UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

CARRERA DE INGENERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

"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 grado previa a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

AUTOR:

Luis Andrés Ordóñez Tapia

DIRECTOR:

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

LOJA- ECUADOR

2019

II. CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Julio Eduardo Romero Sigcho

DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: LUIS ANDRES ORDÓÑEZ TAPIA con C.I.; 1106075730, en su proceso de investigación denominado **"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".,** previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 23 de Abril del 2019

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

III. AUTORÍA

Yo, **LUIS ANDRES ORDÓÑEZ TAPIA** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1106075730

Fecha: 13/05/2019

IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **LUIS ANDRES ORDÓÑEZ TAPIA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"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".**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de mayo del dos mil diecinueve.

Firma:

Autor: Luis Andrés Ordóñez Tapia

Cédula: 1106075730

Dirección: Loja (Sebastián Paredes, entre Vicente Rojas y Av. Salvador Bustamante C.)

Correo electrónico: andres_Otapia@hotmail.com

Teléfono: 072615954 **Celular:** 0986806459

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Stalin Iván Puglla Arevalo, Mg. Sc.

Ing. Fabián Ricardo Ojeda Pardo, Mg. Sc.

Ing. César Voltaire Jaramillo Espinosa, Mg. Sc.

IV. DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, por su incondicional apoyo de forma especial a mis padres y hermanas por compartir sus consejos en aquellos momentos buenos y malos en mi trayecto por la universidad.

El Autor

V. AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos y familia que confiaron en mí y me dieron su apoyo en los momentos que los he necesitado.

Dejo constancia de mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, representado por sus docentes y personal administrativo, por darme su apoyo y brindarme sus conocimientos a lo largo de mi vida universitaria.

De manera particular agradezco al ingeniero Julio Eduardo Romero, como director de Tesis, por su apoyo incondicional, además de dedicar su tiempo y experiencia para que este trabajo tenga los resultados anhelados.

Agradezco al ingeniero Stalin Iván Puglla que supo ayudar con su experiencia y conocimientos a que este proyecto tenga resultados de calidad y a mis amigos Henry, Ramiro, Daniel y Fabricio con quienes caminamos juntos en la vida universitaria, supieron acompañarme y colaborar en la culminación de mi trabajo.

El Autor.

CONTENIDO

II. CERTIFICACIÓN ---------- ii

III. AUTORÍA ---------- iii

IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR ---------- iv

IV. DEDICATORIA ---------- v

V. AGRADECIMIENTO ---------- vi

1. TÍTULO ---------- *1*

2. RESUMEN ---------- *2*

3. INTRODUCCIÓN ---------- *4*

4. REVISIÓN LITERARIA ---------- *6*

4.1 Topografía ---------- 6

4.2 Geología ---------- 7

4.3 Procesos Geológicos ---------- 8

4.4 Anomalías ---------- 9

4.5 Yacimientos ---------- 10

4.6 Yacimientos Hidrotermales ---------- 14

4.7 Alteraciones Hidrotermales ---------- 15

4.8 Yacimientos Epitermales ---------- 16

4.9 Geología Estructural ---------- 20

4.10 Mineralización de los yacimientos Epitermales ---------- 24

4.11 Alteraciones de los yacimientos Epitermales ---------- 26

4.12 Leyes Minerales ---------- 28

5. MATERIALES Y MÉTODOS ---------- *29*

METODOLOGÍA ---------- 30

- Primer objetivo ---------- 30
- Segundo objetivo ---------- 30
- Tercer objetivo ---------- 32

6. RESULTADOS ---------- *34*

6.1. Ubicación y Acceso ----34
6.2. Clima ----35
6.3. Topografía y Relieve----36
6.4. Hidrografía ----37
6.5. Geología Regional----37
6.5.1. Complejo Metamórfico El Oro ----38
6.5.2. Grupo Saraguro ----39
6.5.3. Rocas Intrusivas ----39
6.6. Geología Local----40
6.6.1. Miembro Muluncay ----40
6.6.2. Miembro Portovelo----40
6.6.3. Miembro Faique ----40
6.7. Estructuras del distrito Zaruma Portovelo ----41
6.8. Estadios de Mineralización Del Distrito ----42
6.9. Alteraciones presentes en el Distrito minero ----44
6.10. Geología del sitio de estudio----45
6.11. Geología de la galería subterránea ----46
6.11.1. Análisis Binocular de muestras de roca caja----55
6.11. Estructuras encontradas interior mina ----62
6.11.1. Caracterización de fallas y fracturas ----62
6.11.2. Caracterización de vetas y vetillas ----64
6.12. Caracterización de estructuras mineralizadas ----66
6.12.1. Veta Piedra Azul (V.302) ----66
6.12.2. Veta brechada (V.512)----70
6.12.3. Veta Azul (V.696)----74
6.13. Evolución de la paragénesis del sector ----77
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS----*80*
8. CONCLUSIONES ----*83*
9. RECOMENDACIONES----*85*
10. BIBLIOGRAFÍA----*86*

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de los yacimientos minerales (Lindgren, 1913).----------12

Tabla 2. Principales características de campo de los diferentes tipos de depósitos epitermales y sus subtipos. Adaptado de Sillitoe y Hedenquist (2003)----------18

Tabla 3. Características de los depósitos epitermales ácidos (alta sulfuración) y alcalinos (baja e intermedia sulfuración), en función de la profundidad de formación. Adaptado de Hedenquist et al. (2000).----------19

Tabla 4. Tipos de depósitos y alteraciones de sílice en depósitos epitermales (Hedenquist et al., 2000) ----------27

Tabla 5. Características de campo de los tres principales contextos de alteración argílica avanzada relacionados con depósitos epitermales (adaptado de Sillitoe, 1993).-------27

Tabla 6. Datos de la concesión Minera.----------34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El ciclo de las rocas. Tomado de: El ciclo de las rocas de geologiaweb.com 7

Figura 2. Depósitos epitermales relacionados a intrusiones sub-volcánicas someras. (Hedenquist y Lowenstern, 1994; Hedenquist, 1996).....17

Figura 3. Indicadores Cinemáticos. Tomado de: Geología Estructural de Niemeyer Hans. 22

Figura 4. Tipos de fallas propuesto por Anderson, a. fallas conjugadas y orientación de los esfuerzos, b. representación de sistemas de fallas conjugadas en la red de schemidt, hemisferio inferior. Las flechas indican el sentido de rechazo en cada caso. Tomado de: Geología Estructural de Niemeyer Hans. 24

Figura 5. Mapa de Ubicación parroquial, cantonal del sitio de Estudio.....35

Figura 6. Mapa de pendientes del área de estudio.....36

Figura 7. Mapa geológico al sur de la Coordillera Occidental. Tomado de Litherland et al. (1994), Pratt et al. (1997) y Dunkley & Gaibor (1997).....38

Figura 8. Geología del Distrito Minero Zaruma-Portovel, Adaptado de Bonilla W. (2009) 41

Figura 9. Estadios de Mineralización del Distrito Minero Zaruma-Portovelo. (Van Thournout 1995).....43

Figura 10. Estadios de mineralización planteados por Paladines y Rosero, 1996 44

Figura 11. Mapa geológico de la concesión con lineaciones encontradas en superficie. Modificado de Bonilla 2009.....45

Figura 12. Mapa geológico interior mina. Para mayor detalle ver anexo 7. 60

Figura 13. Sección de la concesión Nueva Esperanza 4. 61

Figura 14. Diagrama de concentración de polos para diaclasas y plasnos de fallas (FI, falla inversa; FN, falla norma; d, diaclasa). 63

Figura 15. Diagrama de rosetas para diaclasas en relación con las fallas del sistema. (FN, falla normal; FI, falla inversa).....63

Figura 16. Diagrama de concentración de polos de vetillas y planos de vetas (planos en color rojo vetas de interés). 65

Figura 17. Diagrama de rosetas para vetillas y vetas (líneas de color negro son planos de vetas) 66

Figura 18. A y B textura crustiforme, B) textura drusiforme localmente, C) muestra de mano (calcedonia). 67

Figura 19. A, B y C corresponden a observaciones microscópicas de la misma lámina generalmente con textura microcristalina. A) Nótese el color de la calcita y la exfoliación perfecta en NII, textura en puzzle; B) Textura plumosa interna, seritización por influencia de vetillas de sulfuros; C) Textura flameanteen clinopiroxeno, cuarzo formando matriz textura microcristalina en puzzle. NII nicoles paralelos, NX nicoles cruzados. 70

Figura 20. A) Textura brechoide en bordes de veta y masivo local; B) Vetillas de cuarzo en brechoide matriz sostén con mineralización de sulfuros; C) Muestra de con cloritización y Silificación. 71

Figura 21. A) y B) corresponden a una misma lámina en sitios se puede identificar minerales opacos, A) en la vista en nicoles paralelos se recalca el pleocroísmo verde y marrón el cual corresponde a la alteración, B) nótese en la parte central algunos carbonatos con bordes anhédricos, textura granular hipidiomórfica.....72

Figura 22. A) Veta Azul al norte del crucero, algunos sulfuros observados(Ccp), C) muestra de mano con Silificación. 74

Figura 23. A) Textura porfirítica, algunos cpx con astillas en sus cristales semejante a textura plumosa, B) Textura granular hipidiomórfica, con matriz microcristalina y C) textura hipidiomórfica con matriz microcristalina, carbonatos al centro de la lámina.76

Figura 24. Secuencia paragenética del sector Nueva Esperanza. 78

Figura 25. Modelo Epitermal de Buchana (1981). 79

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Diaclasamientos del Miembro Muluncay.....46

Fotografía 2. Andesitas del Miembro Portovelo 46

Fotografía 3 y 4. Alteración supergena de carbonatos y mineralización de pirita en brecha hidrotermal. 47

Fotografía 5 y 6. Constitución de clastos andesítica en brecha hidrotermal con soldadura de sílice. Localmente existe oxidación de sulfuros, ...48

Fotografía 7. Ortosa conformando localmente la matriz en brecha hidrotermal 48

Fotografía 8 y 9. Brecha freática nótese la Silificación en clasto andesítica y la geometría de los clastos, la matriz está altamente alterada. 49

Fotografía 10. Lavas de composición andesítica y rio líticas intercaladas 50

Fotografía 11. Andesita basáltica con diaclasamiento y vetillas de cuarzo. 51

Fotografía 12 y 13. Andesita basáltica con agregados de andesita porfirítica continua al contacto con brecha freática y transición de andesita basáltica a localmente una andesita gris porfirítica con mineralización de pirita. 52

Fotografía 14 y 15. Stockwork y andesita porfirítica.....53

Fotografía 16 y 17. Andesita con cristales de epidota y cuarzo, y andesita porfirítica. 54

Fotografía 18 y 19. Andesitas con hornblenda y pirrotina, y andesita porfirítica con Epidota, cuarzo y biotita.....54

Fotografía 20. Plano de falla antes de cortar veta Azul al norte de la galería, flechas rojas indican un movimiento dextral del bloque ausente……..65

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la Concesión Nueva Esperanza 4

Anexo 2. Mapa de topográfico de la Concesión Nueva Esperanza 4.

Anexo 3. Mapa geológico de la región sur de la sierra ecuatoriana.

Anexo 4. Mapa de geología del distrito minero Zaruma-Portovelo.

Anexo 5. Mapa de mineralización del distrito minero Zaruma-Portovelo.

Anexo 6. Mapa de minerales de alteración del distrito minero Zaruma-Portovelo.

Anexo 7. Mapa de geológico estructural de la galería minera.

LISTADO DE ABREVIATURAS

And, Andesita

And-porf, Andesita porfirítica

Ad, Adularia

Anf, Anfíbol

Arg, Argentita

Aug, Augita

Bi, Biotita

Bn, Bornita

Cal, Calcita

Calc, Calcedonia

Cb, Carbonato

Ccp, Calcopirita

Chl, Clorita

Cpx, Clinopiroxeno

Cv, Covelina

Dip, Diópsido

Epd, Epidota

Fel-k, Feldespato potásico

FI, Falla inversa

FN, Falla normal

FPP, Falla Piñas Portovelo

FPBP, Falla Puente Buza Palestina

Gn, Galena

Hb, Hornblenda

Hed, Hedembergita

Mrc, Marcasita

Opx, Ortopiroxeno

Py, Pirita

Pitn, Pirrotina

Plg, Plagioclasa

Qz, Cuarzo

R, Falla sintética Riedel

R´, Falla antitética Riedel

Ser, Sericita

Shp, Esfalerita

Surf, Sulfuro

T, Falla extesional

VPA, Veta Piedra Azul

VB, Veta Brechada

VA, Veta Azul

1. TÍTULO.

"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".

2. RESUMEN

El "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", se elaboró mediante un diagnóstico de la información bibliográfica del distrito minero Zaruma- Portovelo e información de campo levantada de las labores mineras en la concesión "NUEVA ESPERANZA 4" al noreste de Zaruma, los resultados servirán para la exploración de zonas enriquecidas en metales preciosos.

El análisis mineralógico, ensayos de contenido de oro, mapeo de unidades litológicas y diagnostico estructural, nos permitió relacionar la mineralización del sitio, a una zona de transición entre una fase polimetálica a una fase epitermal más enriquecida en metales preciosos, situada al Este de la concesión. También se puede advertir la presencia de cuerpos minerales con textura crustiforme y brechada; con presencia de calcita, adularia y carbonatos evidenciados en estas galerías mineras; atribuyéndose a un proceso de ebullición tipo *Hot Spring*. La litología es dominada por andesitas, andesitas porfiríticas, andesitas basálticas y algunas brechas relacionadas al miembro Muluncay, principalmente la mineralización es albergada por andesitas del miembro Portovelo.

Estructuras con rumbos NE-SW y NW-SE controlan la mineralización con movimientos dextral y sinestral, característico de fallas R y R´ que en conjunto con las fallas mayores son concordantes a la cinemática propuesta en el modelo Riedel. La mineralogía descrita se agrupo en tres estadías más una etapa de enriquecimiento supérgeno, algunas texturas de recristalización son reconocibles para cuarzo epitermal, adicionalmente análisis químicos para detección de plata y oro mantienen relaciones de 92/1 en muestras de la veta Azul.

Palabras Clave: Zaruma, Epitermal, Sulfuración Intermedia, estadías, génesis

ABSTRACT

The "STUDY OF THE BLUE VET GENESIS BASED ON A STRUCTURAL GEOLOGICAL CONTROL IN THE CIRCUNSCRITER MINING WORKS OF THE CONCESSION" NEW HOPE 4 "CODE 300086, LOCATED IN THE ZARUMA PARISH AND SINSAO DEL CANTÓN ZARUMA, PROVINCE OF EL ORO", elaborated by means of a diagnosis of the bibliographic information of the mining district Zaruma-Portovelo and field information raised from the mining works in the concession "NUEVA ESPERANZA 4" to the northeast of Zaruma, the results will be useful for the exploration of areas enriched in precious metals.

Mineralogical analysis, gold content assays, mapping of lithological units and structural diagnosis allowed us to relate the mineralization of the site, to a transition zone between a polymetallic phase to an epithermal phase enriched in precious metals, located east of the concession. You can also notice the presence of mineral bodies with a crustiform and breached texture; with presence of calcite, adularia and carbonates evidenced in these mining galleries; Attributing to a Hot Spring boiling process. The lithology is dominated by andesites, porphyry andesites, basaltic andesites and some gaps related to the Muluncay member, mainly the mineralization is hosted by andesites of the member Portovelo.

Structures with courses NE-SW and NW-SE control the mineralization with dextral and sinestral movements, characteristic of faults R and R'that together with the major faults are concordant to the kinematics proposed in the Riedel model. The described mineralogy was grouped in three stays plus a stage of supérgeno enrichment, some recrystallization textures are recognizable for epithermal quartz, additionally chemical analysis for detection of silver and gold maintain 92/1 relationships in samples of the Blue vein.

Key Words: Zaruma, Epithermal, Intermediate sulfurization, stays, genesis

3. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad productiva muy importante en nuestro país, ante el ámbito mundial es de suma importancia para el suministro de minerales que son la base en los sectores productivos requeridos en la actividad humana, por esta razón la minería en el Ecuador se ha convertido en una función estratégica para el mejoramiento y el desarrollo del país.

Procesos geodinámicas internos como la zona de subducción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana han influenciado en la geodiversidad que posee Ecuador, otorgado un gran potencial geológico para el desarrollo de la minería en todas sus escalas, en la actualidad el Ecuador se proyecta a desarrollar una minería a gran escala con proyectos como Fruta del Norte, Cascabel, Mirador, todos ellos reconocidos a nivel mundial por la calidad, cantidad y la certeza de sus estudios. Sin embargo, aquellos proyectos mineros de pequeña escala desarrollados en el sur del Ecuador también requieren de investigación, debido a la influencia de las estructuras geológicas que condicionan a la mayoría de los aspectos técnicos, incluyendo el control de las leyes, estimación de reservas, ingeniería de los macizos rocosos y génesis del yacimiento.

En el cantón Zaruma de la provincia de El Oro la mineralización corresponde un deposito Epi-mesotermal de baja sulfuración como se propuso en los estudios de Prodeminca referentes a la cordillera Occidental del país, publicados en Junio del año 2000. Estos yacimientos se encuentran en grandes cuerpos ígneos (Unidad Portovelo) que soportaron intensos esfuerzos, creando estructuras en las cuales los minerales metálicos migraron hacia zonas de transtensión y transpresión, formando así estructuras vetiformes con una distribución errática de la mineralización, denotando zonas de alto enriquecimiento y de bajas leyes minerales todo ello debido al control de la geología y las estructurales presentes.

El sitio del presente estudio está ubicado en el sector El Zapote vía al barrio Roma del cantón Zaruma, en la bocamina de las labores mineras de la compañía minera ROMVICCOR CIA. LTDA. Operadora minera de la compañía OROCORMINA CIA.

El presente estudio está enfocado a entender la composición, formación y dinámica estructural de la mineralización del sector para proponer pautas dirigidas a la exploración. La geología del sector comprende al miembro Portovelo y Muluncay, las cuales están conformadas por lavas basalto andesíticas, andesíticas y andesitas horblendíticas, la geología interior mina está comprendida por andesitas, andesitas porfiríticas, andesitas basálticas y brechas, existen bloques controlados por fallas muy semejantes a la dinámica de fallas conjugadas del modelo Riedel, que produjeron sectores fuertemente diaclasados; toda la litología se encuentra con una alteración propilítica y; localmente silificación y alteración fílica. La mineralogía de las vetas está comprendida por metales base, llevándolo al modelo epitermal clásico se relacionaría al límite de los metales preciosos, esto se corrobora con análisis al fuego obtenido valores de Au y Ag en relación 1/92.

OBJETIVOS

General

- Analizar el control geológico y estructural de la veta Azul 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.

Específicos

- Definir la topografía subterránea de las labores mineras circunscritas en la Concesión Nueva Esperanza 4 Código 300086.
- Establecer el levantamiento geológico estructural interior mina del área de estudio.
- Determinar la mineralización de la veta Azul para la construcción de un modelo de distribución en base al control geológico y estructural.

4. REVISIÓN LITERARIA

4.1 Topografía

En 1920 Norman T. definió a la topografía como: el arte de determinar la posición relativa de los distintos detalles de porciones de la superficie terrestre.

Domingues A. (1979), delimitó a la topografía como el conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre, del fondo de los mares y construcciones subterráneas.

Cabe recalcar que en este concepto no excluye a las labores mineras. Buckner (1983), sostiene que la topografía es la ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre en o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta.

La topografía subterránea es un trabajo de crucial importancia, en principio, los trabajos subterráneos siguen las mismas etapas que los superficiales, aunque con características especiales debidas a las condiciones mismas del trabajo bajo tierra. La topografía subterránea nos permitirá saber los límites de la galería en estudio y así poder guiar los nuevos trabajos de minería subterránea.

Por lo cual la topografía es la actividad necesaria para ubicar espacialmente objetos referentes, basado en mediciones realizadas con instrumentos enfocados en principio, procedimientos y métodos geométricos, trigonométricos, con el objetivo de desarrollo de actividades ingenieriles, en minería es necesario para la ubicación de las galerías mineras y proyección de las acciones progresivas. Si un área cuenta con la exploración detallada, la topografía seria la guía necesaria para que las labores mineras subterráneas lleguen a esos depósitos minerales.

4.2 Geología

La Geología es esencialmente una ciencia histórica y difiere de la Física, de la Química y de la Biología en que son ilimitadas sus posibilidades para experimentar", (R. W. Van Bemmelen, 1961).

Muchos creeríamos que la geología es una ciencia derivada de otras más, pero en si la geología es la base de las civilizaciones. Frodeman (1995) explico la cuestión correctamente, como lo había hecho Potapova (1968), la Geología no es una ciencia derivada de otras o que se pueda reducir a sus aspectos físicos, químicos o biológicos, porque estas ciencias experimentales se distinguen por sus metas, problemas y preocupaciones centrales.

La Geología trata de descifrar los afloramientos rocosos encontrados en el campo, estas rocas tienen una génesis, importancia, y su estudio ha sido relevante en la historia humana. Por ello se puede entender a la geología como ciencia base en la que se asentaron el estudio de las otras ciencias, y actividades antrópicas esenciales. La unidad geológica a estudiar es la roca, definida como un agredo de minerales, los cuales darán características y propiedades propias de cada roca en dependencia de la composición de minerales. Es de esta manera que las rocas pueden dividirse en ígneas, sedimentarias y metamórficas.

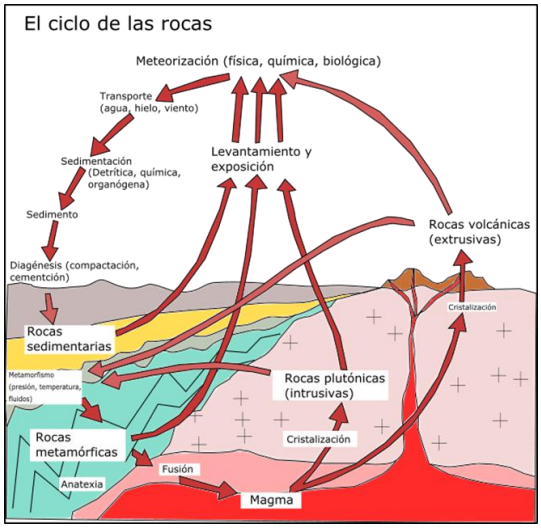


Figura 1. *El ciclo de las rocas.* ***Fuente:*** *El ciclo de las rocas de geologiaweb.com*

Las rocas ígneas son las más abundantes en la corteza terrestre, tienen gran importancia en la formación de yacimientos minerales ya que ambos se originan de un magmatismo. Pueden clasificarse en rocas ígneas efusivas, plutónicas y filoneanas, esto en dependencia del ambiente de formación. Las rocas sedimentarias son producidas por procesos de erosión y meteorización de rocas preexistentes, y las rocas metamórficas son aquellas formadas por presión y aumento de temperatura.

La dinámica de las rocas se ve expresado en el concepto del ciclo de las rocas atribuido a Hutton (1726-1797), como parte del uniformismo y su famosa cita "no hay vestigio del principio, y no hay predicción de un fin".

4.3 Procesos Geológicos

Entre algunos procesos geológicos formadores de depósitos se destacan los siguientes:

- **Concentración magmática**: los magmas pueden llegar a concentrarse en masas de suficiente volumen y riquezas, llegando a constituir yacimientos minerales de valor económico, son grandes y ricas, pero existen relativamente pocos.
- **Sublimación**: está relacionada tan sólo con compuestos que son volatilizados y posteriormente depositados a partir del vapor a menor temperatura o presión. Implica una transición directa del estado sólido al gaseoso o viceversa sin pasar por el estado líquido que usualmente se encuentra entre ambos.
- **Metasomatismo de contacto**: refiere a los efectos de contacto de las emanaciones gaseosas a elevada temperatura, escapan durante la consolidación de los magmas intrusivos o poco después de la misma.
- **Procesos Hidrotermales**: refiere a las soluciones hidrotermales que transportan los metales desde la intrusión en consolidación hasta el lugar de la deposición del metal y se les considera el factor de mayor importancia en la formación de depósitos minerales epigenéticos.
- **Relleno de cavidades**: consiste en la deposición del mineral a partir de soluciones en aberturas de las rocas.

- **Reemplazamiento:** consiste en el proceso de solución y deposición capilar esencialmente simultánea, en virtud de que uno o varios minerales de formación anterior son sustituidos por un mineral nuevo.
- **Oxidación y enriquecimiento supergénico:** refiere cuando un mineral queda expuesto por la erosión, es meteorizado junto con las rocas que lo encierran. Las aguas superficiales oxidan los minerales metálicos, produciendo disolventes que disuelven a la vez otros minerales. Un yacimiento metálico queda de este modo oxidado y generalmente desprovisto de muchos de sus materiales valiosos hasta el nivel de la capa de aguas freáticas o hasta una profundidad donde no puede producirse la oxidación.
- **Sedimentación:** consiste en el resultado del proceso sedimentario (alteración del material, transporte, ambiente de depósito, litificación), que da lugar a la formación de rocas (sedimentarias) con altas concentraciones de minerales.
- **Evaporación**: como su nombre lo indica, refiere a las concentraciones de elementos económicos por perdida de aguas.
- **Metamorfismo**: consiste en las alteraciones profundas de los depósitos minerales preexistentes formándose de estos otros nuevos, los principales agentes que intervienen son: El calor, la presión, y el agua.

4.4 Anomalías

Una anomalía de forma general es una desviación con respecto a la norma. Bajo esta misma lógica una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Una anomalía se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico o background. Para ser considerada una anomalía tiene que superar claramente de este fondo.

En sentido estricto un depósito mineral como un fenómeno escaso y anómalo por su mismo es una anomalía geoquímica. La distribución geoquímica relacionada con la génesis o la erosión del depósito mineral también es una anomalía.

Las anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se puede usar como guías para el depósito mineral se denominan anomalías significantes. Desdichadamente las concentraciones altas de elementos indicadores pueden ser causadas por una mineralización no económica o por procesos geológicos o geoquímicos no relacionados con una mineralización. El término 'anomalía no significante' se refiere a estas anomalías no relacionadas con un depósito mineral.

En el análisis de anomalías es muy importante tomar en cuenta el marco topográfico y la formación geológica. En aquellas anomalías registradas en suelos se debe tener cuidado ya que la mineralización pudo haber migrado por diferentes agentes transportadores a lo que se denomina anomalía secundaria, pero de tratarse de una anomalía en suelo residual el deposito mineral se ubicara debajo de esta.

Otro tipo de anomalías producidas por procesos de precipitación en donde las aguas subterráneas estas en contacto con la superficie son conocidas como anomalías hidromorficas

4.5 Yacimientos

Los procesos que conllevan una separación del magma, o la génesis de una roca sedimentaria o metamórfica implican cambios destacados de ámbito químico-mineralógico. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales se concentran selectivamente, por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones "anómalas" que de aquí en adelante denominaremos "yacimientos minerales" (Lunar y Oyarzun, 1991).

Origen de los yacimientos

De acuerdo a V. I. Smirnov (1982), los yacimientos minerales se forman en el proceso de diferenciación de las masas minerales al circular estas en los ciclos sedimentarios, magmáticos y metamórfico de formación de rocas y estructuras geológicas. En función de

esto todos los yacimientos minerales se dividen en tres grandes series: sedimentógena, magmatógena y metamorfógena.

Los yacimientos minerales sedimentógenos se forman debido a la alteración de los macizos de las rocas a consecuencia de la diferenciación química, bioquímica y en menor grado mecánica de las sustancias minerales, condicionada por la energía externa de la Tierra.

Los yacimientos minerales magmatógenos, según las condiciones de su formación, están relacionados con los procesos geoquímicos de las partes profundas de la corteza terrestre. Los mismos son localizados en las estructuras geológicas profundas que determinan las condiciones de acumulación de la sustancia mineral, morfología y estructuras de los cuerpos minerales, tales yacimientos se forman bajo la influencia de la energía interna de la tierra a causa de los procesos magmáticos en la corteza y en las partes más profundas del planeta.

