

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y MINERALÓGICA DE LAS VETAS JORUPE – TRES REYES Y SOROCHÉ EN EL DISTRITO MINERO ZARUMA – PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

GÉNESIS NOHELIA BERMEO GRANDA

genesis.bermeo@epn.edu.ec

JAIRO ALEXANDER INCA NARANJO

jairo.inca@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. DARÍO FUENTES

dario.fuentes@epn.edu.ec

CODIRECTOR: PhD. PEDRO REYES

pedro.reyes@epn.edu.ec

DECLARACIÓN

Nosotros, Génesis Nohelia Bermeo Granda y Jairo Alexander Inca Naranjo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Génesis Nohelia Bermeo Granda



Jairo Alexander Inca Naranjo

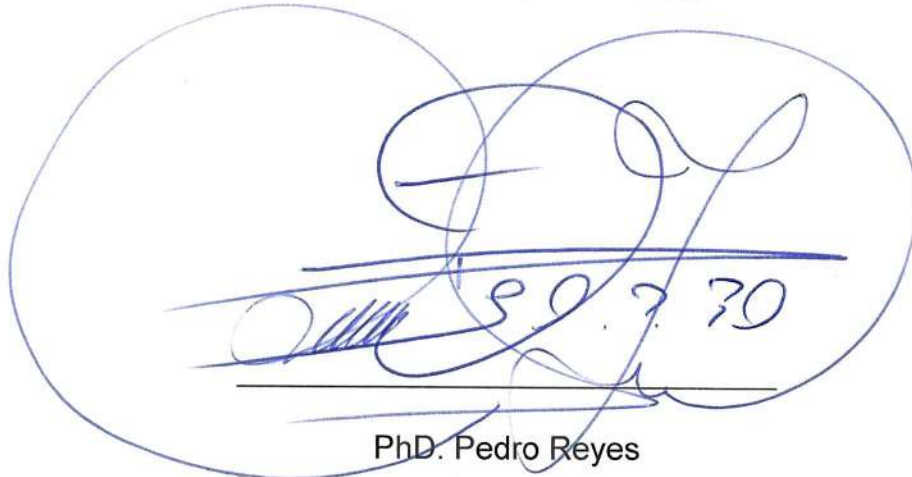
CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Génesis Nohelia Bermeo Granda y Jairo Alexander Inca Naranjo, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Darío Fuentes', written over a horizontal line.

MSc. Darío Fuentes

DIRECTOR DEL TRABAJO

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and includes the date '5.9.20' written in the center. Below the signature is a horizontal line.

PhD. Pedro Reyes

CODIRECTOR DEL TRABAJO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía en todo momento y permitirnos cumplir una meta más en nuestras vidas.

A nuestro director de tesis MSc. Darío Fuentes quien nos ha brindado su tiempo, conocimiento, amistad y apoyo, con el cual ha sido posible que culminemos con éxito esta investigación. Gracias por sus consejos, por motivarnos y animarnos en todo el proceso para presentar un buen trabajo con esfuerzo y dedicación.

A PhD. Fabián Villares y PhD. Pedro Reyes, gracias por sus enseñanzas a lo largo de la carrera y por el tiempo empleado en la revisión de esta investigación.

A nuestro mentor y gran amigo Ing. Edgar Almeida, gracias por brindarnos su confianza, su conocimiento y amistad, por inculcarnos su amor por la minería y alentarnos a ser grandes geólogos. Gracias por todas las horas de aprendizaje, su paciencia, por compartir con nosotros la primera experiencia profesional y por enseñarnos no solo a ser buenos profesionales sino a crecer como personas, es un gran ejemplo para nosotros.

Al Ing. Bernardo Beate, gracias por compartir con sabiduría su conocimiento y enseñarnos que el aprendizaje se basa en tres ejes que un geólogo debe tener presente: curiosidad, necesidad y descubrimiento. Gracias por apoyarnos en nuestros periodos como presidentes del SEG - EPN Student Chapter.

A todos los profesores que fueron parte de nuestra formación profesional, que sin duda han aportado con mucho conocimiento y a los profesores que, además de impartirnos su conocimiento, nos brindaron su amistad Ing. Bernardo Beate, MSc. Darío Fuentes, PhD. Fabián Villares, PhD. Diego Narváez y MSc. Dayanara Hinojosa.

A la Ing. Yesenia Enríquez, Joselyne C., Carlos E. y David. C., quienes nos ayudaron a comprender diferentes temas en nuestra investigación.

A la empresa Oroconcent S. A por permitirnos desarrollar nuestro proyecto de titulación en su proyecto minero. A los socios que apoyaron nuestro proyecto de investigación don Fabián A., Ing. Carlos V., Ing. Rommel C. (†) y a todo su equipo técnico y trabajadores que nos apoyaron en nuestra estancia. En especial a nuestra querida amiga Eliana L., quien hizo que sea más amena nuestra estadía y por brindarnos su amistad.

Al Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional por permitirnos el uso de sus laboratorios. El Laboratorio de Láminas Delgadas nos permitió realizar las láminas pulidas y delgadas. El Laboratorio de Geoquímica y Preparación de Muestras nos permitió realizar la preparación de muestras para el análisis fluorescencia de rayos X.

Al Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) y a la empresa Geostrat S. A por permitirnos realizar los análisis de fluorescencia de rayos X.

Génesis y Jairo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme a lo largo de mi carrera y guiar mis pasos a este gran momento. Gracias por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Gracias mami y papi son lo más preciado de mi vida y a quienes más admiro Nora y Carlos. Mami eres mi fuerza e inspiración y un ejemplo de lucha para mí, gracias por todas tus enseñanzas que siempre han sido con amor y por enseñarme que los sueños no tienen límites. Papi eres un ejemplo de valentía para mí, gracias por apoyarme en todas mis metas y enseñarme a no rendirme nunca.

A mis hermanos Eve, Gian y Nicol, por su amor y cuidado. Gracias Eve por tu apoyo incondicional, eres mi mejor amiga y un ejemplo a seguir para mí. Gracias Gian por cuidarme y apoyarme siempre. Gracias Nicol por enseñarme a ver la vida con una sonrisa como lo haces tu.

A mis abuelitos Mariana, Ángel, Victoria y Carlos por enseñarme que la humildad y el respeto son valores que siempre debemos cuidar, gracias por su amor incondicional. En especial a mi abuelita Mariana gracias por su infinita ternura, amor y por siempre sacarme una sonrisa. Sin duda agradezco a toda mi familia que siempre me ha apoyado.

A mi compañero de tesis, de vida, gracias por tu dulzura y apoyo incondicional. Gracias por celebrar mis triunfos como tuyos y por elegir que juntos formemos el mejor equipo. Estoy muy orgullosa de todo lo que eres y has logrado.

A mis amigas las luciérnagas y Ale J. por celebrar mis logros desde los 6 años y su amistad sincera.

A mi grupo de amigos - Amiguit@s todos son seres especiales y llenos de luz, gracias por los momentos compartidos. En especial a Fabri, mi primer amigo de la carrera que me ha brindado una amistad sincera, muchas risas y apoyo. A Julián por enseñarme a ver la vida positiva y a Eve R. por ser una amiga incondicional que me ha apoyado, aconsejado y preocupado por mí.

A Joss C. y Anita C, con quienes compartí más en mis últimos años de carrera, pero que sin duda han dejado una huella llena de cariño en mí, gracias por su bonita amistad.

A Diego D. por su amistad, por compartir su conocimiento y amor por la ciencia y por dejar en mí la frase “el verdadero conocimiento es más valioso cuando se comparte”.

A Juanita N., por todo su cariño y cálido apoyo en el desarrollo de la tesis.

A WIM Ecuador, ganar la beca Soy Minera fue una gran motivación y oportunidad para mi carrera profesional, esta beca me permitió continuar con mi formación académica enfocándola en minería y desarrollar un estudio más exhaustivo en mi proyecto de titulación. Pero más allá de los beneficios directos, haber ganado esta beca me motivó a seguir luchando por mis metas y a demostrarme a mí misma y a otras mujeres que es posible destacarse en áreas de la geología que históricamente han tenido una menor participación femenina.

Génesis Nohelia

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que siempre han estado en todo momento para mí y han sido mi pilar fundamental. A mi madre Juanita que es el tesoro máspreciado que tengo en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por siempre confiar y estar orgullosa de mí, por ser mi ejemplo, luchar por mí, guiarme y apoyarme en todas mis decisiones. A mi padre Marco por enseñarme el valor de las cosas, la responsabilidad y a ser un hombre de bien con su ejemplo.

A mis tíos Lida y Héctor que los considero mis abuelitos, gracias por todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida. A mi tía Lidita por siempre consentirme, animarme y ser mi segunda madre. A mi tío Héctor por alentarme y apoyarme en mis proyectos. A mis primos, Marlon, Javier y Melisa que los considero mis hermanos, gracias por todos los momentos compartidos, por su apoyo y ser una guía para mí.

A mi enamorada Génesis, que juntos logramos una meta más, te admiro mucho. Tu amabilidad, responsabilidad y conocimientos te han permitido alcanzar grandes logros y ser un ejemplo. Gracias por impulsarme a ser alguien mejor.

A mis amigos de la Facultad, Anilu e Irvin quienes fueron mis mejores amigos, gracias por su apoyo emocional y académico durante la carrera. A mis amigos que hicieron que el tiempo en la universidad fuera más divertido: Joss, Paya, Eve, Quiño, Negrito.

A mis amigos del glorioso colegio “Juan Pío Montúfar” quienes hicieron que la experiencia de mi juventud sea inolvidable.

Jairo Alexander

DEDICATORIA

Al regalo más grande que Dios me entrego, mis padres. Sin su apoyo incondicional no sería posible hoy estar aquí a doce horas de distancia de mi querido Piñas, de donde para cumplir mis sueños y superarme tuve que recorrer cientos de kilómetros. Gracias porque a la distancia su amor y cálidos abrazos se sentían muy cerca. Sin duda, son mi razón de superación.

A mis hermanos, que desde niños soñamos con ser profesionales y hoy, estoy muy orgullosa de que todos los logramos.

A Jairo con quien con mucho esfuerzo y dedicación logramos desarrollar esta investigación y cumplir una meta más juntos.

A todos estos seres maravillosos que forman parte de mi vida, que me brindan mucho amor y apoyo siempre. Los amo.

Génesis Nohelia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Juanita Naranjo, quien ha sido mi fuente de fuerza, motivación e inspiración para cumplir mis metas.

A mi enamorada Génesis, con quien hemos compartido tiempo, dedicación y esfuerzo para lograr ser el mejor equipo, nuestro apoyo mutuo nos ha permitido cumplir muchas metas.

Jairo Alexander

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	VI
CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XXIV
ÍNDICE DE TABLAS	XXIV
RESUMEN	XXV
ABSTRACT	XXVI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance	5
1.5. Metodología	5
1.6. Marco Teórico	6
1.6.1 Depósitos Epitermales	6
1.6.1.1 Epitermales de alta sulfuración	8
1.6.1.2 Epitermales de baja sulfuración	9
1.6.1.3 Epitermales de sulfuración intermedia	10
1.6.2 Alteraciones Hidrotermales	11
1.6.2.1 Estilos de alteraciones	12
1.6.2.2 Tipos de alteración hidrotermal	12

1.6.2.2.1	<i>Alteración Potásica</i>	12
1.6.2.2.2	<i>Alteración Propilítica</i>	13
1.6.2.2.3	<i>Alteración Fílica</i>	13
1.6.2.2.4	<i>Alteración Argílica</i>	13
1.6.2.2.5	<i>Alteración Argílica Intermedia</i>	13
1.6.2.2.6	<i>Alteración Argílica Avanzada</i>	14
1.6.3	Texturas de cuarzo en vetas epitermales	15
1.6.3.1	Clasificación de texturas del cuarzo	15
1.6.3.1.1	<i>Texturas Primarias</i>	15
	Textura Masiva:	15
	Textura Crostiforme (crustiform):	15
	Textura Cucarda (cockade):	15
	Textura Coloforme:	15
	Textura Musgosa (moss):	15
	Textura En peine (comb):	16
	Textura Zonal:	16
1.6.3.1.2	<i>Texturas de recristalización</i>	17
	Textura Mosaico (Mosaic):	17
	Textura Plumosa (feathery):	17
	Textura Llameante (flamboyant):	17
	Textura Esferoidal (Ghost-sphere):	17
1.6.3.1.3	<i>Texturas de reemplazo</i>	18
	Textura Pseudo Afilada (bladed):	18
	• Textura En enrejado (lattice bladed):	18
	• Textura Fantasma (ghost bladed):	18
	• Textura Paralela (parallel bladed):	18

Textura Pseudo – acicular:	18
Textura Sacaroidal:	19
1.6.4 Controles geométricos de la mineralización	19
1.6.4.1 Control Estructural	20
1.6.4.2 Control Hidrotermal	20
1.6.4.3 Control Litológico	20
1.6.5 Estructuras Geológicas	21
1.6.5.1 Fallas Geológicas	21
1.6.5.2 Diaclasas	21
1.6.5.3 Vetas	22
CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO	23
2.1. Contexto Geodinámico	23
2.2. Geología Regional	24
2.2.1 Complejo Metamórfico El Oro	25
2.2.2 Formación Chinchín	26
2.2.3 Formación Sacapalca	26
2.2.4 Formación Burrohuaycu	26
2.2.5 Grupo Saraguro	26
2.2.6 Formación Santa Isabel	27
2.2.7 Grupo Nabón	27
2.2.8 Formación Turi	27
2.2.9 Formación Uchucay	27
2.2.10 Formación Quimsacocha	28
2.2.11 Formación Tarqui	28
2.2.12 Formación Turupamba	28
2.3 Geología Local.....	28
2.3.1 Unidad Portovelo	29

Serie Muluncay	30
Serie Portovelo	30
Serie Faique	30
2.3.2 Características del Distrito Minero Zaruma – Portovelo	31
2.3.2.1 Área y Ubicación	31
2.3.3 Estructuras principales	31
2.3.3.1 Falla Piñas – Portovelo	31
2.3.3.2 Falla Palestina - Puente Buza	32
2.3.4 Mineralización	33
2.3.5 Alteraciones hidrotermales	33
2.3.5.1 Alteración local de ambiente de pórfido	33
2.3.5.2 Alteración local asociada al sistema de vetas	33
CAPÍTULO 3. MAPEO, MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS	34
3.1 Mapeo Geológico y Estructural en Interior Mina	34
3.1.1 Levantamiento topográfico subterráneo	34
3.1.2 Mapeo Geológico – Estructural	38
3.1.2.1 Mapeo Estructural	40
3.1.2.1 Mapeo Geológico	45
3.2 Muestreo	47
3.2.1 Muestras de roca	47
3.2.2 Muestras de mineralización	48
3.3 Métodos Analíticos.....	49
3.3.1 Petrografía y Mineralogía	49
3.3.1.1 Láminas delgadas y láminas pulidas	51
3.3.1.1.1 Elaboración de láminas delgadas	53
3.3.1.1.2 Elaboración de Láminas Pulidas	54
3.3.2 Geoquímica mineral	56

3.3.2.1	Fluorescencia de Rayos X (XRF)	56
3.3.2.1.1	<i>Preparación de muestras para análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF)</i>	57
3.3.2.2	Ensayos al fuego	65
3.3.2.3	Espectrometría de absorción atómica (EAA)	68
4	RESULTADOS ESTRUCTURALES, PETROGRÁFICOS Y MINERALÓGICOS	69
4.1	Estructuras Regionales.....	69
4.1.1	Estructuras locales	70
4.1.1.1	Análisis de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche	71
4.1.1.2	Análisis de fallas y diaclasas en galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche	72
4.2	Petrografía y mineralogía de la roca caja	75
4.2.1	Andesita	75
4.2.2	Dacita	78
4.2.3	Toba andesítica	80
4.2.4	Brecha volcánica	82
4.3	Alteración hidrotermal.....	84
4.3.1	Alteración propilítica	84
4.3.2	Alteración subpropilítica	88
4.3.3	Silicificación	88
4.4	Petrografía, mineralogía y secuencia paragenética de la mineralización	89
4.4.1	Etapa 1	90
4.4.2	Etapa 2	91
4.4.3	Etapa 3	93
4.4.4	Etapa 4	96
4.4.5	Etapa 5	99
5	Discusión	101

5.1	Caracterización estructural de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche.....	101
5.2	Caracterización litológica y alteraciones hidrotermales en las vetas Jorupe - Tres Reyes y Soroche.....	104
5.3	Caracterización de la paragénesis mineral en las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche.....	106
5.4	Características de depósitos epitermales de sulfuración intermedia	108
6	Conclusiones y Recomendaciones.	110
6.1	Conclusiones.....	110
6.2	Recomendaciones	111
	BIBLIOGRAFÍA	112
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema conceptual de ambientes hidrotermales, mostrando la relación entre ambientes epitermales, intrusiones magmáticas, circulación de fluidos, rocas volcánicas y basamento. A. Magmático-hidrotermal; B. Geotermal. (Simmons, 2005).	7
Figura 1.2. Esquema comparativo de procesos y características (Alteración, pH, temperatura, fluidos, reacciones) en depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Camprubí, 2003).	9
Figura 1.3. Modelo relación entre depósitos tipo pórfido y epitermal de alta e intermedia sulfuración, se resalta en rojo la formación de la zona epitermal de intermedia sulfuración (Modificada de Sillitoe & Hedenquist, 2003).	10
Figura 1.4. Minerales asociados a diferentes tipos de alteración hidrotermal, tomando en cuenta pH y temperatura (Corbett & Leach, 1998).	14
Figura 1.5. Texturas Primarias (Dong et al., 1995).	16
Figura 1.6. Texturas de recristalización (Dong et al., 1995).	18
Figura 1.7. Texturas de reemplazamiento (Dong et al., 1995).	19
Figura 1.8. Controles geométricos y estilos de mineralización. A. Control Estructural; B. Control Hidrotermal; C. Control Litológico. (Modificada de Sillitoe, 1993).	21
Figura 1.9. Estructuras Geológicas. A. Falla normal; B. diaclasa; C. Veta (Modificada de Fossen, 2010).	22
Figura 2.1. Mapa geodinámico del Ecuador (Vallejo, 2020).	24
Figura 2.3. Mapa geológico del Distrito minero Zaruma - Portovelo (Modificado de Bonilla, 2009).	29
Figura 2.4. Corte geológico SW-NE de la zona de estudio, se indica las series pertenecientes a la Unidad Portovelo (Berrezueta et al., 2021).	30
Figura 2.5. Mapa de ubicación del área de estudio.	31
Figura 2.6. Mapa satelital de la zona de estudio dónde se muestran las fallas Palestina – Puente Buza (FPPB), Piñas – Portovelo (FPP) y las fallas locales del distrito minero Zaruma – Portovelo.	32

Figura 3.1. Perfil de un plano topográfico minero en explotación (García, 2003).	34
Figura 3.2. Toma de puntos con estación total en galerías interior mina.	35
Figura 3.3. Ilustración de puntos ploteados en AutoCAD. A. Nomenclatura marcada sistemáticamente para ubicación de la estación total interior mina; B. Ubicación de puntos estratégicos para referencia.	36
Figura 3.4. Ilustración del método Cinta-Brújula en interior mina.	37
Figura 3.5. Levantamiento topográfico subterráneo generado en AutoCAD utilizando los datos tomados en interior mina con estación total y cinta – brújula.	38
Figura 3.6. Galería secundaria en veta Jorupe – Tres Reyes. A. Observación de los principales rasgos geológicos; B. Toma de datos estructurales de un plano de falla.	39
Figura 3.7. Ubicación de los puntos de control; A. Marcado de los puntos cada 5m en las paredes de las galerías; B. Nomenclatura de los puntos utilizada.	40
Figura 3.8. Ubicación para la toma de datos. A. Ubicación en el centro de la galería; B. Proyección del plano imaginario.	41
Figura 3.9. Toma de datos estructurales, Dip Direction/Dip de las vetas y fallas. A. Toma de datos directamente sobre el plano de falla; B. Toma de datos proyectando el plano de falla con un tablero de plástico; C. Representación gráfica de toma de medidas de Dip Direction/Dip.	42
Figura 3.10. Proyección de las estructuras en el plano imaginario. A. Proyección del plano de la veta con el flexómetro; B. Distancia desde el centro de la cintura hasta donde corta la estructura (veta) en el plano imaginario; C. Representación gráfica de la proyección de estructuras.	43
Figura 3.11. Toma de datos estructurales (potencia de la veta). A. Medición de la potencia de la veta; B. Representación gráfica de como medir la potencia de la veta.	43
Figura 3.12. Datos estructurales generados. A. Esquema de los datos medidos en la libreta de campo; B. Representación gráfica del proceso para la toma de medidas de las vetas y fallas.	44
Figura 3.13. Datos estructurales generados. A. Esquema de los datos medidos en la libreta de campo; B. representación gráfica del proceso para la toma de medidas de las diaclasas.	45

Figura 3.14. Mapeo Geológico en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes. Se observa y describe litología, estructuras, mineralización, alteraciones y se plasman los datos en la libreta de campo.	46
Figura 3.15. Mapa de ubicación de muestras de roca tomadas en mina para láminas delgadas.	47
Figura 3.16. Mapa de ubicación de muestras de mineralización tomadas en interior mina para ensayos al fuego y espectroscopía de Absorción Atómica.	48
Figura 3.17. Mapa de ubicación de muestras tomadas en interior mina para láminas pulidas y análisis de fluorescencia de rayos X (FRX).	49
Figura 3.18. Representación de minerales de mena, ganga y roca encajante (Foto del área de estudio, veta Jorupe – Tres Reyes).	50
Figura 3.19. Ilustración de láminas delgadas. A. Esquema gráfico con las partes de una lámina delgada; B. Partes de una lámina delgada del área de estudio.	51
Figura 3.20. Ilustración de láminas pulidas. A. Esquema gráfico con las partes de una lámina pulida; B. Partes de una lámina pulida del área de estudio.	51
Figura 3.21. Proceso inicial para la elaboración de láminas delgadas y pulidas. A. Corte de las rocas en chips; B. Chip de roca; C. Mezcla de epoxi y endurecedor (marca ZAP Z-POXY); D. Chip de roca adherido a la lámina de vidrio.	52
Figura 3.22. Procedimiento, equipos, y materiales para la elaboración de láminas delgadas. A. Pulido del chip de roca con la pulidora; B. Pulido del chip de roca con polvo de carburo de silíceo; C. Chip de roca adherido a la lámina de vidrio y portaobjetos petrográfico mediante epoxi y endurecedor; D. Cortadora INGRAM-WARD 400U y pulidora INGRAM-WARD 137U; E. Aplicación del cubreobjeto petrográfico; F. Resultado final de la lámina delgada.	54
Figura 3.23. Procedimiento, equipos, y materiales para la elaboración de láminas pulidas. A. Corte del chip de roca; B. Pulido del chip de roca; C. Desbastado del chip de roca; D. Lijas de carburo de silicio; E. Pulido final del chip de roca con pasta de diamante; F. Resultado final de la lámina pulida.	55
Figura 3.24. Equipo para el análisis de fluorescencia de rayos X – XRF. Foto tomada en el laboratorio de Geostrat S.A.	57

