloformes-crustiformes en el mapeo (Fig. 6b, 6c y 6d), en los análisis macroscópicos y en la relación mineralogía-ley de la zona “Terremoto” en la veta Jane (Fig. 9).

Las zonas de las vetas con texturas coloformes-crustiformes, *cockade*, musgo y plumosa junto con Qz cristalino, lechoso, Chc, Mt, Py, Ccp, El y Ttr-Tnt se asocian con leyes moderadas-altas de Au, Ag y algo de Cu tal como lo plantea [24] en su modelo. Las zonas brechosas están asociadas a bajas leyes de Au, en contraste a lo propuesto en el sistema Sesmo-Portovelo [2].

La segunda estadía de mineralización es una etapa inicial y caliente relacionada con metales base y en menor proporción Ttr-Tnt y El, como se menciona en varios estudios ([2], [4], [5] y [6]), relegando al Au a una presencia subordinada [2] o directamente relacionándolo solo con El ([2], [4], [5] y [6]). Los estudios paragéneticos previos se enfocan en una zona más fría del DMZP.

La estadía 3 concuerda con lo propuesto por [2], [4], [5], [6] y [14]. Varios autores asignan al DMZP como un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración, ([2], [5] [6], [21]). Las vetas de O Nivel muestran asociaciones minerales [25] y texturas clásicas de yacimientos epitermales de baja-intermedia sulfuración [24], [2], [6]. No obstante, minerales formados a temperaturas altas como Mt y Tur junto con

Qz grisáceo cristalino se asocia a ambientes más calientes que los epitermales [24] y [13], además los comentarios realizados por [13] sugieren vetas mesotermales juveniles que, posteriormente sufren una sobreimposición del ambiente epitermal propiamente dicho, tal como pasa en O Nivel. Por estos motivos los sistemas al norte del sistema Sesmo deberían ser catalogados como epi-mesotermales de intermedia sulfuración.

Las vetas en O Nivel carecen de texturas de reemplazamiento abundantes como Cal *bladded*, zonas opalinas o sinters descritos por [24]. Además, las vetas carecen de Au asociado a Py, contienen poca Cal y ausencia de sulfosales de Ag. Tal como se describió en los párrafos anteriores. Las vetas de O Nivel tienen texturas coloformes-crustiformes y masivas-cristalinas, zonas de Qz-Mt-Py-Ccp-Au probablemente relacionadas con eventos más calientes y profundos sobreimpuestos por eventos más fríos asociados con metales base relacionados con El. Estas características permiten inferir que la zona de O Nivel se encuentra por debajo de los 200 m en la zona de Adularia y ebullición, en la transición de metales preciosos y metales base en el modelo propuesto por [24] (Fig. 10).

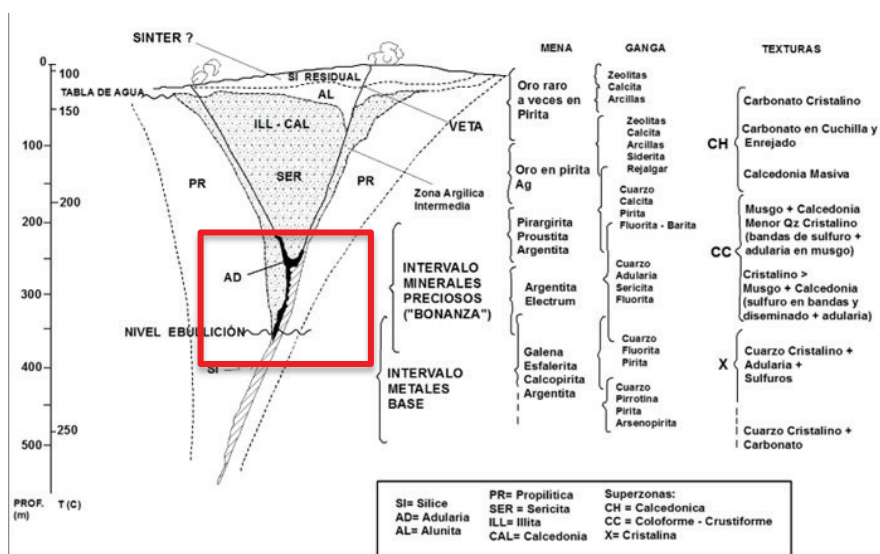


Figura 10: Modelo de yacimientos epitermales de baja-intermedia sulfuración, caracterizando zonas de mena, ganga y texturas de las vetas, el recuadro rojo corresponde a la zona donde estarían las vetas de O Nivel. Modificado de [24].