Los yacimientos metamorfógenos se formaron a base a una transformación intensa de las rocas en condiciones elevadas de presión y temperatura, es decir a una gran profundidad de la corteza terrestre. En estas condiciones pudieron surgir nuevos yacimientos metamórficos.

De acuerdo con *Routhier* (1916-2008), el estudio de los yacimientos minerales se debería efectuar siguiendo los métodos de la anatomía comparada, debido a que el ambiente geológico ha condicionado su anatomía y morfología, este método es, por tanto, uno de los caminos para remontarse al estudio de su formación y de sus transformaciones eventuales. Él selecciona ciertas características que definen los tipos de yacimientos:

- *Características propias del yacimiento:*

Como es la paragénesis, alteración superficial, composición química, tonelaje y relación entre éste y las leyes.

- *Características propias del medio que rodea al yacimiento:*

Entre ellas la naturaleza litológica de las rocas encajantes, forma del yacimiento en relación con las estructuras de las rocas encajantes, rocas plutónicas o volcánicas próximas y edad del yacimiento e historia geológica de la región.

A estos caracteres se pueden añadir, además hipótesis genéticas.

Clasificación

Lindgren introdujo su sistema de clasificación considerando las pautas genéticas, a esta clasificación se han añadido términos tales como "teletermal"(Graton, 1933) y "exotermal" (Buddington, 1935).

El sistema de Lindgren está considerado como el mejor para uso en el campo. Una modificación que parece esencial es una atenuación del papel del magma. El término "hidrotermal" significa simplemente "agua caliente" y no implica asociación magmática. Tal cambio en el sistema de clasificación fue sugeridopor K.L. Williams y se adapta bien con los descubrimientos de los estudios de inclusiones fluidas e isotópicos.

Tabla 1. *Clasificación de los yacimientos minerales (Lindgren, 1913).*

<table>
<tr><th colspan="2">CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS MINERALES
(Según LINDGREN)</th></tr>
<tr><td colspan="2">I. Yacimientos producidos por procesos mecánicos de concentración (temperatura y presión moderadas).
II. Yacimientos producidos por procesos químicos de concentración (temperatura y presión variables entre amplios límites).
A. En cuerpos de aguas superficiales.
1. Por interacción de soluciones.</td></tr>
<tr><td>a) Reacciones inorgánicas.
b) Reacciones orgánicas.
B. En cuerpos de rocas.</td><td>Temperatura: 0 a 70°C
Presión: moderada a fuerte</td></tr>
<tr><td colspan="2">1. Por concentración de sustancias contenidas en el cuerpo geológico mismo.</td></tr>
</table>

a) Concentración por desintegración de las rocas e intemperismo residual cerca de la superficie. b) Concentración por aguas subterráneas de circulación más profunda. c) Concentración por metamorfismo dinámico y regional.	Temperatura: 0 a 100°C Presión: moderada Temperatura: 0 a 100°C Presión: moderada Temperatura: hasta 400°C Presión: alta
2. Concentración efectuada por introducción de sustancias extrañas a la roca. a) Origen independiente de la actividad ígnea. – Por circulación de agua atmosférica a profundidades someras o moderadas. b) Origen independiente de la erupción de rocas ígneas. – Por soluciones ascendentes calientes de origen incierto, pero cargadas de emanaciones ígneas. 1. Depositación y concentración a profundidades someras. Yacimientos epitermales. 2. Depositación y concentración a profundidades intermedias. Yacimientos mesotermales.	Temperatura: hasta 100°C Presión: moderada Temperatura: 50 a 200 °C Presión: moderada Temperatura: 200 a 300 °C Presión: alta Temperatura: 300 a 500 °C Presión: muy alta Temperatura: probablemente 500 y 800°C Presión: muy alta Temperatura: 100 a 600°C Presión: atmosférica a moderada

3. Deposición y concentración a gran profundidad o a temperaturas y presiones altas. Yacimientos hipotermales. – Por emanaciones ígneas directas. 1. A partir de cuerpos intrusivos. Yacimientos de metasomatismo de contacto o pirometasomáticos. 2. A partir de cuerpos efusivos. Fumarolas y sublimados.	
c) En magmas, por proceso de diferenciación.	
a) Yacimientos magmáticos s.st. (de segregación magmática). b) Pegmatitas.	Temperatura: 700 a 1 500 °C Presión: muy alta Temperatura: alrededor de 575 °C Presión: muy alta

Fuente: *geociencias.unam.mx*

4.6 Yacimientos Hidrotermales

Los yacimientos hidrotermales o conocidos como filonianos, son formados por la fase liquida y gaseosa de los magmas que, en el proceso de enfriamiento, se enriquecen con elementos en solución (F, Cl, B, C02, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca), este proceso se contempla de 400 a 800 °C y es necesaria una considerable presión. El agua expulsada por el magma viaja lateral y verticalmente, esta solución enriquecida pierde temperatura y presión a medida que asciende por fallas y diaclasas, en donde se depositan concentraciones y depósitos minerales en forma del cuerpos groseramente tabulares o vetas.

A medida que aumenta la distancia al foco magmático, los yacimientos que se forman son hipotermales con un rango de temperatura mayor a 300 °C, mesotermales en un rango de 150 a 300 °C y epitermales como los más distales del foco magmático a menor de 150 °C.

4.7 Alteraciones Hidrotermales

Las alteraciones hidrotermales son manifestaciones mineralógicas, texturales y químicas de materiales rocosos ante la respuesta a un cambio de las condiciones. La alteración hidrotermal es producida por trasformación de los minerales, crecimiento de nuevos minerales o recristalización, disolución o precipitación de minerales y reacciones de intercambio iónico entre minerales.

De forma general podríamos las alteraciones se clasifican en:

- **Alteración potásica**: caracterizada por la presencia de feldespato potásico secundario y/o biotita secundaria (anhidrita también puede estar presente). En términos fisicoquímicos esta alteración se desarrolla en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400º-600ºC).
- **Propilítica**: caracterizada por la presencia de clorita, epidota y/o calcita, y plagioclasa albitizada. Generada por soluciones casi neutras en un rango variable de temperaturas.
- **Alteración fílica**: también denominada cuarzo-sericítica o simplemente sericítica: caracterizada por el desarrollo de sericita y cuarzo secundario. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300º-400ºC.
- **Alteración argílica**: también denominada argílica intermedia: caracterizada por la presencia de caolinita y/o montmorillonita.
- **Argílica avanzada**: caracterizada por la destrucción total de feldespatos en condiciones de una hidrólisis muy fuerte, dando lugar a la formación de caolinita y/o alunita.
- **Silicificación**: caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silícea. Representa el mayor grado de hidrólisis

posible. Los rellenos hidrotermales de espacios abiertos por cuarzo "no son" una silificación

4.8 Yacimientos Epitermales

Los yacimientos epitermales se emplazan en niveles someros de la corteza (< 1 km) a través de fracturas por las que circulan los fluidos hidrotermales a partir de los cuales precipitan los metales. Cuando los procesos de deposición son efectivos y se concentran los cambios físico–químicos pueden dar lugar a mineralizaciones explotables. Dichas fracturas obedecen a un comportamiento frágil de la roca, por lo que es esperable un control estructural de la mineralización, mediante rasgos como zonas de apertura, cambios de dirección y/o buzamiento.

Conolly (1936) demostró la influencia del control estructural que producían los cambios de rumbo asociados a la inclinación sobre los clavos mineralizados en Australia.

Otras investigaciones realizadas en el Pacífico SW y Los Andes, develaron que los depósitos epitermales se forman en complejos volcánicos subaéreos o en volcanes compuestos de arcos de islas sobre cámaras magmáticas en desgasificación. Frecuentemente los depósitos pueden relacionarse genéticamente a intrusiones de alto nivel.

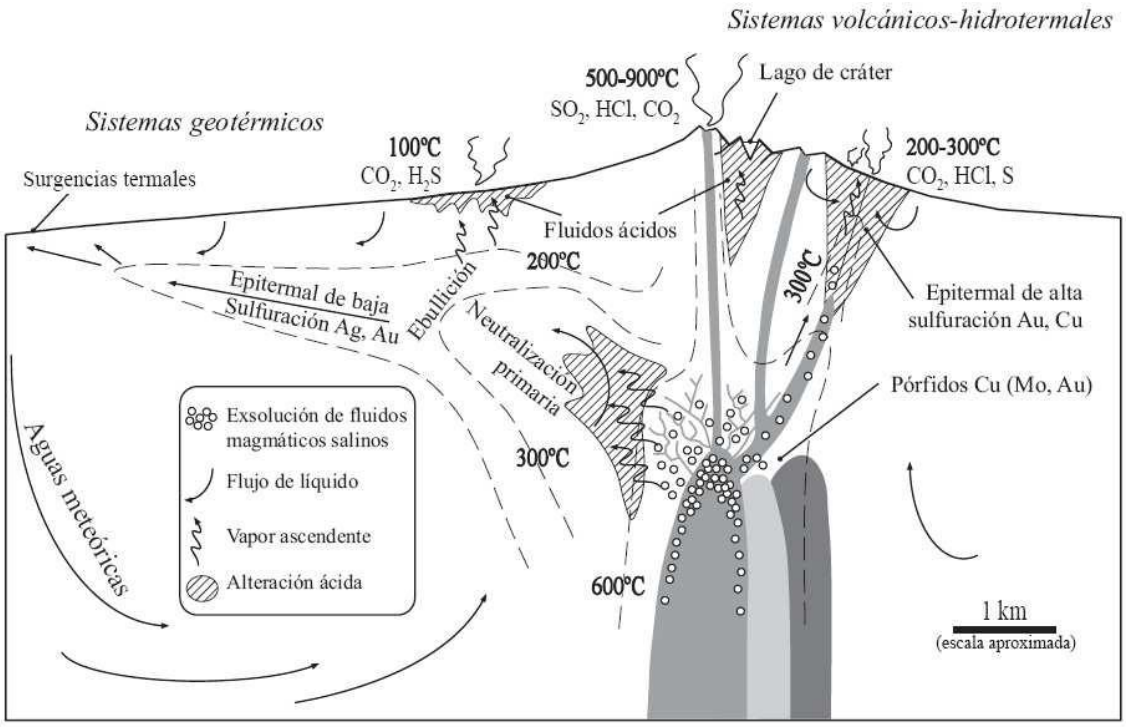


Figura 2**. Depósitos epitermales relacionados a intrusiones sub-volcánicas someras (Hedenquist y Lowenstern, 1994; Hedenquist, 1996).* ***Fuente: www.redalyc.org

Algunos sistemas volcánicos-hidrotermales activos, son los causantes de la formación de depósitos de pórfidos asociados con epitermales de alta sulfuración (ver figura 2). Por otro lado, los depósitos epitermales de baja sulfuración se forman a partir de sistemas geotérmicos, que se caracterizan por presentar fuentes termales y géiseres de pH neutro.

Los epitermales se encuentra controlados por edificios volcánicos, anillos de caldera y fracturas radiales, complejo de domos de flujo, chimeneas de brechas hidrotermales y diatremas. Sin lugar a duda también son controladas por fallas y brechas relacionadas con centros intrusivos. Las litologías permeables son esenciales en la formación de estos yacimientos, en algunos casos con cubiertas menos permeables de rocas alteradas u otras cubiertas rocosas. En la siguiente tabla se explican algunas características de los tres depósitos epitermales (Baja sulfuración, sulfuración intermedia y alta sulfuración).

Tabla 2. Principales características de campo de los diferentes tipos de depósitos epitermales y sus subtipos. Adaptado de Sillitoe y Hedenquist (2003)

	Baja sulfuración (BS)		**Sulfuración intermedia (SI)**	**Alta sulfuración (AS)**	
	Magma subalcalino	***Magma alcalino***		***Magma oxidado***	***Magma reducido***
Ejemplo tipo	Midas (Nev., EUA)	Emperor (Fiji)	Rico en Au: Baguio (Filipinas) Rico en Ag: Fresnillo (Zac., México)	Diseminado: Yanacocha (Perú) Veta: El Indio (Chile)	Potosí (Bolivia)
Rocas volcánicas relacionadas	Basalto a riolita	Basalto alcalino a traquita	Andesita a riodacita, localmente riolita	Andesita a riodacita	Riodacita
Minerales clave de alteración proximal	Illita/smectita-adularia	Roscoelita-illita-adularia	Sericita, adularia poco común	Cuarzo-alunita/ APS, cuarzo-pirofilita/ dickita en profundidad	Cuarzo-alunita/ APS, cuarzo-dickita en profundidad
Ganga de sílice	Cuarzo y calcedonia crustiforme y coloforme rellenando vetas; reemplazamiento de carbonatos	Cuarzo y calcedonia crustiforme y coloforme rellenando vetas; cuarzo escaso en fases iniciales	Cuarzo crustiforme rellenando vetas y en peine	Silicificación masiva de grano fino y cuarzo residual oqueroso (*vuggy*)	
Ganga de carbonatos	Presente, pero típicamente tardía y escasa	Abundante, pero no de Mn	Común, típicamente incluyendo variedades de Mn	Ausente	
Otros minerales de ganga	Barita poco común, fluorita localmente	Barita, celestina y/o fluorita común localmente	Barita y silicatos de Mn presentes localmente	Barita común, típicamente tardía	
Abundancia de sulfuros	Típicamente <1 a 2 % vol. (hasta 20 % vol. encajado en basaltos)	2 a 10 % vol.	5 a >20 % vol.	10 a 90 % vol.	
Especies de sulfuros clave	Escasa a muy escasa arsenopirita ± pirrotita; escasas esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita		Esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita	Enargita, luzonita, famatinita, covellita	Acantita, estibina
Metales principales	Au ± Ag		Au-Ag, Zn, Pb, Cu	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn
Metales menores	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg		Mo, As, Sb	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W
Especies de Se y Te	Seleniuros comunes, localmente telururos	Telururos abundantes, seleniuros poco comunes	Telururos localmente comunes, seleniuros poco comunes	Telururos comunes, localmente seleniuros	Desconocido, pocos datos

Fuente: *www.redalyc.org*

La clasificación de las características específicas de los depósitos epitermales se encuentran en la siguiente tabla, según el criterio de formación es "somera" o "profunda" ya que los depósitos de la zona de subducción del pacifico se formaron a profundidades mayores que las reseñadas para los depósitos de Norteamérica (Sillitoe, 1988; Reyes, 1990, 1991), los depósitos de mayor concentración relacionados con epitermales son encajonados en estratovolcanes andesíticos y en cordilleras.

Tabla 3. Características de los depósitos epitermales ácidos (alta sulfuración) y alcalinos (baja e intermedia sulfuración), en función de la profundidad de formación. Adaptado de Hedenquist et al. (2000).

	Epitermales alcalinos (BS y SI)		**Epitermales ácidos (AS)**		
Rocas volcánicas relacionadas	Andesitas-riodacitas (AR), riolitas-basaltos bimodales (RB), alcalinas (A)		Andesitas-riodacitas, dominadas por magmas calcoalcalinos		
	Somero	Profundo	Somero	Intermedio	Profundo
Profundidad de formación	0-300 m	300-800 m (muy raro >1000 m)	<500 m	500-1000 m	>1000 m
Contexto; roca de caja típica	Domos; rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, diatremas (AR, A); rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, surgencia central; rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, diatremas; rocas volcánicas	Domo-diatrema; pórfidos, rocas volcánicas y sedimentarias clásticas
Morfología del depósito	Vetas, enjambres de vetas, stockwork, diseminaciones	Vetas, cuerpos brechificados, diseminaciones	Diseminaciones, brechas y vetillas	Vetas de sulfuros masivos, brechas	Diseminaciones, vetillas, brechas
Texturas de las menas	Bandas delgadas, crustiformes, en peine, brechas	Bandas gruesas	Cuarzo oqueroso de reemplaza-miento	Sulfuros masivos, vetas o brechas tardías	Reemplaza-miento
Alteración	Capa de alunita-kaolinita, halo de arcillas	Arcillas, sericita, carbonatos; roscoelita, fluorita (A)	Silícica (oquerosa), cuarzo-alunita	Silícica (oquero-sa), cuarzo-alu-nita, pirofilita-dickita-sericita	Pirofilita-sericita, cuarzo-sericita
Minerales de ganga	Calcedonia-adularia-illita-calcita	Cuarzo-carbonatos-sericita-adularia ± barita ± anhidrita ± hematites ± clorita (AR)	Alunita, barita, kaolinita	Anhidrita, kaolinita, dickita	Sericita, pirofilita
Sulfuros	Cinabrio, estibina; pirita/marcasita-arsenopirita, seleniuros Au-Ag, sulfosales Se, pirrotita, esfalerita-Fe (RB)	Pirita-sulfuros/ sulfosales Au-Ag, ±esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita/ tennantita (AR)	Enargita/luzonita, covellita, pirita	Enargita/luzonita, calcopirita, tetraedrita/ tennantita, esfalerita, covellita tardía, pirita	Bornita, digenita, calcocita, covellita
Metales	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl (RB), relación Ag/Au baja; metales básicos <0.1-1%	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), relación Ag/Au alta; metales básicos <2-10 (20+) %	Au-Ag, Cu lixiviado (Hg superpuesto)	Cu-Au-Ag-Bi-Te-Sn	Cu-Au
Características notables	Sínter, capa de calcedonia (zona freática)	Algunas vetas de sulfuración intermedia, adyacentes a depósitos de AS	Capa de alteración debida a aguas calentadas por vapor	Cuarzo oqueroso (*vuggy*)	Superpuesto a depósitos metalíferos en pórfidos
Fluidos	Incremento de salinidad y temperatura		Incremento de salinidad y temperatura		Variable
Denominación de tipo o subtipo	Baja sulfuración (término extremo)	Sulfuración intermedia			Depósitos metalíferos en pórfidos

Fuente: *www.redalyc.org*

Los epitermales de BS suelen presentar características atípicas como: depósitos con temperaturas relativamente mayores, depósitos transicionales entre mesotermal y epitermal o "depósitos epitermales del tipo alcalino" o BS alcalinos (Richards, 1992, 1995; Richards y Kerrich, 1993; Richards et al., 1997).

La evidencia de enargita en algunos depósitos de baja sulfuración sugiere una relación con depósitos de alta sulfuración. Este mineral fue contemplando por Buchanan (1981) en su modelo de depósitos epitermales, en donde se localiza por debajo del nivel de ebullición.

Entre algunos depósitos epitermales que contemplan este mineral están: Tuscarora, E.U.A. (Buchanan, 1981), Ladolam, Papúa-Nueva Guinea (White et al., 1995), Orcopampa, Perú (Gibson et al., 1990), Faride, Chile (Camus y Skewes, 1991), Portovelo, Ecuador (van Thournout et al., 1996), Temascaltepec, y San Felipe-Mexicali, México (Ibarra-Serrano, 1997).

Esta característica de algunos depósitos epitermales permitió la definición de los depósitos epitermales de sulfuración intermedia dentro de los de BS por Hedenquist et al. (2000), y después como tipología independiente (Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003).

4.9 Geología Estructural

Btyth – Ffreitas, 1995. Establece que la geología es la ciencia que concierne a la tierra y las rocas de la que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie en el pasado y en el presente. La historia de la geología, como las teorías de la tectónica de placas y la deriva continental son la base para entender la influencia de los paleo-esfuerzos en el modelado de la superficie y la tectónica al analizar la morfología del terreno.

Según Tarbuck y Lutgens, 2005. La geología estructural estudia la arquitectura de la corteza terrestre y cómo adquirió este aspecto en la medida en que fue consecuencia la deformación. Al mencionar el estudio de la arquitectura relaciona a la cinemática de los desplazamientos que generan las fallas, y entendiéndolo de forma más completa su influencia en la mineralización en yacimientos vetiformes.

Las principales estructuras y de suma importancia en la mineralización son las fallas. Tarbuck y Lutgens en 2005, establecen que las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable.

La clasificación de las fallas se basa principalmente en los movimientos relativos producidos entre los bloques de falla:

- Falla Normal: El movimiento es divergente (fallas distensivas) y presentan movimiento vertical, con hundimiento del bloque techo, normalmente suele tener un ángulo de inclinación menor a la de una falla inversa.
- Falla Inversa: El movimiento es covergente (fallas compresivas) y el bloque hundido es el de muro. El bloque de techo cabalga sobre el labio hundido.
- Fallas en dirección o de desgarre: Presentan un movimiento lateral opuesto, pudiendo ser izquierdo o derecho, según el desplazamiento de cualquier línea de referencia común a ambos bloques. De la combinación de estos cuatro tipos puros de movimiento surgen otros tipos de fallas mixtas en las que intervienen dos de los movimientos anteriores: normal izquierda, inversa izquierda, normal derecha e inversa derecha.
- Falla de Cabalgamiento: Es un término utilizado para designar fallas inversas muy tendidas o con poco buzamiento. Algunos autores consideran los 30° como límite para diferenciar ambas clases. Frecuentemente el bloque cabalgante aparece plegado debido a los esfuerzos.
- Fallas rotacionales o "en tijera": Los bloques rotan respecto a un eje, por lo que el mismo bloque estará levantado en una zona y hundido en la otra.

Indicadores cinemáticos

Los indicadores cinemáticos son manifestaciones producidas por los fenómenos tectónicos cuya interpretación permite determinar los componentes del movimiento en fallas.

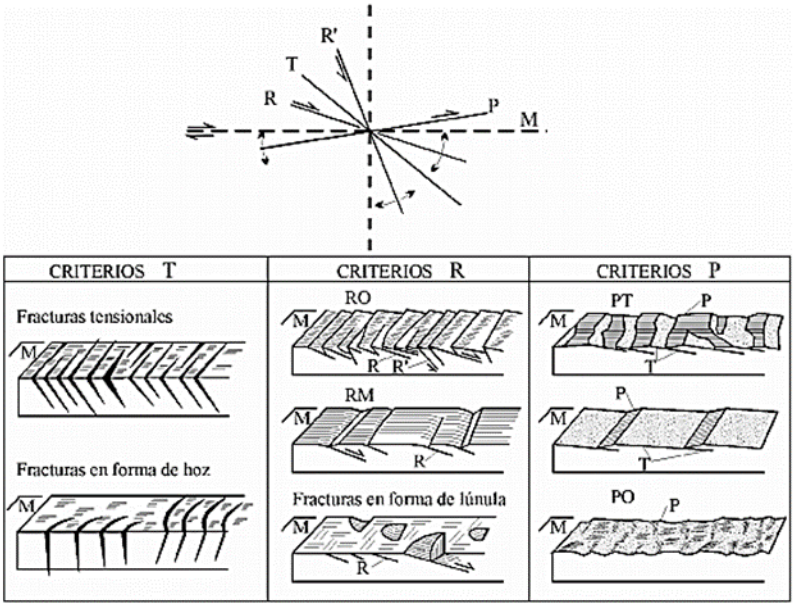


Figura 3. *Indicadores Cinemáticos.* ***Fuente:*** *Geología Estructural de Niemeyer Hans.*

Niemeye realizo un análisis fundamentado en los tipos de fracturas secundarias asociadas a un plano de falla principal, las fallas Riedel sintéticas y antitéticas, de bajo y alto ángulo respecto del movimiento a lo largo del plano de falla principal, conocidas como R y R'.

Los indicadores cinemáticos en fallas frágiles son visibles sobre la superficie del plano de falla mismo, sin salbanda o bien una vez retirada ésta. Se distinguen los siguientes tres tipos de criterios cinemáticos.

- Tipo T: Criterios de fracturas repetidas del tipo tensional, sin estrías. No representan fracturas de cizalle, sino que son fracturas netamente tensionales. Son de dos tipos: aquellas fracturas planas y en forma de hoz, cuyas puntas mantienen en el sentido del movimiento del bloque faltante. Pueden presentarse rotadas respecto de su posición original a aproximadamente 45º del plano de falla principal.
- Tipo R: Este tipo comprende las fallas que presentan fracturas de cizalla secundarias estriadas del tipo R o del tipo R' con respecto al sentido de movimiento de la falla.

- Tipo P: Incluye fallas con fracturas secundarias estriadas de orientación P. Representan fallas con un bajo grado de acoplamiento entre los bloques.

Modelos Estructurales

Anderson propuso un método basado en las relaciones geométricas que se observan entre las direcciones del stress principal y un sistema de fallas conjugadas, ya sea en experimentos con probetas de rocas o en casos de fallas naturales.

"It is possible to imagine a condition in which the lateral pressure from all sides increases steadily with depth, so as to be everywhere equal to the vertical"[1]. Esto no ocurrirá a menudo en la naturaleza, pero constituye un estándar de referencia conveniente, y se puede definir como el "estado estándar" (Anderson, 1951, pp. 13, 148).

Anderson considero los componentes de tensión normales ("presión") iguales y las componentes de tensión de cizalla en cero. En otras palabras, este es un estado de estrés isotrópico y la magnitud está determinada por el peso de la superposición rocas.

Utilizando proyecciones estereográficas en la representación de planos estructurales es posible evidenciar los esfuerzos aplicados en la figura 4.

[1] Es posible imaginar una condición en la que la presión lateral desde todos los lados aumente constantemente con la profundidad, de modo que esté en todas partes igual a la vertical.

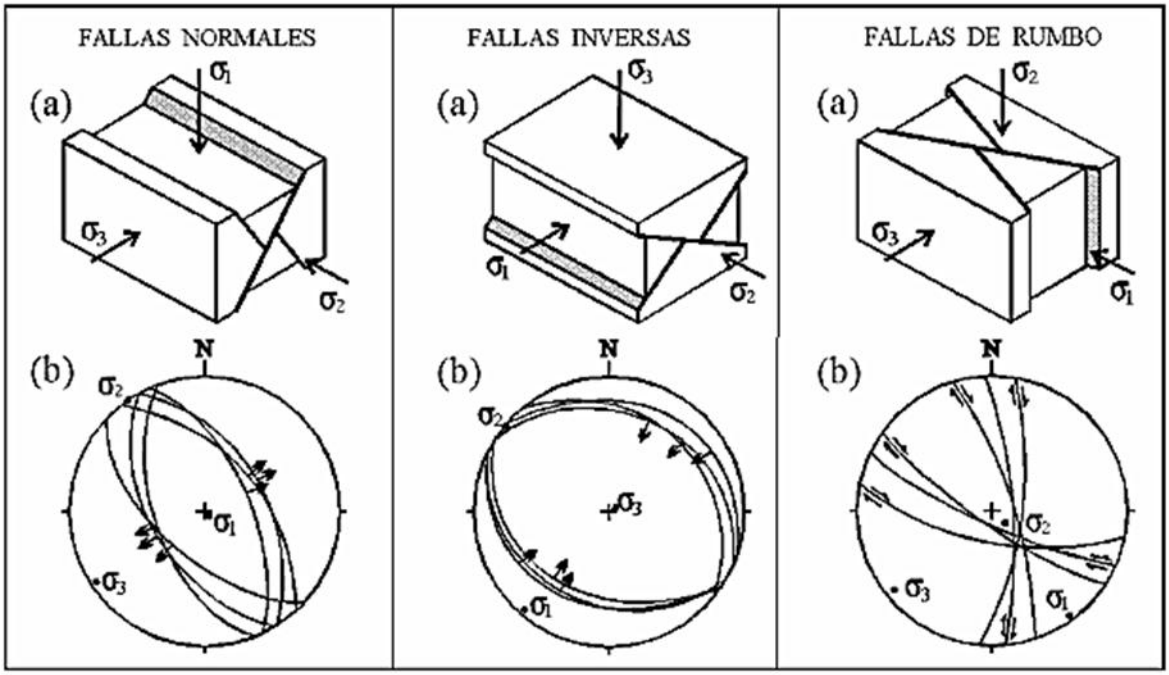


Figura 4. *Tipos de fallas propuesto por Anderson, a. fallas conjugadas y orientación de los esfuerzos, b. representación de sistemas de fallas conjugadas en la red de schemidt, hemisferio inferior. Las flechas indican el sentido de rechazo en cada caso.* ***Fuente:*** *Geología Estructural de Niemeyer Hans.*

4.10 Mineralización de los yacimientos Epitermales

La mineralización es la concentración de minerales o metales económicamente importantes en la formación de cuerpos de mena o filones por varios procesos geológicos. J. Henwood.