- Figura 3.25. Proceso inicial de preparación de muestras. A. Etiquetado de las rocas; B. Corte de las rocas en secciones; C. Cortadora INGRAM-WARD 400U; D. Trituración manual de las rocas. 58
- Figura 3.26. Juego de molienda de carburo de tungsteno de 100 ml (marca Retsch). A. Partes del juego de molienda; B. Forma correcta de colocar el juego de molienda; C. Espacio adecuado para colocar la muestra triturada. 59
- Figura 3.27. Uso del molino de discos vibratorio. A. Molino de discos vibratorio RS 200 (marca Retsch); B. Ajuste del perno de bloqueo; C. Forma correcta de colocar el juego de molienda en el molino de discos vibratorio; D. Parámetros para el funcionamiento del molino de discos vibratorio. 60
- Figura 3.28. Resultado obtenido del molino de discos vibratorio. A. Muestra molida; B. Extracción de la muestra del juego de molienda; C. Empaquetamiento de las muestras molidas. 60
- Figura 3.29. Material XRF para colocar las muestras molidas. A. Muestras empaquetadas y etiquetadas; B. Partes del anillo de presión modelo 1340 marca Chemplex; C. Prolene (plástico especial para XRF) marca Chemplex. 61
- Figura 3.30. Armado del Anillo de Presión. A. Corte del Prolene; B. Unión del anillo principal, prolene y anillo de presión. 62
- Figura 3.19. Relleno del anillo de presión con la muestra molida. A. Relleno del envase; B. Colocar algodón sobre la muestra molida; C. Sellado del envase. 62
- Figura 3.32. Proceso final de la preparación de la muestra. A. Etiquetado de la muestra; B. Muestra lista para ser analizada en el equipo XRF; C. Empaquetamiento de la muestra en funda hermética. 63
- Figura 3.33. Armado y análisis del equipo XRF portátil Vanta (serie M marca Olympus). A. Componentes del equipo XRF portátil; B. Colocación de la muestra de análisis. 64
- Figura 3.34. Proceso de análisis de las muestras. A. Colocación de la tapa para realizar el disparo; B. Registro de la información después de cada disparo; C. Muestra utilizada para el control de calidad. 64
- Figura 3.35. Proceso de análisis de las muestras de mano con el espectrómetro XRF portátil. A. Colocación de la muestra en el equipo; B. Tiempo de análisis por disparo (90 s); C. Registro de la información después de cada disparo. 65

Figura 3.36. Proceso de preparación de muestras para análisis de ensayo al fuego; A. Secado de muestra utilizando una cocina de convección; B. Trituración de la muestra utilizando un molino de disco; C. Pulverización de la muestra utilizando un pulverizador; D. Fundición de la muestra utilizando un horno de alta temperatura; E. Botón de doré obtenido del proceso de copelación; F. Equipo de Absorción Atómica marca Varian modelo SpectrAA 55B utilizado para realizar los análisis en el Laboratorio Químico y Metalúrgico de la empresa minera Oroconcent S. A. 67

Figura 3.37. Equipo de Espectrometría de absorción atómica marca Varian modelo SpectrAA 55B del Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Minera Oroconcent S. A. 68

Figura 4.1. Modelo de Digital de Elevación (DEM) de la zona de estudio. 69

Figura 4.2. Imagen Satelital generada para la zona de estudio (Google, 2023). 70

Figura 4.3. Control estructural de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las vetas; B. Veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (130/80); C. Veta Soroche con datos estructurales (120/75); D. Veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (128/87). 72

Figura 4.4. Control estructural de las fallas. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las fallas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche; B. Plano de falla en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (110/55); C. Plano de falla en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (128/33); D. Plano de falla en galería de la veta Soroche con datos estructurales (98/73). 73

Figura 4.5. Control estructural de las diaclasas. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las diaclasas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche; B. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes; B. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Soroche; C. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes. 74

Figura 4.9. Muestras de mano de lavas andesíticas. A. Roca compuesta principalmente de Pl y minerales máficos (Amp, Px) alterados a Chl (RSC1); B. Venillas de Qz y Cal que cortan a la lava andesítica (SNC4); C. Roca con textura porfídica, compuesta principalmente por fenocristales de Pl y Amp englobados en una matriz con ligera silicificación (RNC8); D. La muestra presenta una alteración selectiva a las muestras anteriores (MMC13).

Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclasa; Px: piroxeno; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 75

Figura 4.10. Láminas delgadas correspondientes a lavas andesíticas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP). A. Textura porfídica, fenocristales de Pl y minerales máficos alterados a Chl, englobados en una matriz silicificada (MMC13); B. Textura glomeroporfídica, crecimiento en grupo de minerales máficos alterados a Chl (RSC15); C. Vetilla de Cal bordeada por granos subhedrales de Qz (SNC4); D. Fenocristales de Bt fresca, Pl y minerales máficos alterados inmersos en una matriz silicificada y cortada por vetillas de Qz de grano fino (SNC4); E. Textura poiquilítica, pequeños granos de Chl incluidos en el fenocristal de Pl (RSC1); F. Pl con macla polisintética, Px (Aug) frescos con maclas simples y lamelares (MMC13). Abreviaciones minerales: Aug: augita; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclasa Px: piroxeno; Qz: cuarzo (Whitney & Evans, 2010). 76

Figura 4.11. Muestras de mano de lavas dacíticas. A. Roca compuesta principalmente por Pl, Qz, Bt y Amp (RNC10); B. Roca con textura porfídica fenocristales de Pl, Qz, Bt y Amp englobados en una matriz silicificada (SSC9). Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo (Whitney & Evans, 2010). 78

Figura 4.12. Láminas delgadas correspondientes a las lavas dacíticas con nícoles cruzados (NC). A. Textura porfídica, fenocristales de Pl, Qz y minerales máficos reemplazados por Cal, englobados en una matriz levemente silicificada (RNC10); B. Textura glomeroporfídica, crecimiento en grupo de Pl (alteradas a Ser, Arc, Ep y reemplazadas por Cal), se observa molde de una posible Hbl (forma hexagonal) junto a Bt fresca (SSC9); C. Pl con macla polisintética (SSC9); D. Granos redondeados de Qz con extinción ondulante y moldes de posibles minerales máficos con intensa alteración (SSC9). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Pl: plagioclasa; Py: pirita; Qz: cuarzo; Ser: sericita Las rocas presentan un color gris oscuro ligeramente verdoso (Fig. 4.11) (Whitney & Evans, 2010). 79

Figura 4.13. Muestras de mano de las tobas de composición andesítica. A. Toba vitrocrystalina con amígdalas rellenas por Ep (REC2); B. Toba de cristales con pequeños fragmentos líticos de composición andesítica (RSC7); C. Toba de cristales con abundante Py dispersa en la roca (RSC11); D. Toba de cristales con textura fragmentada (MCC12). Abreviaciones minerales: Ep: epidota; Py: pirita (Whitney & Evans, 2010). 81

Figura 4.14. Láminas delgadas correspondientes a las tobas de composición andesítica con nícoles cruzados (NC). A. Toba vitrocrystalina, compuesta por fragmentos de cristales de Pl, Chl y fragmentos líticos silicificados (REC2); B. Pl con macla polisintética y leve alteración a Ep (RSC7); C. Cristales de minerales máficos totalmente alterados a Chl y cristales de Pl alterados a Ser, Arc y reemplazados por Cal (RSC11); D. Vetillas de Ep y Qz que cortan la roca (AGDC6). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 82

Figura 4.15. Muestra de mano y láminas delgada correspondientes a la brecha volcánica con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP). A. Muestra de mano de la brecha volcánica (RNC5); B. Fragmentos líticos y fragmentos de cristales (Pl, Ep), englobados en una matriz compuesta principalmente por Vg y microlitos de Pl, Qz y Chl (RNC5); C. Oquedades rellenas por Ep y Chl (RNC5); D. Oquedades rellenas por Ep y Cal (RNC5). Abreviaciones minerales: Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Vg: vidrio (Whitney & Evans, 2010). 83

Figura 4.16. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP) muestran alteración propilítica pseudomórfica, Chl formada a partir de minerales máficos (Amp, Px, Bt). A. Chl con forma subhedral de hábito tabular formada a partir de Px (RSC1); B. Chl con forma hexagonal, posible Hbl alterada principalmente a Chl, levemente a Ep y reemplazada parcialmente por Cal (SSC9); C. Cristales euhedrales de Chl de hábito tabular englobados en una matriz silicificada (RSC15); D. Chl subhedral de hábito tabular alargado, forma heredada de minerales máficos, alterados principalmente a Chl y parcialmente a Ser, Arc y Cal (MMC13). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Px: piroxeno; Py: pirita; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 85

Figura 4.17. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP), presentan alteración propilítica, Ep formada a partir de la alteración de fenocristales de Pl y minerales máficos (Amp, Bt). A. Ep como producto de la alteración de fenocristales de Pl (RSC7); B. Microcristales de Ep agrupados con formas prismáticas (RSC14); C. Ep como resultado de la alteración de minerales máficos que previamente se alteraron a Chl (RNC8). D. Pseudomorfo de Chl y Ep (RSC7). Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa (Whitney & Evans, 2010). 86

Figura 4.18. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) que presentan alteración propilítica, agregados de Ser, Cal y Arc en fenocristales de Pl y minerales máficos (Amp, Px, Bt.). A. Cal reemplazando casi totalmente a minerales máficos que previamente se alteraron a Chl y Ep (RNC10); B. Fenocristal de Pl con alteración intensa a Ser, Arc y levemente a Ep y reemplazado parcialmente por Cal (MCC12); C. Fenocristal de Pl parcialmente alterado a Ser, Arc y Ep (RNC8); D. Posible mineral máfico (Hbl por la forma hexagonal) alterado intensamente a Ser, Arc y reemplazo parcialmente por Cal (SSC9). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Pl: plagioclasa; Px: piroxeno; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 87

Figura 4.19. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP) que presenta alteración subpropilítica. A. Fenocristales de Pl y minerales máficos alterados a Chl englobados en una matriz silicificada (RSC1 con NP); B. Fotografía anterior con NC, donde se observa la alteración de Pl a Ser, Arc y leve reemplazamiento por Cal (RSC1 con NC). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclasa; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 88

Figura 4.20. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) indicando silicificación en la matriz y fenocristales. A. Qz microgranular reemplazando la matriz de la roca y englobando fenocristales de Pl y minerales máficos alterados (MCC13); B. Fenocristal de Pl con alteración a Ser, Arc, Ep y reemplazado parcialmente por Qz (RNC8). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010). 89

Figura 4.21. Secuencia paragenética de las vetas Jorupe - Tres Reyes y Soroche. 90

Figura 4.22. Láminas pulidas con nícoles cruzados (NC) correspondientes a la mineralización de la zona de estudio. A. Ccp reemplazando a Sp, Gn y Py (AD12A); B. Gn bordeando a la Sp y reemplazándola a través de pequeñas fracturas (AD12A); C. Ccp reemplazando a Gn, se observan entrantes cóncavas de Ccp en la Gn (RS7A); D. Pequeños granos de Ccp reemplazando a Sp (enfermedad de la calcopirita) (SN11). Abreviaciones minerales: Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz₂: cuarzo cristalino; Sp: esfalerita (Whitney & Evans, 2010). 92

Figura 4.23. Muestras de mano correspondientes a las texturas del cuarzo y mineralización en la zona de estudio. A. Textura peine y crostiforme; B. Textura crostiforme – coliforme,

peine y zonal; C. Textura en enrejado; D. Esfalerita de color miel característica de las vetas de estudio, acompañada de galena, calcopirita y pirita (Whitney & Evans, 2010). 93

Figura 4.24. Láminas pulidas con nícoles cruzados (NC) correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Ccp masiva englobando cristales de Py (SS6A); B. Tnt-Ttr como microvenillas (RS7B); C. Ccp y Py reemplazando selectivamente a Gn en los bordes (AD12B); D. Ccp y Py reemplazando selectivamente a Sp en los bordes (RS9); E. Microgranos de Au incluido en la Py euهدral (RS7B). F. Au incluido en la Py subهدral, Ccp bordeando a Py y reemplazando selectivamente a Gn y Sp (SS6A). Abreviaciones minerales: Au: oro; Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz₂: cuarzo cristalino; Sp: esfalerita; Ttr – Tnt: tetraedrita – tennantita (Whitney & Evans, 2010). 94

Figura 4.25. Diagrama “Gold Solubility in Pyrite” realizado en el software ioGAS, representa la asociación Au-As en la pirita. 95

Figura 4.26. Láminas pulidas con nícoles cruzados (NC) (A-B-C) y muestra de mano (D) correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Ccp y Gn bordeando y reemplazando selectivamente a cristales anhedrales de Sp; B. Ccp reemplazando a Sp y generando la textura enfermedad de la Ccp (pequeños granos de Ccp en Sp); C. Py euهدral en intercrecimiento con Ccp y como inclusiones en el Qz₃; D. Sp, Ccp, Gn y Py bordeando al Qz₃ (limitando el Qz₂ del Qz₃). Las láminas pulidas descritas y muestra de mano corresponden a la muestra RS10. Abreviaciones minerales: Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz₂: cuarzo cristalino; Qz₃: cuarzo lechoso; Sp: esfalerita (Whitney & Evans, 2010). 96

Figura 4.27. Muestras de mano correspondientes a las texturas de los minerales de ganga en la zona de estudio. A. Qz₃ con textura sacaroidal y textura peine intercrecida con Cal euهدral; B. Textura en enrejado reemplazada por Qz amatista; C. Cal bipiramidal intercrecida con Qz tipo peine; D. Qz amatista con textura peine. Abreviaciones minerales: Cal: calcita; Qz₃: cuarzo lechoso (Whitney & Evans, 2010). 97

Figura 4.28. Muestras de mano correspondientes a las texturas de los minerales de ganga y mineralización en la zona de estudio. A. Sulfuros bordeando núcleo de Qz₂ y mineralización de los eventos 2 y 3; B. Fl intercrecida con Gp; C. Gp fibroso cortando eventos anteriores; D. Qz₃ con fragmentos de mineralización de eventos 2 y 3. Abreviaciones minerales: Fl: fluorita; Gp: yeso; Qz₂: cuarzo cristalino; Qz₃: cuarzo lechoso (Whitney & Evans, 2010). 98

Figura 4.29. Muestras de mano correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Mlc terrosa; B. Az en intercrecimiento con Mlc; C. Cv reemplazando a Ccp y Py; D. Cct reemplazando a Ccp y Py. Abreviaciones minerales: Az: azurita; Cct: calcosina; Ccp: calcopirita; Cv: covelina; Mlc: malaquita; Py: pirita (Whitney & Evans, 2010). 99

Figura 5.1. Modelo de Riedel. Donde σ_1 = esfuerzo máximo; σ_3 = esfuerzo mínimo; P= cizalla sintética secundaria; R= cizalla sintética; X=fractura de cizallamiento; R'= cizalla antitética (Modificada de Bonilla, 2009). 101

Figura 5.2. Representación de esfuerzos y deformaciones. A. Relación entre la orientación del estrés principal y regímenes tectónicos (Modificado de Anderson, 1951); B. Diedros rectos que indican los campos de compresión (P) y tensión (T) para una falla transcurrente (Modificado de Allmendinger, 1986). 102

Figura 5.3. Diedros rectos de las fallas, las flechas azules representan el esfuerzo principal σ_1 con dirección NO-SE. 102

Figura 5.4. Mapa litológico del área de estudio (Vetas: Soroche y Jorupe - Tres Reyes). 105

Figura 5.5. Mapa de alteraciones propilítica, subpropilítica y silicificación presentes en el área de estudio (Vetas: Soroche y Jorupe - Tres Reyes). 106

Figura 5.6. Imágenes de sulfuros dominantes en la zona de estudio (Zn, Pb, Cu, Fe). A. esfalerita color miel; B. galena con exfoliación cúbica; C. calcopirita masiva; D. Pirita cúbica. 108

Figura 5.7. Kutnohorita como agregado de cristales aciculares de color rosado encontrado en la veta Soroche. 109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01.	120
Registro de datos estructurales obtenidos en las galerías Jorupe – Tres Reyes y Soroche interior mina para análisis estructurales.	121
Anexo 02.	126
Registro de muestras para análisis mineralógicos, petrográficos y geoquímicos (láminas delgadas, láminas pulidas, absorción atómica y análisis de fluorescencia de rayos X).	127
Anexo 03	129
Fichas de descripción de láminas delgadas.	130
Anexo 04.	160
Registro de valores generados por análisis de fluorescencia de Rayos X realizados en el laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).	161
Anexo 05.	163
Registro de valores generados por análisis de fluorescencia de Rayos X realizados en el laboratorio de la empresa Geostat S. A.	164
Anexo 06.	166
Fichas de descripción de láminas pulidas.	167
Anexo 07.	197
Registro de valores generados por análisis de ensayos al fuego y absorción atómica realizados en el laboratorio químico y metalúrgico de la empresa minera Oroconcent S. A.	198

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la clasificación de los depósitos epitermales (Modificada de Sillitoe & Hedenquist, 2003).	8
--	---

RESUMEN

El distrito minero Zaruma – Portovelo es de gran interés para la economía del Ecuador desde hace más de 500 años, ha permanecido en constante explotación y exploración por varias compañías nacionales e internacionales. Está situado en la provincia de El Oro en los cantones de Zaruma y Portovelo, al oeste de la Cordillera Occidental. El distrito está conformado por una serie de vetas y se define como un depósito epitermal de sulfuración intermedia, las vetas se hospedan en la unidad Portovelo que pertenece al grupo Saraguro.

Aunque algunos autores han estudiado el distrito minero Zaruma-Portovelo, la caracterización estructural y mineralógica de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche es poco conocida. Para llevar a cabo esta investigación se realizó análisis estructurales, petrográficos y geoquímicos. En interior mina se efectuó un levantamiento topográfico subterráneo y mapeo geológico - estructural. En muestras de rocas se elaboró láminas delgadas y pulidas, ensayos al fuego, absorción atómica y fluorescencia de rayos X.

Las vetas de estudio muestran orientaciones que sugieren su formación durante un sistema geodinámicamente activo con rumbo N-S con ligeras variaciones NE-SW controlado por las fallas inversas dextrales Piñas – Portovelo y Palestina – Puente Buza. Este sistema de fallas compuesto es el principal rasgo estructural que controla la mineralización.

Las litologías dominantes en las que encajan las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche son andesitas, dacitas, tobas andesíticas y brechas volcánicas pertenecientes a la Unidad Portovelo. Estas rocas presentan una alteración hidrotermal bastante desarrollada, principalmente propilítica, subpropilítica y silicificación.

La secuencia paragenética del sistema de vetas polimetálicas Jorupe – Tres Reyes y Soroche se define en cinco etapas. La primera etapa corresponde a la propilitización de la roca caja original, las etapas dos y tres representan la mineralización económica caracterizadas por una abundancia de sulfuros, inicialmente enriquecida por esfalerita, galena, y posteriormente por calcopirita, pirita con inclusiones de oro, y en menor cantidad tennantita - tetraedrita. La etapa cuatro corresponde a una disminución de sulfuros y el aumento de cuarzo lechoso. La última etapa se define por un enriquecimiento supergénico, caracterizado por minerales como covelina, calcosina, malaquita y azurita.

Palabras clave: Distrito Zaruma-Portovelo, Geología Estructural, Petrografía, Secuencia Paragenética, Epitermal.

ABSTRACT

The Zaruma-Portovelo mining district has been of great interest to Ecuador economy for over 500 years. It has remained in constant exploitation and exploration by several local and international companies. It is located in the El Oro province, namely in Zaruma and Portovelo, west of the Western Cordillera. The mining district is composed of a series of veins and is defined as an intermediate sulfidation epithermal deposit, the veins are hosted in the Portovelo unit which belongs to the Saraguro group.

Although several authors have studied the Zaruma-Portovelo mining district, the structural and mineralogical characterization of the Jorupe - Tres Reyes and Soroche veins is not well known. We approach this research by performing, structural, petrographic, and geochemical analyses. Topographic surveys and geological-structural mapping were carried out inside the mine. Furthermore, thin and polished sections, fire assay, atomic absorption and X-ray fluorescence were prepared from rock samples.

The studied veins orientation suggests that their formation happened during a geodynamically active system with N-S strike with slight NE-SW variations controlled by the Piñas - Portovelo and Palestina - Puente Buza dextral reverse faults. This composite fault system is the main structural feature controlling mineralization.

The dominant lithologies in which the Jorupe - Tres Reyes and Soroche veins are hosted are andesites, dacites, andesitic tuffs and volcanic breccias belonging to the Portovelo Unit. These rocks show developed hydrothermal alteration, mainly propylitic, subpropylitic and silicification.

The paragenetic sequence of the Jorupe - Tres Reyes and Soroche polymetallic vein system is defined in five stages. The first stage corresponds to the propylitization of the original host rock, stages two and three correspond to the economic mineralization characterized by an abundance of sulfides, initially enriched by sphalerite, galena, and later by chalcopyrite, pyrite with gold inclusions, and to a lesser extent tennantite - tetrahedrite. Stage four corresponds to a decrease in sulfides and an increase in milky quartz. The last stage is characterized by a supergene enrichment process, where minerals such as covellite, chalcocite, malachite and azurite are most prevalent.

Key words: Zaruma-Portovelo District, Structural Geology, Petrography, Paragenetic Sequence, Epithermal.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El distrito minero Zaruma – Portovelo ha sido de gran interés para la economía del Ecuador desde hace más de 500 años. Los trabajos mineros en la zona comenzaron de manera informal desde la época preincaica hasta llegar al año 1889 en donde la compañía minera Sadco (South American Development Company) desarrolló la zona de manera tecnificada. Se ha estimado que se han extraído 4.7 millones de onzas de oro (Spencer et al., 2002), la zona ha permanecido en constante explotación por varias compañías, condóminos y sociedades mineras de origen nacional e internacional.

Se atribuye el yacimiento a un epitermal de intermedia sulfuración donde la roca encajante son tobas andesíticas de la unidad Portovelo con una edad de 21.5 - 28.4 Ma (Dunkley & Gaibor, 1997). Generalmente presenta alteración propilítica y vetas mineralizadas que indican una edad de 21 a 24 Ma (Schütte et al., 2010). Estas vetas conocidas como históricas fueron nombradas por Billingsley (1926) y se extienden por 15 km de largo y 4 km de ancho, están definidas por el control estructural marcado preferentemente con sentido N - S.