6 CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las vetas del área Minas Nuevas en la mina O Nivel se formaron asociadas a estructuras normales con sentido N-S, producto de una zona de cizalla principal en sentido NO-SE y se encuentra en el sistema *en échelon* R Nivel.

La paragénesis de las vetas de O Nivel constan de tres estadías de mineralización: La primera con Qz cristalino-Chc-Mt-Py±Ccp asociada a leyes altas de Au; la segunda etapa con Qz cristalino y lechoso-Chc-

Y Ccp-Mar-Gn-Ttr-Tnt-El±Ad asociado con leyes moderadas de Au. Una tercera etapa más fría asociada con Qz lechoso-Chc-Ccp-Sph-Gn-Ttr-Tnt con leyes bajas de Au y, por último, una etapa supérgena (no como estadía) de oxidación y lixiviación de minerales hipógenos con minerales como Az-Mch-Hm-Spec, sin Au asociado.

Las asociaciones mineralógicas sugieren al menos dos eventos de mineralización en las vetas en O Nivel. Uno relacionado a minerales de alta temperatura (Mt-Py-Ccp-Mar) y otro asociado a minerales de moderada-baja temperatura (Ccp-Gn-Sph-Ttr-Tnt), similar a un

telescoping. En los cuáles dos de ellos se asocian con Au, el primero más caliente asociado a Au libre con Qz-Mt-Py y el segundo asociado con metales base y sulfosales de Cu ligado con El.

Las texturas en las vetas de O Nivel que se encuentran relacionadas con valores moderados-altos de Au son bandas crustiformes-coloformes y Mt-Py masiva, mientras que la textura masiva y brechosa se asocia con leyes bajas de Au.

Las vetas de O Nivel corresponden a un sistema epimesotermal de intermedia sulfuración y se encuentran en una zona de ebullición con adularia en la transición de metales preciosos a metales base.

6.2 Recomendaciones

Realizar un mapeo estructural detallado en la mina O Nivel, para establecer la cronología de las estructuras y poder explorar otras vetas hacia el norte y este; además, poder reconocer los desplazamientos post-minerales a escala de mina subterránea.

Analizar las vetas con técnicas más especializadas como microsonda electrónica, catódoluminiscencia e inclusiones fluidas para caracterizar los distintos eventos en las bandas coloformes-crustiformes y conocer la temperatura de los eventos auríferos mesotermes y los epitermales. Corroborar la mineralogía identificada en la mina con ensayos de Sb, As, Pb y Zn. Priorizar la explotación de las zonas asociadas con Mt-Py-Ccp-Ttr-Tnt y El con textura coloforme-crustiforme ya que estas presentan las leyes de Au más altas según el presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la sociedad minera "O Nivel" por permitirme realizar mapeo, toma de fotografías, muestras y el soporte técnico durante la etapa de campo. Al Ing. Roque Maldonado, por su capacitación, paciencia, ayuda técnica-económica durante todas las etapas de realización de este documento. A mi familia Gaby Cevallos y Jacoby Logroño, por su cariño, paciencia y ayuda en todos los aspectos de mi vida. A mis padres Mario y Marlene, por todo su esfuerzo para ser quien soy, y a mis hermanos Wladimir y Sebastián, por sus enseñanzas, acompañamientos y cariño en toda mi formación desde niño.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Billingsley, "Geology of the Zaruma Gold District of Ecuador," American Institute of Mining and Metallurgical Engineering, vol. 74, pp. 255-275, 1926.
- [2] W. Bonilla, "Metalogenia del Distrito Minero Zaruma-Portovelo, República del Ecuador" Ph.D. tesis, Universidad de Buenos Aires: facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina, 2009.
- [3] R. M. Spencer, J. L. Montenegro, A. Gaibor, E. P. Perez, G. Mantilla, F. Viera & C. E. Spencer, "The Portovelo-Zaruma Mining Camp, Southwest Ecuador: Porphyry and Epithermal Environments," Society of Economic Geologists, vol. 49, pp. 8-14, Apr., 2002.
- [4] F. Van Thournout, J. Saleminck, G. Valenzuela, M. Merlyn, A. Boven & P. Muchez, "Portovelo: a volcanic-hosted epithermal vein-system, in Ecuador, South America," Mineralium Deposita, vol.31, pp. 269-276, 1996.
- [5] A. Paladines & Rosero, "Zonificación mineralogénica del Ecuador," Laser Editores, pp. 146, 1996.
- [6] M. Kalinaj, "Zaruma Project Ecuador, Technical report prepared for Dynasty Metals & Mining Inc.," Dynasty Metals, pp. 98, 2004.
- [7] L. A. Ordóñez, "Estudio de la génesis de la veta Azul basado en un control geológico-estructural en las labores mineras circunscritas de la concesión Nueva Esperanza 4, código 300086, ubicado en la parroquia Zaruma y Sinsao del cantón Zaruma, provincia de El Oro," Tesis de pre-grado, Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Loja, Ecuador, 2019.
- [8] E. Orche, "Manual de evaluación de Yacimientos Minerales," Primera edición, Editor: Carlos López Jimeno, pp. 34-51, Madrid, España, 1999.
- [9] M. Litherland, J. Aspden & R. Jemielita, "The Metamorphic Belts of Ecuador," Primera edición. pp. 64-75, Nottingham, Inglaterra, 1994.
- [10] W. T. Pratt, J. F. Figueroa & B. G. Flores, "Geology of the area between 2 and 3 degrees south, western Cordillera, Ecuador," Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), Programa de Información Cartográfica y Geología (PICG), CODIGEM-BGS, Report no.1, pp. 153, 1997.
- [11] P. Dunkley & A. Gaibor, "Geology of the area between 2 and 3 degrees south, western Cordillera, Ecuador," Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), Programa de Información Cartográfica y Geología (PICG), CODIGEM-BGS, Report no.2, pp. 145, 1997.
- [12] D. L. Whitney, & B. W. Evans, "Abbreviations for names of rock-forming minerals," American Mineralogist, vol. 95, pp. 185-187, Jan., 2010.
- [13] R. H. Sillitoe, "Comments on the Portovelo-Zaruma vein gold district and environments, Ecuador," Unpublished report, IAMGOLD Corp, pp. 3-6, 2000.