La mineralización puede ser epigenética cuando se formó después de la roca de caja o conocida como mineralización secundaria, o singenético cuando el deposito se formó durante la formación de la roca huésped el cual no siempre se encuentra en campo.

Los yacimientos epitermales tienen mineralización epigenética y mantienen enriquecimiento secundario por alteraciones supérgenas el cual se define como un proceso de reequilibrio de

la mineralogía hipógena a las condiciones oxidantes en las cercanías de la superficie (sobre el nivel de aguas subterráneas) por la circulación descendente de soluciones supérgenas.

Otros términos necesarios para clasificar la mineralogía en función de la mineralización son:

- Mena: mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica.
- Ganga: material del cuerpo mineralizado que prácticamente no contiene minerales de valor recuperables, que acompañan a los minerales de valor y que es necesario remover durante la operación minera para extraer el mineral útil.
- Estéril: es todo material sin valor económico que es necesario extraer para llegar a la explotación del mineral útil cuando se trata de la capa superficial de suelo y también la roca encajante.

La mineralización de los yacimientos epitermales está comprendida por: pirita, enargita/luzonita, calcosina, covelina, bornita, oro, electrum; calcopirita, esfalerita, tetrahedrita/tenantita, galena, marcasita, arsenopirita, sulfosales de plata, telururos incluyendo goldfieldita que conformaran la mena. Como minerales de ganga predomina el cuarzo y la pirita, puede haber baritina; los carbonatos están ausentes.

Una particularidad de la influencia de la zona de subducción, y de procesos magmáticos en la cordillera de los Andes, es que está dominada por depósitos minerales de tipo epitermal de Au-Ag de alta sulfuración a diferencia de otras partes del mundo donde domina aquellos yacimientos de baja sulfuración.

Las estructuras albergantes de la mineralización son las vetas cuyas texturas y estructuras comprenden sílice oquerosa que es un producto residual de lixiviación ácida (hidrólisis extrema). Además, cavidades con drusas, vetas bandeadas, brechas hidrotermales, reemplazos masivos de rocas de caja con cuarzo de grano fino.

4.11 Alteraciones de los yacimientos Epitermales

La mineralogía de alteración es condicionada por la composición química de la roca huésped, composición de los fluidos hidrotermales, por la temperatura y el potencial de hidrogeno del fluido que son los factores más relevantes en el proceso de alteración.

En algunos depósitos epitermales con alteración el cuarzo se presenta como reemplazos de grano fino (ver tabla 3) y característicamente como sílice oquerosa residual en rocas con lixiviación ácida. La alteración típica de los depósitos epitermales está dominada por minerales como cuarzo, caolinita/dickita, alunita, baritina, hematita; sericita/illita, arcillas amorfas y sílice, pirofilita, andalusita, diásporo, corindón, turmalina, dumortierita, topacio, zunyita, jarosita. La alteración argílica avanzada es característica (ver tabla 4) y puede ser realmente extensa y prominente visualmente.

Algunos cuerpos superficiales o subsuperficiales mantienen alteración argílica avanzada para lo cual Sillitoe (1993), interpreto tres posibles orígenes considerando una escala ascendente: por condensación o disolución de volátiles magmáticos, formadas muy por debajo del nivel freático, por lixiviación ácida somera, formadas por encima del nivel freático, y mediante oxidación supergénica.

Las alteraciones formadas bajo el nivel freático en sistemas de alta sulfuración pueden albergar mineralizaciones de interés económico o también disponerse en forma de halos alrededor de la mena. Aquellas formadas sobre el nivel freático, tanto en sistemas de alta como de baja sulfuración no tienen intereses económicos, pero pueden ser indicadores de cuerpos mineralizados infrayacentes.

Tabla 4. Tipos de depósitos y alteraciones de sílice en depósitos epitermales (Hedenquist et al., 2000)

Tipo	Formación	Ubicación	Significado	Metales	AS o BIS
Sínter	En fuentes termales con pH~neutro	Sólo en superficie	Paleosuperficie, depresión topográfica (hidrológica), centrado en el flujo	As, Sb, Hg, Tl (Au, Ag)	Sólo BIS
Sílice residual (opalina)	Lixiviación moderada, pH~2-3	Zona de vadosa	Zona calentada por vapor sobre el nivel freático	Hg salvo en sobreimposiciones	AS o BIS
Horizonte de calcedonia	Sílice removilizada de zona calentada por vapor	Nivel freático	Paleonivel freático, puede ser distal a fuente	Hg; o As, Sb, Au, Ag[1]	AS o BIS
Vetas de calcedonia, bandas coloformes; vetas cripto-cristalinas	Fluido de baja T, coloides; recristalizado de un gel	Someras, <150 m	<200ºC, enfriamiento rápido del fluido, ebullición en profundidad; criptocristalino a ~200ºC	As, Sb, Se, Au, Ag	BIS o AS tardío
Vetas de cuarzo	A partir de enfriamiento de una solución	Profundidad >150 m	>200ºC	Au, Ag, metales básicos	BIS o AS tardío
Sílice residual (cuarzo oqueroso)	Lixiviación extrema a pH<2	Núcleo de sistema volcánico-hidrotermal	Núcleo permeable, principal zona de deposición de menas de AS	estéril, o Cu, As, Au, Ag	Sólo AS
Silicificación	A partir de enfriamiento de agua	De la superficie a 500 m, masiva a profundidad <150 m	Porción somera del sistema, flujo penetrativo	Au, Ag (trazas)	BIS, AS intermedio-tardío

Fuente: *www.redalyc.org*

Tabla 5. Características de campo de los tres principales contextos de alteración argílica avanzada relacionados con depósitos epitermales (adaptado de Sillitoe, 1993).

Origen	Hipogénico profundo	Hipogénico somero	Oxidación supergénica
Terminología genética (Rye et al., 1992)	Magmática-hidrotermal	Calentada por vapor	Supergénica
Formación	Condensación de vapores magmáticos ascendentes de alta T con HCl y SO_2	Oxidación atmosférica de H_2S en la zona freática	Oxidación atmosférica de sulfuros de grano fino en zona de meteorización superficial
Textura de la alunita y hábito cristalino	Agregados de cristales de grano grueso o fino; cristales tabulares u hojosos	Agregados pulverulentos (cristales <20-50 µm), masas gredosas o porcelanosas; cristales romboédricos	Masas gredosas o porcelanosas, agregados pulverulentos (cristales <20-50 µm); cristales romboédricos
Color	Incoloro, blanco, rosado, amarillo, pardo	Generalmente blanco	Blanco, crema, amarillo-pardo (manchado de jarosita)
Disposición típica	Reemplazamiento de fenocristales de feldespato, litoclastos, etc.; relleno de cavidades	Reemplazamiento penetrante, especialmente de feldespatos	Vetillas irregulares, masas nodulares; reemplazamiento penetrante local
Minerales de alteración asociados	Cuarzo, kaolinita, alunita, dickita, diáspora, pirofilita	Cristobalita, ópalo, kaolinita, alunita	Kaolinita, alunita
Disposición respecto a los sulfuros	Junto con sulfuros, excepto sujetos a oxidación supergénica	Normalmente junto con sulfuros, excepto sujetos a oxidación supergénica, localmente con limonita hipogénica (hematites)	Normalmente con limonita, pero pueden recubrir una zona de sulfuros infrayacente
Relación con la mena	Potencialmente puede incluir mena, típicamente como envoltura de la mena	Estéril; sobreyace a la mena o está superpuesta a ella	Sin relación inequívoca con la mena de sulfuros, puede estar relacionada con ella o no
Temperatura de formación (ºC)	300º-350º a 100º; fluidos hipogénicos ascendentes	100º-120º, hasta 150º+; fluidos descendentes	20º-40º; superposición por fluidos descendentes
Composición isotópica de la alunita	$\delta^{34}S$ alunita >> $\delta^{34}S$ sulfuro asociado	$\delta^{34}S$ alunita ~ $\delta^{34}S$ sulfuro asociado	$\delta^{34}S$ alunita = $\delta^{34}S$ sulfuro precursor

Fuente: *www.redalyc.org*

4.12 Ley Mineral

La ley mineral es la concentración de minerales económicos contenidos en la roca. La ley puede medirse en porcentaje del mineral respecto de la cantidad total de roca (incluido el mineral), caso en que la medida usada es usualmente el peso (masa) de cada parte; también puede usarse el volumen y en ambos casos la unidad usada debe ser la misma para el mineral y la roca. En casos de baja ley se usa habitualmente la cantidad de gramos (g), miligramos (mg) por tonelada (t) de roca. A nivel mundial los depósitos epitermales han aportado una buena parte en la producción de Au y Ag.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se señalan los materiales a emplear en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Para el trabajo de campo es necesario el uso de:

- Distanciómetro con mira láser
- Brújula Azimultal Brunton
- Gps Garmin S64
- Piqueta Estwing de 22 Onzas
- Lupa de 10x
- Cinta métrica de 50 m.
- Bolsas de Plásticas
- Lápiz rayador con punta de Tungsteno
- Pintura en Spray
- Material para registro de Datos
- Fichas de Campo
- Fichas de registro de Muestreo

Para la redacción, trabajo de oficina y laboratorio se utilizará:

- Microscopio Petrográfico
- Microscopio Estereográfico
- Laminas Delgadas
- Manual de Minerales
- Computador Dell Inspiron
- Software AutoCad 2014, ArcGis 10.2, Microsoft office

METODOLOGÍA

Para realizar el 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. Se plantea una metodología para el cumplimiento de cada objetivo específico:

- ***Primer objetivo***

"Definir la topografía subterránea de las labores mineras circunscritas en la Concesión Nueva Esperanza 4 Código 300086".

Para el levantamiento subterránea, partiremos de un punto fijo ubicado en la bocamina de la galería a estudiar, con coordenadas conocidas en Datum PSAD 56. Se lo efectuará a través de la ubicación de los puntos fijos de control a lo largo de la galería por tramos de diez metros de manera que no se dificulte la medición, para las galerías transversales que conducen al frente de explotación se midieron en tramos irregulares conforme estaba dispuesto el acceso, se empleó dos varas de un metro de longitud, distanciómetro y brújula para medir distancias, desniveles y ángulos. También se midió ancho, altura y longitud de cada una de las galerías que comprenden los frentes de trabajo del área de estudio.

Posteriormente para el trabajo de oficina se procedió a generar el mapa de la galería con los datos de campo usando el Software Auto CAD 2014, ArcGis 10.2. El levantamiento topográfico subterráneo permito dejar puntos fijos de control en toda la longitud de avance, la cual será la base para realizar el levantamiento Geológico.

- ***Segundo objetivo.***

"Establecer el levantamiento geológico estructural interior mina del área de estudio".

Previamente se realizó un análisis e identificación de las unidades mapeables. Para lo cual se fundamentó en una búsqueda bibliográfica sobre estudios, informes, reportes, mapas del distrito minero enfatizando aspectos acerca de la geología, geología económica, geología estructural y petrografía.

Para este objetivo se levantó la información geológica de los hastiales de la mina de forma detallada, también se registró datos estructurales con una descripción a escala macroscópica y se complementó con un muestreo representativo de las unidades geológicas para la descripción macroscópica de muestras de mano y caracterización petrográfica, mineralógica usando el microscopio binocular.

Adicionalmente se realizó la caracterización de las estructuras geológicas subterránea como vetas, vetillas y fallas, se procedió a tomar medidas estructurales como rumbo y buzamiento mediante una brújula estructural Brunton,

Este objetivo culminara con la elaboración de un mapa geológico estructural plasmado en la base topográfica, y con la construcción de un corte que facilite la comprensión de los desplazamientos por las estructuras encontradas interior mina, teniendo como variables a integrar la geología, el control estructural y la distribución de la mineralización en extensión y profundidad. Este modelo propuesto se lo desarrollará en software para diseño, el producto permitirá fundamentar la génesis del yacimiento mineral y entender la influencia de las estructuras geológicas en la concentración mineral de la veta "Azul".

El trabajo de laboratorio se desarrolló en el laboratorio de petrografía y mineralogía de la Universidad Nacional de Loja, comprendió el análisis y descripción macroscópico de las muestras de roca para la determinación de textura, estructura, color, mineralogía y de ser posible determinar la alteración de los minerales.

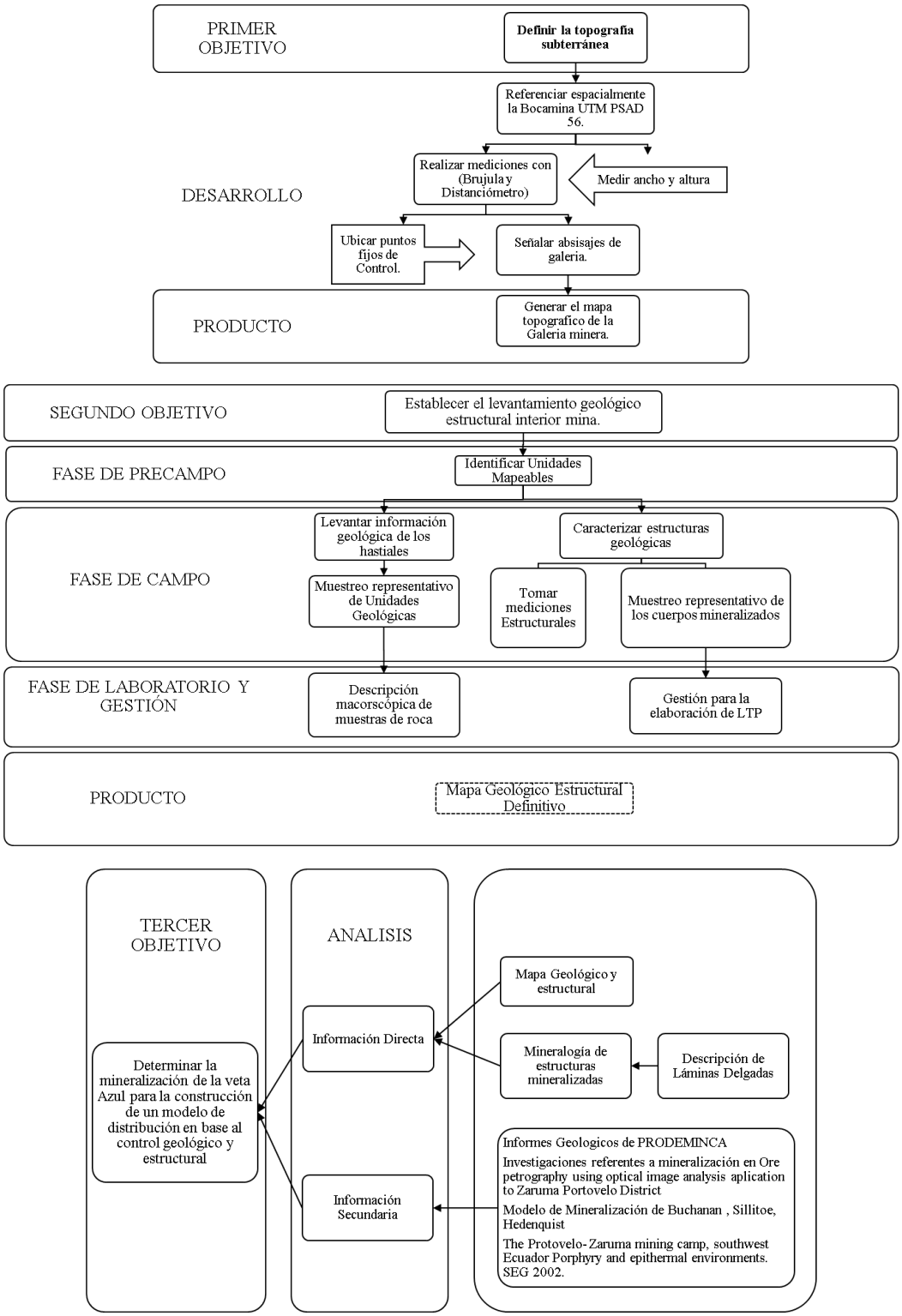
- ***Tercer objetivo***

"Determinar la mineralización de la veta Azul para la construcción de un modelo de distribución en base al control geológico y estructural".

Este objetivo integrara las variables geológicas, estructurales vistas en el campo para entender la mineralización de las estructuras de interés del proyecto. Con la información mineralógica de las muestras de veta y roca caja, se comparará con el modelo de Epitermales propuesto por Buchanan (1981).

El trabajo de laboratorio consistió en la elaboración de tres láminas delgadas realizadas en el laboratorio de petrografía de la Universidad Técnica Particular de Loja, iniciando con un corte de la roca muestreada a una tamaño ya predeterminado de 8x20x30 mm, luego se limpia y esmerila los portas de vidrio, seguidamente se pule una de las superficies cortadas que luego se adhiere con resina epoxi a la cara pulida del porta, es necesario generar presión de esta manera evitaremos la formación de burbujas, después que la resina está seca, se corta el restante de la muestra, dejándola aproximadamente de 0.5 a 1 mm de espesor, posterior se realiza un devastado hasta obtener el grosor de 80 micras aproximadamente, finalmente se cubre con una capa de laca y el cubre porta. Estas laminas corresponden a las muestras de veta encontradas interior mina. Para el análisis se usó un microscopio petrográfico.

Adicionalmente se contrató el servicio que brinda la Universidad Técnica Particular de Loja referente al análisis de contenido de oro y plata de la muestra correspondiente a la veta estudiada, mediante el método al fuego que consiste en producir una fusión de la muestra usando reactivos (nitrato de plata al 12%, bórax) y fundentes adecuados para obtener dos productos, primero la escoria constituida principalmente por silicatos complejos y luego un producto metálico constituida por plomo, el cual colecta los metales de interés (Au y Ag), posteriormente se realiza la copelación con el fin de eliminar el plomo en cual quedara atrapado en la copela y una pequeña parte escapara en forma de gas, finalmente el botón de oro y plata es sometido a análisis químico para la separación de los metales de interés y el cálculo de la ley mineral.



Fuente: *Autor*

6. RESULTADOS

6.1. *Ubicación y Acceso*

La concesión minera se encuentra ubicada a 640 km de la ciudad de Quito, en la provincia de El Oro, en el cantón Zaruma, al norte de la ciudad de Zaruma y se extiende de Este a Oeste, en las coordenadas que a continuación se detallan.

***Tabla 6**. Datos de la concesión Minera.*

Nombre del área minera	Nueva Esperanza 4	
Código	300086	
Polígono de concesión UTM- PSAD 1956	Latitud	Longitud
	9593980	654700
	9594200	654700
	9594200	654000
	9594300	654000
	9594300	654400
	9594623	654400
	9594623	656600
	9594000	656600
	9594000	655000
	9593980	655000
Compañía Minera	Orocormina Cia. Ltda	
Representante legal	Marcelo Alejandro Palacio Jiménez	

***Fuente**: Autor*

Desde el centro de la ciudad de Zaruma, se dirige por la vía principal que conduce hacia el Barrio Roma, hasta el sector El Zapote en dirección Nor-este hasta llegar al derrumbo (sitio Quebrada piedra azul), donde se ubica el frente de La Compañía Minera Romviccor Cia Ltda operadora de Orocormina Cia. Ltda (Ver figura5). Las operaciones mineras son relativamente nuevas, se trata de un proyecto destinado a la exploración de intereses minerales, para lo cual se ha dispuesto el laboreo de una galería en sentido Este- Oeste en las coordenadas 655.711E – 9'594.097N; 1089msnm (UTM PSAD 56).

El método de trabajo es subterráneo, con perforación y voladura adicionalmente se realiza ventilación, clasificación, transporte interior mina, stokeo en superficie y transporte a la planta de beneficio.

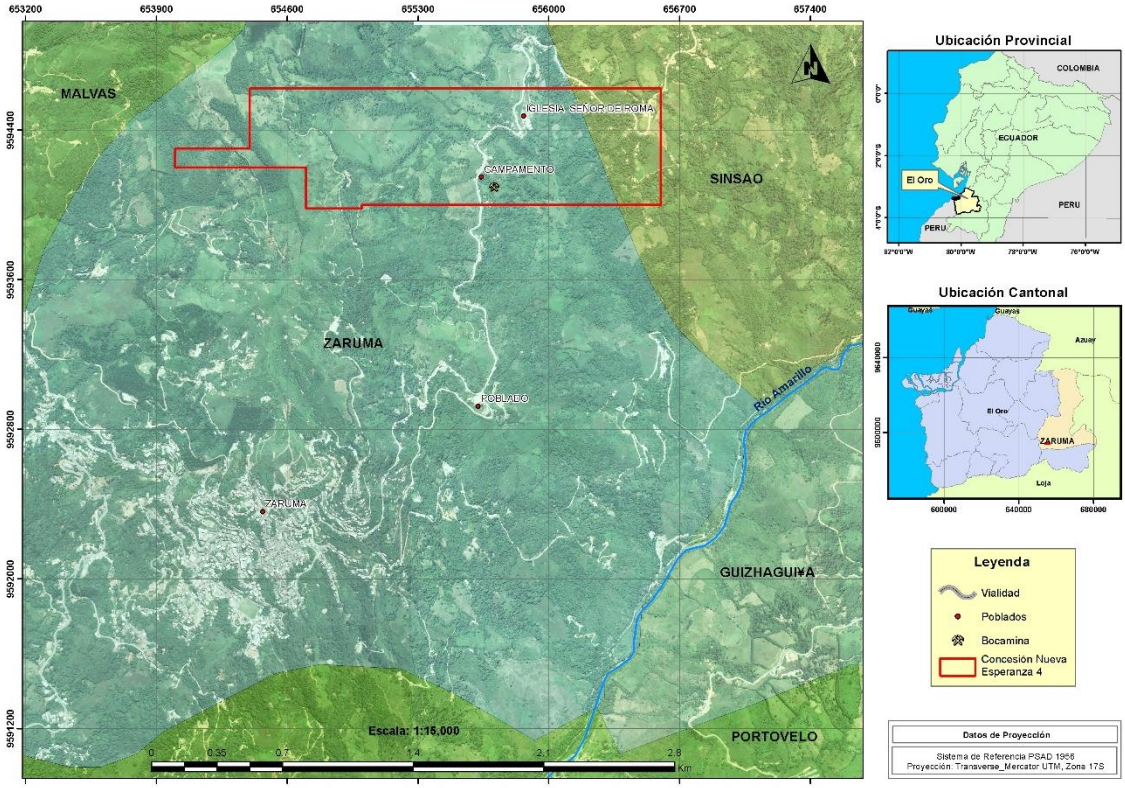


Figura 5. *Mapa de Ubicación parroquial, cantonal del sitio de Estudio.*

Fuente: *Autor*

6.2. *Clima*

El Clima de Zaruma es subtropical o templado con dos estaciones bien definidas, una de ellas es húmeda con fuertes precipitaciones en las partes altas del cantón entre los meses de Diciembre a Abril y la segunda estación es seca en los meses de Mayo a Noviembre. (INAMHI, 2015).

La temperatura anual oscila entre 16-24 °C. La precipitación anual es de 1582 mm/año, con una humedad relativa de 83% y una evaporación de 738 mm anuales, la precipitación promedio anual es de 1.159 mm. Posee una pluviosidad de 1.368 mm, acumulados en los meses nublados de diciembre a mayo (INHAMI).

6.3. *Topografía y Relieve*

Zaruma está comprendida en una zona montañosa de la Cordillera de Vizcaya que se deriva de la Cordillera de los Andes, presenta un relieve irregular conformando valles y quebradas; donde se originan los ríos como Salvias, Ortega, Amarillo y el Salado, en el área de la concesión las curvas de nivel están comprendidas en el rango de 890 a 1600 msnm.

En la figura 6, se observa una clasificación de pendientes según Van Zuidam (1986), en el sitio de estudio existe una abundancia de pendientes fuertes correspondientes a las zonas montañosas, seguidamente las pendientes muy fuertes que conforman las elevaciones de Zaruma Urco y Santa Barbara, como la alineación montañosa en sentido NW en el centro del mapa, las pendientes moderadas aparecen en su mayoría al SW en la zona urbana de la parroquia de Zaruma, Sinsao y Guizhaguiña, las pendientes muy bajas y planicies aparecen en las terrazas de los ríos Amarillo y sus tributarios como también en los centros poblados.

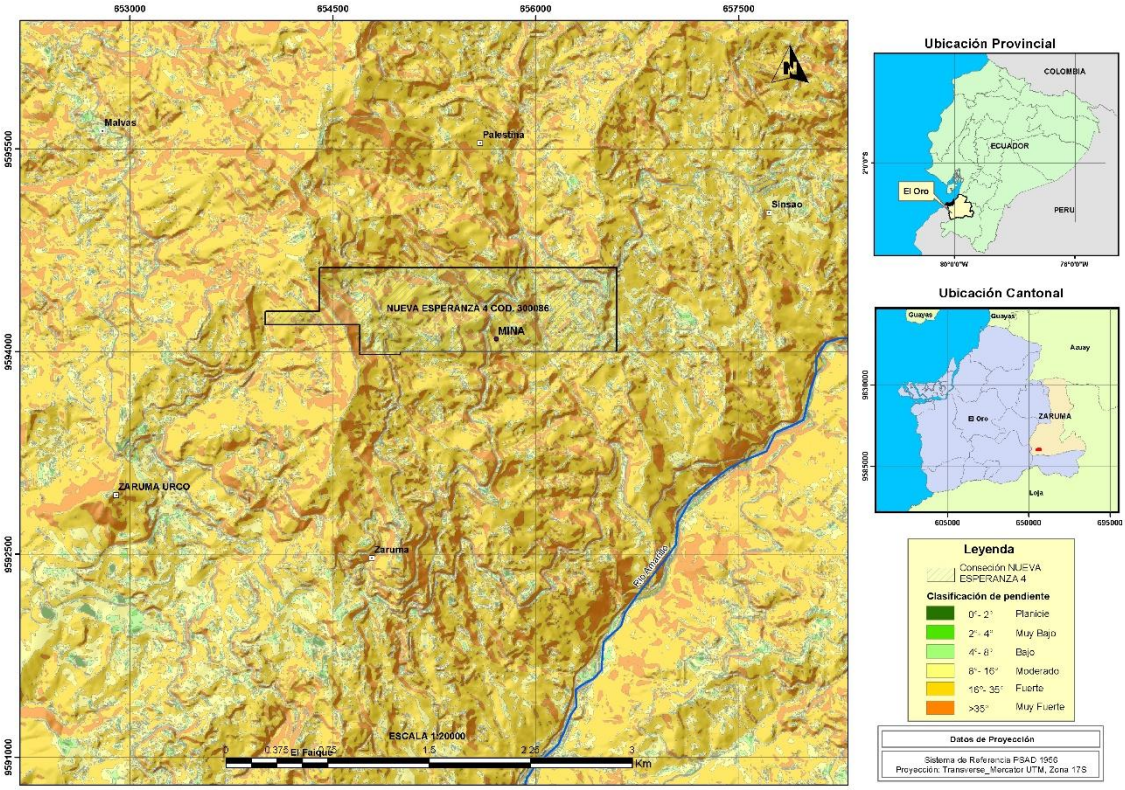


***Figura 6**. Mapa de pendientes del área de estudio.*

***Fuente:** Autor*

6.4. *Hidrografía*

El cantón de Zaruma al Oeste es regado por el sistema hidrográfico que conforma el Río Calera, que tiene como tributarios y origen al río Salado y las quebradas Arcapamba, Santa Bárbara, Cascajo, y Zaruma Urcu entre otras. Al Este se encuentran los Ríos Ortegas y Salvias, que son los tributarios conformantes del Rio Amarillo, los principales tributarios de este sistema hidrográfico son: Quebrada Honda, Sinsao, Quebrada de la Máquina, Loma Larga, Las Chontas, entre otras.