El presente proyecto de investigación tiene por objetivo caracterizar la mineralización del Yacimiento Zaruma – Portovelo. A pesar de su historia, importancia y magnitud del depósito, pocos han sido los estudios que se han realizado para comprender el origen de formación de los minerales de mena. Para llevar a cabo esta investigación se analizó láminas pulidas y láminas delgadas para determinar la mineralización y roca encajante respectivamente. Además, se realizaron análisis geoquímicos para caracterizar la mineralización.

Se utilizó imágenes satelitales y modelos de elevación digital de la zona de estudio para determinar las estructuras regionales, mientras que, con los datos tomados en campo de vetas, fallas y diaclasas se pretende conocer el comportamiento estructural mediante la estimación de los principales esfuerzos que afectaron al yacimiento mineral.

1.1. Antecedentes

El Ecuador continental se caracteriza por tener cinco regiones morfotectónicas: el Antearco Costero, la Cordillera Occidental, el Valle Interandino, la Cordillera Oriental y la Cuenca Oriente (Vallejo et al., 2019). El área de estudio se encuentra al suroeste de la Cordillera Occidental, en la provincia de El Oro, dentro del distrito minero Zaruma - Portovelo (cantones de Zaruma y Portovelo). Este depósito mineral consiste en un conjunto de vetas y vetillas ricas en metales base relacionadas con el magmatismo del arco continental del Paleógeno - Neógeno (Spencer et al., 2002). Se encuentra formado por intrusiones y rocas volcánicas de composición básica a intermedia que constituyen la Unidad Portovelo del Grupo Saraguro, tiene una edad de Oligoceno tardío al Mioceno temprano de 21,5 a 28,5 Ma (Dunkley y Gaibor, 1997). En la unidad Portovelo se aloja la mineralización (Pratt et al., 1997). El distrito se encuentra limitado por las fallas Piñas – Portovelo y Palestina Puente Buza, consideradas como parte de los principales componentes estructurales del sur del Ecuador (Pratt et al., 2005).

La subducción de la placa Farallón bajo el margen continental durante el Cenozoico Inferior fue oblicua (NE). A inicios del Mioceno se produjo un cambio de dirección en la convergencia de la placa de oblicuo a ortogonal (EW) y con ello la disminución del ángulo de subducción (Pilger, 1983). Este evento ocurre posterior a la depositación de la Unidad Portovelo y se considera que las vetas mineralizadas con dirección N - S, se formaron durante o antes del cambio del ángulo de subducción (PRODEMINCA, 2000).

El distrito minero Zaruma – Portovelo ha sido de gran interés para la explotación de recursos minerales metálicos durante siglos. Las operaciones mineras en esta zona comenzaron antes de la época pre-incaica, continuando con la llegada de los españoles. Posteriormente en la época republicana, algunas compañías de origen chileno, británico y francés realizaron campañas de exploración, aunque no tuvieron éxito en sus operaciones. En el año 1896 la Compañía minera South American Development Company (SADCO) de origen norte-americano, con eficiencia en su trabajo exploratorio, comenzó operaciones con gran éxito, las cuales, para 1905 generaban un total de 108 t por día con una ley promedio de 14.5 g/t (Spencer et al., 2002). Sin embargo, los niveles inferiores de la mina Portovelo se inundaron en 1944 y en 1950 SADCO se retiró del campamento minero. La propiedad pasó al gobierno ecuatoriano, que bajo el mando de la Compañía Industrial Minera Asociada (CIMA), se estima que produjo al menos 375.000 oz de oro hasta 1965 (PRODEMINCA,

2000). La mala administración y desarticulación de CIMA provocó el fin de la compañía. Posteriormente se dio el surgimiento de actividades mineras de pequeña escala, muchas veces de carácter informal y precario (Sandoval, 2001). La producción total de oro del distrito desde 1905 hasta el año 2002 se estima en 4,5 M oz (Spencer et al, 2002). Desde entonces, se han producido entre 35.000 y 50.000 oz de oro adicionales cada año. La mayor parte de la producción histórica provino de cinco vetas: Abundancia, Cantabria, Jorupe – Tres Reyes, Soroche y Tamayo (Spencer et al, 2002).

Estas vetas carecen de un estudio detallado y no se han propuesto parámetros estructurales que sirvan de guía para encontrar los sectores económicamente mineralizados en el área de estudio. Esto ha generado problemas como la sobreexplotación de sectores ya extraídos y un mal aprovechamiento del yacimiento mineral. El control estructural ha provocado desplazamientos de la parte económicamente más rentable de la zona, esto incide en la exploración de las vetas, lo que provoca un mal seguimiento y explotación afectando el beneficio económico. Este estudio analizó la mineralización y comportamiento estructural de las vetas que presentan un enriquecimiento económico, mediante la toma de datos estructurales, levantamiento topográfico interior mina y análisis de la alteración y la roca encajante para caracterizar la mineralización. Esto permitió tener un mejor conocimiento geológico de la zona de estudio y servirá como un insumo para su exploración y explotación.

1.2. Justificación

Los depósitos de sulfuración intermedia se originan en arcos calco-alcalinos andesíticos a dacíticos (Sillitoe & Hedenquist, 2003). Se caracterizan por tener un fuerte control estructural y desarrollarse en litologías competentes, esto a su vez genera un estilo o forma de mineralización (Camprubí & Albinson, 2006). Los cuerpos mineralizados se encuentran en vetas o cuerpos brechificados de varios kilómetros de extensión lateral, aunque de forma vertical la mineralización no suele superar los 700 m (Albinson et al., 2001).

Las estructuras influyen en los procesos de mineralización y generan las principales vías para el transporte de los fluidos, crean el espacio para el depósito mineral y controlan las formas del yacimiento. Cuando estas estructuras se generan luego de la formación del yacimiento modifican la geometría original y lo deforman, provocando la supuesta “pérdida” de las vetas por las fallas (Macharé, 2016).

Es importante realizar un estudio detallado sobre el control estructural, enfocado a la formación, mineralización y determinación del comportamiento de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche en el distrito minero Zaruma – Portovelo. El proyecto se desarrolló en la zona minera que históricamente ha producido más de 4.5 M oz de oro (Spencer et al, 2002). A partir del 2002, su producción ha sido consistente debido a los diversos trabajos existentes en la zona. Hasta hace poco era considerado como el distrito minero más importante y productivo del Ecuador (PRODEMINCA, 2000). Actualmente, continúa como una de las mayores fuentes económicas para la zona y el país en general.

Al estudiar las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche dentro del distrito minero Zaruma - Portovelo se buscó comprender de mejor manera el control estructural y su influencia en la mineralización en el área de interés. Este trabajo pretendió combinar datos de campo y de laboratorio tanto físicos como geoquímicos como son análisis estructurales y minerales, topografía subterránea, mapeo geológico – estructural, ensayos al fuego, absorción atómica, fluorescencia de rayos X, láminas delgadas y láminas pulidas.

La información obtenida contribuirá al conocimiento geológico en el contexto estructural y mineralógico, además, permitirá establecer pautas que sirvan como herramienta para optimizar la exploración y explotación de esta zona minera.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Identificar y analizar el control estructural y mineralógico de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche en el Distrito minero Zaruma – Portovelo, mediante datos de campo, petrográficos y geoquímicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Reconocer las estructuras regionales y locales que caracterizan el control estructural de la zona.
- 2) Realizar el mapeo geológico local a detalle basado en levantamientos topográficos.
- 3) Caracterizar las estructuras presentes en la zona de estudio, tomando medidas estructurales con datos de Dip Direction/Dip, desplazamiento y dilatación.
- 4) Determinar la mineralogía de la mena y roca encajante.
- 5) Caracterizar la geoquímica de la mineralización, roca encajante y alteraciones.

- 6) Correlacionar la importancia del control estructural con respecto a la mineralización de la zona de estudio.

1.4. Alcance

Para lograr los objetivos planteados en este proyecto de investigación y poder concluir de manera satisfactoria con los análisis de la parte estructural y mineralógica se realizaron varios puntos a continuación detallados.

- Se identificó la zona de estudio mediante bases topográficas y fotografías aéreas, a partir de la ubicación correcta y colocando un punto en la boca mina del proyecto minero “La Telma” utilizando el GPS diferencial con sistema de doble frecuencia GPS Multiconstelación GNSS RTK/PP, modelo M8 Pro.
- Se realizó campañas de campo en jornadas de 22 días por 6 ocasiones en donde se llevó a cabo la topografía interior mina utilizando estación total en galerías principales y secundarias.
- Mapeo de las galerías utilizando la topografía y siendo ploteada en el programa informático AutoCAD Civil 3D v2021, se procedió a realizar un mapeo a detalle utilizando la escala 1:500 (cada cinco metros) en zonas de interés en donde se consideró representativo por seguimiento de las vetas analizadas en este estudio.
- Se recolectó 40 muestras (20 de Jorupe – Tres Reyes y 20 de Soroche) de aproximadamente dos kilogramos para análisis de laboratorio, mediante ensayos al fuego y absorción atómica. Además, se tomaron 30 muestras de mano georreferenciadas para descripciones petrográficas y análisis geoquímicos. Además, 25 muestras de mano para análisis macroscópicos, láminas delgadas y secciones pulidas.
- Se caracterizó petrográfica y geoquímicamente la mineralización y roca encajante de las vetas Jorupe - Tres reyes y Soroche.
- Se analizó los datos obtenidos interior mina en el software Dips 7.0 y Stereonet para interpretar la caracterización estructural.

1.5. Metodología

Para el cumplimiento de este proyecto de investigación se desarrolló varias etapas, las cuales se describen a continuación:

- 1) Recopilación de información bibliográfica, cartográfica, bases topográficas preexistentes de la zona de estudio y de análisis estructural.
- 2) Trabajo de campo para reconocimiento de la zona de estudio y toma de medidas estructurales, así como las respectivas tomas de coordenadas geográficas (Datum WGS84 17N) utilizando GPS Diferencial (RTK) y fotografías ilustrativas.
- 3) Levantamientos topográficos interior mina utilizando estación total, cinta y brújula partiendo con puntos fijos tomados con GPS diferencial (RTK).
- 4) Trabajo de mapeo geológico a detalle utilizando escala 1:500 (cada 5 metros) interior mina en las vetas estudiadas, el estudio abarcó alrededor de 1 km y se describieron los minerales de mena, ganga y alteración.
- 5) Análisis e interpretación de los datos estructurales obtenidos en campo para realizar un modelo estructural de la zona utilizando el software Dips y Stereonet.
- 6) Elaboración y estudio de muestras para determinar la mineralogía de las vetas, roca encajante y alteraciones utilizando láminas pulidas, láminas delgadas, ensayos al fuego, absorción atómica y fluorescencia de rayos X.
- 7) Integrar e interpretar los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

1.6. Marco Teórico

1.6.1 Depósitos Epitermales

Este tipo de depósitos se caracterizan por haberse formado en un ambiente magmático-hidrotermal a escasa profundidad. Su formación está controlada por fluidos acuosos con influencia de emanaciones ígneas calientes que circulan lateral y verticalmente bajo la superficie de la Tierra a diferentes temperaturas y presiones. Estos fluidos interactúan con otros fluidos externos que transportan los metales que precipitan en rocas preexistentes “roca encajante” (Figura 1.1). Pueden formarse en un rango de temperaturas entre 150-300°C y profundidades entre 1 y 2 km (Hedenquist et al., 2000). Los fluidos que pueden participar en el sistema epitermal pueden ser aguas meteóricas, aguas magmáticas, fluidos metamórficos, agua marina, aguas de formación o aguas de salmueras. Se consideran depósitos muy importantes debido a que son fuentes de elementos como Cu, Ag, Au, Pb y Zn considerados estratégicos actualmente (Sillitoe & Hedenquist, 2003).

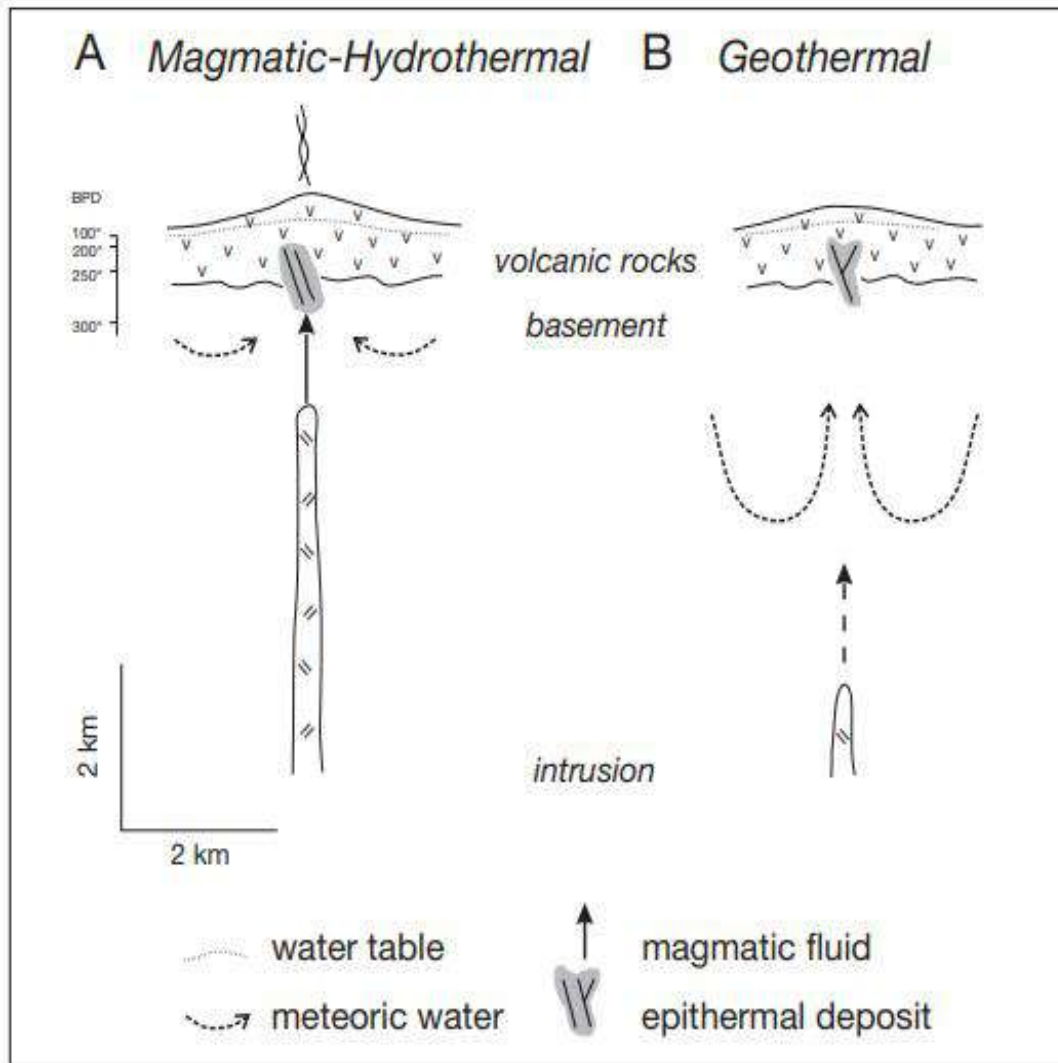


Figura 1.1. Esquema conceptual de ambientes hidrotermales, mostrando la relación entre ambientes epitermales, intrusiones magmáticas, circulación de fluidos, rocas volcánicas y basamento. A. Magmático-hidrotermal; B. Geotermal. (Simmons, 2005).

La clasificación de estos depósitos ha presentado dificultades debido a sus complejas condiciones físico-químicas de formación de los minerales de mena y alteración, varios autores han clasificado a los depósitos epitermales desde los años 70 (Tabla 1). Para esta investigación se ha utilizado la clasificación definida por Hedenquist (2000), la cual diferencia sistemas epitermales de alta, intermedia y baja sulfuración. Esta clasificación se basa en factores como: tipo de fluido hidrotermal, profundidad de emplazamiento, fugacidad del azufre, ganga de sílice, ganga de carbonatos, abundancia de sulfuros, tipos de sulfuros y metales principales.

Sillitoe (1977)	Ácido	Alcalino	
Buchanan (1981)	Epidermal		
Ashley (1982)	Enargita-Oro		
Giles and Nelson (1982)		Tipo hot-spring	
Bonham (1986, 1988)	Alto contenido de azufre	Bajo contenido de azufre	
Hayba et al., (1985)	Sulfato ácido	Adularia-sericita	
Heald et al., (1987)			
Hedenquist (1987)	Alta sulfuración	Baja sulfuración	
Berger and Henley (1989)	Alunita-kaolinita	Adularia-sericita	
Albino and Margolis (1991)		Tipo 1 adularia-sericita	Tipo 2 adularia-sericita
Sillitoe (1989, 1993)	Alta sulfuración	Alto contenido de sulfuro + metales base, baja sulfuración	Bajo contenido de sulfuro + metales base, baja sulfuración
Hedenquist et al., (2000)	Alta sulfuración	Intermedia sulfuración	Baja sulfuración

Tabla 1. Evolución de la clasificación de los depósitos epitermales (Modificada de Sillitoe & Hedenquist, 2003).

1.6.1.1 Epitermales de alta sulfuración

Los depósitos epitermales de alta sulfuración están asociados en su formación a fluidos ácidos (pH bajo) y pueden estar relacionados con magmas oxidados o reducidos (Camprubí & Albinson, 2006). Estos fluidos son generados en ambientes volcánicos donde las aguas mineralizantes provienen de la exsolución del fluido que se transporta directamente desde la fuente magmática (Hedenquist, 2000). Se pueden formar en un ambiente magmático-hidrotermal somero vinculado a un intrusivo hipoabisal cercano a la superficie (Figura 1.1 A).

En base a la clasificación establecida algunas de las características incluyen mayor contenido de sulfuros entre el 10 al 90 % en volumen, roca encajante entre andesitas a riocacitas. Entre los minerales de mena se encuentra enargita, luzonita, acantita, famatinita, estibina y covelita. La alteración propilítica es muy común en estos sistemas, así como también, la alteración argílica avanzada es la principal característica por la que se identifica a este tipo de depósitos (Hedenquist et al., 2000) (Figura 1.2).

1.6.1.2 Epitermales de baja sulfuración

Los depósitos epitermales de baja e intermedia sulfuración están asociados en su formación a fluidos alcalinos a neutros y pueden estar relacionados con magmas subalcalinos y alcalinos (Camprubí y Albinson, 2006). Estos fluidos se asocian a aguas meteóricas provenientes de la infiltración o aguas de acuíferos, que se calientan debido al gradiente geotérmico o por alguna fuente magmática o geotérmica cercana (Hedenquist, 2000) (Figura 1.1 B). Se pueden formar en sistemas hidrotermales asociados a intrusivos hipoabisales más profundos (Figura 1.2).

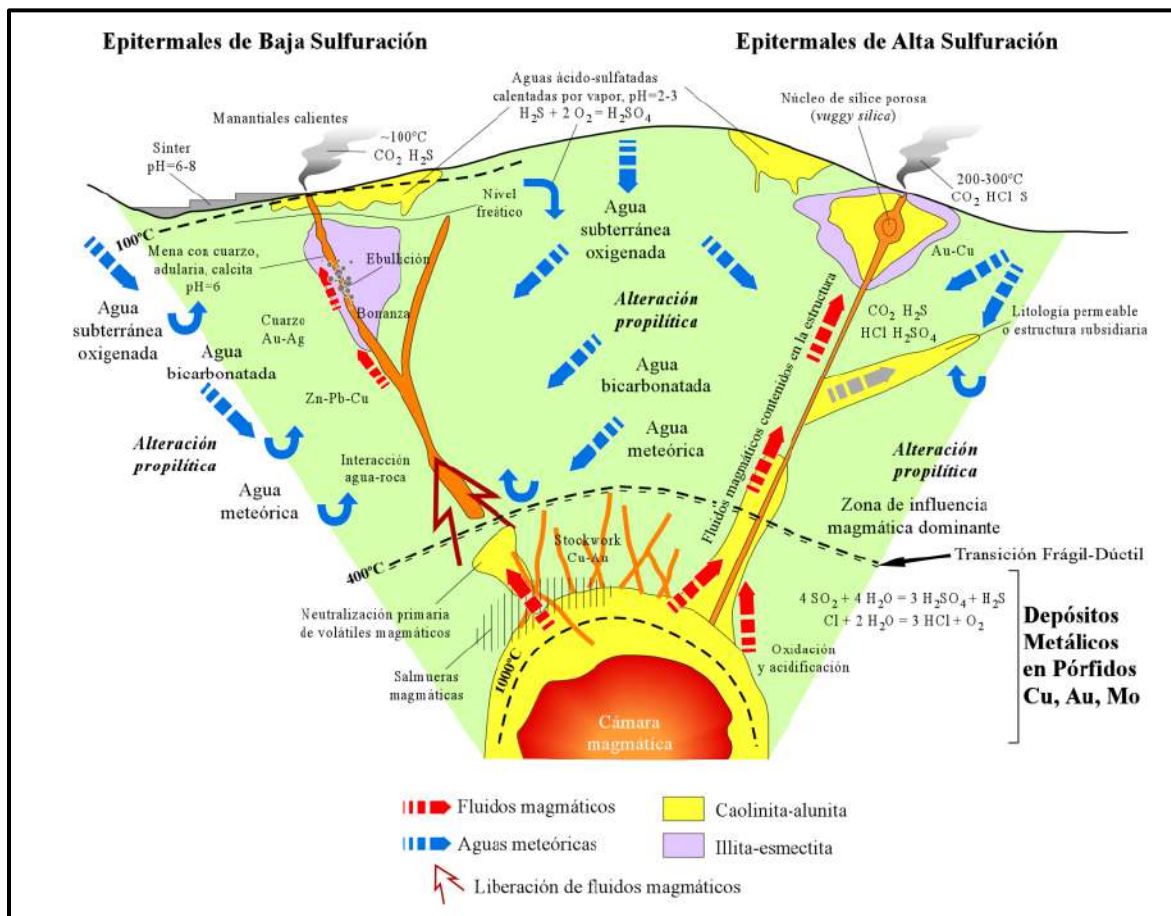


Figura 1.2. Esquema comparativo de procesos y características (Alteración, pH, temperatura, fluidos, reacciones) en depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Camprubí, 2003).

En base a la clasificación establecida algunas de las características incluyen: menor contenido de sulfuros entre 1 hasta el 20 % de volumen, roca encajante entre basaltos a riolitas, basaltos alcalinos a traquitas. Entre los minerales de mena se encuentra pirrotina, esfalerita, galena, tetrahedrita-tenantita, calcopirita y escasa arsenopirita. Los minerales

típicos de alteración son: illita, esmectita, adularia y clorita (Hedenquist et al., 2000; Sillitoe & Hedenquist, 2003).