- [14] A. L. Morocho, "Caracterización geológica de las vetas Uno, Gloria de Dios y la Ranlfa, en la Mina sociedad civil minera Gloria de Dios de la Parroquia Ayapamba, cantón Atahualpa, provincia de El Oro," Tesis de pre-grado, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador, 2018.
- [15] G. Morrison, D. Guoyi & S. Jaireth, "Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins" AMIRA project, Gold Research Group, Field Manual, James Cook University of North Queensland, Australia, 1990.
- [16] A. R. Hamilton, K. A. Campbell & D. M., "Atlas of siliceous hot spring deposits (sinter) and other silicified surface manifestations in epithermal environments," GNS Science report. Lower Hutt, New Zealand, Jun., 2019.
- [17] J. W. Hedenquist, A. Arribas & N. C. White, "Epithermal Gold Deposits: Styles, characteristics, and exploration, Poster and," Resource Geology Special Publication, pp. 1-17, 1996.
- [18] D. Palma, S. Jovic, L. Lopez, D. Guido, G. Páez, F. De Martino, G. Sotarello & P. Rolando, "Mineralización, control estructural y modelado 3D de clavos mineralizados en la veta Julieta, distrito Casposo (Cordillera Frontal, San Juan, Argentina)" *Andean geology*, vol. 50, no. 3, Sep., 2023.
- [19] S. Leary, R. H. Sillitoe, P. W. Stewart, K. J. Roa & B. E. Nicolson, "Discovery, Geology, and Origin of the Fruta del Norte Epithermal Gold-Silver Deposit, Southeastern Ecuador," *Society of Economic Geologists*, vol. 111, no. 5, pp. 1043-1072, Aug., 2016.
- [20] S. Leary, R. H. Sillitoe, J. Lema, F. Téliz & D. Mena, "Geology of the Fruta del Norte Epithermal Gold-Silver Deposit," *Society of Economic Geologists, Special Publications*, no. 23, pp. 431-450, 2019.
- [21] I. Vikentyev, R. Banda, A. Tsepin, V. Prokofiev & O., "Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma gold-sulphide vein deposit, Ecuador," *Bulgarian Academy of Sciences, Geochemistry, mineralogy and petrology*, no. 43, Kiten, Bulgaria, Sep., 2005.
- [22] D. A. Rhys, "Report on a structural geology study of vein systems, Retazos project, Ecuador," Unpublished report, IAMGOLD Corp, pp. 41, 2000.
- [23] R. H. Sillitoe, "Porphyry Copper Systems," *Society of Economic Geologists*, vol. 105, pp. 3-41, 2010.
- [24] L. J. Buchanan, "Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest," *Arizona Geol. Soc. Digest*, vol. 14, pp. 237-261, 1981.
- [25] M. T. Einaudi, J. W. Hedenquist, & E. E. Inan "Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments," *Society of Economic Geologists, Special Publication 10*, pp. 285-313, Feb., 2003.