Estas quebradas secundarias forman un drenaje dendrítrica a subdendrítica las cuales se asocian a rocas volcánicas y a rocas intrusivas, con cambios de dirección que evidencian las estructuras geológicas del sector

6.5.*Geología Regional*

El distrito minero Zaruma-Portovelo está ubicado al Sur de la Cordillera Occidental en la zona alta de la provincial de El Oro, al norte limita con el campo Mineral Molleturo en la falla Jubones, esta estructura tiene un cabalgamiento al Norte y buzamiento hacia el Sur (Pratt et al., 1997), conformando el límite entre las rocas Cretácicas (Unidad Pallatanga y Yunguilla) y el bloque Amotape-Tahuín. Al Sur limita con la falla Piñas-Portovelo (FPP), al Este con la falla Girón o Peltetec como se le denomina en el Norte del país, y al Oeste con el terreno geológico Costa. (Ver Anexo 3)

Entre el periodo del Jurásico-Cretácico se produjo el cabalgamiento de la falla Piñas-Portovelo la cual relaciona una colisión contienen-continente de los terrenos metamórficos al sur del distrito Zaruma-Porvtovelo (Bonilla, 2009), posteriormente en el Cretácico el desplazamiento de la falla Peltelec acreciona el complejo geológico Chaucha y Tahuín al terreno tectónico Aloa.

Adicionalmente en el distrito existe la influencia de intrusivos granodioríticos y dioríticos los cuales se encuentran formando un cinturón en sentido Noroeste-Sur este (Crespo, 2007), denominado cinturón intrusivo Cangrejos-Zaruma, conformada por el cuerpo ígneo Cangrejos, Paccha y El Poglio (Ver Anexo 3).

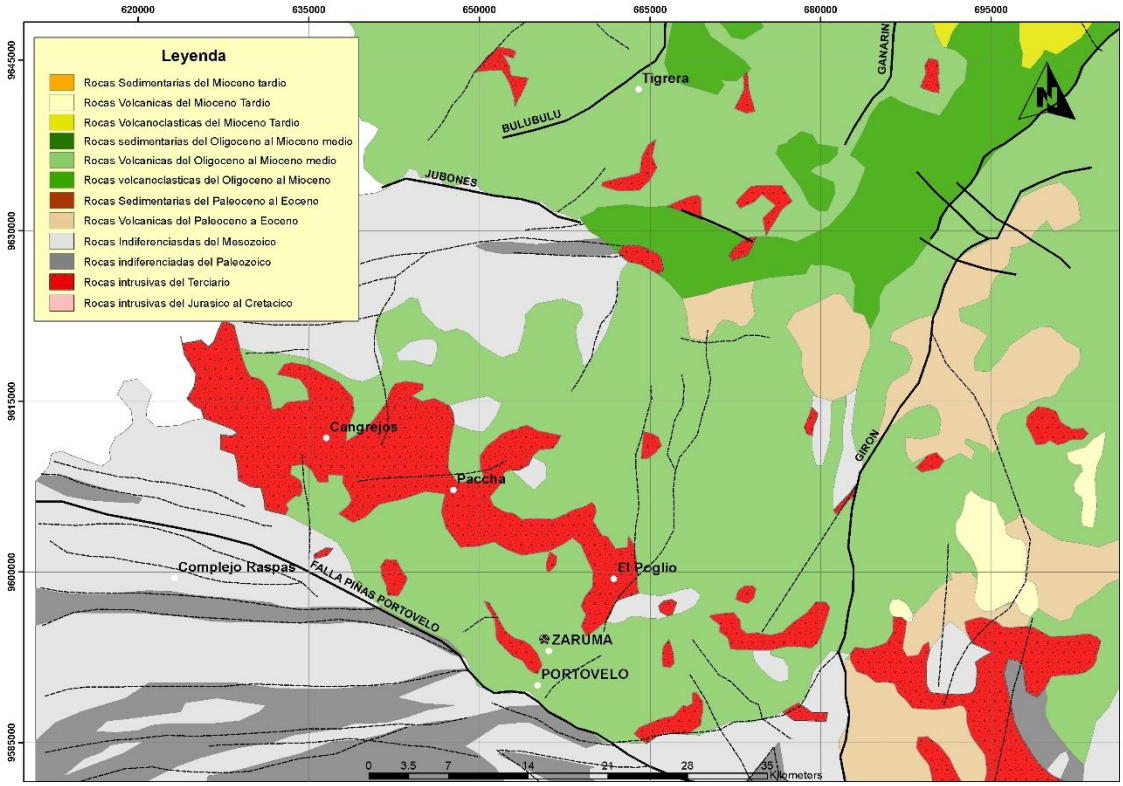


Figura 7**. Mapa geológico al sur de la Cordillera Occidental.* ***Fuente: *Litherland et al. (1994), Pratt et al. (1997) y Dunkley & Gaibor (1997).*

Al sur de la falla Piñas- Portovelo aflora el grupo Alamor, representadas por rocas de la formación Zapotillo- Ciano, en esta zona existen intrusiones de granitoides como El Prado, Guatabo y Porotillo (Bonilla, 2009).

Las unidades geológicas presentes en el distrito minero son rocas metamórficas al sur de la falla Piñas-Portovelo, al norte de la falla existen rocas volcánicas de edad Cenozoica y rocas intrusivas del terciario, a continuación, se las describe:

6.5.1. Complejo Metamórfico El Oro.

Rocas metamórficas de edad Mesozoica a Paleozoica afloran al sur de la falla Piñas-Portovelo y de la falla Jubones al norte del distrito, probablemente subyacen la mayor parte de la provincia. Al Noreste de la falla Jubones ocurren ventanas erosiónales como San Pablo de Cebadas, Manu y en el río San Luis, las cuales evidencian la continuidad de las rocas metamórficas que en estas localidades se encuentran cubiertas por rocas volcánicas del Oligoceno. La litología está caracterizada por rocas metasedimentarias como pizarras y conglomerados, incluyendo rocas de bajo grado como subesquistos

verdes. Gneises y algunos granitos contienen granates los cuales afloran en Manu y San Pablo de Cebadas.

Las unidades que conforman el complejo metamórfico y afloran en el distrito son:

- La Bocana del Triásico tardío, contiene Granodioritas con biotita +/- muscovita, xenolitos metasedimentarops comunes, migmatitas indiferenciadas, paragneises y algunas pegmatitas.
- Quebrada Plata del Triásico superior, está conformada por anfibolitas de grano fino, pegmatitas con hornblenda, actinolita, plagioclasa, cuarzo (Litherland et al., 1994).
- La Victoria perteneciente al Paleozóico (Feininger, 1978), comprende rocas meta sedimentarias semipelíticas de bajo a alto grado, filitas, esquistos con cordierita y/o andalucita, biotita, muscovita y albita (Litherland et al., 1994)

6.5.2. Grupo Saraguro

Esta formación geológica se adelgaza hacia a cordillera real, en la falla Girón tiene un espesor de 1 km. Al Sur de la falla Jubones tiene un espesor menor a 1 km. Su litología está comprendida por tobas de flujo de ceniza con textura soldada de composición dacítica a riolítica, también lavas andesíticas masivas y porfídicas, brechas y rocas sedimentarias (Dunkley & Gaibor, 1997). Pertenece al Eoceno tardío a Oligoceno (Hungerbühler et al., 2002 en Schütte, 2010). El grupo está conformado por las unidades litológicas Portovelo, Jubones, Las Trancas, Paccha Rumi, La Fortuna y La Paz.

6.5.3. Rocas Intrusivas

Comprende las numerosas intrusiones del cinturón Cangrejos – Zaruma de dirección Noroeste-Sureste (Spencer, 2002). Entre ellos el intrusivo de El Poglio, Paccha y Cangrejos, de composición cuarzo dioritas, granodioritas y cuerpos intrusivos riolíticos (Spencer et al., 2002 y Schütte, 2010). Responsables de la formación de depósitos epitermales y pórfidos. La intrusión de Paccha que alberga un área de 150 km2, en dataciones por el método potasio-argon se atribuye a 16.89 +/- 0.16 Ma, por su parte la granodiorita de Shangli tendría una edad de 17.64 ± 0.61 Ma, corroborando que el cinturón Intrusivo Zaruma- Cangrejos es de edad Miocenica.

6.6. Geología Local.

La mineralización de Zaruma-Portovelo se alberga en rocas volcánicas de composición intermedias a silíceas de la Unidad Portovelo, la misma que forma parte del Grupo Saraguro (Pratt et al.,1997), estas rocas yacen en contacto fallado con el Bloque Amotape Tahuín en la estructura definida como falla Piñas Portovelo y al Norte yacen discordantemente a las rocas metamórficas del complejo El Oro. (Bonilla, 2009). La litología de la Unidad Portovelo comprende basaltos, andesitas basálticas, andesita hornblenditicas, tobas, flujos piroclasticos de afinidad calco-alcalina (Pratt et al, 1997), tiene una potencia menor a 1000 m. (Bonilla, 2009).

DuoKley y Caibor (1997) dan a la unidad Portovelo una edad de 21.5 a 28.4 Ma (Oligoceno tardío al Mioceno temprano), esto fue comprobado por Van Thournout et al, (1996), con dataciones radiométricas K-Ar realizadas en lavas dacíticas cercanas al poblado Piñas.

La Unidad Portovelo se subdivide en tres miembros que se encuentran localizados de NE a SW. (Billingstey, 1997).

6.6.1. Miembro Muluncay

Conforma la base de la Unidad Portovelo, comprendida por brechas volcánicas, tobas y flujos de composición andesítica e ignimbritas (Bonilla, 2009).

6.6.2. Miembro Portovelo

Comprende lavas andesíticas con hornblenda y lavas basálticas, con orientaciones de Noroeste-Sureste y buzan aproximadamente 40 grados al SW (Bonilla, 2009).

6.6.3. Miembro Faique

Sobreyace al Miembro Portovelo, el miembro Faique está conformado por rocas volcanoclásticas como brechas volcánicas, ignimbritas, tobas y flujos de lava andesítica en menor proporción que las tobas (Bonilla, 2009). Este miembro contiene adicionalmente diques riolíticos, intrusiones hipoabisales de composición diorítica y granodiorítica, y stocks que afloran entre los poblados de Zaruma y Portovelo (Spencer, 2002). Estas estructuras geológicas están alineadas al NW, ubicadas en los cerros de Santa Bárbara y Zaruma Urcu. Thournout et al. (1991, 1996).

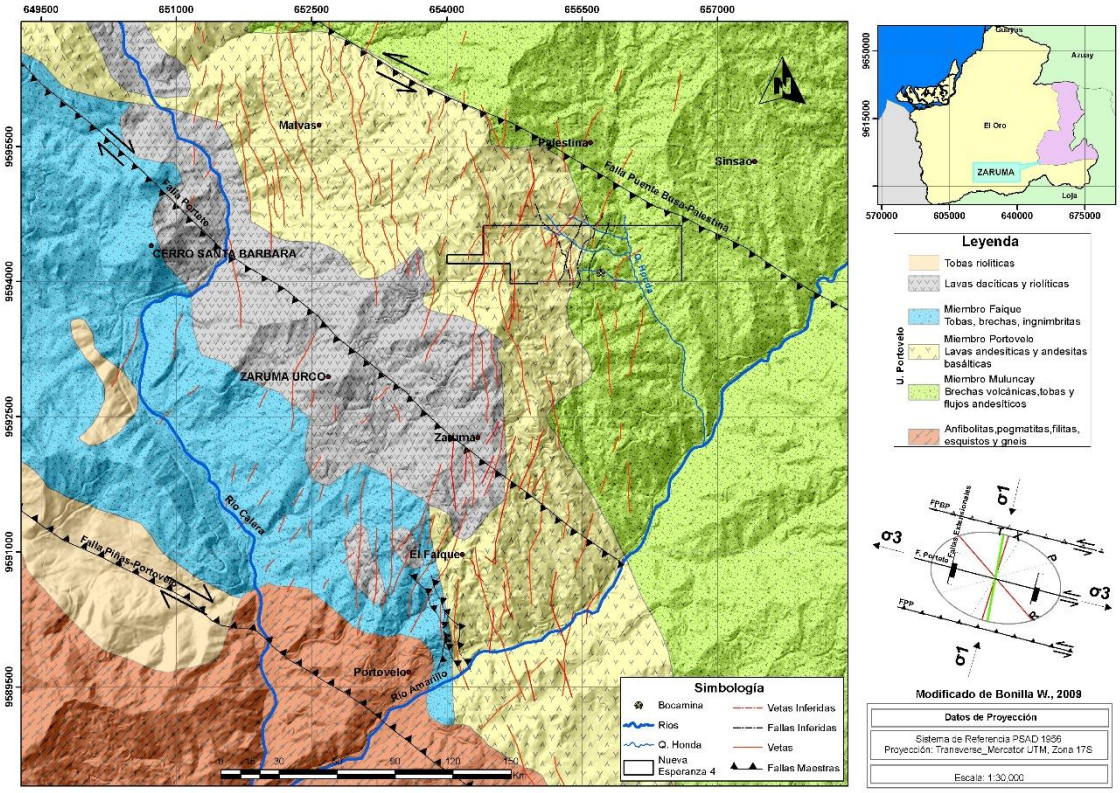


Figura 8. *Geología del Distrito Minero Zaruma-Portovelo.* ***Fuente:*** *Bonilla W. (2009)*

6.7. Estructuras del distrito Zaruma Portovelo

Las estructuras geológicas del distrito mantienen alineaciones de NW-SE y NE-SW, entendiendo que las estructuras en sentido N-S son las más recientes, ya que no evidencian un cambio de dirección.

La Falla Piñas-Portovelo definida como un cabalgamiento junto al poblado de Portovelo tiene dirección NW-SE y buzamiento al Norte, al Oeste de Piñas cambia a un buzamiento alto. La acción de esta estructura produjo un descenso en el bloque Norte que separo a las volcanitas Saraguro de las rocas metamórfica (Carrión, 2010). El descenso en sentido oeste es de 3 kilómetros (Pratt et al., 1997).

A 10 kilómetros al Norte de la falla Piñas-Portovelo se encuentra la falla Puente Buza-Palestina, pertenece a la misma edad y comparte el mismo sentido y movimiento. Su influencia produjo un salto sinestral de 2 a 4 kilómetros entre el enjambre de vetas al sur y norte de la misma (Minas Nuevas).

Van Thournout, (1996), propuso que las fallas regionales de rumbo NW son las responsables del desarrollo de un amplio espacio dilatante N-S que ha localizado la deposición del mineral en las rocas andesíticas. Denotando una orientación de los esfuerzos en sentido Norte a Noreste. (Ver figura 8). Adicionalmente existen fallas de rumbo con sentido NE con desplazamiento dextral limitado, al sur de Portovelo y Norte de Zaruma (Van Thournount et al, 1996).

Las principales vetas se encuentran en el bloque limitado por las fallas P-P y P-B-P, tienen dirección N-S con pequeñas variaciones al NE y NW, normalmente se encuentran buzando al Este con un promedio de 60° (Kalinaj, 2004) y evidencian inflexiones antihorarias cerca de las intersecciones con las fallas. Tienen potencias entre el rango de 0.3 hasta 4 metros, el cual es el caso de la Veta Abundancia. Estas vetas evidencian texturas tales como: Coloforme-crustiforme, bandeada, brecha hidrotermal, texturas de crecimiento y recristalización (Kalinaj, 2004).

6.8. Estadios de Mineralización Del Distrito

Considerando los aspectos económicos en la mineralización del distrito se podrían clasificar en dos tipos principales.

Las vetas polimetálicas mesotermales auríferas serían las primeras, contienen cuarzo claro a gris asociado con calcita, adularia, clorita, cantidades menores de fluorita y una amplia gama de sulfuros, entre ellos: pirita, calcopirita, esfalerita rica en hierro, galena, enargita, bornita y molibdenita. Los minerales supérgena comprende calcosina, covelina, malaquita, hematita y limonita. Los estudios de inclusiones fluidas realizados por Shepherd y Litherland en 1987 dan una temperatura de depositación entre 320° a 380°C.

Y aquellas vetas epitermales de cuarzo-calcita más adularia pobres en sulfuros y más ricas en metales preciosos. Este tipo está caracterizado por oro libre y sulfosales de plata incluyendo bornita. Los escasos sulfuros corresponden a pirita, marcasita, calcopirita, galena y esfalerita baja en hierro. Estudios de inclusiones fluidas de la misión Belga establecen que los metales preciosos precipitaron por ebullición a temperaturas de 180-310 °C.

Varios autores han planteado estadios de mineralización. Van Thournout, (1996), planteó tres estadios de mineralización para el distrito (Ver Figura 9).

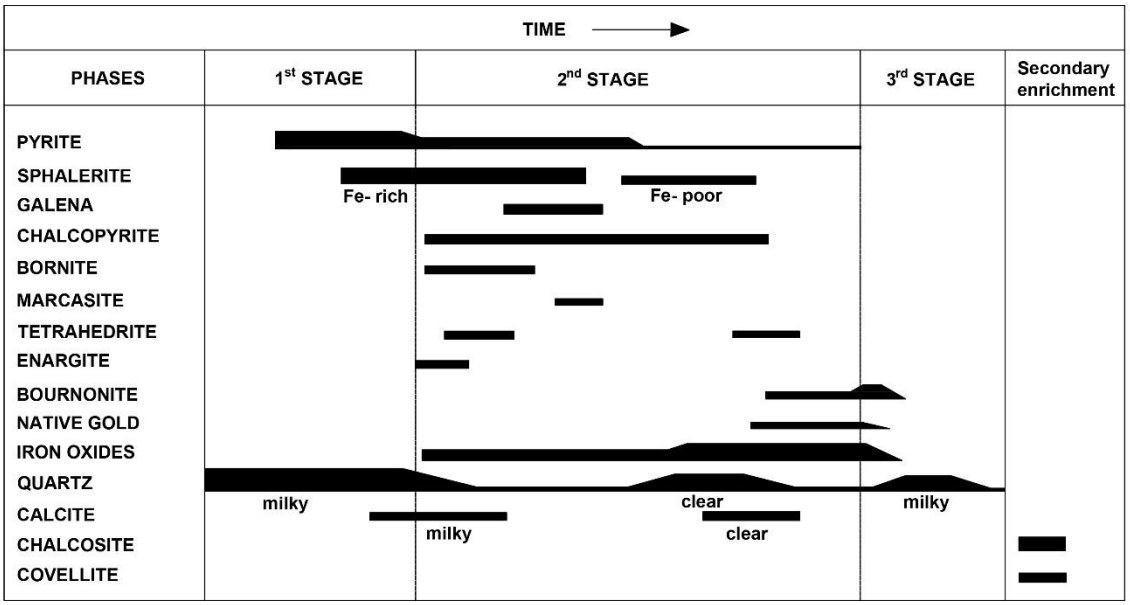


Figura 9. *Estadios de Mineralización del Distrito Minero Zaruma-Portovelo.*

Fuente: *Van Thournout, 1995.*

También fueron propuestos dos estadios de mineralización por Kalinaj, (2004), los cuales se describen a continuación:

En la primera etapa propuso una mineralogía de cuarzo-adularia, con metales, oro y plata, con asociación de pirita, calcopirita, esfalerita, plata, galena y en menor proporción bornita y tetraedrita, además de calcosina, covelina y óxidos de Cu.

Para la segunda etapa de mineralización estaría comprendida por cuarzo, calcita, clorita, sulfosales de plata, se caracteriza por un bajo contenido en sulfuros y oro libre, pero contiene sulfosales como tetraedrita, tenantita, freibergita, afflorita, pirargirita, proustita y nagyagita (Teluro de Au).

Por su parte A. Paladines & Rosero, 1996 establecieron 4 estadios de mineralización conformados por pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita, tetaedrita, tenantita, oro y plata, minerales como calcosina y covelina producidos por enriquecimiento secundario, cuarzo y calcita como ganga (Ver Figura 10). También se especifica la relación de oro en mayores concentraciones en cuarzo poroso, heterogéneo y manchado de limonita.

Spencer (2002), realizo un mapa de los cuerpos mineralizados del distrito en donde se aprecia a la zona de estudio con venas de calcopirita y con posible esfalerita, pirita. (Ver Anexo 5).

ESTADIOS DE MINERALIZACIÓN DEL DISTRITO ZARUMA-PORTOVELO. PALADINES Y ROSERO (1996)					
MINERALES	1ra	2da	3ra	4ta	ES
Cuarzo	**…….**	**…….**	**…….**	**…….**	
Pirita	**……**	**……**	**….**		
Calcopirita		**……**			
Esfalerita		**……**			
Galena		**……**		**…**	
Bornita		**…**			
Tetrahedrita				**…**	
Tennantita					
Oro		**…**			
Plata		**…**			
Calcosina					**……**
Covelina					**……**
ES, Enrrquecimiento Secundario					

Figura 10. *Estadios de mineralización.*

Fuente*: Paladines y Rosero, 1996.*

6.9. Alteraciones presentes en el Distrito minero

La propilitización penetrativa es la asociación más extendida a escala regional, pero la silificación, argilización y la alteración fílica están presentes en forma local, principalmente confinada a las partes centrales del sistema mineralizado. La alteración argílica intermedia a avanzada y la silificación intensa ocupan un área que se ensancha hacia el Norte desde Portovelo hacia Arcapamba. (Prodeminca, 2000).

A una menor escala las vetas minerales presentan halos de alteración con una asociación de cuarzo-clorita-sericita-adularia-calcita y localmente pirita. Spencer en 2002, plasmo

un mapa de la distribución de alteraciones en el distrito, en la zona de estudio podríamos encontrar alteración de epidota a actinolita. (Ver Anexo 6).

6.10. Geología del sitio de estudio

En la concesión se pudo observar algunos afloramientos correspondientes a la Unidad Portovelo al Este de la concesión a lo largo del recorrido de cuerpo hídrico quebrada Honda, la litología está comprendida por andesitas diaclasadas de textura afanítica en algunos sitios pudiéndose interpretar como lavas (ver fotografía 1), estas rocas pertenecen al Miembro Muluncay que conforma la base del distrito (Bonilla W., 2009). Las vetas mantienen un buzamiento al Este, por lo cual estarían aflorando en las partes altas de la concesión situadas al Oeste, sin embargo, se pudo observar una veta en el corte de vía que sirve de acceso al campamento.

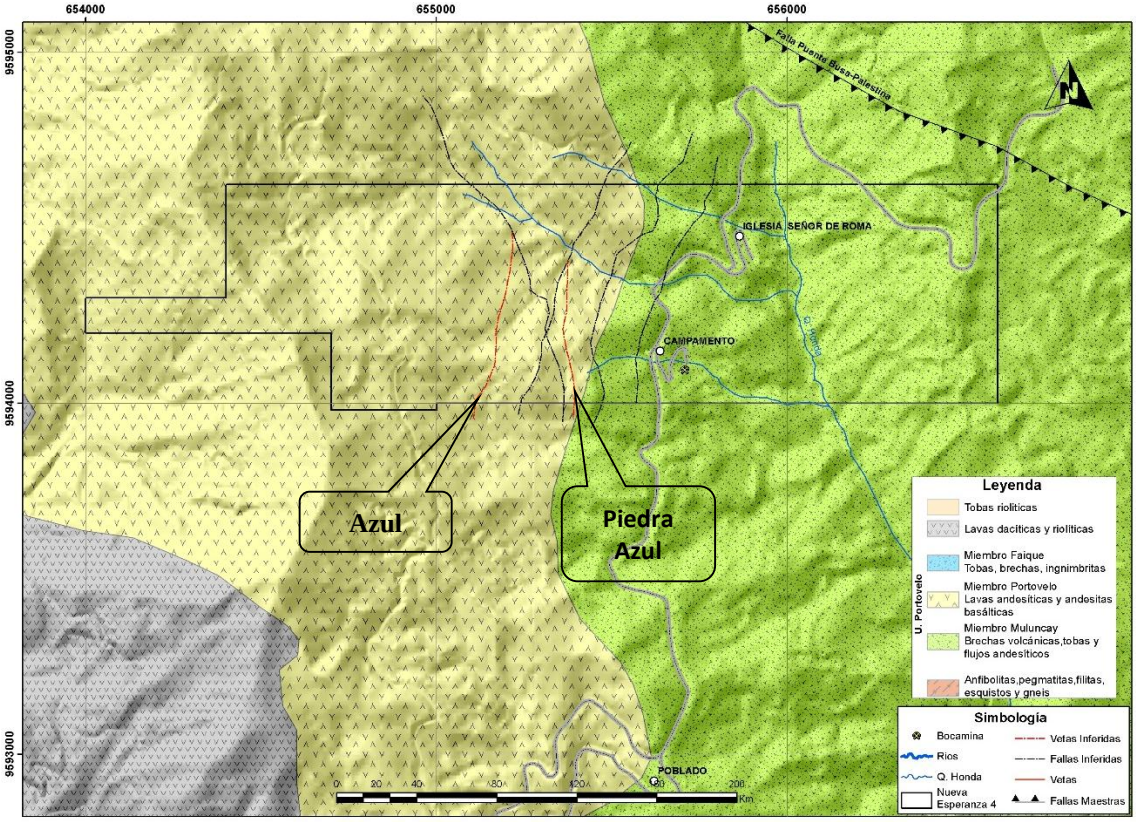


Figura 11. *Mapa geológico de la concesión con lineaciones encontradas en superficie.*
Fuente: *Bonilla 2009.*

Al Oeste de la concesión se observó elevaciones de hasta 1570 msnm, generando salientes en el relieve y alineaciones en la topografía (ver figura 11); pudiéndose interpretar como la evidencia superficial de las estructuras secundarias encontradas interior mina y generadas por la zona de cizalla entre la falla Piñas- Portovelo y Puente Busa-Palestina, este sector está comprendido por andesitas hornblenditicas a basálticas, del Miembro Portovelo, que sobreyace al miembro Muluncay (ver Fotografía 2)

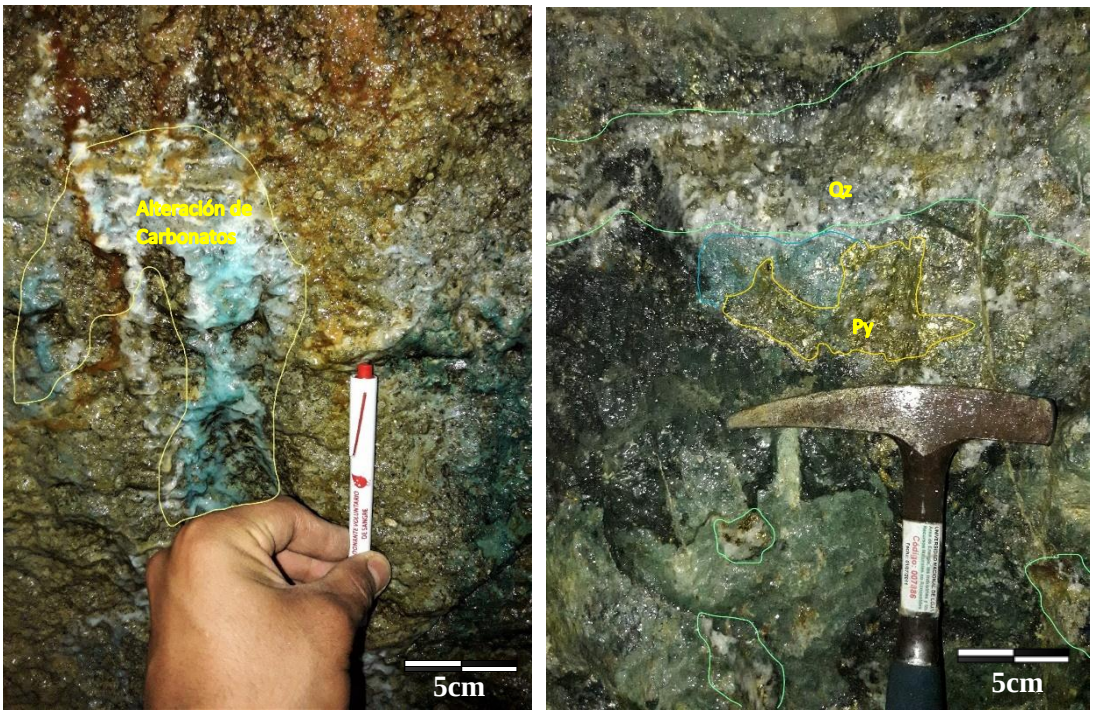
Fotografía 1. *Diaclasamientos del Miembro Muluncay*

Fotografía 2. *Andesitas del Miembro Portovelo*

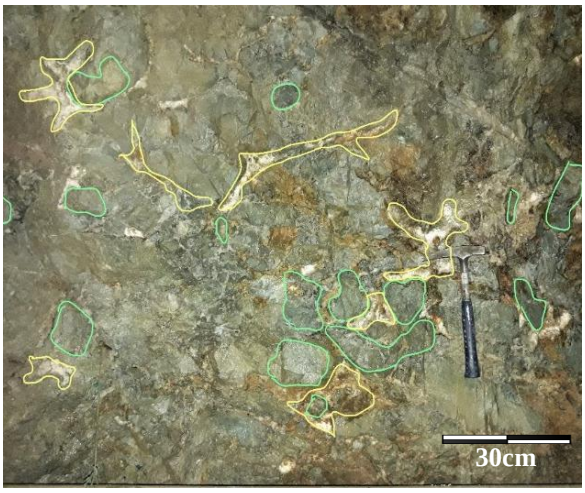
6.11. Geología de la galería subterránea

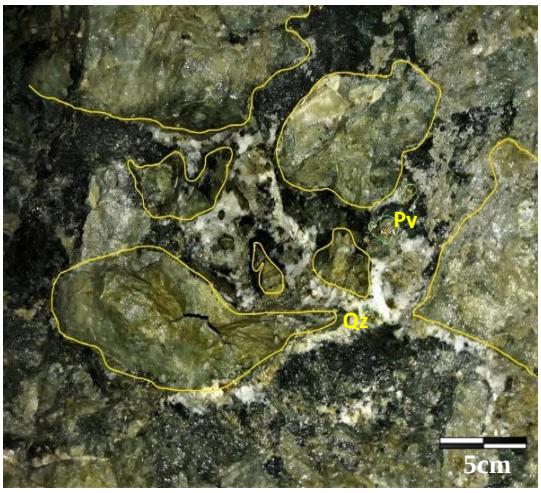
La geología interior mina está representada en el Anexo 7, de forma general está conformada por andesitas, andesitas con textura porfirítica y andesitas basálticas, localmente la composición de la andesita cambia a una composición casi riolítica debido a la cercanía de las estructuras mineralizadas. Además, se encontraron brechas hidrotermales mineralizadas con pirita y calcopirita, brechas freáticas, y otras brechas de reemplazamiento de una andesita porfirítica a una andesita más típica, también se encontraron una secuencia de lavas andesíticas a riolíticas que se orientan al SW. A continuación, se detalla la litología:

La geología de interior mina se caracteriza por andesitas ligeramente alteradas por aguas de infiltración hasta 25 metros desde la bocamina, continuando existen andesitas grises con Py de forma esporádica hasta las coordenadas [655667;9594093], posterior existe una brecha hidrotermal con soldadura de sílice, alteración de sericita, turmalina y feldespatos; al Este tiene un contacto irregular constituido por una andesita fluoritizada y localmente con carbonatos producto de la alteración supérgena, continuando al W la brecha es menos alterada pero más enriquecida en pirita , también existen nódulos de ortosa con estructura de brecha, aquellos clastos son de composición andesítica, la presencia de Ortoclasa podría estar relacionada al proceso de ebullición. Esta litología termina en las coordenadas [655642;9594093].