1.6.1.3 Epitermales de sulfuración intermedia

Los depósitos de sulfuración intermedia en su gran mayoría se desarrollan en rocas de arco continental de carácter calcoalcalino. Están caracterizados por tener un fuerte control estructural y desarrollarse en litologías competentes, esto a su vez genera un estilo o forma de mineralización (Camprubí & Albinson, 2006). Los cuerpos mineralizados se encuentran en vetas o cuerpos brechificados de varios kilómetros de extensión lateral, aunque de forma vertical la mineralización no suele superar los 700 m (Albinson et al., 2001). La roca encajante de estos depósitos epitermales de Au y Ag generalmente son de composición andesítica a riodacítica (Sillitoe & Hedenquist, 2003). Los fluidos mineralizantes en este tipo de depósito tienen una composición intermedia entre fuentes magmáticas y meteóricas principalmente, aunque pueden tener influencia de otros fluidos externos a la formación del sistema (Albinson et al., 2001; Sillitoe & Hedenquist, 2003) (Figura 1.3).

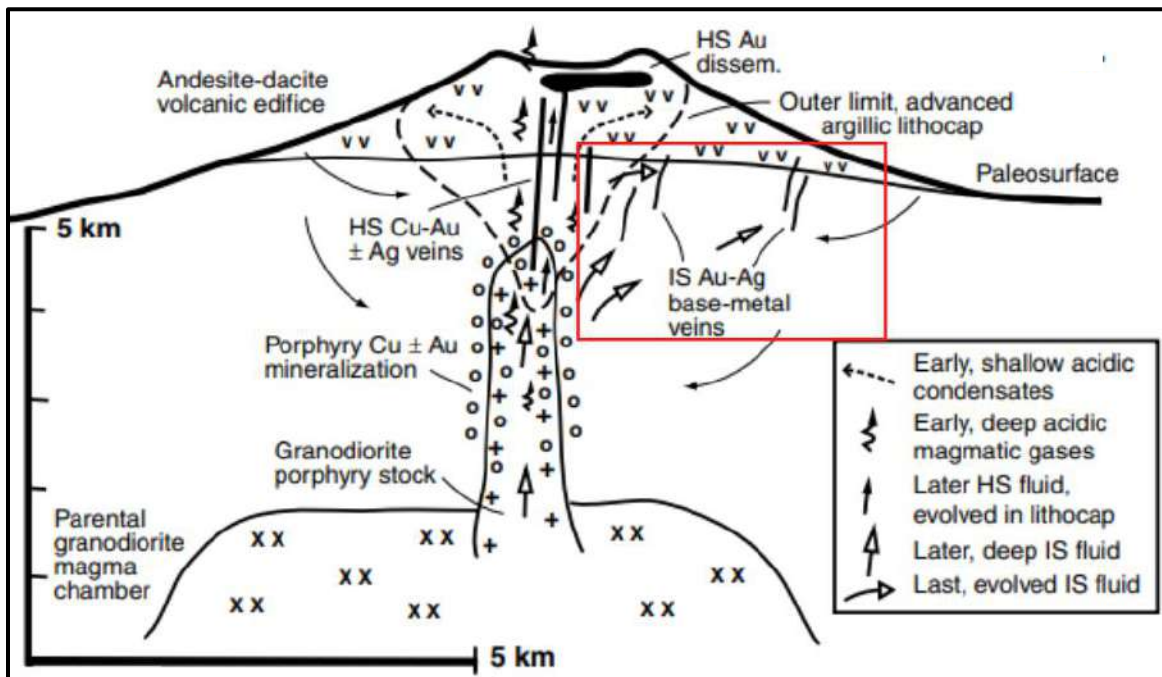


Figura 1.3. Modelo relación entre depósitos tipo pórfido y epitermal de alta e intermedia sulfuración, se resalta en rojo la formación de la zona epitermal de intermedia sulfuración (Modificada de Sillitoe & Hedenquist, 2003).

En base a la clasificación establecida algunas de las características incluyen alto contenido en Au - Ag, roca encajante entre andesita a riodacita, alto contenido de sericita y bajo contenido de adularia, textura crostiforme rellenando vetas de cuarzo, silicatos y carbonatos de Mn, cantidades entre 5 a 20 % del volumen en sulfuros como esfalerita, galena, tetraedrita-tenantita y calcopirita (Sillitoe & Hedenquist, 2003).

1.6.2 Alteraciones Hidrotermales

Es un proceso que incluye cambios químicos, mineralógicos y texturales, como resultado de la interacción de fluidos acuosos calientes (fluidos hidrotermales), con las rocas a través de las cuales atraviesan, bajo condiciones fisicoquímicas variables. A bajas temperaturas y presiones, la exsolución de fases gaseosas y acuosas constituyen soluciones hidrotermales que actúan sobre las rocas circundantes y producen cambios como resultado del desequilibrio, debido principalmente a iones H^+ y OH^- y otros constituyentes volátiles (Pirajno, 1992).

Básicamente, los fluidos hidrotermales atacan químicamente los minerales que constituyen la roca encajante y los reequilibra formando nuevos ensamblajes minerales que se encuentran en equilibrio bajo las nuevas condiciones. El proceso es una forma de metasomatismo, intercambio de componentes químicos entre fluidos y la roca encajante.

Los principales factores que controlan los procesos de alteración son:

- La naturaleza de la roca encajante.
- Composición de los fluidos.
- Concentración, actividad y potencial químico de los componentes del fluido, como: H^+ , CO_2 , O_2 , K^+ , S_2 , entre otros.

Además, se puede considerar que los productos de la alteración en sistemas epitermales no dependen tanto de la composición de la roca encajante; así como de la permeabilidad, temperatura y composición del fluido (Henley & Ellis, 1983).

Los fluidos hidrotermales tienen una composición extremadamente variable, pueden contener varios tipos de gases, sales, agua y metales. Los metales son transportados en solución, desde una fuente ígnea cercana o desde la lixiviación de rocas adyacentes, y son transportados como diferentes compuestos, involucrando principalmente azufre y cloro (Lagat, 2009).

Los minerales de alteración hidrotermal son estables bajo ciertas condiciones de temperatura y rangos de pH. Mapear la distribución de los minerales de alteración permite reconstruir la zonación termal y geoquímica, además, sirve de guía para reconocer el modelo de la hidrología del sistema hidrotermal extinto. Por otro lado, permiten diferenciar el estilo de depósito, ya sea de baja, intermedia o de alta sulfuración (Hedenquist & Arribas, 1996).

1.6.2.1 Estilos de alteraciones

Pervasiva: Caracterizada por el reemplazamiento de la mayoría o de todos los minerales originales de formación de la roca, dando como resultado la destrucción parcial o total de las texturas originales.

Pervasiva selectiva: Es el reemplazamiento de minerales originales específicos, por ejemplo, sericita reemplazando a plagioclasa o clorita reemplazando a biotita. Las texturas originales se conservan.

No pervasiva: Solo ciertas partes de la roca han sido afectadas por alteración de los fluidos hidrotermales.

Por otro lado, la intensidad de alteración es más subjetiva, generalmente usada en campo y puede ser catalogada como débil, selectiva o fuerte. La intensidad se refiere al estado de reemplazamiento de las fases minerales en una roca y el estado de destrucción textural de la misma (Pirajno, 1992).

1.6.2.2 Tipos de alteración hidrotermal

Se han determinado varias zonas de alteración hidrotermal asociadas a depósitos minerales en base a ciertas asociaciones minerales específicas. El tipo de alteración se clasifica de acuerdo con varios factores como el pH, temperatura, composición del fluido hidrotermal, composición de la roca encajante, entre otros (Corbett & Leach, 1998; Lagat, 2009) (Figura 1.4).

1.6.2.2.1 Alteración Potásica

Esta alteración se presenta a altas temperaturas, bajo condiciones de pH neutro a alcalino y se caracteriza por la presencia de biotita y/o feldespato potásico + magnetita ± actinolita ± clinopiroxeno (Corbett & Leach, 1998). Se forma antes de la cristalización completa del magma y evidencia patrones de vetillas sinuosos y discontinuos. La alteración puede ocurrir

en ambientes plutónicos profundos, donde se forma ortoclasa, o en ambientes volcánicos, más someros, donde se forma adularia (Pirajno, 2009) (Figura 1.4).

1.6.2.2.2 Alteración Propilítica

Este tipo de alteración se forma generalmente en las partes distales con respecto a otras alteraciones, ocurre a temperaturas moderadas a altas, bajo condiciones de pH neutral a alcalino y se caracteriza por la presencia de clorita y/o epidota (Corbett & Leach, 1998). A temperaturas bajas (<200° – 250°C), los ensamblajes minerales dominantes son las zeolitas en lugar de la epidota y se puede emplear el término sub-propilítico. Mientras que, la presencia de anfíboles secundarios (actinolita) a alta temperatura (>280° – 300°C) puede servir para caracterizar una zona de alteración propilítica interna (Corbett & Leach, 1998).

La coloración verde en las rocas se obtiene debido a los nuevos minerales formados como: clorita, actinolita y epidota. Estos se forman como resultado de una reacción hidrotermal, reemplazando los minerales que contienen hierro y magnesio, como la biotita, anfíbol y piroxeno, aunque también pueden reemplazar a los feldespatos (Pirajno, 2009) (Figura 1.4).

1.6.2.2.3 Alteración Fílica

El ensamblaje mineral clave es cuarzo – sericita – pirlita (QSP). Se forma en condiciones de pH similares a la alteración argílica intermedia, pero con temperatura más alta (>200° – 250°C) y se caracteriza por la presencia de sericita o moscovita. La zona fílica puede incluir minerales de alta temperatura del grupo del caolín (pirofilita – andalucita) y de la clorita, en menor proporción que la sericita/moscovita (Corbett & Leach, 1998; Pirajno, 2009) (Figura 1.4).

1.6.2.2.4 Alteración Argílica

Caracterizada por un intenso metasomatismo de H⁺ y lixiviación de ácido, a temperaturas entre 100° – 300°C. Es común en sistemas de pórfido. Los minerales arcillosos reemplazan principalmente las plagioclasas y los silicatos máficos (hornblenda, biotita). Los depósitos epitermales se encuentran caracterizados por una lixiviación extremadamente ácida y, por lo tanto, la alteración argílica es considerada una guía para la mineralización (Pirajno, 2009) (Figura 1.4).

1.6.2.2.5 Alteración Argílica Intermedia

Comprende ensamblajes minerales formados a temperaturas relativamente bajas (200° – 250°C) y con fluidos de pH moderadamente bajos (4 – 5). En esta alteración los minerales

dominantes son caolinita y esmectita, sin embargo, se pueden encontrar otros grupos minerales de baja temperatura como el caolín (halloysita) e illita (illita – esmectita), que no se incluyen en las zonas filica – sericitica. También, puede contener minerales del grupo de la clorita (Corbett & Leach, 1998) (Figura 1.4).

1.6.2.2.6 Alteración Argílica Avanzada

Comprende las fases minerales que se forman bajo condiciones de $pH \leq 4$, por ejemplo, los minerales del grupo del sílice y alunita, junto con ensamblajes minerales que contienen los minerales del grupo de alunita y caolinita. En fases de alta temperatura se incluyen a la dickita y pirofilita, sin alunita (Corbett & Leach, 1998) (Figura 1.4).

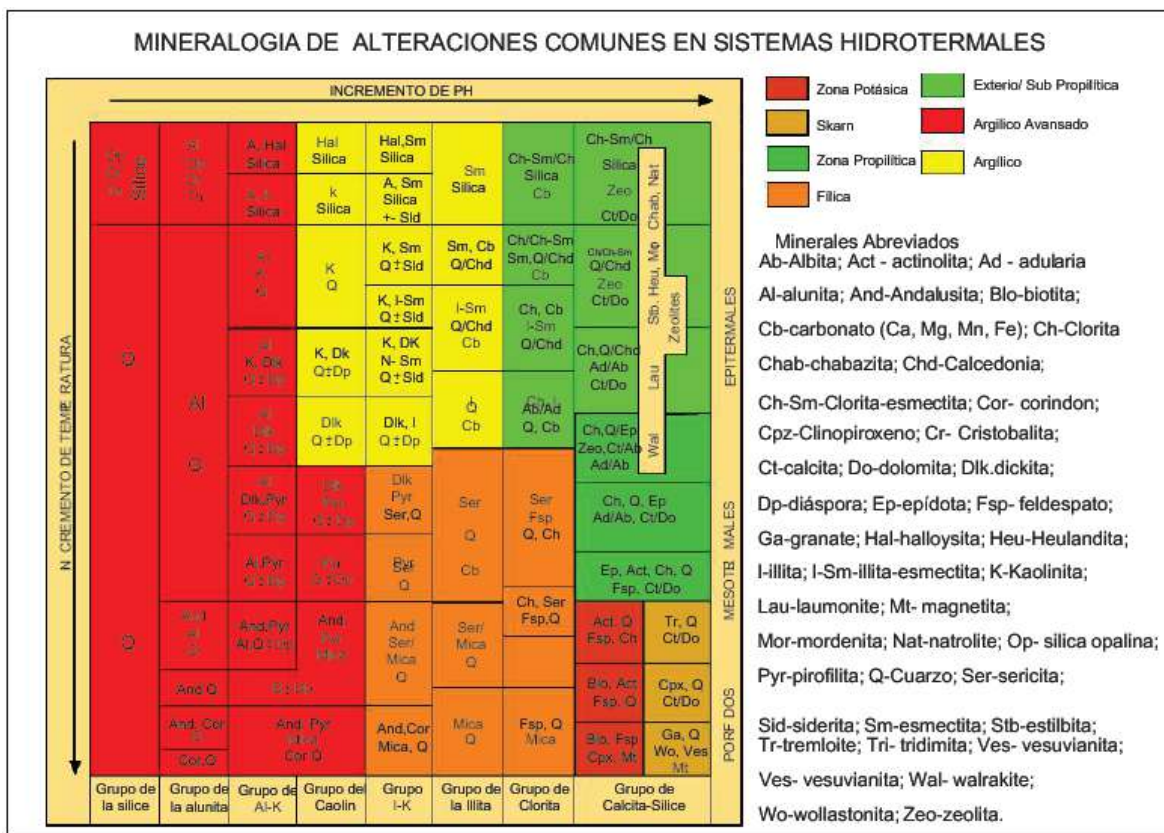


Figura 1.4. Minerales asociados a diferentes tipos de alteración hidrotermal, tomando en cuenta pH y temperatura (Corbett & Leach, 1998).

1.6.3 Texturas de cuarzo en vetas epitermales

En las vetas hidrotermales, el cuarzo es un mineral de ganga dominante y normalmente es la única fase mineral depositada durante la vida del sistema hidrotermal. Por lo tanto, la morfología, estructura cristalina, composición química y las propiedades fisicoquímicas del cuarzo pueden reflejar las condiciones hidrotermales durante el crecimiento de las vetas (Dong et al., 1995).

Existe una manera fundamental para caracterizar las vetas de cuarzo, basándose en la morfología y sus agregados (Dong et al., 1995).

1.6.3.1 Clasificación de texturas del cuarzo

Se puede clasificar a las texturas de cuarzo de acuerdo con su genética (Dong et al., 1995).

1.6.3.1.1 Texturas Primarias

Son las texturas formadas durante el crecimiento de los cristales o durante la depositación de sílice amorfa.

Textura Masiva: Las vetas de cuarzo tienen una apariencia homogénea, no presentan bandeamiento, fracturas de cizalla o características similares (Figura 1.5).

Textura Crostiforme (crustiform): Involucra sucesivas y angostas bandas subparalelas, distinguidas por diferencias en la textura, las proporciones minerales y el color. Comúnmente, el bandeamiento se desarrolla simétricamente desde las dos paredes de la fisura (Figura 1.5).

Textura Cucarda (cockade): Es un subtipo de la textura crostiforme. En brechas hidrotermales las bandas crostiformes rodean fragmentos aislados de roca encajante o materiales tempranos de la veta (Figura 1.5).

Textura Coloforme: Es aquella donde las superficies externas de un mineral o de un agregado mineral muestran formas combinadas esféricas, botroidales, reniformes y mamilares (Figura 1.5).

Textura Musgosa (moss): En muestras de mano, los agregados de sílice muestran una apariencia heterogéneamente turbia similar a la vegetación de musgo. Bajo el microscopio, se distinguen grupos de esferas (0.1 a 1 mm de diámetro) por la distribución de impurezas

dentro de agregados minerales de sílice. Algunas impurezas esféricas también muestran patrones concéntricos internos o radiales (Figura 1.5).

Textura En peine (comb): Son grupos de cristales de cuarzo paralelos a subparalelos orientados perpendicularmente a las paredes de la veta, semejando la forma de dientes de un peine. Generalmente, presentan tamaños de grano uniformes y terminaciones euhedrales en su extremo libre (Figura 1.5).

Textura Zonal: Muestra zonas alternadas entre claras a lechosas dentro de cristales individuales de cuarzo. Las zonas lechosas están usualmente rellenas con inclusiones fluidas o sólidas y están siempre paralelas a las caras de crecimiento de los cristales (Figura 1.5).

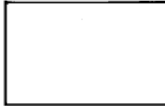



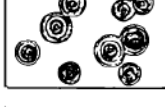


Texture Type	Sketch of Texture	Grain Size	Grain Form	Internal Feature of Individual Crystal	Morphology of Crystal Aggregate	References
Primary Growth Textures						
Massive		variable	anhedral	not applicable	homogenous	Smirnov (1962) Bates & Jackson (1987)
Crustiform		variable	variable	not applicable	successive banding	Adams (1920) Shaub (1934) Lindgren (1933) Buchanan (1981)
Cockade		variable	variable	not applicable	concentric banding	Adams (1920) Spurr (1926)
Colloform		fine	fibrous anhedral	not applicable	semi-spherical, reniform, mammillary	Rogers (1917) Adams (1920)
Moss		fine	variable	not applicable	spherical	Adams (1920)
Comb		variable	prismatic	not applicable	parallel-orientated	Adams (1920) Schieferdecker (1959) Boyle (1979)
Zonal		variable	prismatic	zonal	not applicable	Smirnov (1962)

Figura 1.5. Texturas Primarias (Dong et al., 1995).

1.6.3.1.2 Texturas de recristalización

Son texturas que se generan a partir de procesos secundarios, formados a partir de un núcleo existente; ya sea formado por cristalización primaria o por procesos secundarios previos. Pueden conservar las texturas primarias que se han generado previamente, es común observar distintas texturas coexistiendo en la misma fase mineral incluyendo texturas primarias y secundarias.

Textura Mosaico (Mosaic): Son agregados de cuarzo cristalino y microcristalino con los bordes granulares irregulares e interpenetrantes. Es equivalente a la textura de rompecabezas, presente en la mayoría de micro texturas en yacimientos epitermales (Figura 1.6).

Textura Plumosa (feathery): Vista en microscopio con nícoles cruzados, los cristales individuales de cuarzo muestran una apariencia plumosa o astillada, señalada como una diferencia óptica en las posiciones de extinción máxima. Esta textura se muestra bien desarrollada en los bordes de los cristales de cuarzo con un núcleo euهدral, o como parches a lo largo de los cristales de cuarzo (Figura 1.6).

Textura Llameante (flamboyant): La principal característica de esta textura es la extinción radial de los cristales de cuarzo individuales, con un contorno del cristal más o menos redondo. Al igual que la textura plumosa se puede desarrollar en los bordes de un cristal de cuarzo con un núcleo euهدral (Figura 1.6).

Textura Esferoidal (Ghost-sphere): Ocurre comúnmente dentro de cuarzo microcristalino como esferas nubladas señaladas por la distribución de impurezas. Puede ser también mencionada como una textura musgosa especial, con una distribución esférica de impurezas dentro de fases silíceas, como sílice amorfo, calcedonia o cuarzo (Figura 1.6).

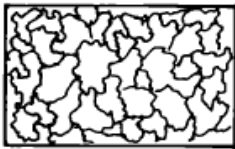



Texture Type	Sketch of Texture	Grain Size	Grain Form	Internal of Individual Crystal	Feature Morphology of Crystal Aggregate	References
Recrystallization Textures						
Mosaic		fine	anhedral	not applicable	interpenetrating	Lovering (1972) Saunders (1990)
Feathery		variable	prismatic	plumose	not applicable	Adams (1920) Sander and Black (1988)
Flamboyant		variable	round	radial	not applicable	Adams (1920) Sander and Black (1988)
Ghost-sphere		fine	anhedral	spherical	not applicable	Adams (1920)

Figura 1.6. Texturas de recristalización (Dong et al., 1995).

1.6.3.1.3 Texturas de reemplazo

Textura Pseudo Afilada (bladed): Agregados de cuarzo que pueden estar dispuestos en forma de cuchillas. Se definen tres subtipos en bases a la morfología:

- Textura En enrejado (lattice bladed): Muestra una red de cuchillas de sílice que se intersecan con cavidades poliédricas parcialmente rellenas por cristales de cuarzo en forma de peine (Figura 1.7).
- Textura Fantasma (ghost bladed): Cuchillas comúnmente dispersas dentro de los agregados de cuarzo y sin cavidades entre las cuchillas (Figura 1.7).
- Textura Paralela (parallel bladed): Las cuchillas de sílice están paralelas dentro de un grupo, sin embargo, los grupos adyacentes pueden tener otra orientación (Figura 1.7).

Textura Pseudo – acicular: En muestras de mano, agregados de minerales de sílice, junto con adularia o sus productos de meteorización (sericita o caolinita), muestran un aspecto acicular radial. Bajo el microscopio, se señalan arreglos lineales de cristales de cuarzo de

grano fino, a veces rectangular, o por una distribución lineal de adularia o sus productos de meteorización (Figura 1.7).

Textura Sacaroidal: Agregados de cuarzo vítreo a lechoso, de grano fino, tienen una apariencia de azúcar en muestras de mano. Visto en microscopio, cristales euhedrales elongados, algunos con terminación doble, están distribuidos en una matriz de granos pequeños anhedral (Figura 1.7).




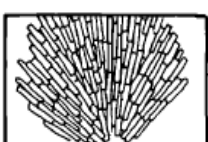

Replacement Textures						
<u>Pseudo-bladed</u> <u>Lattice-bladed</u>		fine	anhedral to prismatic	not applicable	intersecting bladed	Lindgren (1899) Schrader (1912) Morgan (1925)
<u>Ghost-bladed</u>		fine	anhedral	not applicable	intersecting bladed	
<u>Parallel-bladed</u>		fine	anhedral to rectangular	not applicable	parallel bladed	Adams (1920)
Pseudo-acicular		fine	anhedral to rectangular	not applicable	acicular	Lindgren and Bancroft (1914) Adams (1920) Schrader (1923)
Saccharoidal		fine	anhedral to prismatic	not applicable	interlocking	Lindgren (1901) Adams(1920) Lovering(1972)

Figura 1.7. Texturas de reemplazamiento (Dong et al., 1995).