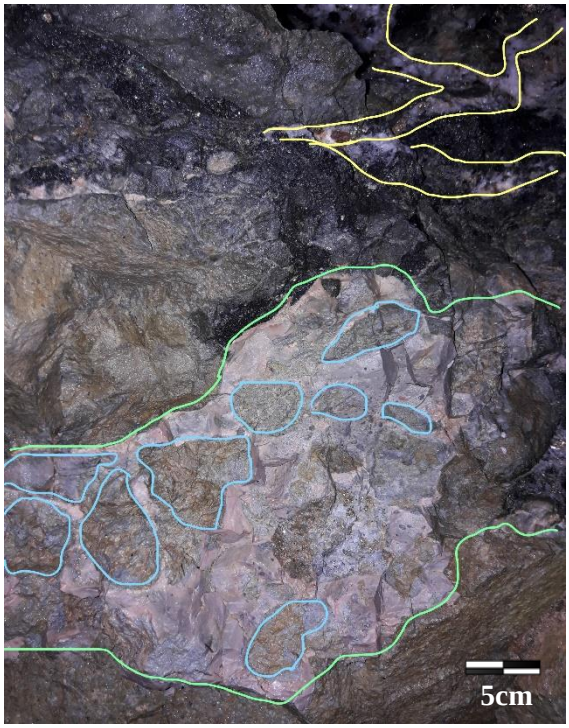


Fotografía 3 y 4. *Alteración supérgena de carbonatos y mineralización de pirita en brecha hidrotermal.*





Fotografía 5 y 6. *Constitución de clastos andesítica en brecha hidrotermal con soldadura de sílice. Localmente existe oxidación de sulfuros.*

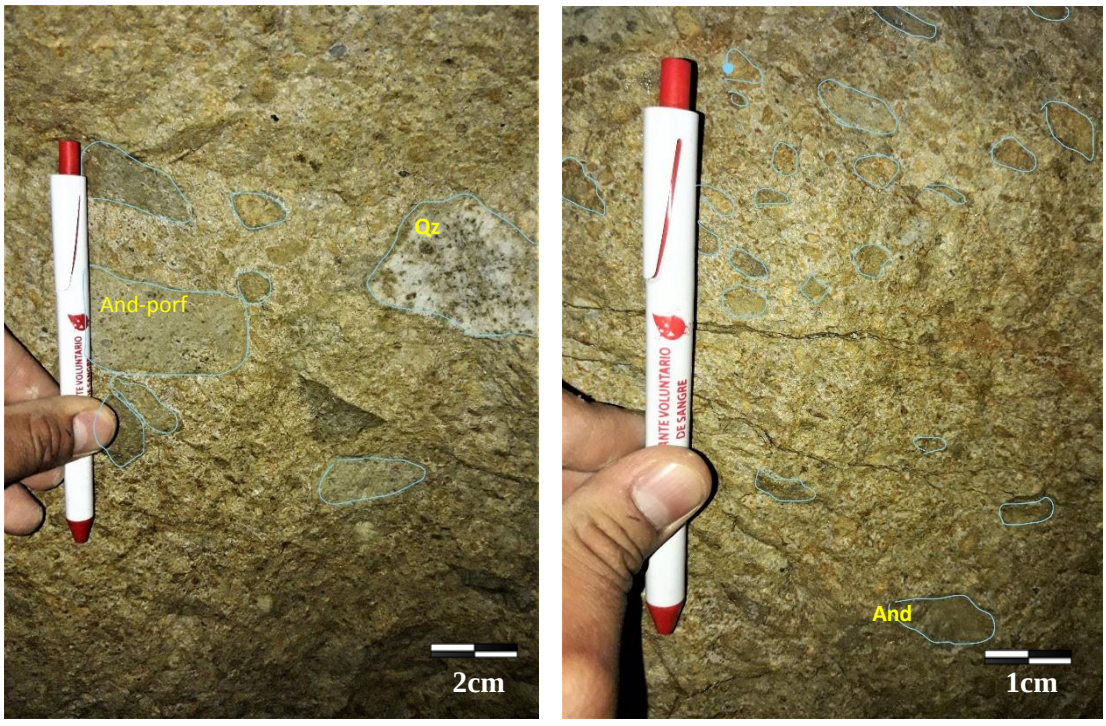


Fotografía 7. *Ortosa conformando localmente la matriz de brecha hidrotermal*

Posterior continua la andesita gris hasta las coordenadas [655591;9594093], este sector esta ligeramente diaclasado; en las coordenadas [655629;9594093] se encuentra una falla normal con orientacion NE y un buzamiento de 66° hacia el SE, localmente existe alteracion sericitica y relleno de cuarzo en vetillas.

Seguidamente a la estacion posterior, existe una zona brechada interpretada como una becha freática con una geometria irregular, los clastos son andesíticos con textura porfiritica se presentan redondeados a subredondeados y altamente alterados con silificación y argilitización, esta ultima en especial altera a la matriz de la brecha. Este tipo de brechas esta asociado con paleofuentes termales, esta estructura termina en las coordenadas [655573;9594093]. Otras brechas de similares caracteristicas se encuentran presentes en las coordenadas siguientes [655547:9594093],[655511;9594093]; siendo mas pequeñas que la anterior pero con geometría irregular, los clastos son andesíticos subredondeados y también presentan alteración.

En las coordenadas [655326;9594093] existe una brecha freática en contacto con andesitas basálticas, presentan intercambio de materiales, es asi que clastos andesíticos grises estan presentes en andesitas basálticas y viceversa.

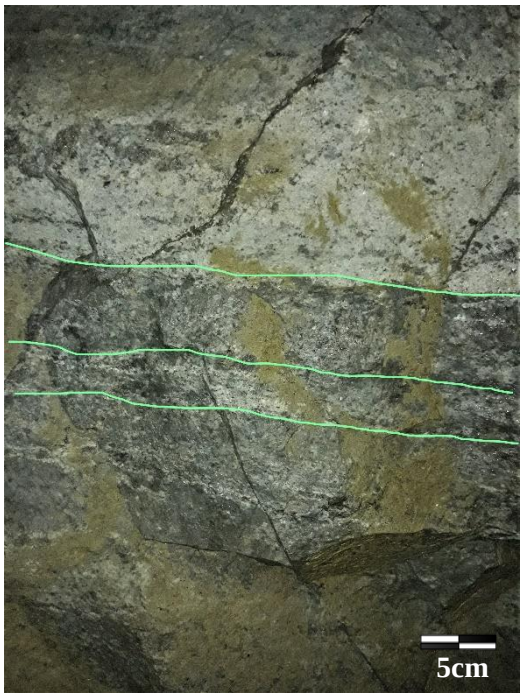


Fotografía 8 y 9. *Brecha freática, nótese la Silificación en clasto andesítico y la geometría de los clastos, la matriz está fuertemente alterada.*

Andesitas de coloración gris se encuentran albergando a estos cuerpos brechados, localmente presentan textura porfirítica y mineralización de Py y Ortosa, este sector

presenta un fuerte diaclasamiento y algunas vetillas se encuentran rellenadas con Qz lechoso.

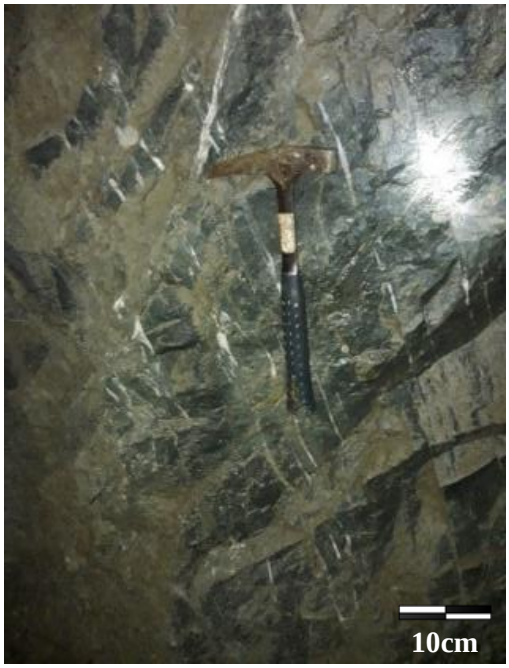
Algunas vetas que no son de interés económico se presentan en las coordenadas: [655550;9594093], esta con rumbo NW y buza 55° hacia el NE, con una potencia de 60 cm; mineralización de Py, Ccp y hematita son visibles en esta estructura, posiblemente esta estructura se conecta a una brecha freática. Otra estructura se ubica en el punto [655524;9594093], mantiene un rumbo N-NE y buza 69° al E, es observable en la galerias transversales con textura coloforme y relleno de silice drusiforme. Seguidamente la litología cambia a andesitas basálticas ligeramente diaclasadas. En las coordenadas [655493;9594093], se evidencia intercalaciones de lavas andesiticas a rioliticas con un buzamiento aparente al SW, pudiendo relacionarce a un contacto entre el Miembro Muluncay y Portovelo.



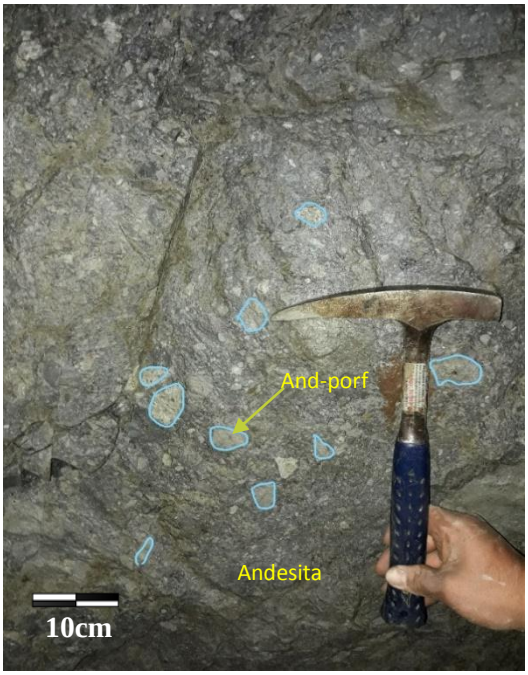
Fotografía 10. *Lavas de composición andesítica y riolíticas intercaladas*

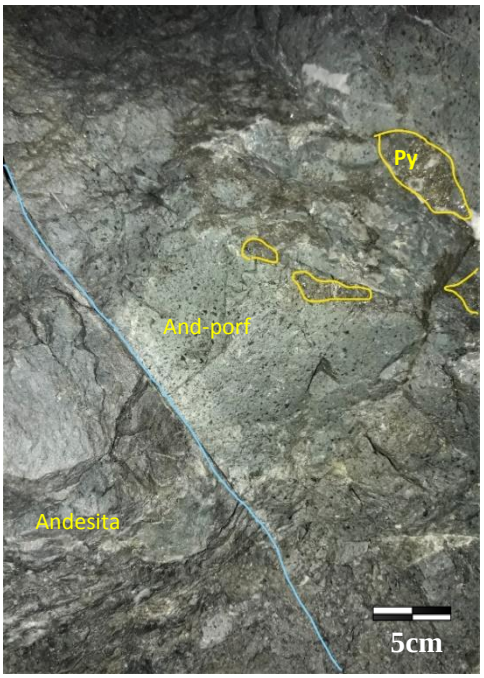
La andesita se torna oscura con coloraciones verdosas al llegar a las andesitas basálticas en las coordenadas [655474;9594093] y se extiende por 29 metros al W, esta zona está fuertemente diaclasada, además vetillas con rumbo N- NE y buzamiento al Este, están rellenadas por cuarzo y epidota localmente, existe cambios a tonalidades gris claras como contactos de las vetillas debido a la Silificación. La roca presenta fenocristales de

hornblenda de 4mm y agregados de olivino en la matriz. Al parecer representa a un cuerpo ígneo tabular orientado hacia el NW (Ver Fotografía 10). Andesitas basálticas similares se presentan en [655334;9594093], en contacto irregular con brecha freática y en las cordendas [655247;9594093], presentando venillas de epidota, cuarzo y ortosa, parcialmente hematita y localmente la roca esta seritizada; estas litologías están pobremente diaclasadas. En las coordenadas [655051;9594093] se presenta un pequeño cuerpo con geometría tabular que continua 2 metros hacia el W, también constituido por andesita basáltica.



Fotografía 11. *Andesita basáltica con diaclasamiento y vetillas de cuarzo.*





Fotografía 12 y 13. *Andesita basáltica con agregados de andesita porfirítica continua al contacto con brecha freática y transición de andesita basáltica a localmente una andesita gris porfirítica con mineralización de pirita.*

A partir de la coordenada [655445;9594093] la geología corresponde a andesitas grises y andesitas con textura porfiríticas, localmente mineralizadas con pirita, presentan epidota en matriz y parcialmente sericita, en [655408;9594093] existe la veta denominada Piedra Azul la cual está afectada al Norte por una falla en sentido N-S, que produjo una zona de cizalla de 11 metros al W de este punto, posterior a esta estructura la andesita es fuertemente diaclasada evidenciando un relleno silicio en discontinuidades, también presenta vetillas con relleno de cuarzo. En [655365;9594093] al margen izquierdo se pudo observas una estructura tipo Stockwork con pirita, que produjo una fuerte Silificación de

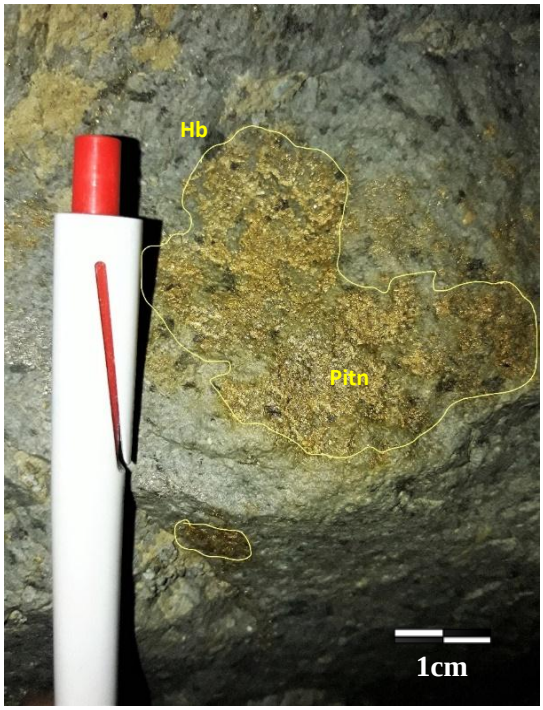
la andesita, algunas venillas se encontraban con sericita. Andesitas porfiríticas con fenocristales de hornblenda también se encontraron cercanas a este sitio.

Fotografía 14 y 15. *Stockwork y andesita porfirítica.*

Desde el punto [655317;9594093] las andesitas continuan siendo porfiríticas al W, presentan localmente epidota, vetilleo de cloritas, parcialemnte contienen fenocristales de hornblendas; el sector esta moderadamente diaclasado. En las coordenadas [655218;9594093] y continuando 40 metros al W, las andesitas presentan venillas de cuarzo con ortosa, epidota y un aumento de la silificación se manifiesta como halos de estas vetillas.

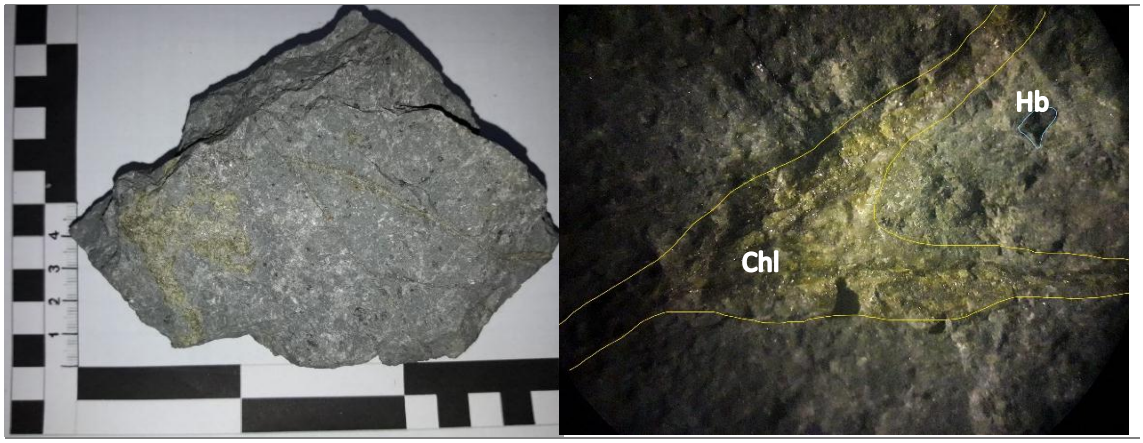
En las coordenadas [655139;9594093], la andesita gris continua y se extiende hasta el final de la galeria, en algunas cavidades presenta relleno de cuarzo, epidota; es apreciable la seritizacion de plagioclasas.

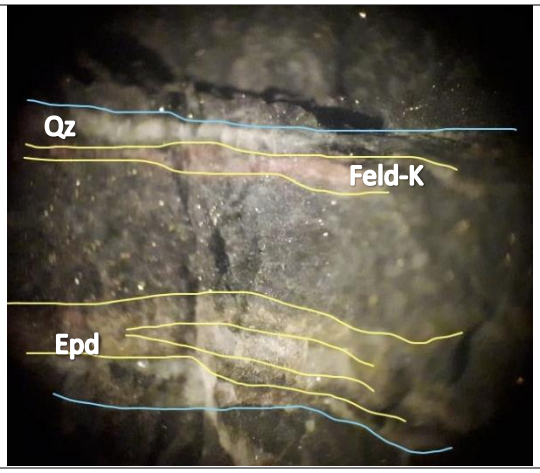
Fotografía 16 y 17. *Andesita con cristales de epidota y cuarzo, y andesita porfirítica.*



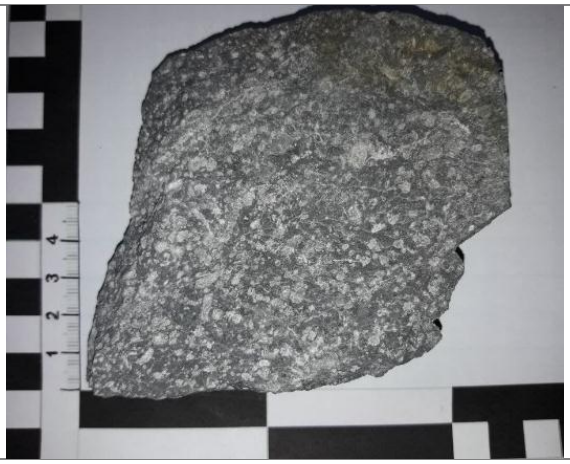
Fotografía 18 y 19*. Andesitas con hornblenda y pirrotina, y andesita porfirítica con epidota, cuarzo y biotita.*

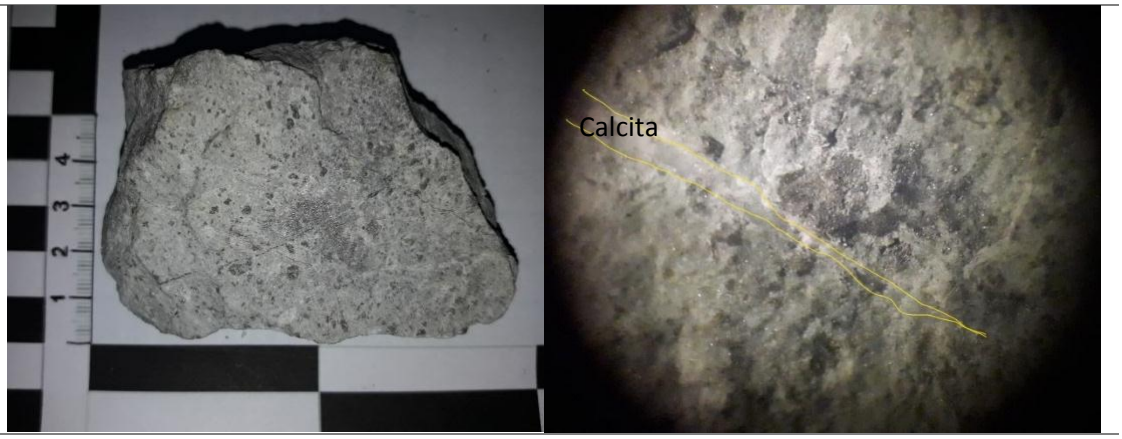
6.11.1. Análisis Binocular de muestras de roca caja

<table>
<tr><td colspan="4">M1-ai.417</td></tr>
<tr><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de Mano</td><td colspan="2">Análisis Binocular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Tipo de roca</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud: 655290
Latitud: 9594.097
Elevación: 1089 msnm</td><td colspan="2">Roca Volcánica de composición Intermedia</td></tr>
<tr><td>Color</td><td>Gris</td><td>Textura</td><td>Afanítica</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Composición</td><td>Matriz</td><td colspan="2">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>95%</td><td colspan="2">5%</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Minerales</td><td>Nombre</td><td>Porcentaje</td><td>Características Distintivas</td></tr>
<tr><td>Plagioclasa</td><td>44%</td><td></td></tr>
<tr><td>Hornblenda</td><td>10%</td><td></td></tr>
<tr><td>Piroxenos</td><td>18%</td><td>Augita</td></tr>
<tr><td>Cuarzo</td><td>8%</td><td></td></tr>
<tr><td>Pirita</td><td>8%</td><td>Cristales cúbicos conformando matriz</td></tr>
<tr><td>Calcita</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>12%</td><td>Magnetita, bornita, calcopirita y clorita</td></tr>
<tr><td>Alteración</td><td>Cloritización</td><td>Nombre de la Roca</td><td>Andesita afanítica</td></tr>
<tr><td>Conclusiones</td><td colspan="3">La andesita presenta vetilleo de clorita, correspondiente a la alteración propilítica la cual se produce en niveles bajos de hidrólisis.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">M2-ai.536</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de Mano</td><td colspan="2">Análisis Binocular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Tipo de roca</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud: 655175
Latitud: 9594.097
Elevación:1089 msnm</td><td colspan="2">Roca Volcánica de composición Intermedia</td></tr>
<tr><td>Color</td><td>Gris Claro a Oscuro</td><td>Textura</td><td>Afanítica</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Composición</td><td>Matriz</td><td colspan="2">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>93%</td><td colspan="2">7%</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Minerales</td><td>Nombre</td><td>Porcentaje</td><td>Características Distintivas</td></tr>
<tr><td>Plagioclasa</td><td>41%</td><td>Parcialmente hidrolizados</td></tr>
<tr><td>Hornblenda</td><td>13%</td><td></td></tr>
<tr><td>Piroxenos</td><td>19%</td><td>Augita</td></tr>
<tr><td>Cuarzo</td><td>8%</td><td></td></tr>
<tr><td>Pirita</td><td>6%</td><td>Cristales cúbicos</td></tr>
<tr><td>Calcita</td><td>4%</td><td>Venillas</td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>9%</td><td>Bornita y calcopirita</td></tr>
<tr><td>Alteración</td><td>Propilítica y localmente adularia</td><td>Nombre de la Roca</td><td>Andesita</td></tr>
<tr><td>Conclusiones</td><td colspan="3">La roca de composición andesítica presenta alteración propilítica por las venillas de calcita; La vetilla apreciable en la imagen está conformada por clorita, cuarzo y ortosa intercrecida; la ortosa puede estar asociada a procesos de ebullición.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">M3-ad.45</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de Mano</td><td colspan="2">Análisis Binocular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Tipo de roca</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud: 655660
Latitud: 9594.097
Elevación: 1089 msnm</td><td colspan="2">Roca Volcánica Alterada</td></tr>
<tr><td>Color</td><td>Verde Claro a gris</td><td>Textura</td><td>Afanítica</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Composición</td><td>Matriz</td><td colspan="2">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>96%</td><td colspan="2">4%</td></tr>
<tr><td rowspan="9">Minerales</td><td>Nombre</td><td>Porcentaje</td><td>Características Distintivas</td></tr>
<tr><td>Plagioclasa</td><td>20%</td><td></td></tr>
<tr><td>Hornblenda</td><td>6%</td><td></td></tr>
<tr><td>Piroxenos</td><td>5%</td><td>Augita</td></tr>
<tr><td>Cuarzo</td><td>15%</td><td></td></tr>
<tr><td>Pirita y calcopirita</td><td>14%</td><td>Alineaciones de cristales Cúbicos</td></tr>
<tr><td>Calcita</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>40%</td><td>Fluorita</td></tr>
<tr><td>Alteración</td><td>Por fluorita</td><td>Nombre de la Roca</td><td></td></tr>
<tr><td>Conclusiones</td><td colspan="3">La roca original es la andesita, esta alterada por fluorita relacionada al contacto de una brecha hidrotermal y la andesita del Miembro Muluncay, contiene abundantes sulfuros.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">M4-ad. 268</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de Mano</td><td colspan="2">Análisis Binocular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Tipo de roca</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud: 655435
Latitud: 9594.097
Elevación: 1089 msnm</td><td colspan="2">Roca Volcánica de composición Intermedia</td></tr>
<tr><td>Color</td><td>Gris</td><td>Textura</td><td>Porfirítica</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Composición</td><td>Matriz</td><td colspan="2">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>65%</td><td colspan="2">35%</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Minerales</td><td>Nombre</td><td>Porcentaje</td><td>Características Distintivas</td></tr>
<tr><td>Plagioclasas</td><td>42%</td><td>Medianamente alteradas</td></tr>
<tr><td>Hornblenda</td><td>10%</td><td></td></tr>
<tr><td>Piroxenos</td><td>18%</td><td></td></tr>
<tr><td>Cuarzo</td><td>12%</td><td>Opaco</td></tr>
<tr><td>Pirita</td><td>6%</td><td>Cristales cúbicos y octaedros con caras estriadas</td></tr>
<tr><td>Calcita</td><td>2%</td><td>Infiltrada en venillas</td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>10%</td><td></td></tr>
<tr><td>Alteración</td><td>Caolinización de plagioclasas e infiltración de carbonatos</td><td>Nombre de la Roca</td><td>Andesita Porfirítica</td></tr>
<tr><td>Conclusiones</td><td colspan="3">La roca es volcánica de composición andesítica, presenta textura porfirítica con alteración argílica intermedia y lixiviación de carbonatos en la roca.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">M5-ad.429</td></tr>
<tr><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de Mano</td><td colspan="2">Análisis Binocular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Tipo de roca</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud: 655270
Latitud: 9594.097
Elevación: 1089 msnm</td><td colspan="2">Roca Volcánica félsica</td></tr>
<tr><td>Color</td><td>Gris Clara</td><td>Textura</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Composición</td><td>Matriz</td><td colspan="2">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>85%</td><td colspan="2">15%</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Minerales</td><td>Nombre</td><td>Porcentaje</td><td>Características Distintivas</td></tr>
<tr><td>Plagioclasas</td><td>36%</td><td></td></tr>
<tr><td>Hornblenda</td><td>9%</td><td></td></tr>
<tr><td>Piroxenos</td><td>7%</td><td></td></tr>
<tr><td>Cuarzo</td><td>28%</td><td></td></tr>
<tr><td>Pirita</td><td>7%</td><td>Cristales cúbicos</td></tr>
<tr><td>Calcita</td><td>8%</td><td></td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>5%</td><td>Galena y bornita</td></tr>
<tr><td>Alteración</td><td>Sílica y Carbonato</td><td>Nombre de la Roca</td><td></td></tr>
<tr><td>Conclusiones</td><td colspan="3">La roca original es una Andesita que esta silificada, con venillas de microcristales de calcita espática y mineralización de sulfuros en su matriz</td></tr>
</table>