1.6.4 Controles geométricos de la mineralización

Los depósitos epitermales se definen por poseer varias formas debido a sus diferentes condiciones de formación. Una de las características principales en la variabilidad geométrica se puede atribuir a los efectos de las diferencias de permeabilidad en la roca encajante. La permeabilidad de las rocas controla en su mayor parte el flujo de fluidos y su

deposición en el sistema, además, influye de manera estructural, hidrotermal o litológicamente (Hedenquist, 1993).

1.6.4.1 Control Estructural

En un sistema epitermal principalmente se considera que los conductos que transportan la mineralización son fallas normales, que no han sufrido un desplazamiento mayor a 1 km y posteriormente dan lugar a depósitos de vetas convencionales. La mineralización epitermal estaría condicionada a entornos extensionales o transtensionales. Las dilataciones que se observan en las vetas de este sistema pueden resultar en más de docenas de metros de ancho y pueden estar relacionadas a saltos de fallas, consecuentemente, es común que este sistema se desarrolle en zonas de fallas *strike-slip*, especialmente en litologías frágiles (Hedenquist, 1993) (Figura 1.8 A).

1.6.4.2 Control Hidrotermal

Gran parte de las fallas que se producen antes de la mineralización en un sistema epitermal generan permeabilidad estructural, producto del hidrotermalismo como resultado de la sobrepresión del fluido. Sin embargo, la permeabilidad inducida por hidrotermalismo también es creada por fragmentaciones de rocas producto de las fallas y lixiviación de rocas (Hedenquist, 1993) (Figura 1.8 B).

1.6.4.3 Control Litológico

Caracterizado por controlar el emplazamiento del mineral por permeabilidad litológica de varios yacimientos grandes, en parte ligados a estratos, especialmente cuando el sistema epitermal es somero. El flujo lateral de fluidos mineralizantes genera un mayor control litológico en sedimentos porosos, lacustres o fluviales que se depositan durante o inmediatamente posterior a la mineralización dando como resultado un aumento en el potencial del tonelaje. Los depósitos albergan minerales diseminados y se encuentran poco litificados (Hedenquist, 1993) (Figura 1.8 C).

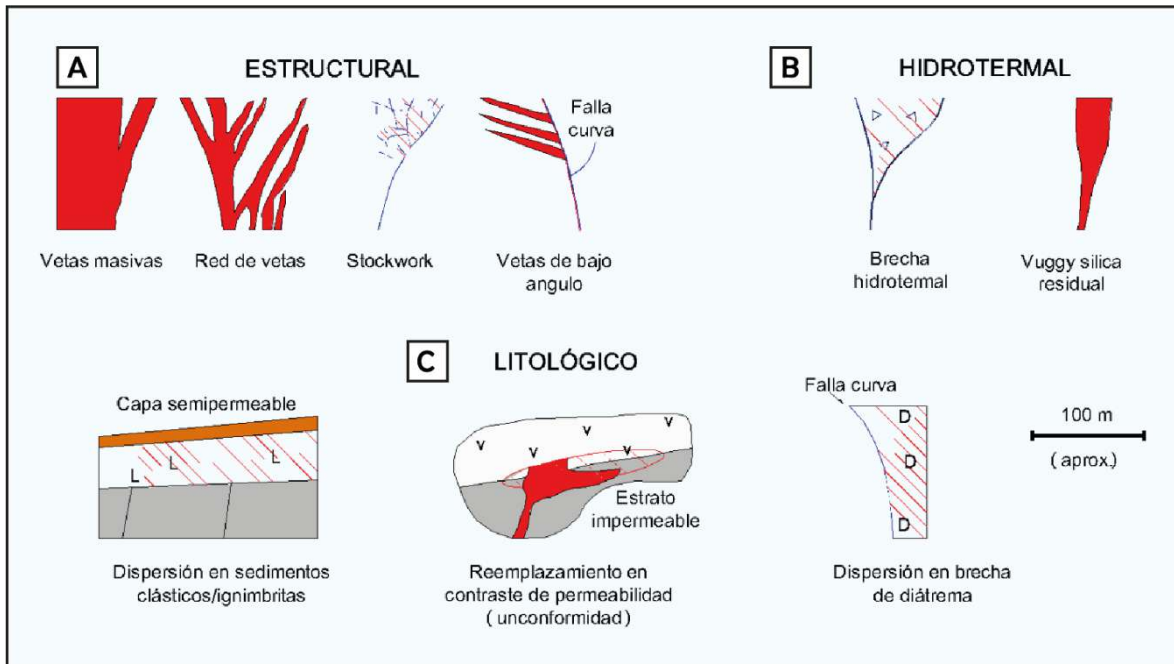


Figura 1.8. Controles geométricos y estilos de mineralización. A. Control Estructural; B. Control Hidrotermal; C. Control Litológico. (Modificada de Sillitoe, 1993).

1.6.5 Estructuras Geológicas

1.6.5.1 Fallas Geológicas

Las fallas son superficies a través de las cuales el material de la corteza terrestre ha perdido cohesión, generando un desplazamiento notable (Girty, 2009). Son fracturas que se producen por la ruptura de bloques rocosos, esto debido a que las fuerzas tectónicas sobrepasan el límite de resistencia específico de las rocas (Bates & Jackson, 1980). Cualquier superficie o zona con desplazamiento de cizalla visible se considera una falla geológica (Fossen, 2010) (Figura 1.9 A).

1.6.5.2 Diaclasas

Las diaclasas son fracturas por apertura o extensión, que tienen poco o ningún desplazamiento apreciable a simple vista, sin embargo, la mayoría de diaclasas tienen un desplazamiento de extensión diminuto a través de las superficies de ruptura. Se generan por presión de confinamiento baja o nula, en o cerca de la superficie de la Tierra e involucran deformaciones muy pequeñas (Fossen, 2010) (Figura 1.9 B).

1.6.5.3 Vetas

Las vetas se forman cuando en una roca se ha generado una fractura por extensión y esta se rellena de minerales (Fossen, 2010). Los minerales pueden ser de mena como oro, calcopirita, bornita, esfalerita, galena, entre otros o minerales de ganga como silicatos o carbonatos. Las vetas se forman en diferentes tipos de rocas y por lo general tienen la forma de cuerpos tabulares o lentes que pueden variar en su espesor desde pocos milímetros a varios metros y extensión desde pocos metros hasta varios kilómetros (Bons, 2000) (Figura 1.9 C).

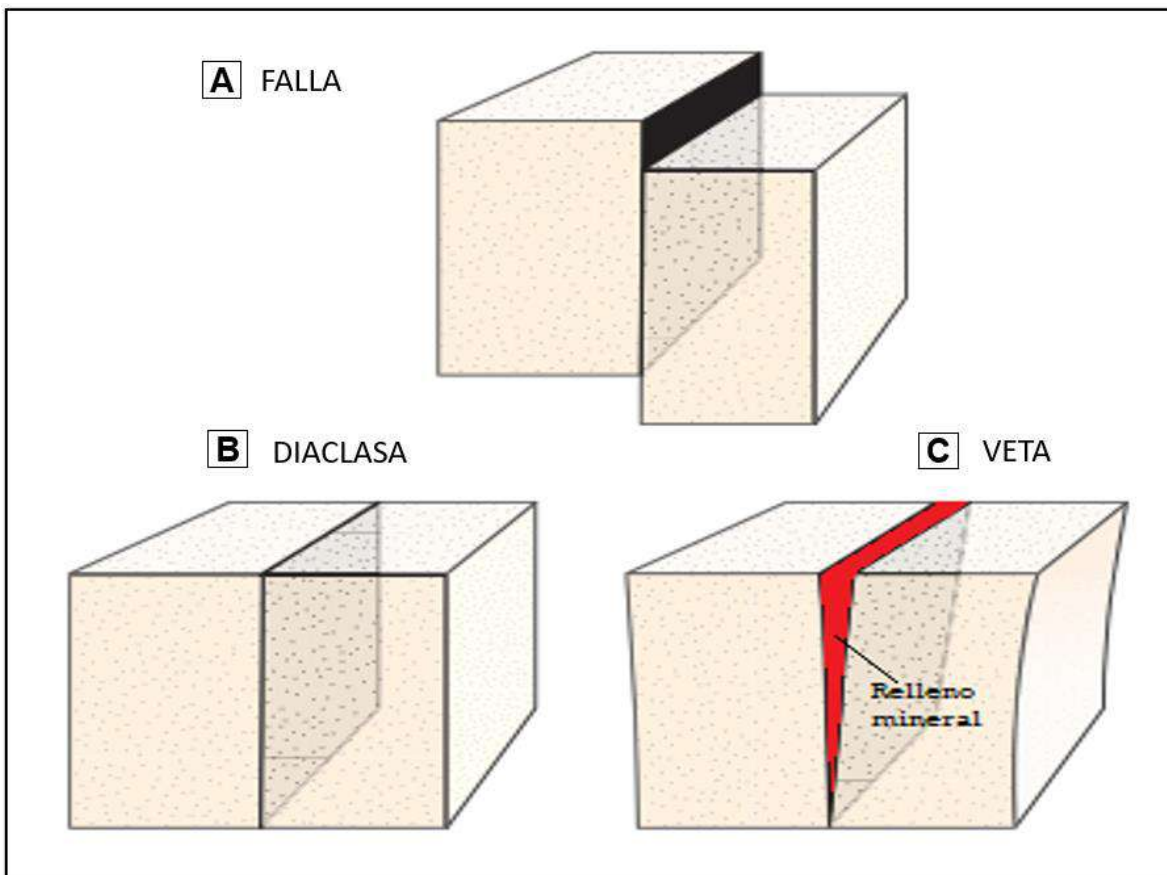


Figura 1.9. Estructuras Geológicas. A. Falla normal; B. diaclasa; C. Veta (Modificada de Fossen, 2010).

CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Contexto Geodinámico

El margen continental activo del Ecuador se caracteriza por tener una zona de subducción en sentido W – E. La cordillera submarina de Carnegie se encuentra ubicada sobre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a una tasa de 60 a 70 mm/año (Nocquet et al., 2014). La zona de fractura de Grijalva indica una división en la corteza oceánica, hacia el norte de esta estructura se encuentra una corteza más joven con un ángulo de subducción de 25° a 35° (Lonsdale, 1978; Lonsdale & Klitgord, 1978), mientras que, hacia el sur la corteza es más vieja con un ángulo de subducción menor de 15° (Lavenu et al., 1992) (Figura 2.2).

Durante el Cretácico superior se produjo la acreción de un terreno alóctono de corteza oceánica del plateau oceánico del Caribe, y que actualmente es considerado como el basamento de la Cordillera Occidental y de la Costa Ecuatoriana (Vallejo, 2007). La falla Calacali-Pujilí-Pallatanga conforma la zona de sutura de este terreno acrecionado con el margen continental, mientras que, hacia el E se encuentran depósitos volcánicos que corresponden al Valle Interandino formado entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental (Aspden & Litherland, 1992; Vallejo, 2007). La Cordillera Real está separada del Valle Interandino por la falla Peltetec hacia el S y por la falla Romeral hacia el N (Vallejo, 2007), al E se encuentra la cuenca Oriente definida como una cuenca de antepaís y de trasarco ubicada entre la Cordillera Oriental y el cratón Guayano-Brasileño, en la parte SW del Ecuador se encuentra el Bloque Amotape Tahuín (BAT), este se formó por un desmembramiento de la Cordillera Oriental, esta zona corresponde a la zona de estudio (Dashwood & Abbotts, 1990) (Figura 2.1).

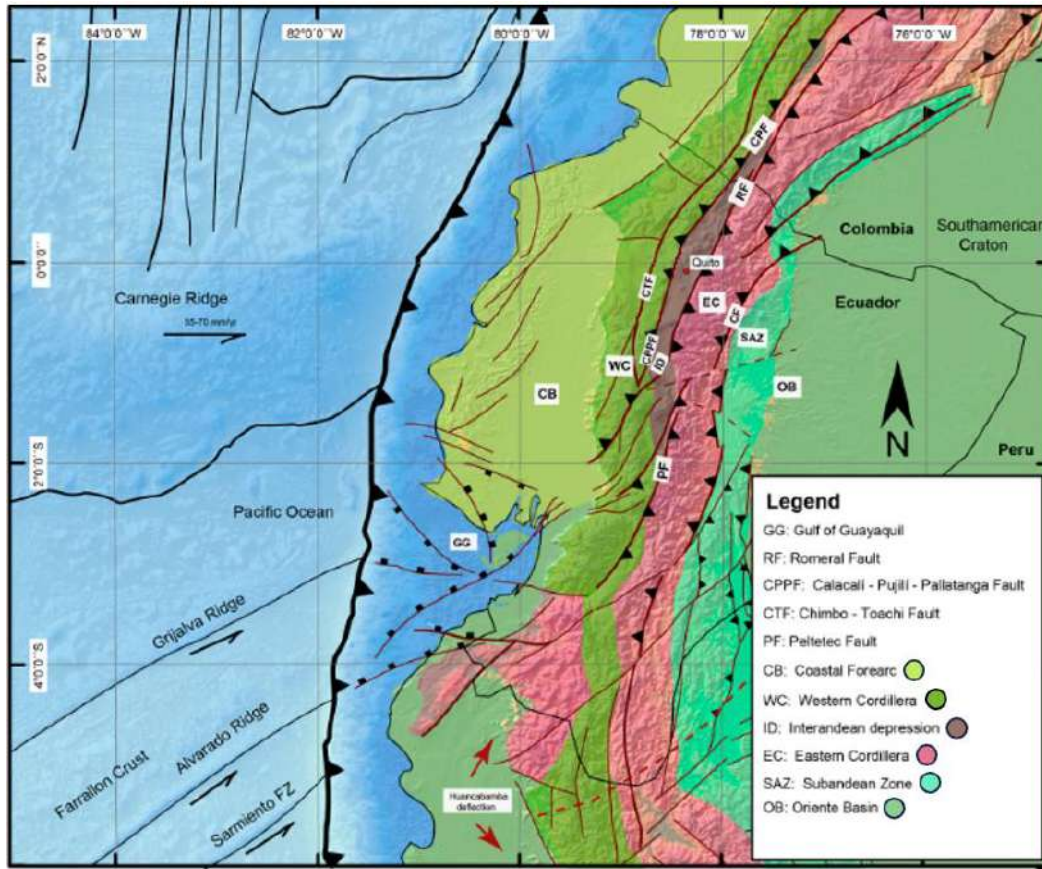


Figura 2.1. Mapa geodinámico del Ecuador (Vallejo, 2020).

2.2. Geología Regional

Las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Grupo Saraguro componen la principal unidad del arco del arco del Paleógeno – Neógeno que afloran al sur del Ecuador, al norte de la falla Piñas-Portovelo (Schütte et al., 2012). Esta secuencia volcánica descansa sobre el Bloque Amotape - Tahuín, y está parcialmente cubierto por formaciones volcánicas del Mioceno medio a superior y depósitos de cuencas intramontañas compuestas de volcanoclastos y sedimentos (Hungerbühler et al., 2002) (Figura 2.2).

El Grupo Saraguro y algunas secuencias de rocas más jóvenes contienen intrusivos de edad Neógena principalmente, los cuales se relacionan con varios depósitos minerales de tipo epitermal del Mioceno como son Loma Larga, El Mozo y Zaruma - Portovelo que definen los distritos de Azuay y El Oro (PRODEMINCA, 2000) (Figura 2.2).

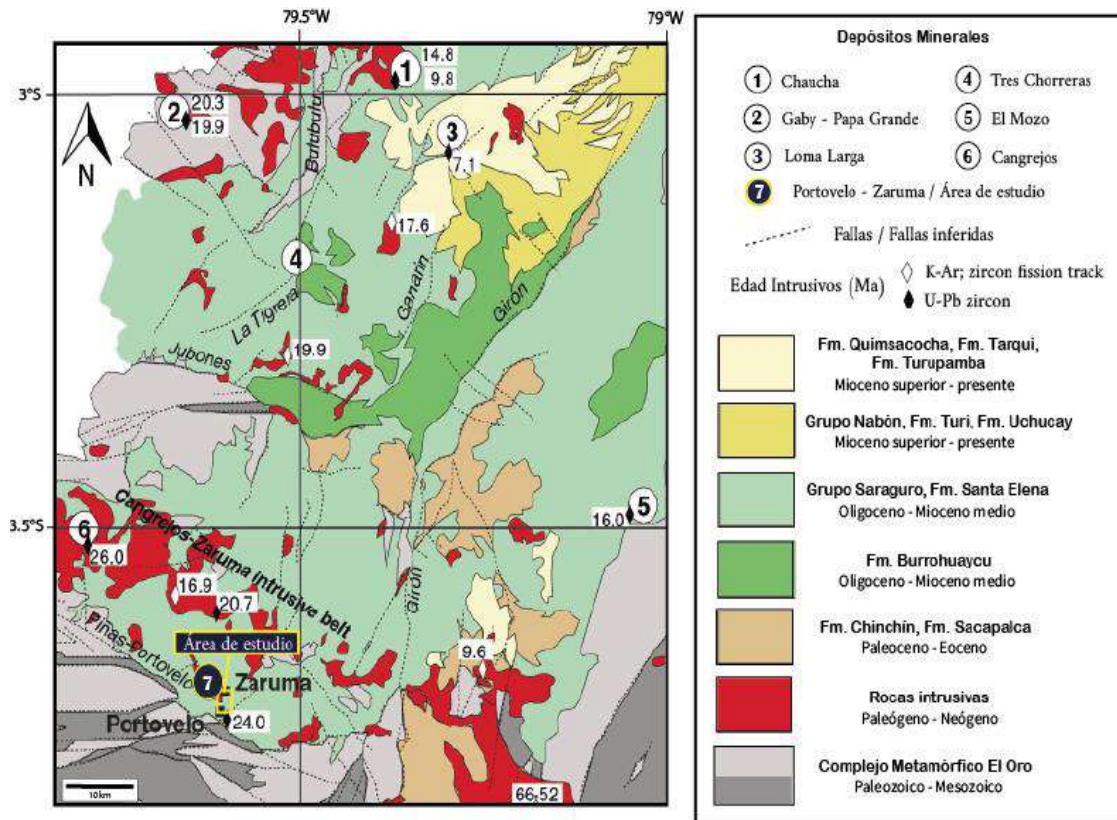


Figura 2.2. Mapa Geológico regional de la zona SW del Ecuador (Modificado de Schütte et al., 2012).

2.2.1 Complejo Metamórfico El Oro

El Complejo Metamórfico El Oro consiste en varios terrenos metamórficos tanto de origen continental como oceánico (Feininger, 1978; Litherland et al., 1994; Aspden et al., 1995). La Falla Piñas – Portovelo separa El Complejo Metamórfico El Oro de los Volcánicos del Grupo Saraguro. Este complejo está conformado por arcosas, grauvacas, cuarcitas, lutitas y limolitas poco metamorizadas (Unidad El Tigre), esquistos, gneis y migmatitas (Unidad La Victoria, que corresponde al equivalente metamorizado de la Unidad El Tigre), ambas unidades tienen una edad Paleozoica. También, se encuentran granitos gneísicos (Granito de Moromoro), los cuales destacan los plutones Marcabelí y El Prado que consisten principalmente de granodioritas con cantidades menores de monzogranitos e intruyen a las Unidades El Tigre y La Victoria. Además, se identifican anfibolitas (Unidad Piedras). Tanto, los Granitos de Moromoro como la Unidad Piedras tienen una edad Triásica (Litherland et al., 1994). Las rocas que se encuentran al norte de la falla Piñas – Portovelo se consideran de edad Jurásica a Cretácico inferior y se dividen en el Complejo Metamórfico El Oro y la Unidad Palenque, que contiene el complejo Ofiolítico de Palenque (Litherland et al., 1994).

Dentro de la Unidad Palenque se encuentran diferentes tipos de esquistos sericíticos, feldespáticos, verdes y esquistos anfibolíticos, mientras que, el Complejo Ofiolítico de Palenque según Aspden et al. (1987) está formado por lentes de serpentinita y cuerpos irregulares de filitas silisificadas, chert, metabasaltos, esquistos verdes y gabros. El Complejo Metamórfico El Oro está compuesto por esquistos verdes, harzburgitas variablemente serpentinizadas, esquistos azules y eclogitas (Litherland et al., 1994). Edad: Paleozoico – Cretácico inferior (Litherland et al., 1994).

2.2.2 Formación Chinchín

Formada por flujos de lava (tipo almohadilla) y tobas de composición básica a intermedia (Steinmann, 1997). Se caracteriza por tener un gran espesor de hasta 4000 m. Además, esta formación puede representar una unidad temprana del evento volcánico Saraguro (Hungerbühler et al., 2002). Edad: Eoceno Medio (Steinmann, 1997).

2.2.3 Formación Sacapalca

Conformada por tobas andesíticas a dacíticas, brechas volcánicas con clastos de hasta 1 m y flujos de lava que se superponen discordantemente sobre rocas metamórficas del Paleozoico de la Cordillera Oriental y sobre las formaciones sedimentarias Célica, Alamor, Naranjo y Casanga (Hungerbühler 1997; Hungerbühler et al., 2002). Edad: Mastrictiano superior al Paleoceno superior. Edad: Mastrictiano superior al Paleoceno superior (Hungerbühler et al., 2002).

2.2.4 Formación Burrohuaycu

Compuesto por conglomerados, areniscas y limolitas rojas depositadas en un ambiente fluvial. Se presenta en discordancia con la Formación Saraguro y la parte inferior de la Formación Santa Isabel, cuenta con un espesor variable que puede alcanzar hasta 800 m. Esta Formación reemplaza al Grupo Ayancay (Hungerbühler et al., 2002). Edad: Mioceno medio – superior (Hungerbühler et al., 2002).

2.2.5 Grupo Saraguro

Este grupo se subdivide en varias formaciones y unidades litológicas que se encuentran compuestas principalmente como tobas de flujo de ceniza soldadas, rocas volcanoclásticas retrabajadas. Además, domos y flujos andesíticos, dacíticos y riolíticos que se desarrollaron

localmente. El ambiente de depósito mayormente se considera subaéreo (Dunkley & Gaibor, 1997). Edad: Eoceno medio tardío al Mioceno temprano (Dunkley & Gaibor, 1997).

2.2.6 Formación Santa Isabel

Consiste en flujos de lava de composición intermedia, brechas volcánicas y tobas. Esta formación se encuentra discordante a las Formaciones Saraguro y Jacapa, y en parte también a la Formación Burrohuaycu que presenta un espesor que varía de 500 m a 1500 m (Hungerbühler et al., 2002). Edad: Mioceno inferior – medio (Hungerbühler et al., 2002).

2.2.7 Grupo Nabón

Formado por capas de ceniza y pómez, flujos piroclásticos, flujos de escombros y laminares, brechas volcanoclásticas, areniscas fluviales y limolitas rojas – grises (Formación Iguincha), sedimentos lacustres, limolitas, areniscas de grano fino y capas con diatomitas (Formación Letrero). Continuando hacia la parte superior del Grupo se presenta una sucesión de sedimentos de capas gruesas de limolitas y conglomerados de canales (Formación La Cruz), escombros volcanoclásticos gruesos, flujos de lodo intercalados con depósitos de caída y flujos piroclásticos, también, capas horizontales de depósitos laminados de ceniza (Formación La Picota) (Hungerbühler, 1995; Hungerbühler et al., 2002). Este Grupo se presenta discordante sobre la formación Saraguro y tiene un espesor de 550 m (Hungerbühler et al., 1995). Edad: Mioceno superior (Hungerbühler et al., 2002).

2.2.8 Formación Turi

Comprende capas de tufitas poco sorteadas (tobas, conglomerados y areniscas) con un fuerte componente detrítico andesítico (Pratt et al., 1997). Hacia el SW hay un gran porcentaje de tobas y brechas andesíticas (Hungerbühler et al., 2002). Esta formación fue definida en la cuenca de Cuenca (Erazo, 1957). Edad: Mioceno Superior (Hungerbühler et al., 2002).

2.2.9 Formación Uchucay

Comprende una secuencia de conglomerados que se encuentran en discordancia angular con el Grupo Ayancay, este grupo actualmente fue definido por Hungerbühler (1997) y Helg (1997) como la Formación Burrohuaycu. La formación Uchucay tiene un espesor máximo de 100 m (Pratt et al., 1997). Edad: Mioceno superior (Hungerbühler, 1997).

2.2.10 Formación Quimsacocha

Formada por lavas y brechas tobáceas de composición andesítica que sobreyacen a la formación Turupamba. Estas andesitas son consideradas productos proximales del estratovolcán Quimsacocha y afloran alrededor de la caldera Quimsacocha (Pratt et al., 1997). Edad: Mioceno superior (Pratt et al., 1997).

2.2.11 Formación Tarqui

Conformada por varias litologías, como son brechas volcánicas de composición riolítica a andesítica, tobas de ceniza, flujos piroclásticos e ignimbritas (Baldock, 1982). Esta formación se superpone discordantemente a varias formaciones del Paleógeno - Neógeno que incluyen el Grupo Saraguro y el Grupo Nabón (Hungerbühler et al., 2002). Edad: Mioceno superior (George, 2019).

2.2.12 Formación Turupamba

Consiste en tobas de composición riolítica a dacítica, pómez de lapilli y tufitas. Se superpone a la Formación Turi y está cubierto por la Formación Quimsacocha. Tiene un espesor aproximado de 360 m. Esta formación es el producto de numerosas caídas de ceniza riolítica y dacítica, intercalados con períodos de sedimentación fluvial y lacustre (Pratt et al., 1997). Edad: Mioceno superior (Pratt et al., 1997).

2.3 Geología Local

En el Distrito Minero Zaruma – Portovelo aflora principalmente el Grupo Saraguro que se caracteriza por contener tobas de composición riolítica a dacítica que varían en su tamaño de grano, comprende tobas de grano grueso, tobas de cristales y brechas. El Grupo Saraguro se divide en cinco formaciones: Las Trancas, Plancharumi, La Fortuna, Jubones, La Paz y Unidad Portovelo (Pratt et al., 1997). En esta última formación, específicamente dentro de la serie Portovelo, se hospeda la mineralización del depósito mineral y consiste en una secuencia de tobas, brechas y lavas de composición andesítica que varía desde 1 hasta 3 km (Figura 2.3).

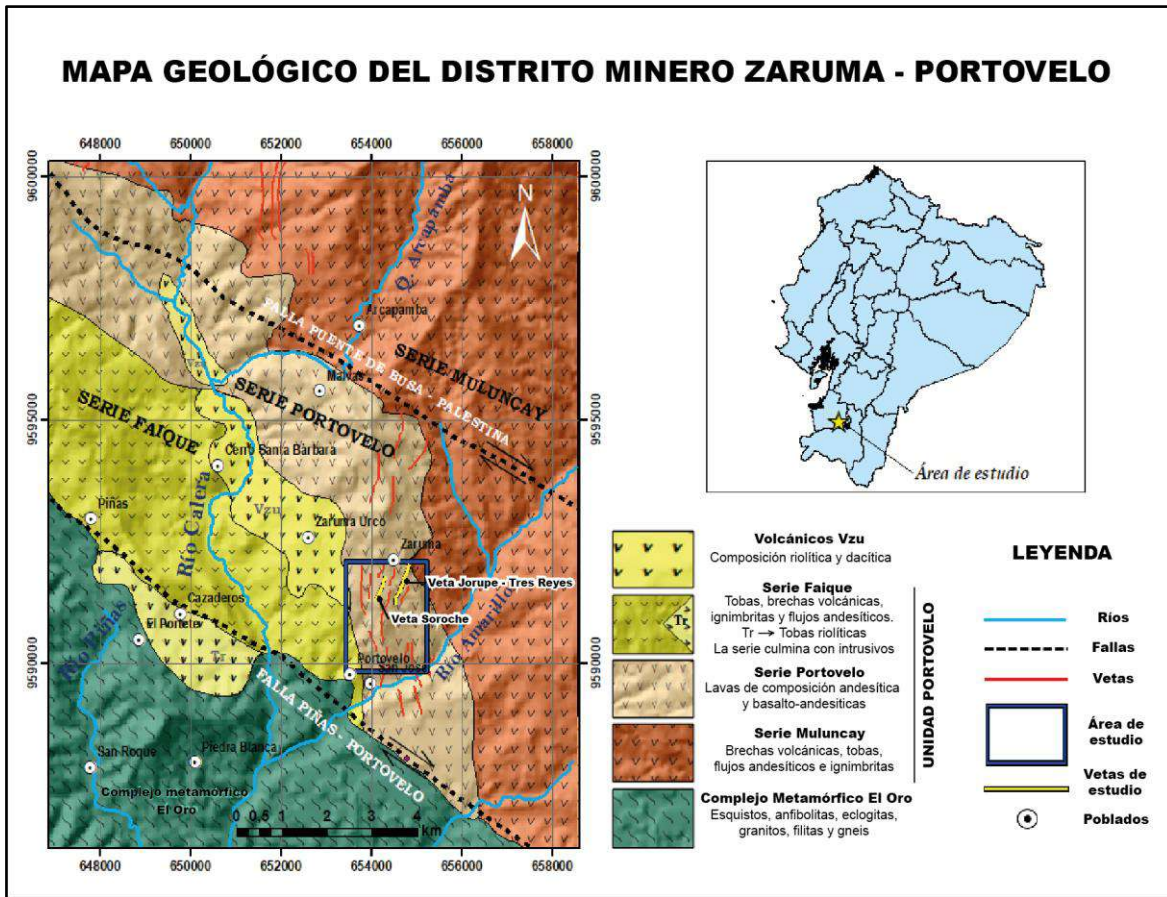


Figura 2.3. Mapa geológico del Distrito minero Zaruma - Portovelo (Modificado de Bonilla, 2009).

2.3.1 Unidad Portovelo

Consiste principalmente de lavas de composición andesítica con textura porfídica y fenocristales de plagioclasa, anfíbol y augita. También, formada por una toba de cristales con pequeños fragmentos andesíticos y limitados cristales de cuarzo de gran tamaño. Estas lavas presentan vesículas irregulares rellenas de clorita. A pesar, de su composición predominantemente andesítica, también incluye tobas de composición dacítica y riolítica, con intercalaciones sedimentarias de pizarras – cherts en menor cantidad (Pratt et al., 1997; PRODEMINCA, 2000). Edad: 24 – 19 Ma (Oligoceno superior – Mioceno inferior; Schütte et al., 2010).

Las rocas de esta unidad sobreyacen discordantes a las rocas del Complejo Metamórfico El Oro, este contacto se limita por la Falla Piñas – Portovelo (Bonilla, 2009). Tienen alteración hidrotermal con epidota, clorita y calcita, donde los fenocristales de plagioclasa son reemplazados por epidota, mientras que, los cristales de augita y anfíbol son

reemplazados por clorita y epidota. El ambiente de formación corresponde a un arco volcánico calco-alkalino desarrollado sobre basamento metamórfico (Pratt et al., 1997), relacionado con el magmatismo del arco continental del Paleógeno - Neógeno (Spencer et al., 2002).

La unidad Portovelo se divide en tres series de E – W: Serie Muluncay, Serie Portovelo y Serie Faique (Billingsley, 1926).

Serie Muluncay

Consiste en brechas volcánicas, tobas y flujos de lava de composición andesítica e ignimbritas, que representan la base de la Unidad Portovelo (Billingsley, 1926; Bonilla, 2009) (Figuras 2.3 y 2.4).

Serie Portovelo

Formada por lavas de composición andesítica y andesita-basáltica con rumbo NW – SE. Esta serie alberga la mineralización en forma de vetas en el Distrito Minero Zaruma – Portovelo. La serie Faique sobreyace a la Serie Portovelo (Billingsley, 1926; Bonilla, 2009) (Figuras 2.3 y 2.4).

Serie Faique

Está compuesta por brechas volcánicas, tobas y flujos de lava de composición andesítica e ignimbritas, similar a la serie Muluncay, pero se diferencian porque en esta serie aumenta la cantidad de tobas y disminuyen las lavas de composición andesítica (Billingsley, 1926; Bonilla, 2009). Además, se encuentran intrusivos de composición diorítica, granodiorítica, monzonítica cuarzosa y granítica que afloran a lo largo de Portovelo y Zaruma (Spencer et al., 2002) (Figuras 2.3 y 2.4).

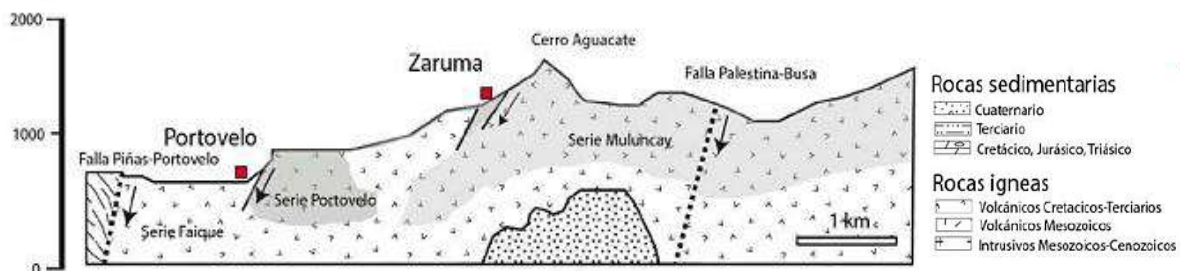


Figura 2.4. Corte geológico SW-NE de la zona de estudio, se indica las series pertenecientes a la Unidad Portovelo (Berrezueta et al., 2021).

2.3.2 Características del Distrito Minero Zaruma – Portovelo

2.3.2.1 Área y Ubicación

El Distrito Minero Zaruma – Portovelo está ubicado al suroeste del Ecuador, en la provincia de El Oro, entre los cantones de Portovelo y Zaruma, específicamente en las parroquias de Portovelo y Zaruma respectivamente (Figura 2.5).

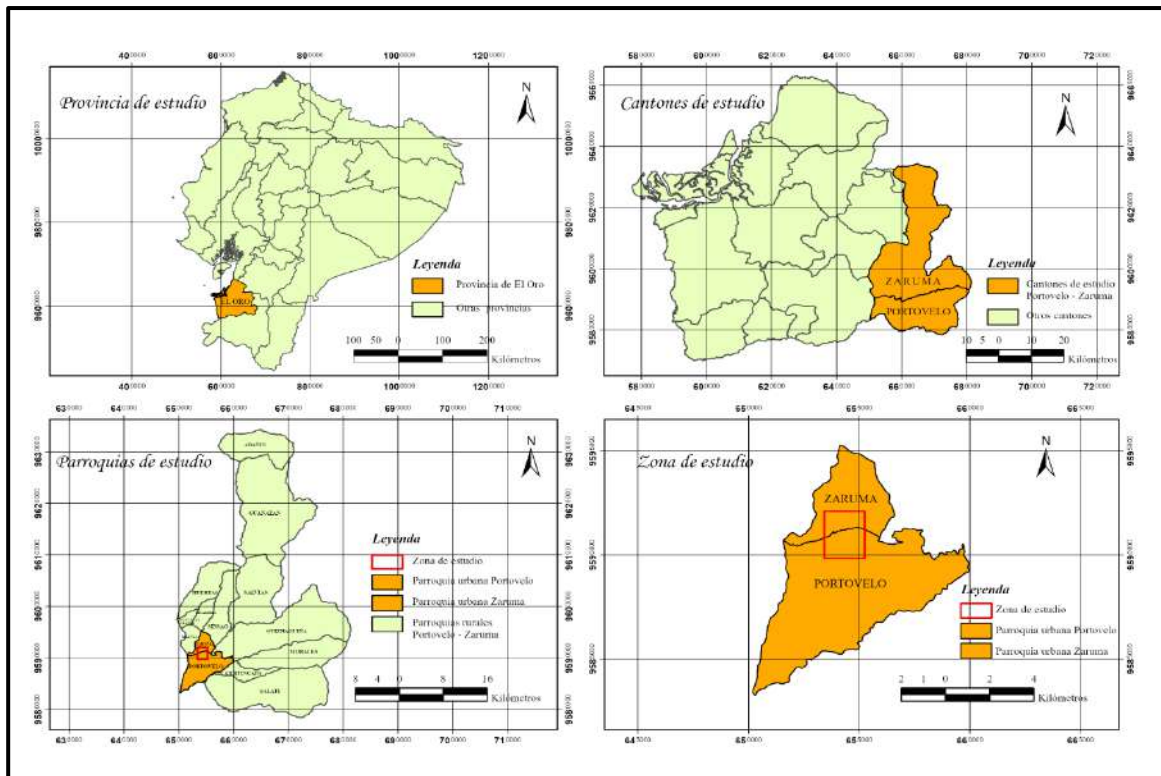


Figura 2.5. Mapa de ubicación del área de estudio.

2.3.3 Estructuras principales

El Distrito Minero Zaruma – Portovelo está controlado por dos fallas principales conocidas como Falla Piñas – Portovelo y Falla Palestina – Puente Buza (Figura 2.6), además, de fallas secundarias que se asocian a la formación de las vetas que se centran en nuestra zona de estudio englobando las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche.

2.3.3.1 Falla Piñas – Portovelo

Posee una orientación preferencial NW-SE y separa el Grupo Saraguro del Complejo Metamórfico El Oro. Al S se define como límite del sistema de vetas epitermales del distrito minero Zaruma-Portovelo. Al W de Piñas, la falla aparece con buzamiento alto, casi vertical

(Pratt et al., 1997). A lo largo de esta falla las litologías del basamento han sido deformadas mediante cataclasis y brechamiento (Aspden et al., 1995) (Figura 2.6).

2.3.3.2 Falla Palestina - Puente Buza

Definida como falla de rumbo con dirección WNW-ESE. Está situada a 5 km al N de Zaruma, aproximadamente paralela a la falla Piñas-Portovelo y con movimiento dextral. La falla Palestina - Puente Buza delimita el principal enjambre de filones con cuarzo. El sistema de filones Minas Nuevas-Muluncay, localizado al N de la falla Palestina – Puente Buza, representa la continuación al N de la mineralización en el distrito Zaruma-Portovelo. (Bonilla, 2009) (Figura 2.6).

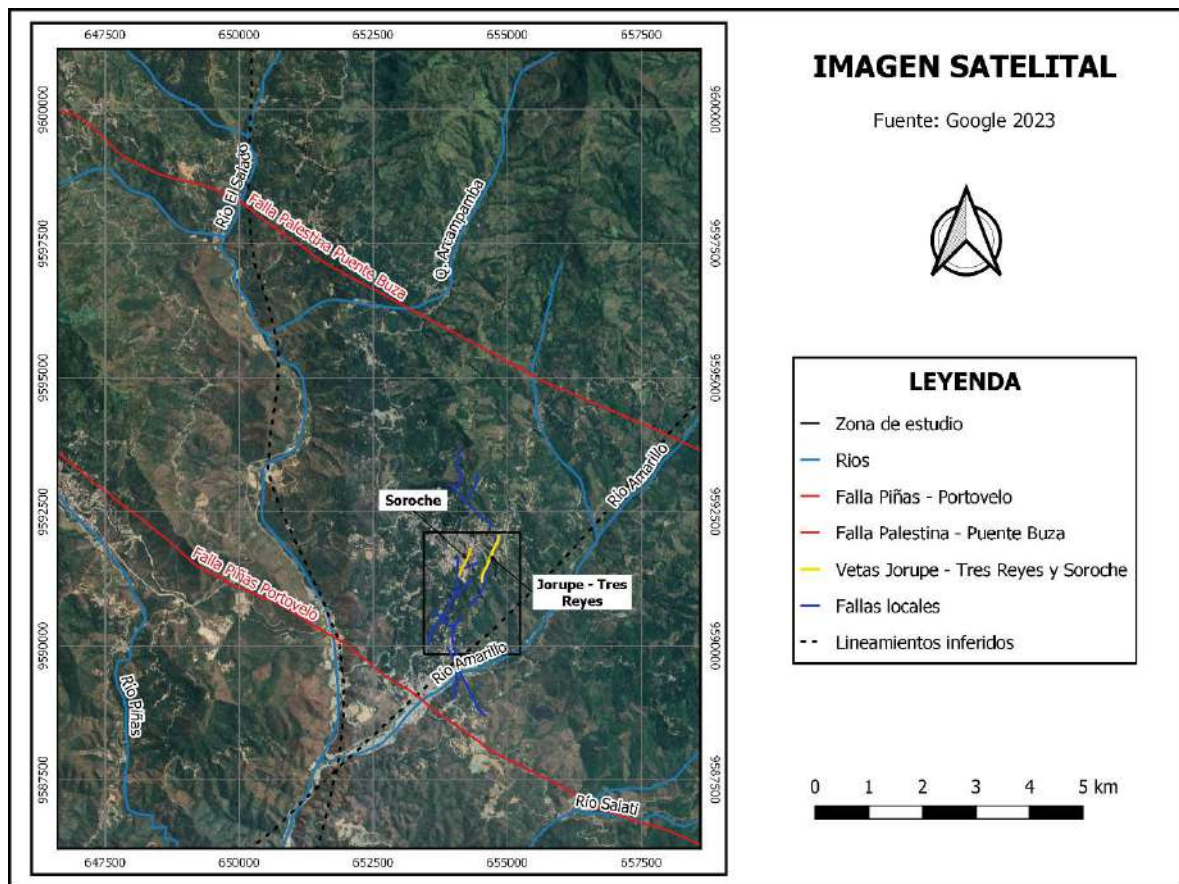


Figura 2.6. Mapa satelital de la zona de estudio dónde se muestran las fallas Palestina – Puente Buza (FPPB), Piñas – Portovelo (FPP) y las fallas locales del distrito minero Zaruma – Portovelo.

2.3.4 Mineralización

En la zona N del distrito la mineralización se encuentra diseminada, consiste en un ensamblaje mineral de pirita dominante, magnetita y calcopirita en menor cantidad. La mineralización en las vetas mayormente es pirita y calcopirita (la calcopirita está cubierta por covelita y calcocita de origen supérgeno), en menor cantidad con esfalerita y galena. El contenido de sulfuros asociados a las vetas se estima entre 10 a 15 %. El contenido de sulfuros varía en sentido N - S en donde se estima un incremento hacia el S. Al S en donde se encuentran las vetas enfocadas en este estudio se estima un incremento en los sulfuros entre el 20 al 40 % con ensamblaje mineral de esfalerita, pirita, galena y calcopirita (Spencer et al., 2002).

2.3.5 Alteraciones hidrotermales

2.3.5.1 Alteración local de ambiente de pórfido

En la parte norte del distrito minero Zaruma-Portovelo cerca al pórfido El Poglio se puede observar alteración argílica intermedia con un ensamblaje de pirofilita-topacio-turmalina. En la zona SO se identifica una alteración argílica avanzada que se interpreta como una litocapa (*litocap*) de acuerdo a Sillitoe (2000), la asociación mineral de esta alteración comprende sílice residual (cuarzo con textura *vuggy silica*), caolinita, dickita, pirofilita y alunita (Spencer et al., 2002).

2.3.5.2 Alteración local asociada al sistema de vetas

De N - S a través de los afloramientos de las vetas, la alteración define una disminución gradual de la temperatura. En el contacto de las vetas con la roca encajante se identifica una mezcla de arcillas entre illita-esmectita. Existe la presencia de minerales de alteración como sericita, illita, esmectita, clorita, calcita y epidota (Spencer et al., 2002).

CAPÍTULO 3. MAPEO, MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

3.1 Mapeo Geológico y Estructural en Interior Mina

3.1.1 Levantamiento topográfico subterráneo

El levantamiento topográfico es plasmar la realidad en campo sobre un plano con la ubicación correcta (x, y, z). El objetivo es determinar la posición relativa de uno o más puntos para obtener una representación gráfica. Este procedimiento permite establecer puntos de control de manera horizontal y vertical de forma precisa para proceder con análisis posteriores como el mapeo geológico-estructural en interior mina. En principio los trabajos de levantamientos subterráneos son similares a los de superficie, aunque con características especiales debido a las condiciones diferentes, las cuales incluyen iluminación, temperatura, presión barométrica, humedad y gases nocivos. En interior mina los levantamientos topográficos incluyen el partir de un punto georreferenciado en superficie y arrastrar estas coordenadas hacia las galerías de acceso, galerías de explotación, pozos, chimeneas y rampas (García, 2003) (Figura 3.1).

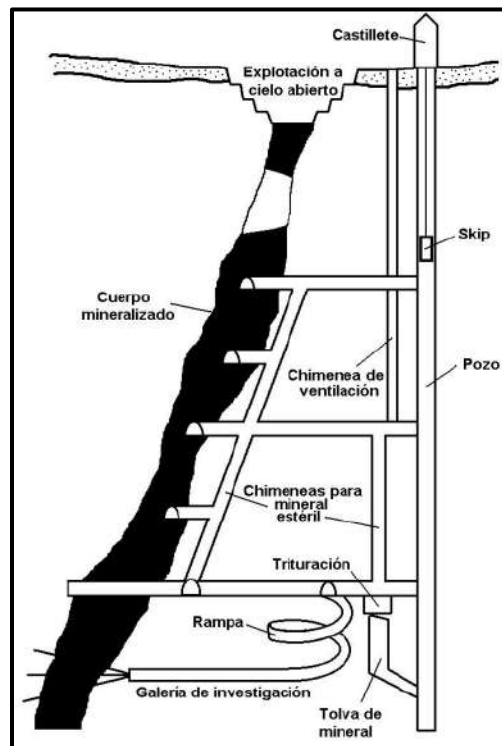


Figura 3.1. Perfil de un plano topográfico minero en explotación (García, 2003).