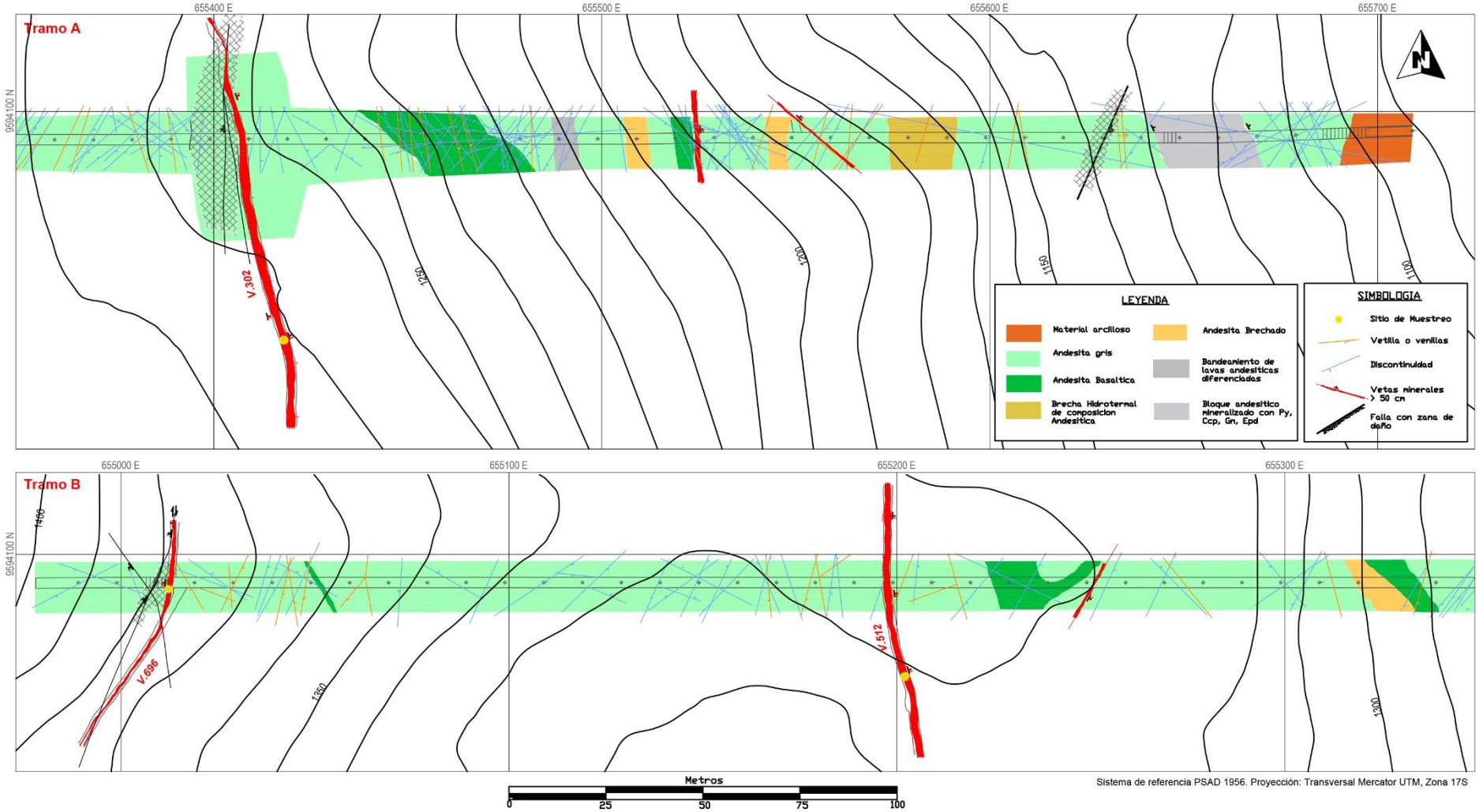


Figura 12. *Mapa geológico interior mina, mayor detalle en anexo 7.* ***Fuente****: Autor.*

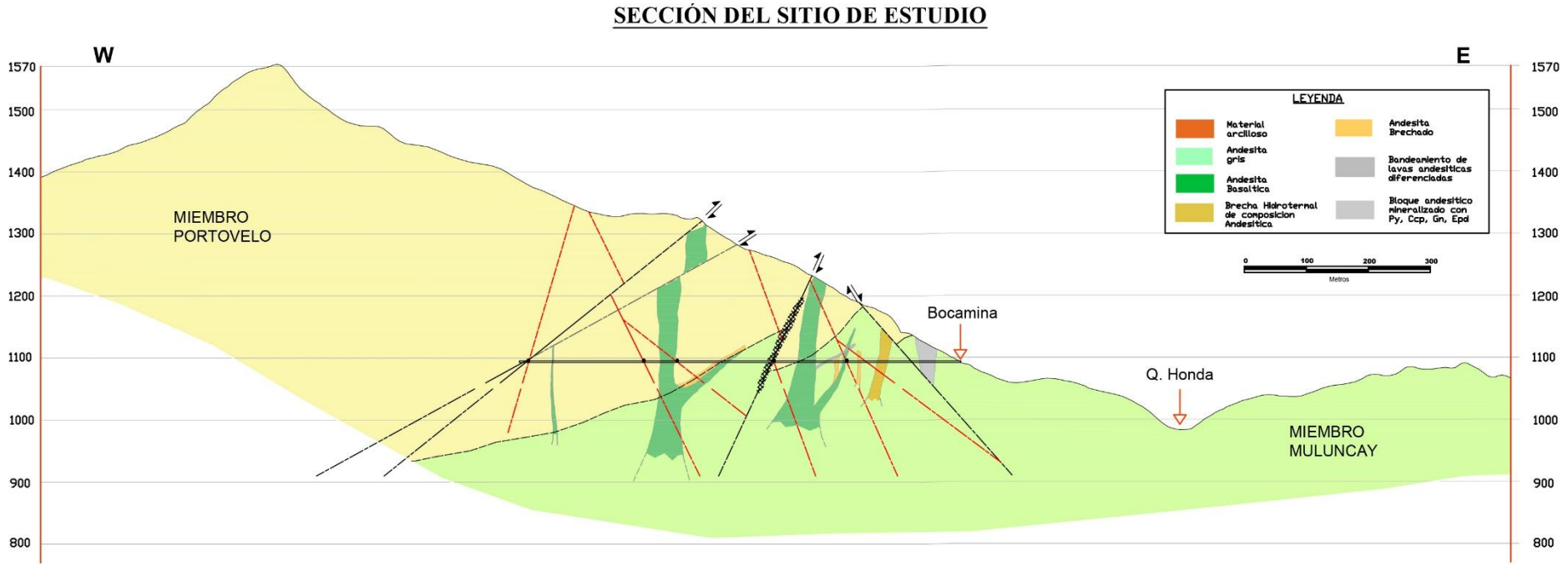


***Figura 13**. Sección de la concesión Nueva Esperanza 4.*

***Fuente:** Autor.*

6.11. Estructuras encontradas interior mina

6.11.1. Caracterización de fallas y fracturas.

En la galería se han podido evidenciar cuatro fallas, las mismas que ubicadas de E a W estarían dispuestas en el siguiente orden, en las coordenadas [655629;9594093], se evidencia una falla normal con rumbo N24°E y buzamiento de 66° al SE, dicha estructura no estaría relacionada al control de la mineralización; seguidamente en las coordenadas [655402;9594093] es visible una falla con rumbo N con ligeras variaciones al E y buzamiento de 65°al W, su cinemática corresponde a una falla antitética respecto a las fallas regionales, esta estructura ha producido una amplia zona de fracturamiento de más de 11 metros a lo largo de la galería principal, adicionalmente controla los desplazamientos de la veta denominada Piedra Azul al Norte de la galería; finalmente dos fallas son visibles en las coordenadas [655008;9594093], la primera con rumbo N a N26°E, buzando al NW con 52°; y la segunda con rumbo N35°W, buza al SW con 72°, pudiéndose interpretar como dos fallas inversas conjugadas, antitética y sintética respectivamente; estas fallas inversas son generadas por la influencia de fallas regionales en un sistema compresivo que genera una zona de cizalla simple, las fallas sintéticas son responsables del desplazamiento de la mineralización al W, para lo cual debieron mantener componentes de rumbo.

El análisis estructural de diaclasas nos permite conocer el número de familias mediante un diagrama de concentración de polos, existen dos familias dominantes representadas en el tercer y cuarto cuadrante las cuales tienen un rumbo NE y NW, con buzamientos elevados debido a la lejanía del origen del diagrama, una tercera familia de menor influencia se ubica en el segundo cuadrante también con ángulos de buzamiento elevados (Ver figura 14). La máxima concentración de polos en el análisis estereográfico es de 8%.

El diagrama de rosetas advierte de la abundancia de diaclasamiento con rumbo NE, las cuales son oblicuas a las fallas inversas encontradas y un menor número de diaclasamientos se orienta al NW; el diaclasamiento pudiere estar relacionado a un sistema de cizalla simple generado por esfuerzos orientados de N-S, a NNE-SSW.

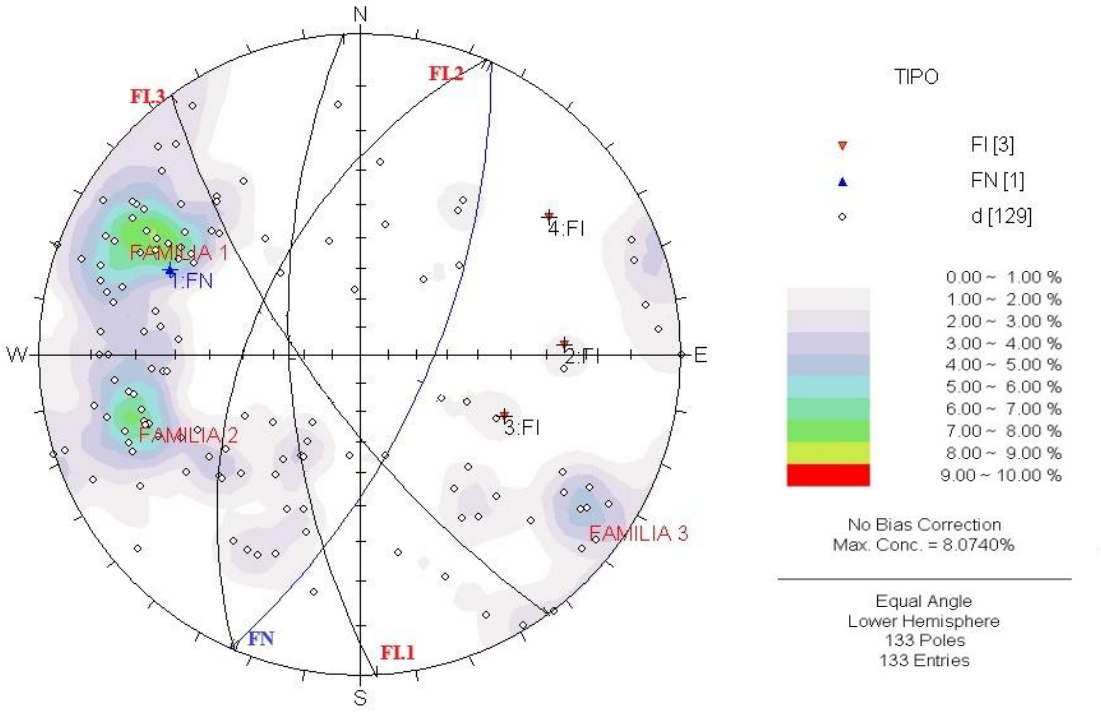


Figura 14. *Diagrama de concentración de polos para diaclasas y planos de fallas (FI, falla inversa; FN, falla norma; d, diaclasa).* ***Fuente:*** *Autor.*

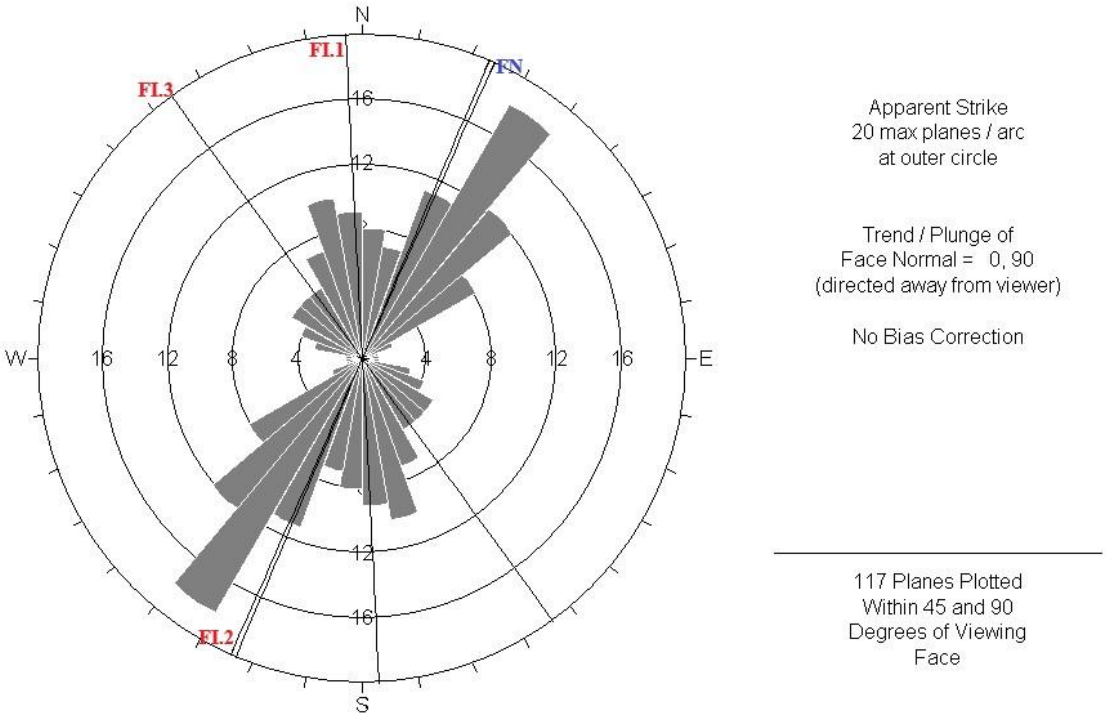


Figura 15*. Diagrama de rosetas para diaclasas en relación con las fallas del sistema. (FN, falla normal; FI, falla inversa).* ***Fuente:*** *Autor.*

Algunos indicadores cinemáticos encontrados en planos de falla nos permiten apreciar un desplazamiento de rumbo dextral en fallas que controlan la mineralización de la veta Azul, caracterizándola como fallas antitéticas del sistema Riedel, pero hay que considerar que los indicadores cinemáticos relevan solo el ultimo desplazamiento de la falla, por lo cual, no se descarta saltos verticales que se reflejan cambios en la orientación de estructuras mineralizadas.

Fotografía 20. *Plano de falla antes de cortar veta Azul al norte de la galería, flechas rojas indican un movimiento dextral del bloque ausente.*

6.11.2. Caracterización de vetas y vetillas

El diagrama de concentración de polos representa dos concentraciones de vetillas, la primera familia de mayor importancia se concentra al margen W del diagrama, conformada por vetillas con buzamientos moderados a elevados, la orientación de estas estructuras estaría relacionada a las vetas de interés (V.302- Piedra Azul y V.512-Brechada); con menor influencia, la segunda familia de vetillas se agrupa al margen E del diagrama. La máxima concentración de polos se manifiesta en 19.5%.

Adicionalmente las vetillas y vetas de interés económico comparten la misma orientación que va de N-NW a S-SE; originalmente los esfuerzos estuvieron orientados de NNE-

SSW y las estructuras mineralizadas se formaron paralelas a estos esfuerzos, posteriormente un sistema de cizalla simple ocasionado por la dinámica de las fallas regionales y cambios en la orientación de los esfuerzos produjeron la rotación sinestral del sistema mineralizado. La abundancia de vetillas en la misma dirección que las vetas mayores y de interés económico, esto podría estar relacionada a un mismo tiempo de formación.

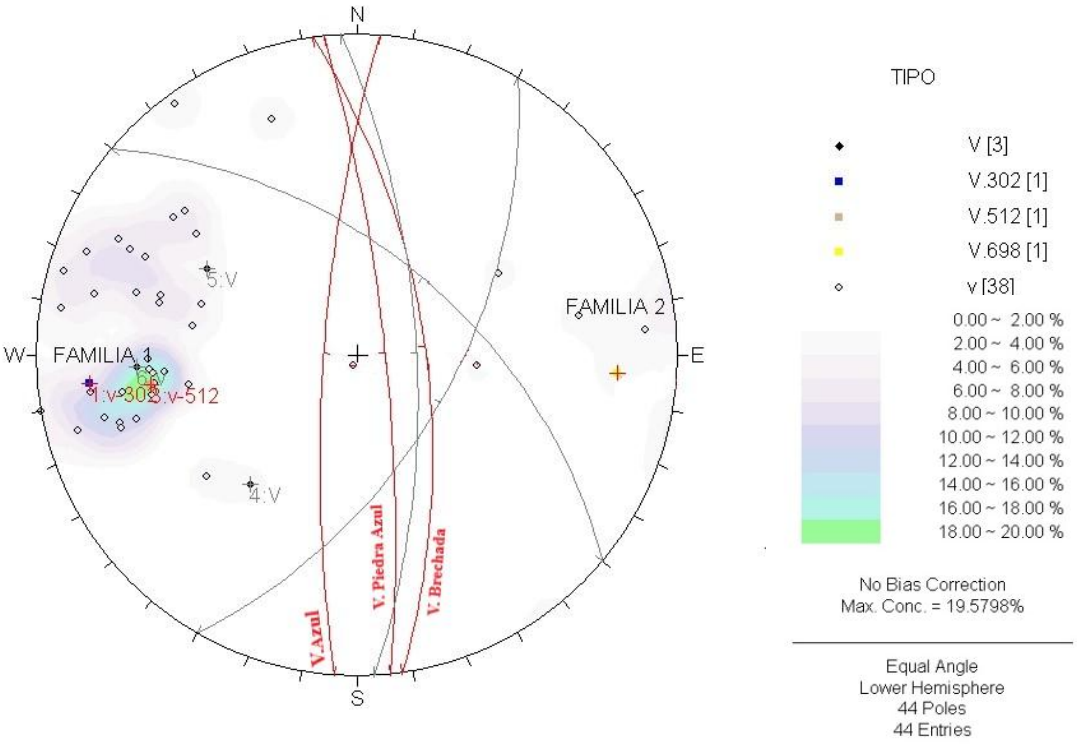


Figura 16. *Diagrama de concentración de polos de vetillas y planos de vetas (planos en color rojo vetas de interés).* ***Fuente****: Autor.*

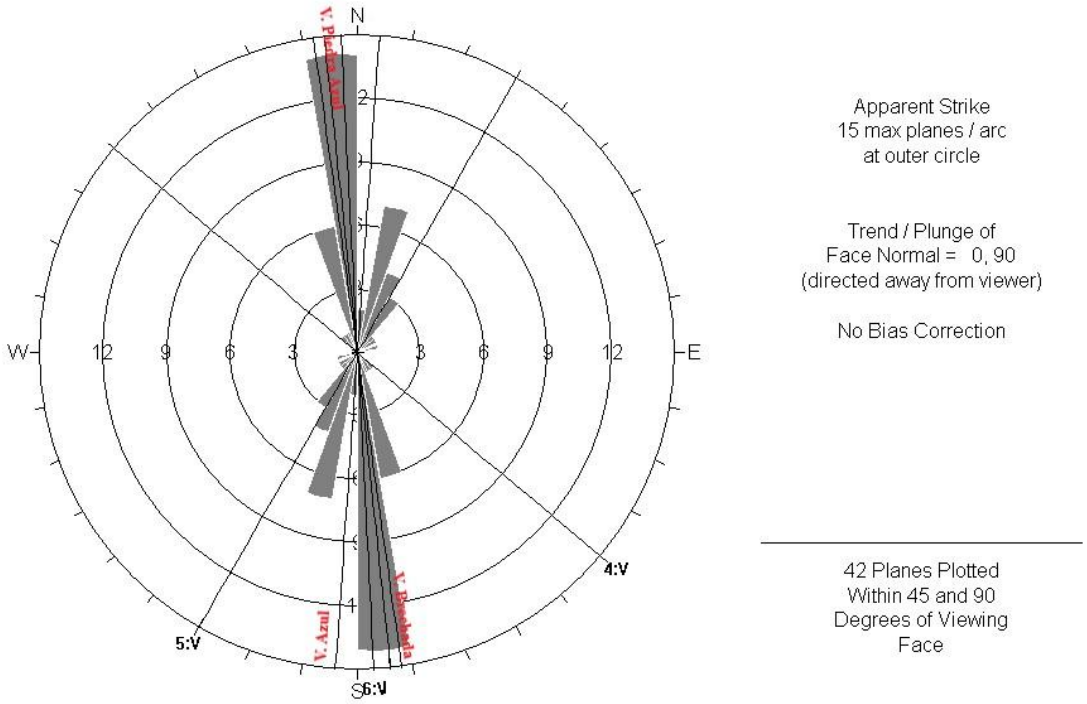


Figura 17. *Diagrama de rosetas para vetillas y vetas (líneas de color negro son planos de vetas).* ***Fuente:*** *Autor*

6.12. Caracterización de estructuras mineralizadas

6.12.1. Veta Piedra Azul (V.302)

La veta Piedra Azul es ubicada a 302 metros desde la bocamina, en las coordenadas [655407; 9594093]se extiende desde el punto G302 a P4 de forma continua, en su trayecto varia de rumbo N2°E a N10°W, con buzamientos de 65 a 84° hacia el Este, se encuentra formada en rocas andesíticas con alteración propilítica, sericítica y con oxidaciones al sur. Al norte la veta se encuentra atravesada por una falla antitética con dirección N3°E/W65°, controlando el desplazamiento de la mineralización, algunas interpretaciones en campo y los indicadores cinemáticos sugieren una falla inversa con componente de movimiento dextral, al sur se evidencia un plano de falla contiguo al contorno de la veta que podría ser relacionado a una falla (T) en un sistema Riedel.

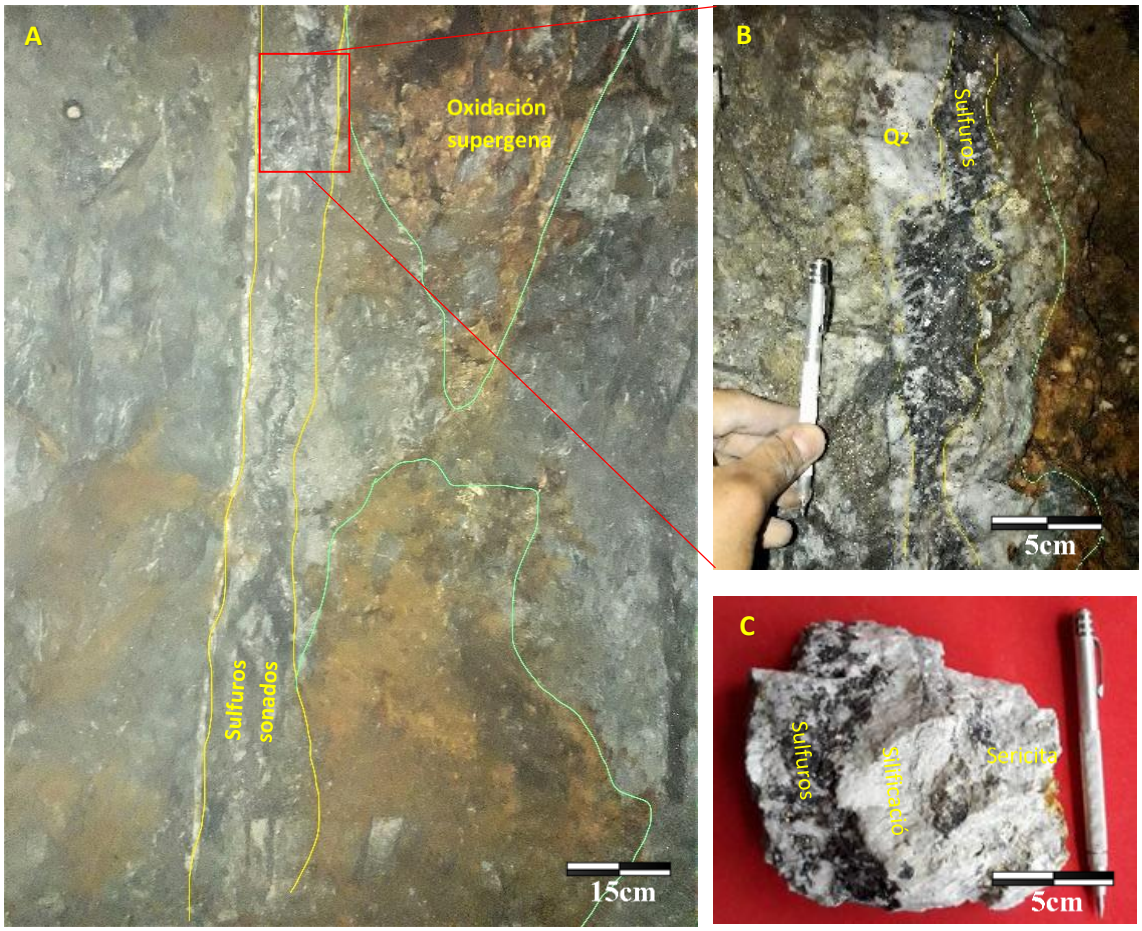


Figura 18. *A y B textura crustiforme, B) textura drusiforme localmente, C) muestra de mano (calcedonia).* ***Fuente:*** *Autor*

Este filón posee potencias variables y crecientes de N a S con valores de 15cm a 90 cm respectivamente, en donde los estrangulamientos ocasionados por los esfuerzos son de menor influencia (ver figura 12).