El proceso llevado a cabo para el actual proyecto de investigación incluyó el uso de GPS diferencial, estación total, prismas, porta prismas, brújula, plomada de punto, pintura reflectiva, cinta métrica, piola, libreta de campo y clavos de acero.

Como primer paso se debe posicionar el punto de partida, en este caso se establece en la boca mina de la zona de estudio. Para este paso se utilizó el equipo de Sistema de doble frecuencia GPS Multiconstelación GNSS RTK/PP, modelo M8 Pro, con el cual se procede a dar lectura de los puntos geodésicos referidos al sistema PSAD 56. A partir de los puntos posicionados se continúa con el arrastre de las coordenadas de manera sistemática en interior mina, para ello, se empleó una estación total SOUTH 362, equipo que permite obtener medidas simultaneas de ángulos, distancias y desniveles (Figura 3.2).



Figura 3.2. Toma de puntos con estación total en galerías interior mina.

Para continuar con el levantamiento se tiene que establecer los puntos que se tomaran con la estación total, se marcan los puntos generalmente en el techo o paredes de las galerías, en el suelo no es recomendable marcar debido a que el paso del personal o maquinaria podrían hacerlas desaparecer.

Al marcar el punto en el techo se utiliza una plomada para proyectarlas sobre el piso, se señala con un clavo y se procede a colocar la estación total sobre este punto. Los puntos de estación se eligen de manera que los recorridos sean sencillos, óptimos y en menor cantidad posible.

Para denominar los puntos de la estación total se puede utilizar una nomenclatura consecutiva de letras y números que faciliten su ubicación (Figura 3.3 A). Estas pueden estar situadas entre cruces de galerías, chimeneas, puntos visibles e información relevante (Figura 3.3 B).

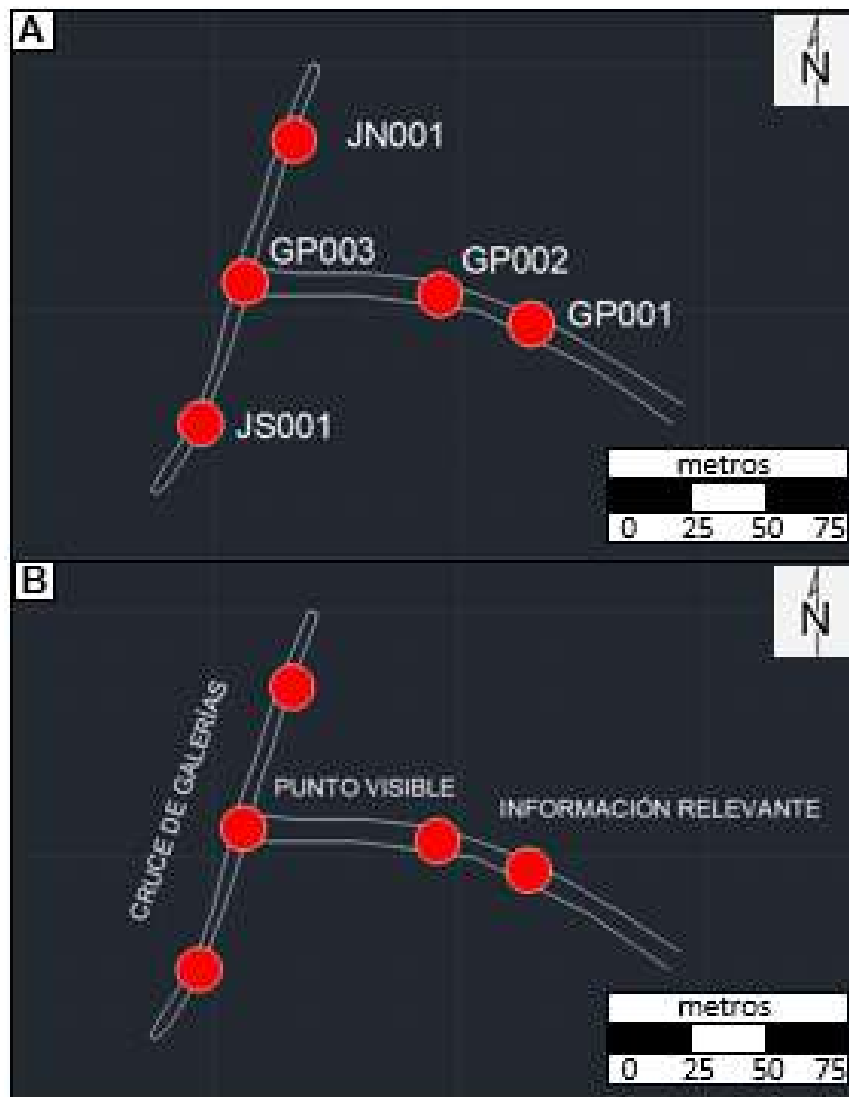


Figura 3.3. Ilustración de puntos ploteados en AutoCAD. A. Nomenclatura marcada sistemáticamente para ubicación de la estación total interior mina; B. Ubicación de puntos estratégicos para referencia.

Para continuar tomando los puntos de estación establecidos, se procede enfocando el punto siguiente con la estación total y se coloca la nomenclatura correspondiente. Posteriormente, se debe ubicar en el último punto tomado y regresar el láser al punto anterior, esto con la finalidad de verificar que los datos tomados hayan sido correctos. Es importante llevar un control sistemático para poder continuar con esta metodología en todos los puntos.

Una vez obtenida la lectura de todos los puntos generados en interior mina se procede a guardar los datos. Posteriormente, se continúa con el trabajo de oficina. Todos los datos obtenidos pasan a un editor de texto y se procede a depurar los datos repetidos que se tomaron como control.

Para los puntos de difícil acceso para la estación total se utilizó el método de topografía con cinta-brújula. Este método se basa en utilizar una cinta con una extensión determinada y el uso de la brújula nos permite medir la dirección e inclinación de estos tramos (Figura 3.4).



Figura 3.4. Ilustración del método Cinta-Brújula en interior mina.

Para finalizar, se continúa con el uso del software AutoCAD 3D, se generan los puntos guardados con la estación total y se procede a realizar el plano correspondiente (Figura 3.5).

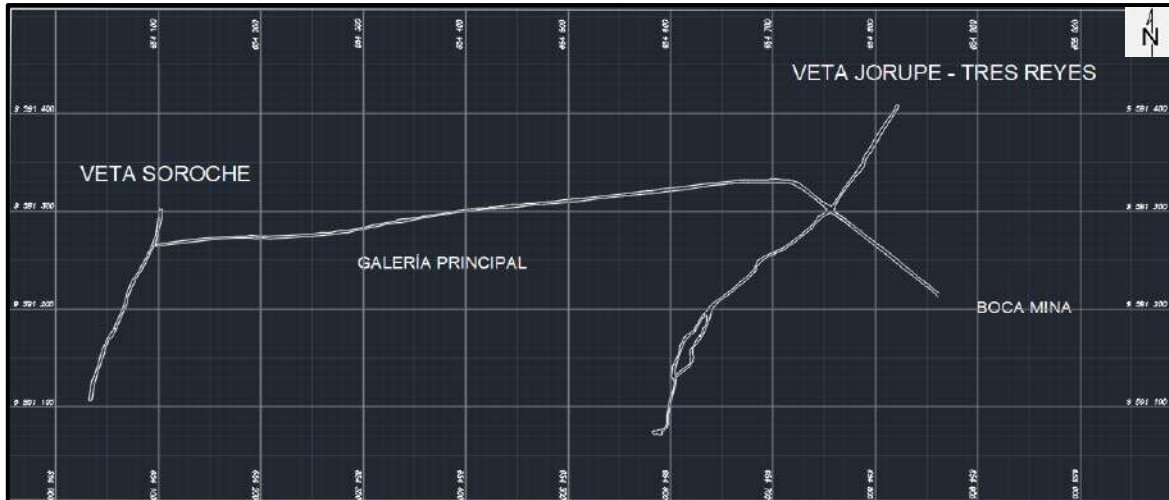


Figura 3.5. Levantamiento topográfico subterráneo generado en AutoCAD utilizando los datos tomados en interior mina con estación total y cinta – brújula.

3.1.2 Mapeo Geológico – Estructural

El mapeo geológico es la representación gráfica a una escala determinada de los rasgos litológicos, estructurales, alteraciones, contactos, mineralización y estratificación presentes en el área de estudio (Echeveste, 2018). La información que busca el geólogo dependerá del tipo de proyecto, en este estudio el principal objetivo a mapear es la litología, mineralización y alteraciones (Figura 3.6 A).

El mapeo estructural es la identificación y caracterización de las diferentes estructuras visibles que pueden ser medidas para posteriormente realizar un análisis estructural a nivel local o regional. Las estructuras incluyen fallas, pliegues, diaclasas y vetas mineralizadas (Figura 3.6 B). Estas estructuras, forman un papel muy importante en el desarrollo y formación de depósitos minerales (Chauvet, 2019).



Figura 3.6. Galería secundaria en veta Jorupe – Tres Reyes. A. Observación de los principales rasgos geológicos; B. Toma de datos estructurales de un plano de falla.

Para realizar el Mapeo Geológico – Estructural se requiere de los siguientes instrumentos: brújula tipo Brunton, lupa geológica, flexómetro, libreta de campo a prueba de agua, lápiz rayador – magnético, tablero de plástico, cinta métrica, transportador de ángulos (protractor), regla, pintura reflectiva, marcadores y lápices.

En interior mina es imprescindible que se use los Equipos de Protección Personal (EPP's) como máscara de gases, linterna de mina, botas de caucho, chaleco reflectivo, tapones auditivos.

El mapeo geológico – estructural en este estudio se realizó en interior mina en las galerías de explotación de las Vetas Jorupe - Tres Reyes y Soroche, aproximadamente 1 km (Figura 3.5).

3.1.2.1 Mapeo Estructural

Antes de iniciar con el mapeo estructural es indispensable definir la escala del mapeo, en este estudio se realizó con una escala 1:500 y previamente con el levantamiento topográfico. Se tomaron datos estructurales cada 5 m dando un total de 104 puntos (Anexo 01). Además, es necesario la ayuda de un compañero de trabajo para la toma y medida de cada uno de los datos estructurales.

Para iniciar, se debe verificar que el área de trabajo sea segura, caso contrario, se debe realizar el desatamiento de rocas. Luego, en la galería de estudio donde se encuentra la veta, se debe marcar cada 5 metros con pintura reflectiva los puntos de control, en los cuales se tomarán los datos estructurales, esto se realiza con una cinta métrica y se marcan en la pared de la galería (Figura 3.7 A). Es importante colocar una nomenclatura a estos puntos para organizar la información (Figura 3.7 B).

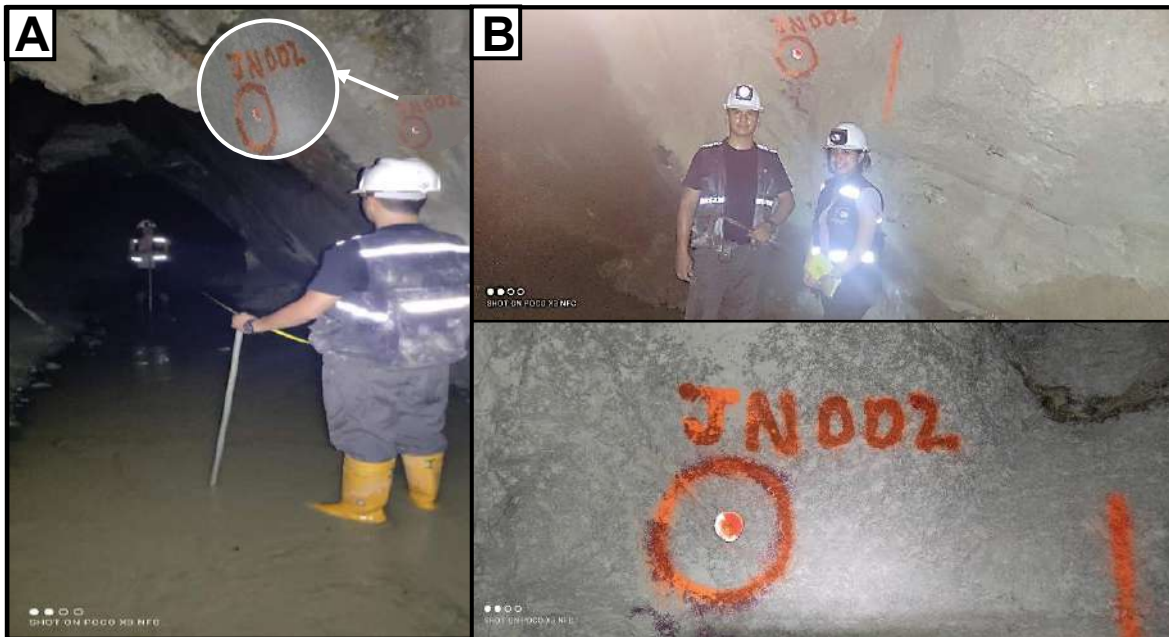


Figura 3.7. Ubicación de los puntos de control; A. Marcado de los puntos cada 5m en las paredes de las galerías; B. Nomenclatura de los puntos utilizada.

Una vez marcados los puntos en toda la galería, se regresa al primer punto de control y se ubica en el centro de la galería (Figura 3.8 A y B). En ese momento, se procede a la toma de datos estructurales, para lo cual se deben proyectar todas las estructuras geológicas presentes (veta, fallas, diaclasas) sobre un plano imaginario. El plano imaginario es la base para saber dónde cortan las estructuras (ej. a la altura de la cintura), entonces, se debe

estar en el centro de la galería y medir la altura que en este caso es de 1 metro (Figura 3.38 B). Este paso, lo debe realizar siempre la misma persona con la altura medida definida para no tener errores en la toma de datos estructurales.

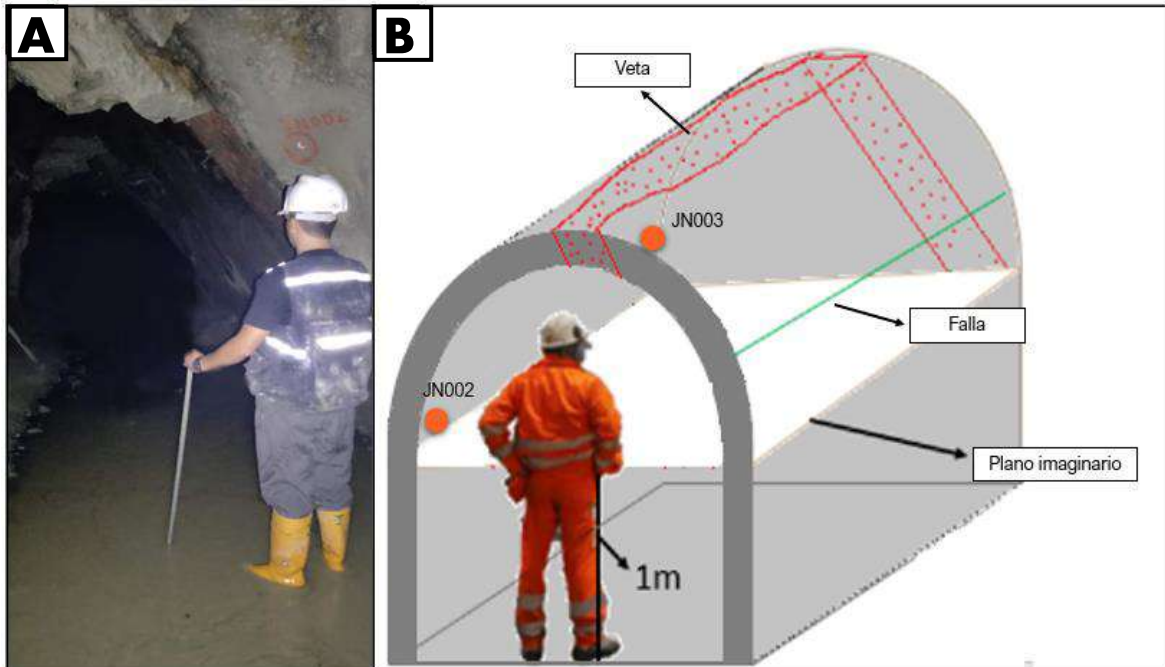


Figura 3.8. Ubicación para la toma de datos. A. Ubicación en el centro de la galería; B. Proyección del plano imaginario.

Las medidas estructurales que se toman son Dip Direction/Dip y potencia de la veta. Para las fallas y diaclasas se mide únicamente Dip Direction/Dip, mientras que para las vetas se mide Dip Direction/Dip y potencia. Para tomar las medidas estructurales se proyecta el plano de la estructura con la ayuda del tablero (Figura 3.9 B), esto es necesario cuando no se puede colocar la brújula directamente sobre el plano; caso contrario, se toma la medida directamente del plano de falla (Figura 3.9 A). En la Figura 3.9 C se puede observar de forma gráfica como se realiza este proceso.

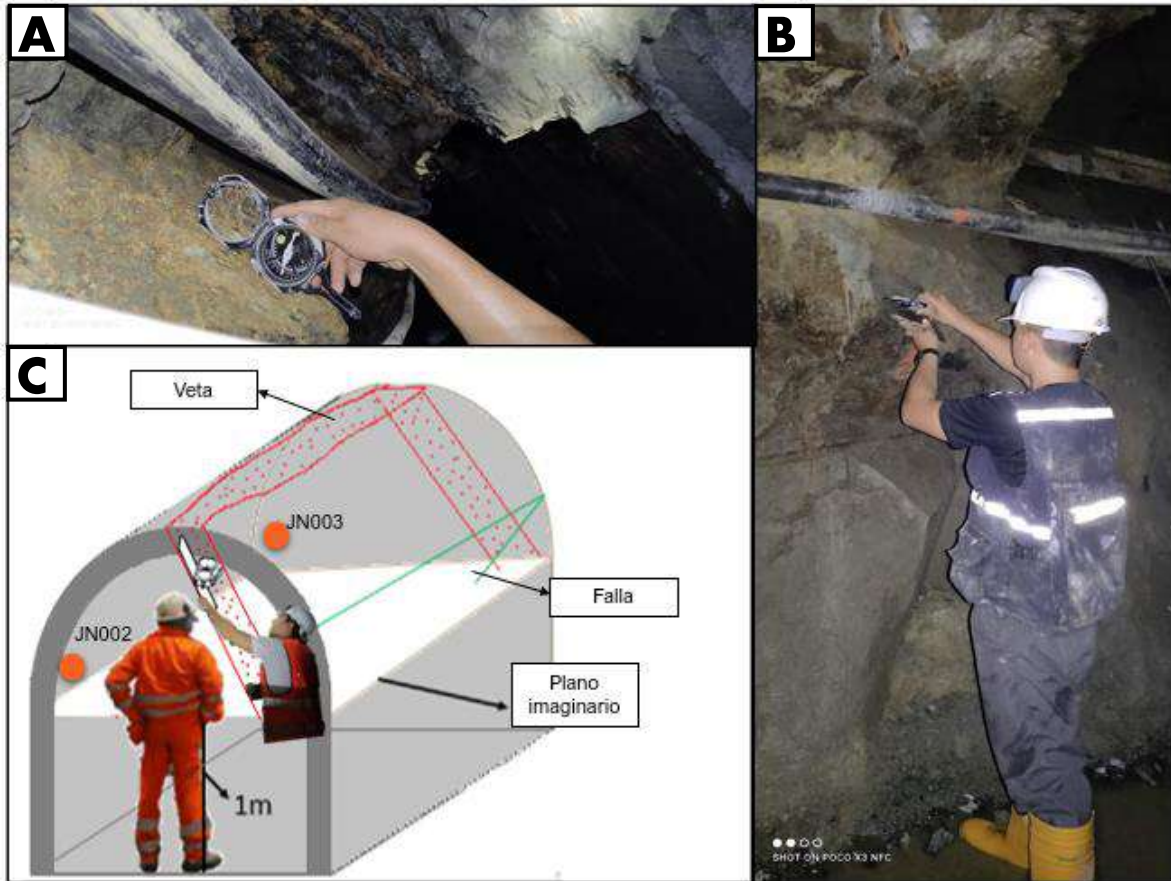


Figura 3.9. Toma de datos estructurales, Dip Direction/Dip de las vetas y fallas. A. Toma de datos directamente sobre el plano de falla; B. Toma de datos proyectando el plano de falla con un tablero de plástico; C. Representación gráfica de toma de medidas de Dip Direction/Dip.

Luego, con la ayuda de un flexómetro y tablero de plástico se proyecta la estructura en el plano imaginario (Figura 3.10 A) y la persona que se encuentra en el centro de la galería mide la distancia que existe desde el centro de su cintura hasta donde corta la estructura (Figura 3.10 B). En la figura 3.10 C se visualiza de forma gráfica como se toman los datos mencionados.

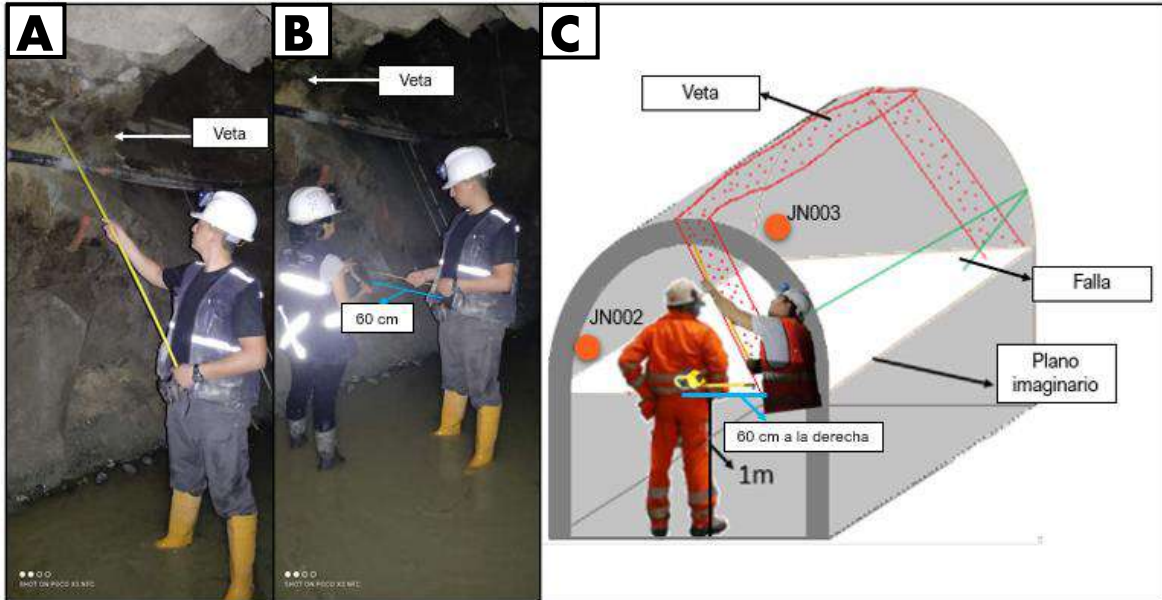


Figura 3.10. Proyección de las estructuras en el plano imaginario. A. Proyección del plano de la veta con el flexómetro; B. Distancia desde el centro de la cintura hasta donde corta la estructura (veta) en el plano imaginario; C. Representación gráfica de la proyección de estructuras.