Un 88% de la veta corresponde a minerales de ganga, minerales de mena representan la plata, cobre y en menor cantidad oro asociados con sulfuros, sulfosales y metales base ocupan un +/-10 % de la estructura. Se identificaron los siguientes minerales de mena: esfalerita (Shp), galena (Gn), argentita (Arg), bornita (Bn), pirita (Py), calcopirita (Ccp), covelina (Cv), marcasita (Mrc), conjuntamente con presencia de calcedonia (Calc), cuarzo (Qz), adularia (Ad), carbonatos (Cb), illita y caolinita.

De forma general las láminas permiten definir una textura granular hipidiomórfica, pero el estudio macroscópico y microscópico permiten definir los siguientes grupos de texturas para algunos cristales minerales.

- Texturas primarias de relleno: entre ellas la textura crustiformes o layer cake, definida por ADAMS (1920), caracterizada por alternancia de bandas hacia los hastiales en este caso bandas de cuarzo alternadas con bandas de sulfuros, además las texturas masivas se encontraban de manera zonada, caracterizada por cuarzo microcristalino cuya cristalización tiende a euhédricas, en algunos sitios cuarzo en cavidades con textura drusiforme (ver figura 18).
- Texturas modificadas: por eventos de recristalización está presente la textura flameante y plumosa definidas por Adams (1920), y Sander y Black (1988) la segunda consiste de cuarzo cristalino con apariencia de esquirlas o astillas en sus bordes o como parte de su estructura interna, debido a yuxtaposición de cristales, por su parte la textura flameante consta de agregados alrededor de los cristales primarios, originando contornos externos (ver figura 19). Relacionada a procesos de reemplazamiento se pudo identificar en muestra de mano la textura sacaroidal del cuarzo, denotando un aspecto homogéneo, de grano muy fino (hialino grisáceo a lechoso).

Las observaciones en el microscopio de luz trasmitida permiten identificar abundantes cristales prismáticos de clinopirxenos con bordes subehuedricos a anhédricos, tienen relieve alto y ángulos de extinción de 38 a 42°, en toda la lámina se puede observar fracturamientos de los minerales y en algunos sitios superposición de cristales. Los colores de birrefringencia corresponden al segundo orden, los clinopiroxenos podrían corresponder a diópsidos y augitas.

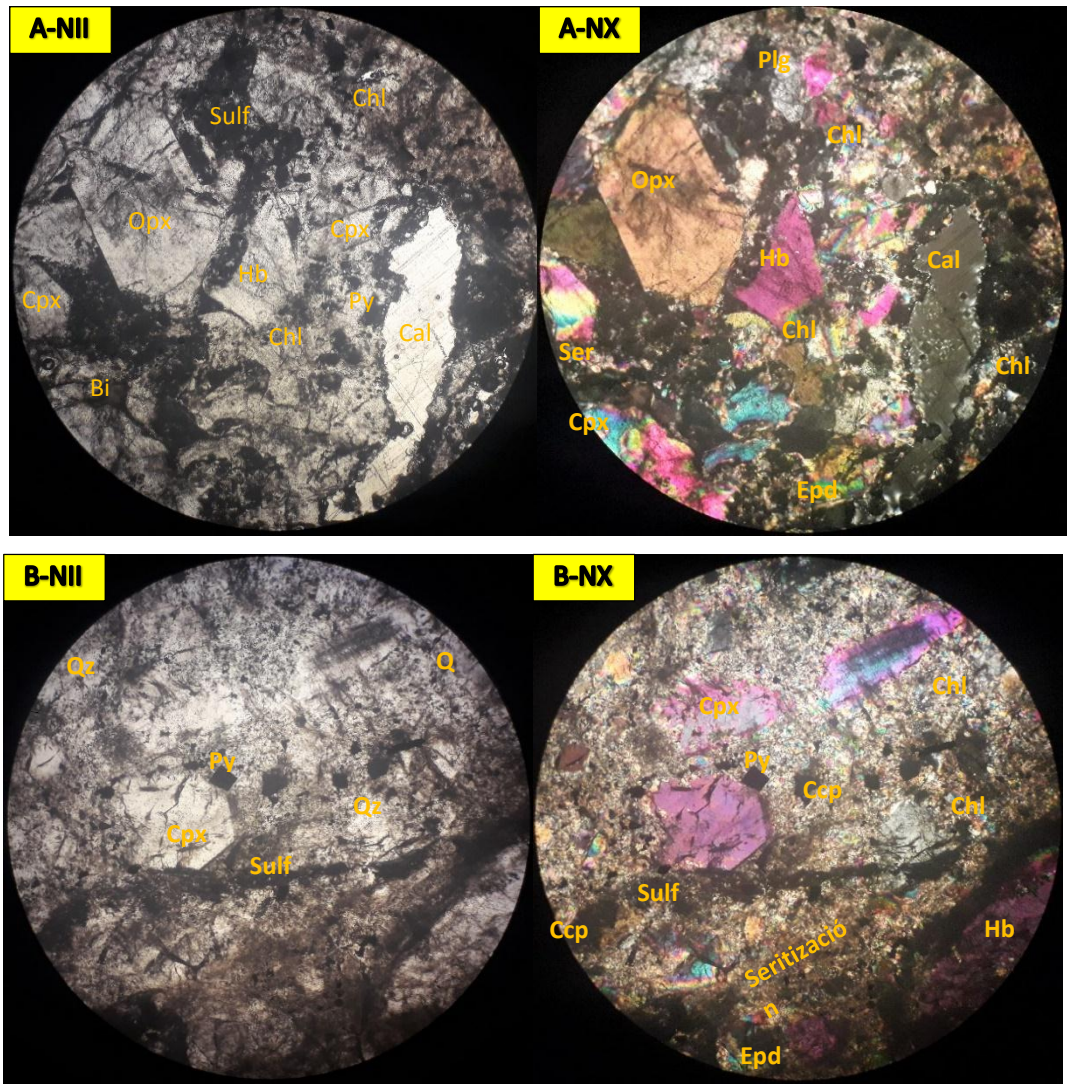
Los ortopiroxenos presentan hábitos prismáticos con bordes subehuedricos y relieve alto, algunos cristales con fracturamientos y textura de recristalización, mantienen una extinción en 83°, en sección paralela son incoloros, mantienen colores de birrefringencia de primer orden.

Anfíboles del subgrupo de clinoanfíboles como la hornblenda, están presentes como cristales anhédricos y habito regular, mantiene una extinción oblicua y exfoliación en 120°, tienen relieve moderado, los colores de birrefringencia corresponden al segundo orden.

Minerales de calcita es característico por colores de birrefringencia muy altos (colores topo pastel) y exfoliación romboédrica perfecta, con relieve bajo. Los cristales no presentan pleocroísmo y mantienen bordes xenomorfos.

Algunos minerales de cuarzo anhédricos con textura de recristalización, mantienen tamaños variados. Plagioclasas con relieve moderado, exfoliación perfecta y maclas polisintéticas son observables parcialmente en la lámina, otros feldespatos han sido alterados. Los sulfuros como pirita, pueden distinguirse por el sistema cúbico de los cristales opacos, otros minerales asociados como la esfalerita, galena, argentita y calcopirita.

Clorita es observada en los bordes de algunos piroxenos, sericita como alteración de algunos feldespatos y epidota por alteración de algunos anfíboles.



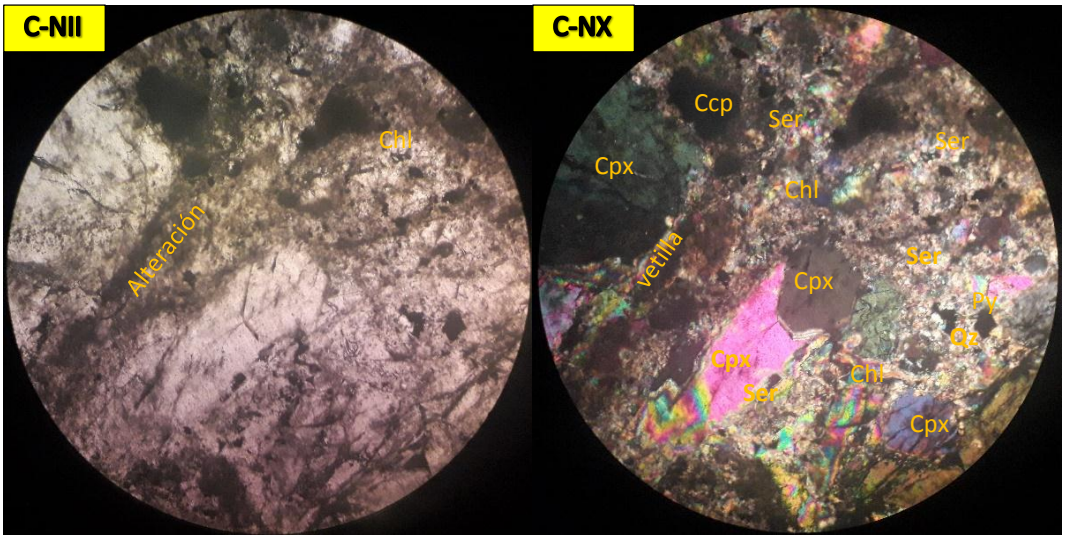


Figura 19. *A, B y C corresponden a observaciones microscópicas de la misma lámina generalmente con textura microcristalina. A) Nótese el color de la calcita y la exfoliación perfecta en NII, textura en puzzle; B) Textura plumosa interna, seritización por influencia de vetillas de sulfuros; C) Textura flameante en clinopiroxeno, cuarzo formando matriz textura microcristalina en puzzle. NII nicoles paralelos, NX nicoles cruzados.* ***Fuente:*** *Autor*

6.12.2. Veta brechada (V.512)

A 512 metros de la bocamina, en las coordenadas [655197; 9594093] existe una veta que se extiende de norte a sur, con variaciones de rumbo de N 5° E a N 10° W, y buza de 66° a 45° hacia el E incrementando su inclinación al N, se encuentra formada en rocas andesíticas con alteración propilítica. Posee potencias variables y crecientes de N a S con valores de 45cm a 90 cm respectivamente.

Un 94% de la veta corresponde a minerales de ganga, minerales de mena representan la plata, cobre y en menor cantidad oro asociados con sulfuros y metales base ocupan un +/- 5 % de la estructura.

Figura 20. *A) Textura brechoide en bordes de veta y masivo local; B) Vetillas de cuarzo en brechoide matriz sostén con mineralización de sulfuros; C) Muestra de con cloritización y Silificación.* ***Fuente:*** *Autor.*

Se identificaron los siguientes minerales de mena: esfalerita (Shp) rica en hierro, argentita (Arg), pirita (Py), calcopirita (Ccp), marcasita (Mrc), conjuntamente con presencia de calcedonia (Calc), cuarzo (Qz), adularia (Ad), carbonatos (Cb), illita y caolinita.

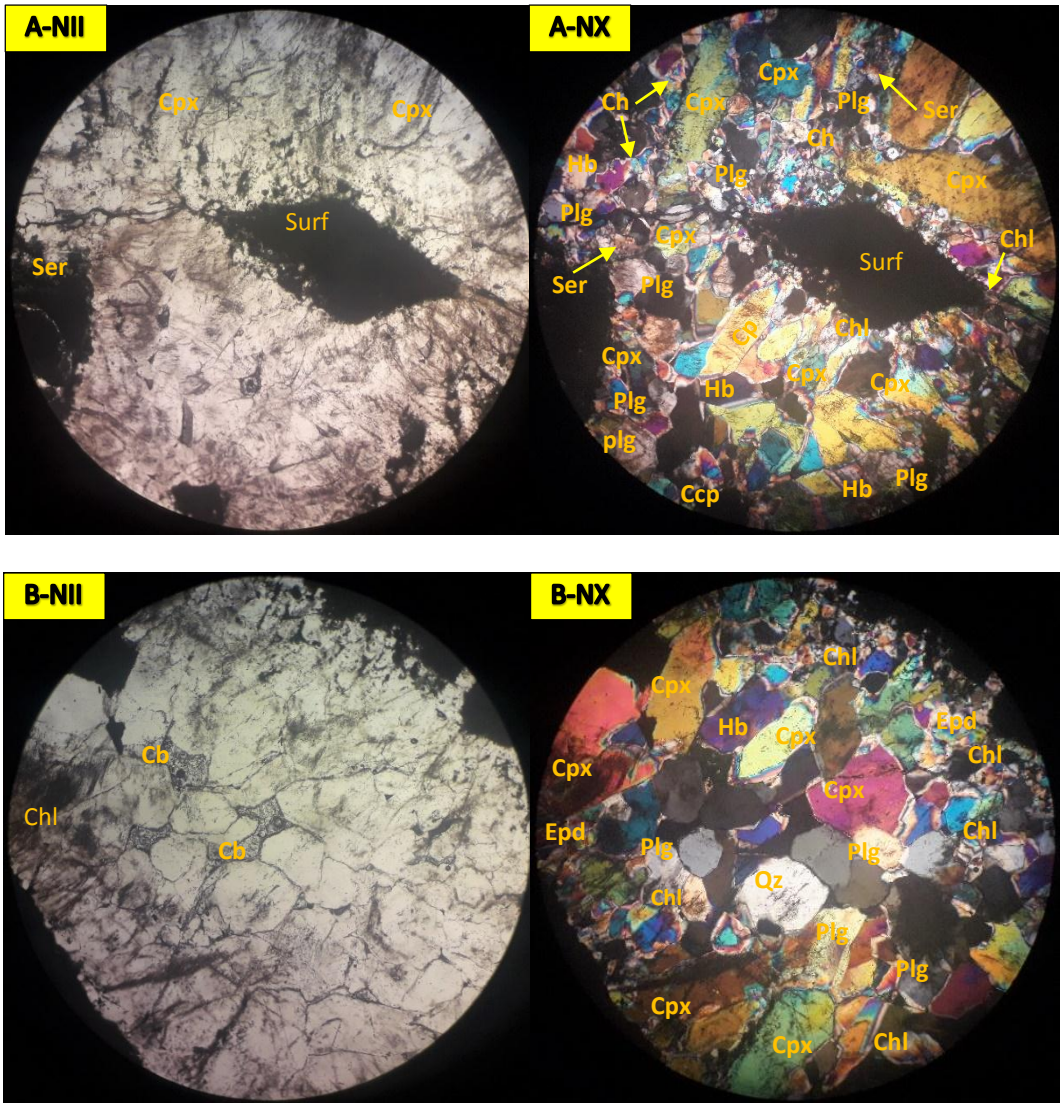


Figura 21. *A) y B) corresponden a una misma lámina en sitios se puede identificar minerales opacos, A) en la vista en nicoles paralelos se recalca el pleocroísmo verde y marrón el cual corresponde a la alteración, B) nótese en la parte central algunos carbonatos con bordes anhédricos, textura granular hipidiomórfica.* ***Fuente:*** *Autor.*

El análisis de láminas delgadas permitió identificar algunos minerales en su mayoría clinopiroxenos caracterizados por una birrefringencia moderada a alta, con habito prismáticos subhédricos a anhédricos, con ángulos de extinción cercanos a 45 °, localmente se encontraban alterados a epidota y en su mayoría a clorita.

Algunas hornblendas son observados con habito prismático corto subhédrico, con relieve moderado y ángulos de extinción próximos a 35°, se puede observar claramente los colores de interferencia del primer y segundo orden, además están parcialmente alterados.

Otros minerales como feldespatos son característicos por sus colores de birrefringencia, su extinción oblicua y habito prismáticos; pero también conforman la matriz en donde se encuentran parcialmente alterados. Cuarzo se encuentra de forma microcristalina en la matriz de la lámina, algunos cristales con habito subhédricos. Adicionalmente, los carbonatos están presentes de forma anhédrica al centro de la lámina.

La lámina tiene una textura granular hipidiomórfica característica por granos euhédricos y granos subhédricos tendiendo a anhédricos. Algunas otras texturas presentes en cristales fueron producidas por recristalización, entre ellas la textura flameante característica de agregados alrededor de los cristales primarios, originan contornos externos. Las observaciones de campo permitieron definir la textura brechoide (ver figura 20).

6.12.3. Veta Azul (V.696)

El cuerpo filoneano denominado veta Azul está ubicado en las coordenadas [655012; 9594093], a 696 metros de la bocamina, se extiende de norte a sur con cambios de rumbo N2°E a N30°E y buzamiento de 75° hacia el Oeste, se encuentra formada en rocas andesíticas con alteración propilítica. La estructura mineral está influenciada por dos fallas que modificaron la geometría del cuerpo, al norte se aprecia la influencia de una falla de rumbo con componente dextral combinada con desplazamientos verticales. Al sur el cuerpo mineral disminuye su potencia después de ser cortado por una falla sinextral, cambiando de rumbo a la veta (ver Anexo 7). Algunas observaciones de campo permiten inferir que se trata de fallas sintéticas y antitéticas relacionadas a un sistema de deformación Riedel. (Ver figura 8)

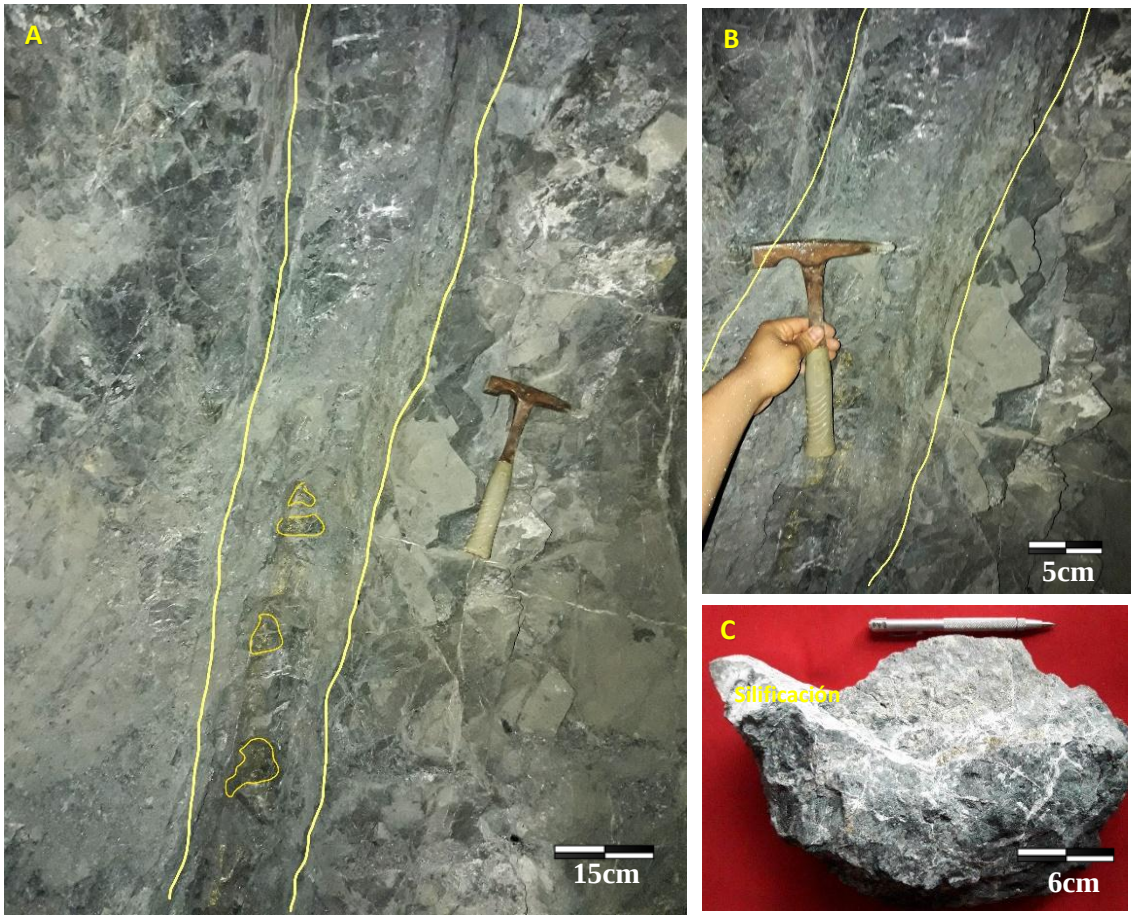
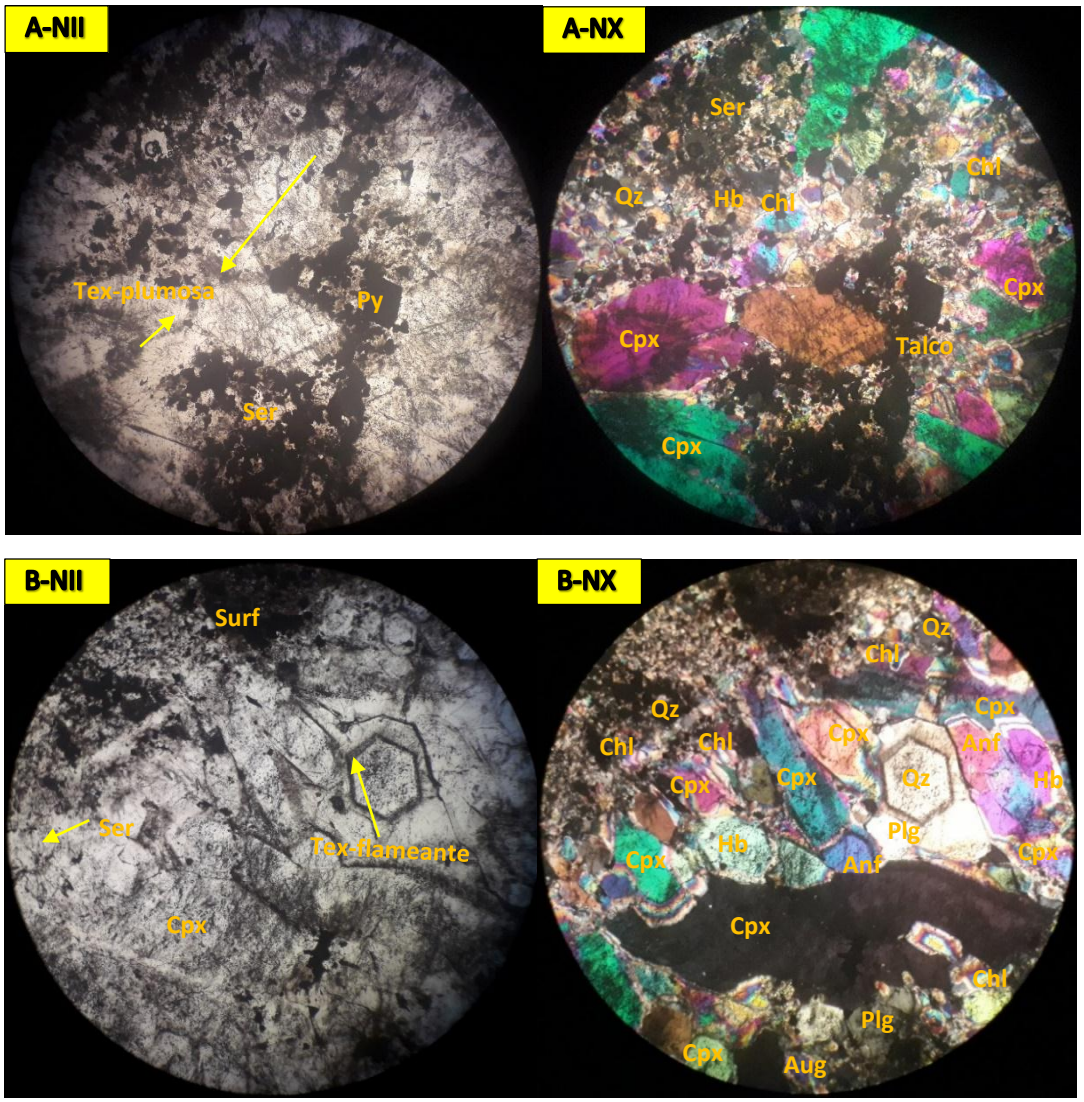


Figura 22. *A) Veta Azul al norte del crucero, algunos sulfuros observados(Ccp), C) muestra de mano con Silificación.* ***Fuente:*** *Autor.*

Este filón posee potencias variables en su parte central llegando a 90 cm, al norte y sur su potencia disminuye debido a estrangulamientos ocasionados por los esfuerzos de las

fallas (ver figura 12). Un 96% de la veta corresponde a minerales de ganga, minerales de mena representan la plata, cobre y en menor cantidad oro asociados con sulfuros, y metales base ocupan un +/-3 % de la estructura. Esta estructura puede albergar zonas de bonanza debido a los estrangulamientos. El ensayo al fuego permite establecer la ley mineral en 13.65 gr/tn de Ag y 0.14gr/tn de Au.

El análisis macroscópico permitió identificar los siguientes minerales de mena: esfalerita (Shp), galena (Gn), pirita (Py), calcopirita (Ccp), marcasita (Mrc), conjuntamente con presencia de calcedonia (Calc), cuarzo (Qz), barita, carbonatos (Cb), illita y caolinita. Se puede apreciar en muestras de mano una coloración típica en la alteración de clorita.



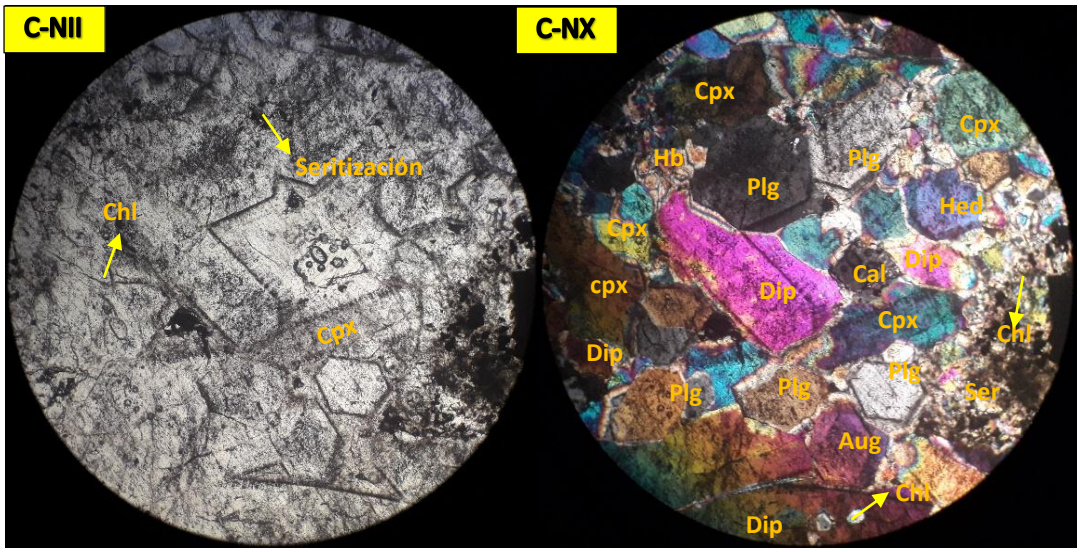


Figura 23. *A) Textura porfirítica, algunos Cpx con astillas en sus cristales semejante a textura plumosa, B) Textura granular hipidiomórfica, con matriz microcristalina y C) textura hipidiomórfica con matriz microcristalina, carbonatos al centro de la lámina.* ***Fuente:*** *Autor.*

El análisis microscópico permitió identificar clinopiroxenos con habito prismático subehuedricos a anhédricos, con relieve alto y extinción oblicua, los colores de birrefringencia son de segundo orden.

Anfíboles están presentes con habito prismático corto subhédrico, mantienen una extinción oblicua en 34°, poseen un relieve moderado y los colores de birrefringencia corresponden al segundo orden.

Calcita es apreciable en figura 23-C, ubicada al centro de la lámina con bordes anhédricos, con nicoles paralelos se puede apreciar la exfoliación perfecta, tiene colores de birrefringencia muy altos. Cristales de cuarzo con habito prismático están presentes como cristales euhédricos, pero en la matriz tienen habito anhédrico. Plagioclasas con relieve moderado, presentan una extinción oblicua son observados en la lámina, las plagioclasas estas alteradas a sericita.

Entre los minerales opacos se puede diferenciar el sistema cubico característico de la pirita, pero también existe calcopirita. Cloritas son observables en la lámina debido a la alteración de algunos clinopiroxenos y hornblendas.

En la lámina se pudo identificar la textura granular hipidiomórfica caracterizada por la mezcla de cristales euhédricos y subhédricos. Otra textura identificada es la textura flameante, definida por Adams (1920), característica por bordes externos de recristalización originando contornos externos (ver figura 23-b). Algunos clinopiroxenos presentan esquirlas o astillas en su estructura interna semejante a la textura plumosa del cuarzo epitermal, puede deberse a la alteración. Textura Crustiforme es apreciable en la veta caracterizada por alternancia de bandas de cuarzo hacia los hastiales, además la textura masiva se presenta de manera localizada, caracterizada por cuarzo microcristalino cuya cristalización tiende a euhédrica, en algunos sitios presenta cuarzo con textura drusiforme como relleno de cavidades.

6.13. Evolución de la paragénesis del sector

Se han definido 4 etapas de mineralización para el sector de Nueva Esperanza, en la primera se considera el relleno silíceo de aberturas, alteración de la roca caja (clorita, epidota, illita y sericita) por fluidos hidrotermales que ascienden por las fracturas y fallas extensionales generadas en el sistema tras tensional de las fallas principales (Puente Buza-Palestina, Piñas-Portovelo), depositando en su trayecto cuarzo cristalino y adularia en textura masivas. En esta etapa también existe mineralización de algunos sulfuros (pirita) en todos los cuerpos minerales.

En la segunda etapa contiene cuarzo cristalino con cuarzo lechoso y calcedonia, adularia es menos frecuente en la veta (VPA y VA), adularia romboédrica en veta(VB), calcita formada en VPA y en VA posiblemente por la liberación de calcio de algunas plagioclasas y piroxenos. La cloritización de algunos ferromagnesianos y la formación de illita también continua en esta etapa. La mineralización corresponde de pirita anhedral a cubica, calcopirita, bornita presente en VPA y VA, esfalerita pobre en hierro en una primera etapa se presenta en mayor abundancia en VPA, pero luego fases de esfalerita rica en hierro, menores cantidades de Esfalerita se presentan en las otras vetas, galena y argentita es predominante en VPA y en menores cantidades en otros cuerpos minerales, marcasita es muy escasa en esta etapa. Es característica de esta etapa la textura crustiforme y drusiforme, como la textura brechada para la veta VB.

En la tercera etapa la mineralización disminuye, presentando fases de esfalerita rica en hierro solo en VPA y pirita cúbica en todas las vetas, pero continua cuarzo cristalino, lechoso y calcedonia. En la etapa supérgena es característica la presencia de oxidaciones

ocasionadas por aguas meteóricas, además de la precipitación de carbonatos. En la siguiente figura se resume las etapas de mineralización del sector.

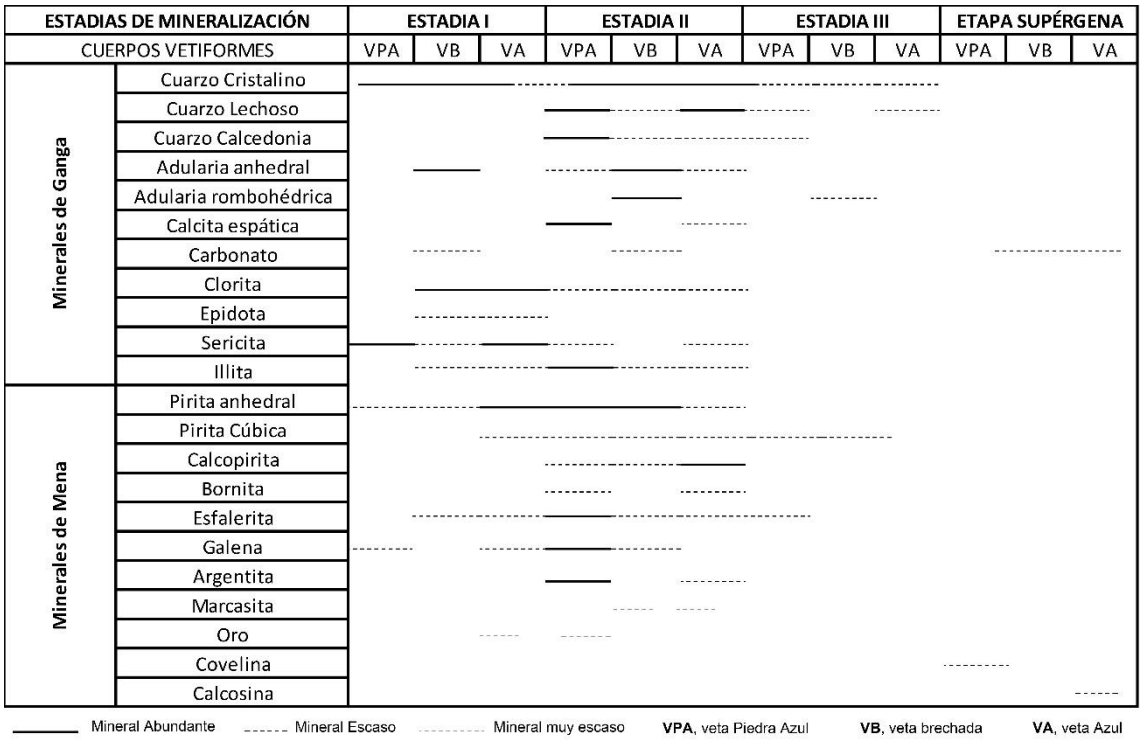


Figura 24. *Secuencia paragenética del sector Nueva Esperanza.* ***Fuente:*** *Autor.*

.

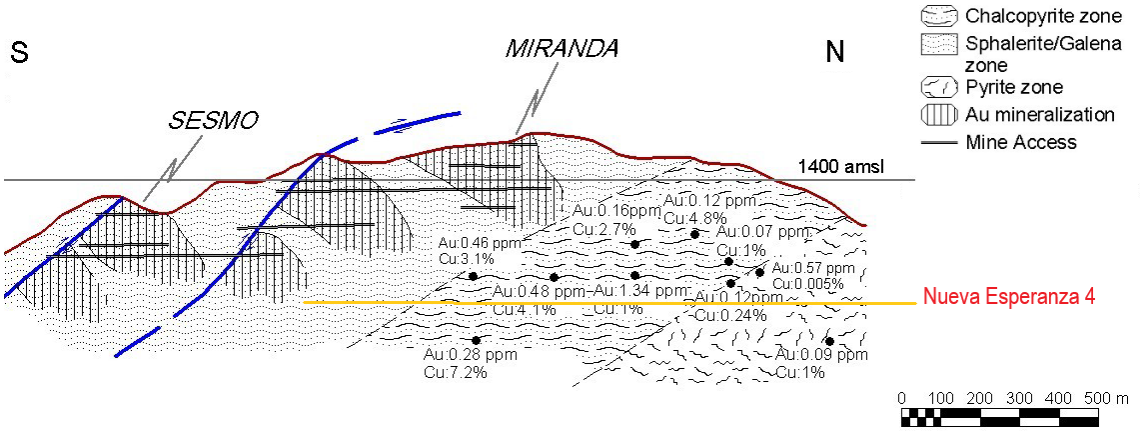


Figura 25. *Sección N-S del sistema Sesmo Colorado mostrando mineralización de oro y polimetálicos.* ***Fuente:*** *Spencer (2002).*

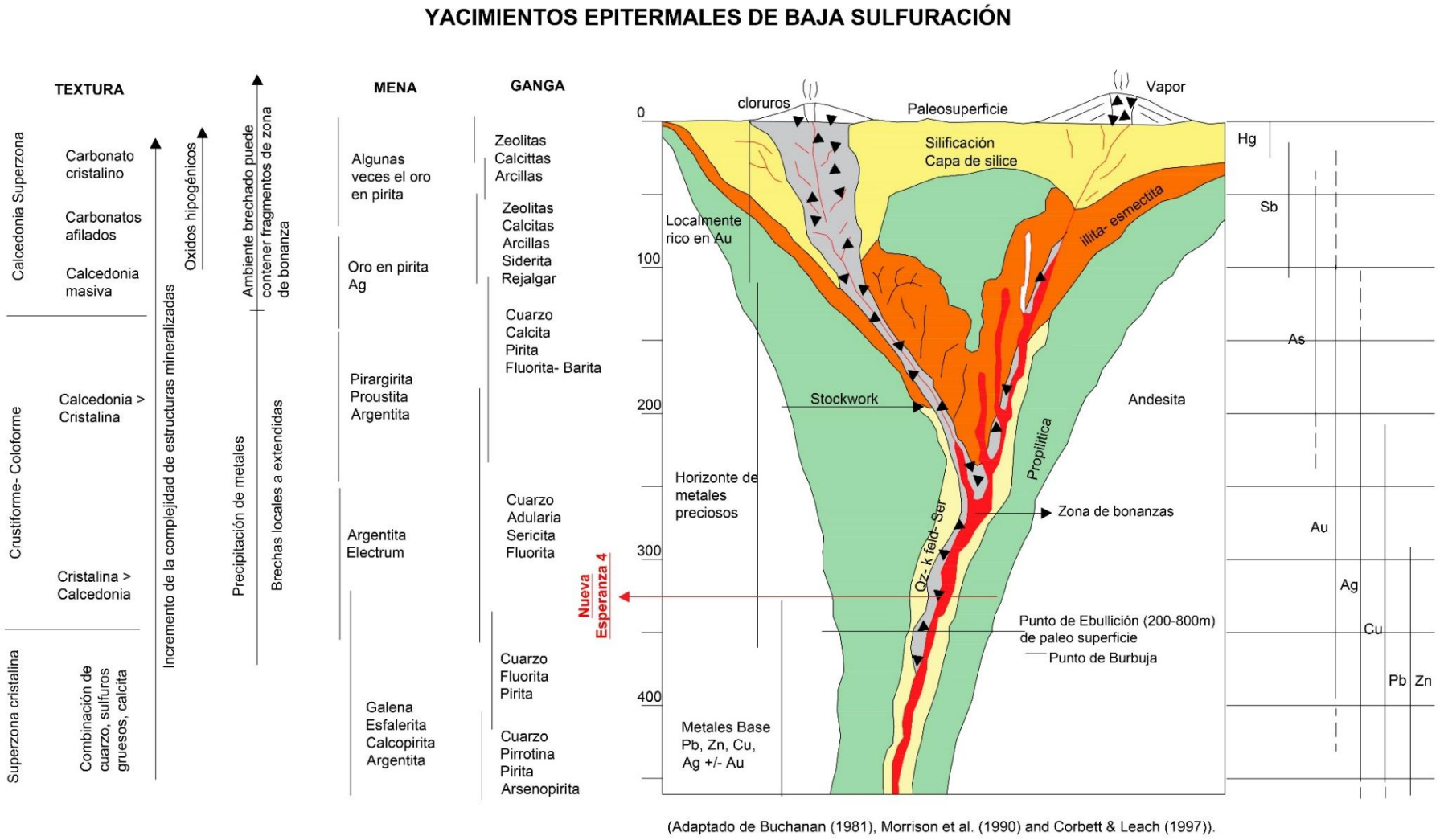


Figura 26. *Modelo Epitermal de Buchana (1981).*

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La litología expuesta en la concesión corresponde a rocas andesíticas hornblenditicas, andesitas basálticas y andesitas porfiríticas, posiblemente asociados a cuerpos tipo neck de carácter subvolcánico, estas rocas están relacionadas al miembro Muluncay al Este de la concesión y al miembro Portovelo al oeste, ambas definidas por Billingsley (1926), pertenecientes a la Unidad Portovelo la misma que forma parte del grupo Saraguro, Pratt (2000).

En profundidad se identificó un dominio de rocas andesíticas de coloración gris, localmente andesitas basálticas, andesitas porfiríticas, brechas hidrotermales y freáticas también son visibles en las labores mineras, estas últimas con matriz gris verdosa, en algunos sitios dominaba la matriz, parcialmente presentaban ortosa en brecha hidrotermal, esta litología forma parte del miembro Muluncay, la ortosa presente en la brecha podría indicar la existencia de niveles de ebullición en el sistema. Algunas lavas andesíticas también son parte del miembro Muluncay, se encuentran buzando al SW y podría estar relacionado al contacto de los mencionados miembros. El miembro Muluncay conforma el basamento y subyace al miembro Portovelo, siendo este último la principal asociación litológica que alberga la mineralización.

La alteración corresponde a actinolita según los trabajos propuestos por Spencer (2002), pero en las labores mineras no se evidencia la presencia de este mineral, pudiéndose identificar abundante clorita, pirita, carbonatos, esto se correlaciona con los trabajos de Van Thournout (1996), el cual propuso un dominio de alteración propilítica y silificación cercana a las vetas, lo cual es corroborado en este trabajo. Al observar las alteraciones en láminas delgadas se puede evidenciar un dominio de sericita y clorita, esto se puede relacionar a lo propuesto por Bonilla (2009), atribuyendo a la alteración fílica el transporte de fluidos mineralizantes y de interés económico a las vetas del distrito, lo que produjo cambios mineralógicos importantes, esto se relación con la mineralogía descrita en los resultados. Algunas vetillas con ortosa advierten el desarrollo de procesos de ebullición del sistema epitermal.

El entorno estructural de la concesión es directamente influenciado por la falla maestra Puente Buza Palestina, la misma que comprende el limite Norte de distrito minero

Zaruma-Portovelo, esta falla es inversa con movimiento sinestral, propuesto por PRODEMINCA (2000), lo que puede explicar la continuación de los cuerpos vetiformes al norte de la falla en dirección NW.

El sistema estructural se relaciona al sistema Riedel, en donde las vetas, fracturas y fallas extensionales (T), fueron producidos por esfuerzos compresionales en sentido N-NE a S-SW, posiblemente relacionados a la actividad intrusiva del pórfido El Poglio previo al ascenso de fluidos mineralizantes, esto fue corroborado en trabajos de Rhys y Lew, (2004). Posteriormente el desplazamiento sinestral de las fallas regionales y que limitan el sistema de vetas, generaron una rotación de los cuerpos mineralizados al NW, por consecuencia se generó una zona de cizalla simple, con influencia de fallas conjugadas Riedel.

Estructuralmente se identificó dos sistemas de fallas, el primer sistema con rumbos NE a SW y buzamiento al W, se interpreta como fallas antitéticas con desplazamiento dextral (R`), pudiendo tratarse de fallas con desplazamiento limitado ubicadas al norte de Zaruma, propuestas por Van Thournout (1996); el segundo sistema con orientación de NW a SE y buzamiento al E, se trataría de fallas sintéticas con desplazamiento sinextral (R). Saltos de relleno con material fibroso son observables en el primer sistema de fallas, interpretándose como un desplazamiento de rumbo, pero no se puede descartar movimientos inversos previos, esta falla controla la mineralización de la Veta Azul. La morfología del relieve, cambios bruscos de pendientes y topográficos permiten inferir antiguos escarpes de fallas inversas (ver figura 13).

Las fallas sintéticas son más antiguas que las fallas antitéticas y por lo tanto tienen una mayor influencia en el sistema, esta falla permite explicar un salto de la mineralización al Oeste de la concesión, posteriormente las fallas antitéticas controlan la mineralización al norte de las galerías, generando un salto vertical en donde la veta Azul cambia de buzamiento al oeste, normalmente en el distrito se encuentra buzando al este.

Con respecto a las tres estadías propuestas la mineralógica, en una primera etapa corresponde (Py anhedral) alteración de minerales por influencia de fluidos hidrotermales (Chl- Ser- Illita- Carbonatos), posterior la segunda etapa de mineralización es característica de sulfuros (Py anhedral a cubica- Ccp- Bn- Sph pobre en hierro- Gn- Arg-

Marcasita), también en esta fase cristaliza cuarzo lechoso, calcedonia, adularia, (Chl, Ser-Illita) continúan y finalmente en la última fase se mantiene con (Py- Gn), este cambio en la esfalerita podría estar relacionado a un nivel de transición entre vetas epitermales y vetas polimetálicas mesotermales, también estudiada por Shepherd y Litherland en trabajos referentes a inclusiones fluidas dando temperaturas de 320 a 380°C para vetas polimetálicas y 180 a 310°C para vetas epitermales propuesto en estudios de la misión Belga. Tanto las estadías propuestas por A. Paladines & Rosero (1996) y Van Thournout (1996), coinciden que la segunda etapa de mineralización es dominante en sulfuros, para en una tercera etapa disminuir, esto coincide con el presente trabajo.

Cuarzo cristalino y lechoso es formado en la segunda etapa, pero cuarzo cristalino domina en la etapa inicial, la calcedonia y adularia cristalizaron en la segunda etapa, concordando con las estadias propuestas por Van Thournout (1996), enriquecimiento secundario posterior produce (covelina y calcosina, además de carbonatos). La calcita encontrada en láminas estaría relacionada a la segunda etapa de mineralización, esto también relacionado a estudios de Kalinaj (2004).

En cuanto a una zonación vertical, utilizando el modelo de epitermales propuesto por Buchanan (1981), Morrison et al. (1990) y Corbett & Leach (1997), se comparó con las particularidades del estudio, el nivel de la galería se ubica por encima del nivel de ebullición coincidiendo con la mineralogía de metales base (Gn, Sph, Ccp y Argentita), posiblemente zonas de bonanza de metales preciosos en niveles más elevados, también con la presencia de sericita y adularia que son los minerales encontrados dentro de la galería relacionados con el nivel de ebullición, el mismo que estaría a 320 metros bajo la paleo-superficie con temperaturas que podrían rondar los 250 °C, según el modelo clásico de epitermales. También esta zona coincide con la textura Crustiforme encontrada en las vetas de la concesión, pero también existe texturas de la superzona cristalina que posiblemente tuvieron un acenso por la dinámica de fallas inversas.

Cabe recalcar que Spencer (SEG, 1990), relaciona la zonación de metales base al noreste del distrito, con un aumento de la temperatura de los fluidos mineralizantes y a la cercanía del intrusivo, lo cual permite inferir una inclinación del nivel de ebullición al SW, ya que la presencia de calcita y adularia es advertida a niveles más bajos al Oeste y Suroeste del distrito, pudiéndose trazar una delimitación de la mineralización (ver figura 25). Estas

apreciaciones son concordantes con la clasificación de epitermales de sulfuración intermedia propuesta por Hedenquist (2000), especialmente en el contenido de metales base, incluyendo esfalerita pobre en hierro. Spencer (2002) también clasifica al distrito de forma general en un epitermal de baja a intermedia sulfuración.

8. CONCLUSIONES

- En el ámbito geológico la concesión se encuentra dominada por rocas andesíticas pertenecientes al Miembro Portovelo, esta litología sobreyace al miembro Muluncay que aflora al Este de la concesión, este último conformada por andesitas basálticas y algunas brechas, adicionalmente se constató que algunos cuerpos mineralizados afloran al Oeste de la bocamina, expuestos en la parte alta de la concesión.
- La litología en los hastiales de la galería es dominada por andesitas grises, andesitas porfiríticas con fenocristales de hornblenda y plagioclasas, andesitas basálticas; también son distinguibles, brechas freáticas y brechas hidrotermales, adicionalmente se evidencia intercalaciones de lavas andesíticas y riolíticas con buzamiento al SW, posiblemente relacionado al contacto litológico del miembro Portovelo y Muluncay.
- La alteración dominante corresponde a una propilitización, caracterizada por pirita, clorita, epidota, y calcita; la silificación está presente como alteración en los contactos con vetas y vetillas. Localmente existe alteración fílica caracterizada principalmente por sericita.
- Estructuralmente la veta *Piedra Azul* y *veta Brechada* tienen un rumbo NE a SW con buzamiento al E y la veta Azul se orienta de NW a SE buzando al W, la potencia de estos cuerpos puede variar de 15cm a 1.2 metro, los esfuerzos que generaron la zona extensional se ubican paralelos a la primera orientación es decir NNE-SSW. Fallas antitéticas destrales se orientan de NE a SW y buzan al W, estas fallas desplazan los cuerpos vetiformes en el norte de la galería. Fallas sintéticas con desplazamientos sinestral se orientan al NW-SE y buzan al SW, son más antiguas que las fallas antitéticas, son responsables de desplazar la mineralización al Oeste de la concesión.

- Los sistemas de fallas descritos se relacionan al sistema estructural Riedel, en donde fallas R sintéticas y R' antitéticas son influenciadas por la dinámica de fallas maestras (falla Piñas-Portovelo y falla Puente Buza-Palestina), generando desplazamientos sinestrales y destrales respectivamente, pero el cambio de buzamiento de la veta Azul al W puede estar relacionado a saltos verticales producidos por movimientos inversos de la falla antitética.
- La mineralización del sector fue propuesta en tres estadía, la primera estadía consta de Py +/- Sph pobre en hierro +/-Gn+/-Ser+/-Illita+/-Epd+Chl+/-Carbonatos +/- Qz cristalino + adularia anhedral, en la segunda etapa dominan los metales base Py anhedral +/- Py cúbica +/- Ccp + Bn +/- Sph pobre en hierro + Gn + /- Arg +/- marcasita, con Qz lechoso, cristalino, adularia y calcedonia, +/- calcita, +/- Chl, Ser y Illita, en la última etapa Py cúbica +/- Shp rica en hierro, +/- Qz cristalino, lechoso y adularia, con enriquecimiento supérgeno de carbonatos, covelina y calcosina. Los resultados del ensayo al fuego para contenido de oro y plata a la veta Azul, obtuvieron 13.65 gr de Ag y 0.14 gr de Au, catatando el dominio de metales base en el sistema.
- Las texturas brechada y crustiforme fueron identificadas en observaciones directas, texturas relacionadas a recristalización (flameante y plumosa) del cuarzo epitermal fueron observadas en láminas delgadas de veta Azul.
- La mineralización del sector corresponde a la fase epitermal de sulfuración intermedia, debido a la abundancia de sulfuros asociados a metales base (Ag, Cu, Pb y Zn), como a la presencia de carbonatos y la textura crustiforme de los cuerpos minerales. La presencia de calcita, adularia y carbonatos en vetillas, permitió definir el nivel de ebullición, el cual según el modelo clásico estaría a 320 metros bajo la paleo-superficie, relacionado a un sistema "Hot Spring", con temperaturas mayores a 250°C.

9. RECOMENDACIONES

- Las nuevas labores de exploración y explotación deben estar enfocadas a las zonas de veta con textura crustiforme, ya que históricamente en el distrito, estaría relacionada con altos contenidos de oro; además se debe continuar con la exploración en niveles ascendentes y al Oeste de la concesión, ya que la cinemática analizada podría haber desplazado las vetas a estas zonas, adicionalmente la mineralización rica en Oro se presenta en niveles más bajos al Oeste del distrito.
- Levantar información aledaña para correlacionar con el presente estudio, tanto en la mineralogía de interés, litología encajante y cinemática de estructuras para generar indicios de exploración, de forma más avanzada se debería realizar un estudio de inclusiones fluidas, que permita determinar si existe más de una etapa de ebullición, lo cual será fundamental para plantear exploraciones en los niveles inferiores.
- Realizar un análisis cinemático detallado, en donde se pueda tener valores absolutos de desplazamientos, para realizar una zonificación de los cuerpos mineralizados en extensión como en profundidad, adicionalmente realizar un cálculo de leyes, tomando muestras en intervalos establecidos, permitiendo correlacionar sitios de mayor concentración y posteriormente definir zonas de bonanzas por métodos de interpolación.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro M., (1995). *Informe preliminar Proyecto Portovelo*. Unpublished internal report for TVX Gold Corporation.
- Billingsley, P., (1926). *Geology of the Zaruma Gold District of Ecuador*. American Institute of Mining and Metallurgical Engineering.
- Bonilla W., (2009). *Metalogenia del Distrito minero Zaruma-Portovelo República del Ecuador,* (Tesis doctoral) Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires – Argentina.
- Buchanan, J. l., (1981). *Precious metal deposit associated with volcanic environments in the Southwest:* Arizona. Geological Society Digest.
- Corbett G., and Leach T.M., (1998). *Southwest pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization,* SHORT COURSE MANUAL.
- Demoustier R., Castroviejo J., and Charlet., (1998). *Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoneano del área volcánica de Cabo de Gata,* Almería. Boletín Geológico y Minero,
- Hedenquist J., (2000). *Exploration for Epithermal Gold Deposits*. Society of Economic Geologists
- Hedenquist, J., Izawa, E., Arribas, A. & White N. (2001): *Yacimientos epitermales de oro: tipos de mineralización, características y exploración*.
- Kalinaj M., (2004) *Zaruma Poyect, Ecuador Tecchnical report, prepared for DYNASTY METALS & MINING Inc*. Geology consulting. Los Cedros – Perú
- Pratt, W. T., Figueroa, J. F., & Flores, B. G., (1997), *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00´ and 4°00´S: Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental* (PRODEMINCA), Programa de Información Cartográfica y Geología (PICG), CODIGEM-BGS, Report no. 1
- PRODEMINCA, (2000). *Depósitos epitermales de la Cordillera Andina. Evaluación de distritos Mineros del Ecuador*, Quito – Ecuador
- Sillitoe R.H. (2000). *Comments on the Portovelo-Zaruma vein gold district and environs, Ecuador*. unpublished report, IAMGOLD Corp
- Sillitoe, R., Hedenquist, J., W., (2003). *Linkages between volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits*: Society of Economic Geologists, Special Publication N°10

- Simmons, S.F., and Christenson, B.W. (1994). *Origins of calcite in a boiling geothermal system.* American Journal of Science,
- Spencer, M., Montenegro, J. L., Gaibor, A., Pérez, E. P., Mantilla, F., Viera, F., Spencer, C. E., (2002). *The Portovelo-Zaruma Mining Camp, Southwest Ecuador: Porphyry and Epithermal Environments*, Society of Economic Geologists Newsletter, N° 49,
- Van Thournout, F., Salemink, J., Valenzuela, G., Merlyn, M., Boven, A., Muchez, P., (1996). *Portovelo: a volcanic-hosped epitermal vein-system in Ecuador*, South America, Mineralium Deposita, vol.31
- Litherland, M., Aspden, J., Jemielita, R. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador* (1 ed.). Nottingham, Inglaterra.
- Adams, S.F., (1920*). A microscopic study of vein quartz. Economic Geologist.*
- Paladines, A. & Soto, J. (2010): *Geología y Yacimientos minerales del Ecuador* (1 ed.). Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Paladines, A., & Rosero. (1996), *Zonificación mineralogénica del Ecuador*: Quito, Ecuador, Laser Editores.
- Vikentyev I., Banda R., Tsepin A., Prokofiev V., Vikentyeva O., (2005): *Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma gold-sulphide vein deposit,* Ecuador. Bulagaria Academy of Science, Geochemistry, Mineralogy and Petrology, 42, 8
- Camprubí, Antoni, Albinson, Tawn. *Depósitos epitermales en México.* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2006.
- Viera F. Junio del 2000. *Control litológico estructural en la mineralización del distrito minero Zaruma-Portovelo.* Universidad Central del Ecuador. Quito.
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural.* Moscú. MIR Bustillo Revuelta M.
- López Jimeno C. (1997). *Manuel de Evaluación y Diseño de explotaciones Mineras.* Madrid: Mostoles.
- Hans Niemeyer Rubilar (1999). *Apuntes de Geología Estructural.* Antofagasta.
- Miguel Doblas (1997). *Slickenside Kinematic Indicators.* Madrid – España.

Anexos