Después, se mide la potencia de la veta, esta medida se toma perpendicular a la veta (Figura 3.11 A). Se observa de forma gráfica como tomar esta medida en la figura 3.11 B.

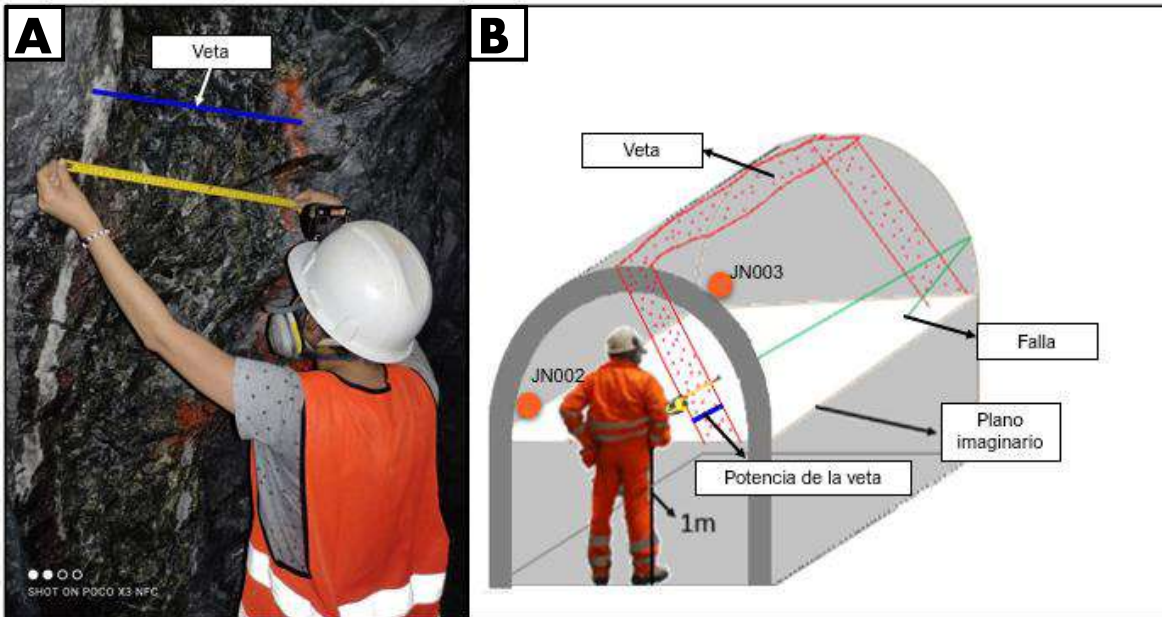


Figura 3.11. Toma de datos estructurales (potencia de la veta). A. Medición de la potencia de la veta; B. Representación gráfica de como medir la potencia de la veta.

El siguiente paso es plasmar todos los datos tomados en la libreta de campo, se elabora una pequeña tabla con los siguientes datos: punto de control, estructura, Dip Direction/Dip, potencia (@) y la distancia a la que corta. También, se realiza un dibujo representativo de la sección, esto ayuda a poder visualizar mejor todos los datos tomados (Figura 3.12 A). En la figura 3.12 B se observa la galería en 3D y todos los datos que se deben tomar.

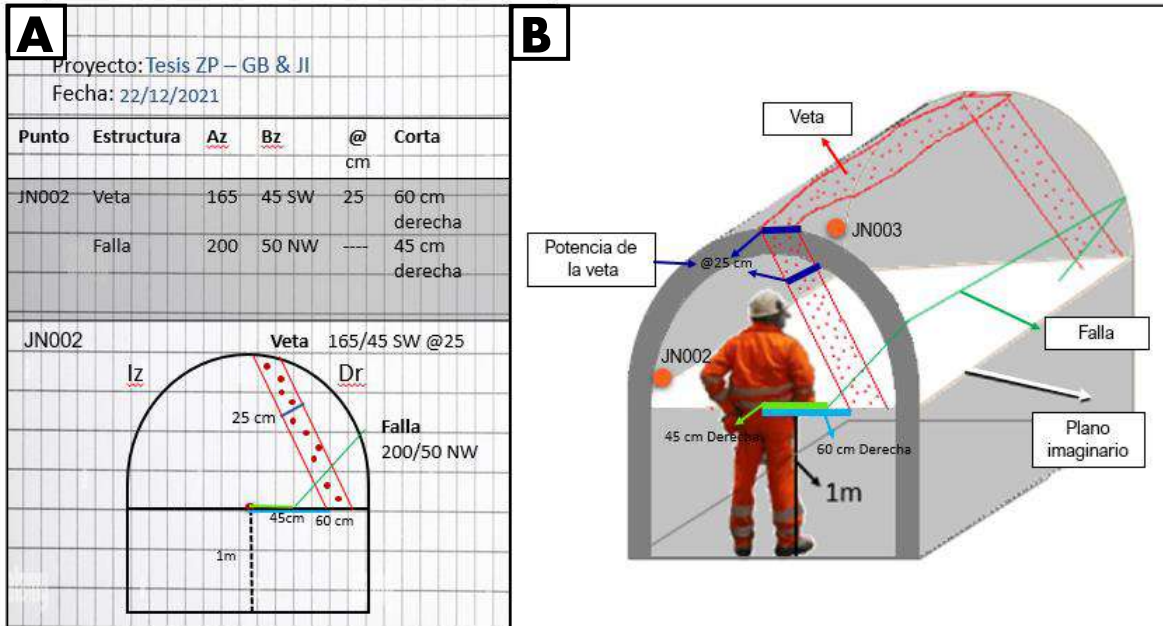


Figura 3.12. Datos estructurales generados. A. Esquema de los datos medidos en la libreta de campo; B. Representación gráfica del proceso para la toma de medidas de las vetas y fallas.

En las figuras anteriores se indica como mapear las vetas y fallas, sin embargo, para las diaclasas se realiza el mismo procedimiento, pero se debe identificar el número de familias dominantes y tomar las medidas más representativas. Finalmente, en la figura 3.13 A se observa todos los datos que se deben tomar y en la figura 3.13 B se representa gráficamente el procedimiento para la toma de datos.

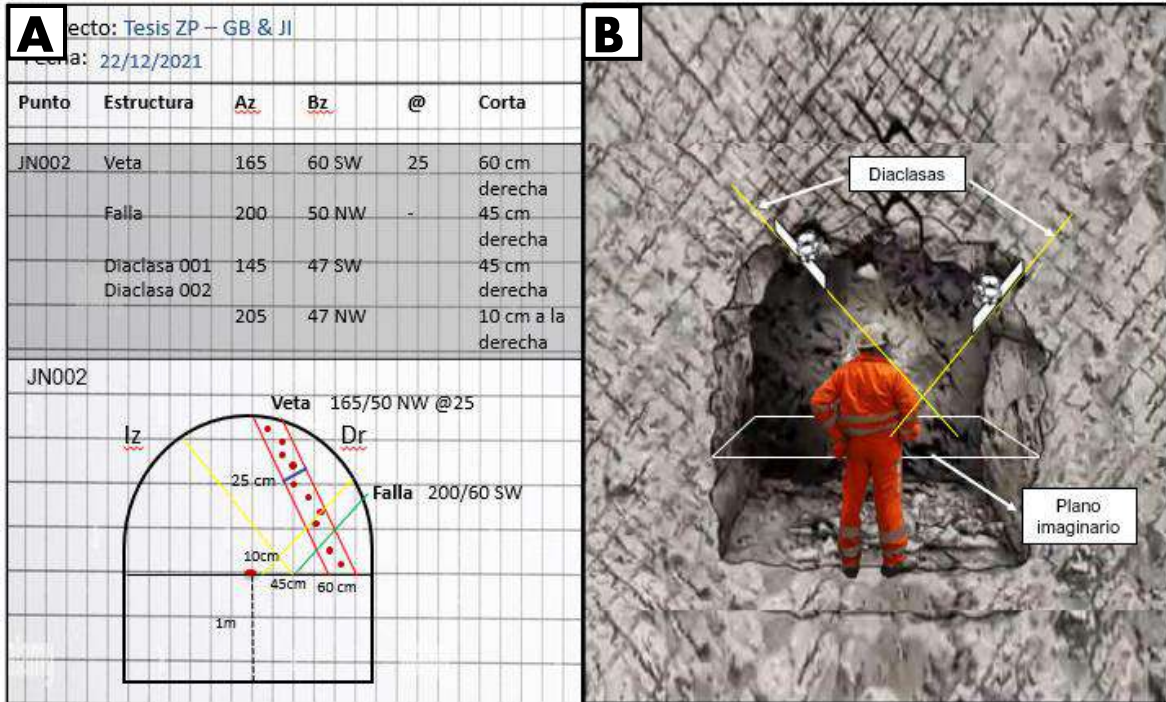


Figura 3.13. Datos estructurales generados. A. Esquema de los datos medidos en la libreta de campo; B. representación gráfica del proceso para la toma de medidas de las diaclasas.

3.1.2.1 Mapeo Geológico

Al igual que en el mapeo estructural, es indispensable tener el levantamiento topográfico. Sin embargo, para el mapeo geológico los puntos de control no son sistemáticos, únicamente se realiza donde se observan cambios de litología, alteración y mineralización. Para iniciar, primero se debe ir al primer punto de control y observar el tipo de roca caja, la cual se describe textura, estructura y litología. Luego, se reconoce si los minerales se encuentran alterados y se identifica los minerales claves de alteración, para de esta manera poder describir la alteración dominante. El siguiente paso es identificar los minerales de mena y ganga. Para identificar y caracterizar los diferentes minerales y tipo de roca, se utiliza la lupa geológica, lápiz rayador – magnético y ácido clorhídrico. También, es imprescindible llevar el martillo geológico, para poder tomar muestras frescas y observar mejor los minerales. Todo este proceso se repite donde existan cambios en alguno de los tres parámetros mencionados anteriormente (litología, alteración y mineralización). El mapeo geológico se lo puede realizar al mismo tiempo que el mapeo estructural y se plasman los datos en la libreta de campo (Figura 3.14).



Figura 3.14. Mapeo Geológico en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes. Se observa y describe litología, estructuras, mineralización, alteraciones y se plasman los datos en la libreta de campo.

Finalmente, una vez obtenidos todos los datos del mapeo geológico y estructural en interior mina se procesan en los softwares utilizados. El AutoCAD Civil 3D servirá para plasmar el comportamiento estructural de las vetas, identificar las zonas de mayor acumulación mineral y graficar la litología de la roca encajante en las vetas de estudio. Por otro lado, el programa Dips se utilizará para analizar todos los datos estructurales (Dip Direction/Dip) de las fallas, vetas y diaclasas. Los resultados obtenidos con cada uno de los programas se describen en el siguiente capítulo.

3.2 Muestreo

La importancia de realizar un muestreo detallado permite adquirir datos con localización correcta. Para la recolección de muestras se utilizó el martillo geológico, fundas de muestreo, cincel y combo. Para la elaboración de los análisis petrográficos, mineralógicos y geoquímicos se obtuvieron un total de 80 muestras entre roca caja y mineralización en interior mina.

3.2.1 Muestras de roca

Se realizó un muestreo aleatorio en interior mina. Las muestras llevaron un proceso metodológico en el cual se incluyó localización, fecha y se estimó un peso referencial de 500 g. Finalmente, se le asignó un código para su identificación y se generó el registro de la muestra en la base de datos utilizada (Anexo 02).

Se obtuvieron 15 muestras de roca caja en interior mina (Figura 3.15) las cuales se utilizaron para la elaboración de láminas delgadas. Las muestras fueron obtenidas en la caja alta y baja en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche. La elaboración de las láminas delgadas se realizó en el Laboratorio de Láminas Delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.

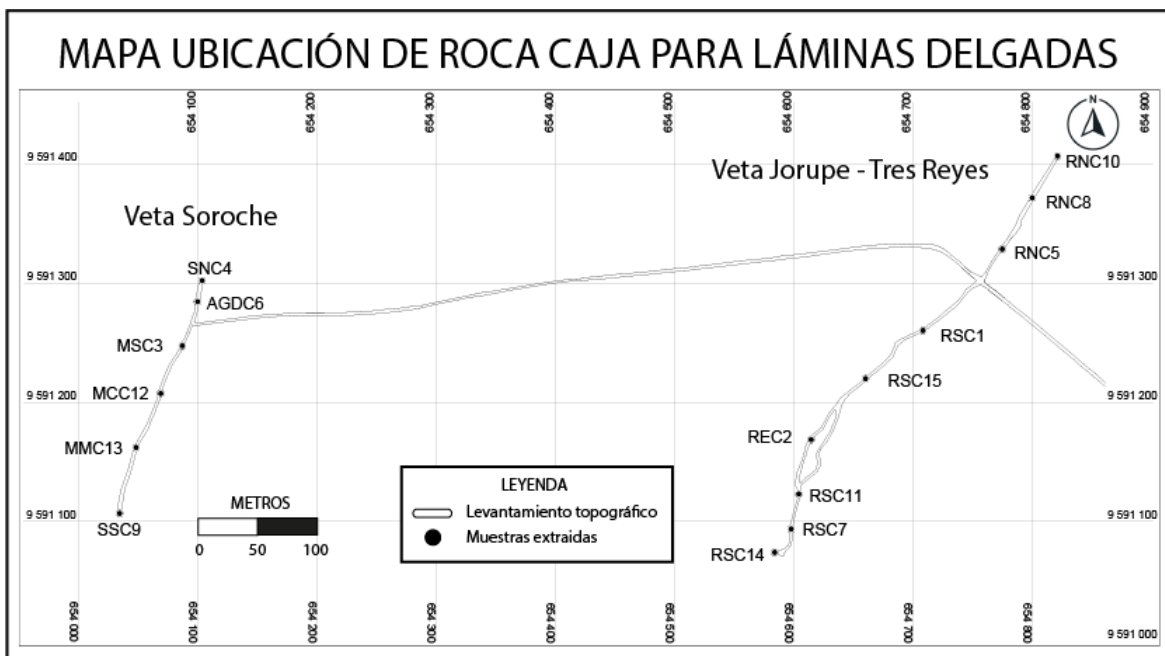


Figura 3.15. Mapa de ubicación de muestras de roca tomadas en mina para láminas delgadas.

3.2.2 Muestras de mineralización

Para el muestreo de la mineralización se utilizó un muestreo sistemático y aleatorio a lo largo de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche. El muestreo sistemático está destinado a mostrar la tendencia y ocurrencia de los minerales presentes en las vetas estudiadas, por lo que se realizó en intervalos regulares constantes de cada 20 m (Figura 3.16). Se obtuvieron 40 muestras, de las cuales 23 son de la veta Jorupe – Tres Reyes y 17 de la veta Soroche que se utilizaron para ensayos al fuego y espectroscopia de Absorción Atómica en el Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Minera Oroconcent S. A. Al momento de extraer la muestra, se inició con el proceso metodológico que incluye localización, fecha y se estimó un peso referencial de 2 kg. Finalmente, se le asignó un código para su correcta identificación, se generó el registro de la muestra en la base de datos y se envió al laboratorio para su respectivo análisis (Anexo 02).

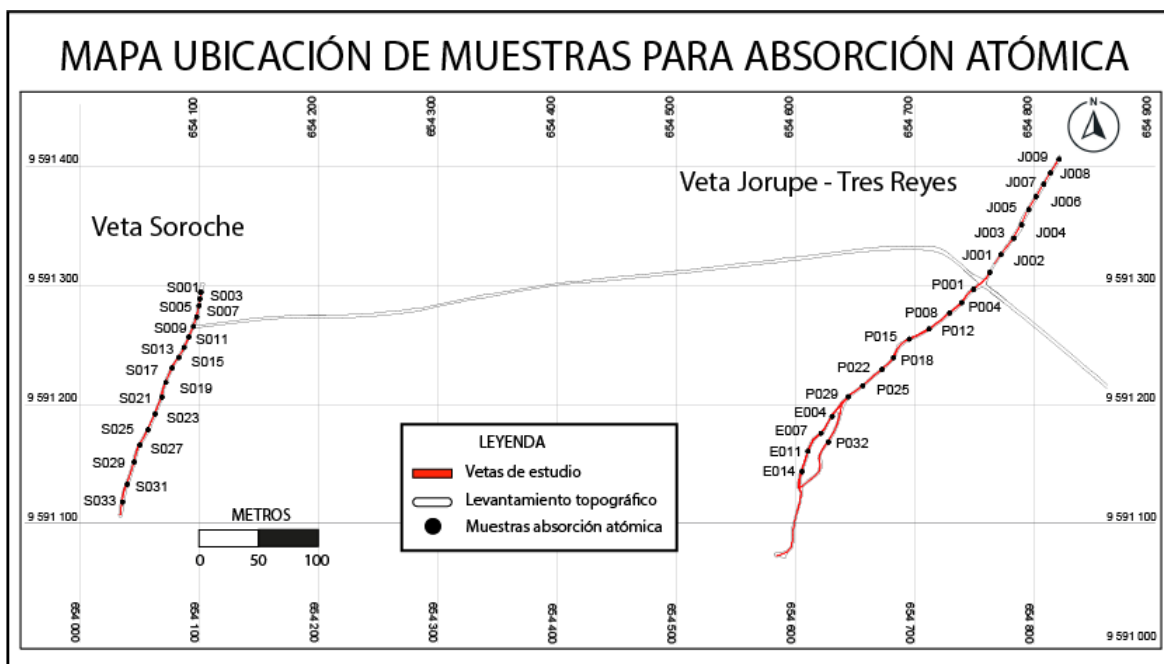


Figura 3.16. Mapa de ubicación de muestras de mineralización tomadas en interior mina para ensayos al fuego y espectroscopía de Absorción Atómica.

En muestreo aleatorio se obtuvieron 25 muestras mineralizadas tomadas de las vetas de estudio, 15 de las cuales se utilizaron para la elaboración de láminas pulidas (Figura 3.17). La elaboración de las láminas pulidas se realizó en el Laboratorio de Láminas Delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional. Adicionalmente, con el objetivo de caracterizar la composición geoquímica de roca total, se recogió 10 muestras

(Figura 3.17) y se realizó análisis de fluorescencia de rayos X en la empresa Geostrat S. A. Para determinar la composición geoquímica se realizó fluorescencia de rayos X en muestras de mano en el Laboratorio Químico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). Las muestras llevaron un proceso metodológico en el cual se incluyó localización, fecha y se estimó un peso referencial de 500 g. Finalmente, se le asignó un código para su identificación y se generó el registro de la muestra en la base de datos utilizada (Anexo 02).

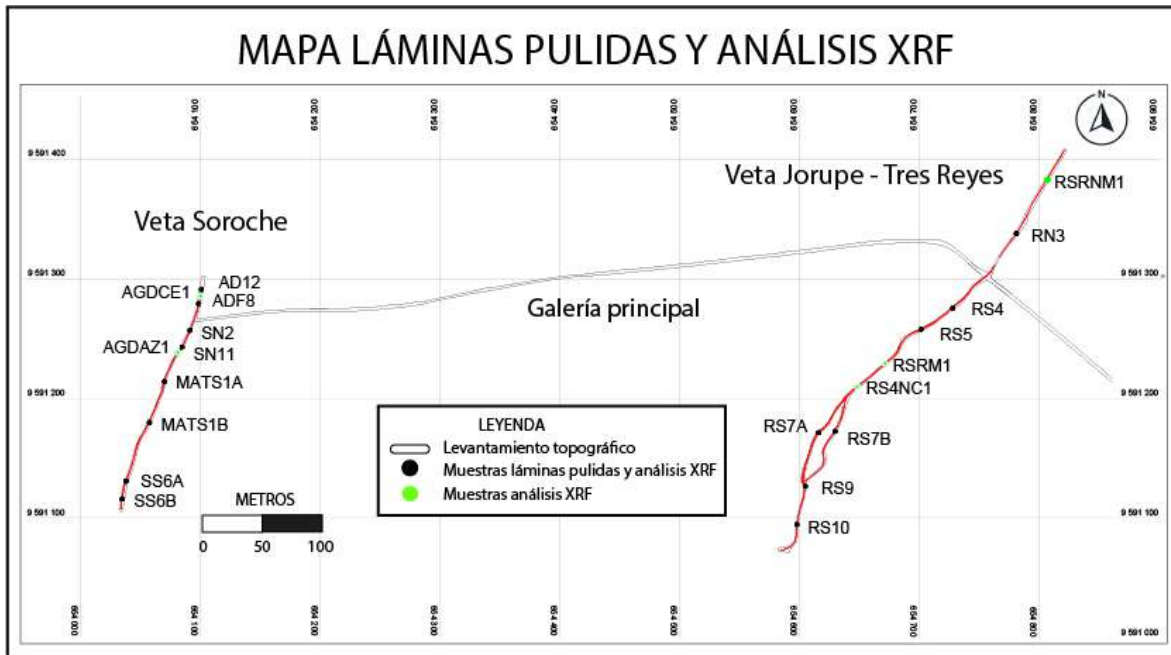


Figura 3.17. Mapa de ubicación de muestras tomadas en interior mina para láminas pulidas y análisis de fluorescencia de rayos X (FRX).

3.3 Métodos Analíticos

3.3.1 Petrografía y Mineralogía

La petrografía se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación macroscópica y microscópica, ya sea en campo o en muestras de mano y mediante el uso de láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio. La mineralogía estudia la composición, estructura, propiedades físicas y químicas de los minerales, se pueden analizar mediante la observación macroscópica y microscópica mediante el uso de láminas pulidas.

Roca encajante o caja

Es la roca que se encuentra rodeando el depósito mineral, que no contiene mineralización y puede estar definida por una o más unidades o formaciones, aquí se hospeda la mineralización del sistema (Canet & Camprubi, 2006). En el caso del Distrito minero Zaruma – Portovelo la mineralización se hospeda dentro de la Unidad Portovelo perteneciente al Grupo Saraguro conformado principalmente por tobas de composición intermedia (Figura 3.18).

Minerales de mena

Son los minerales que albergan los elementos de interés económico que pueden ser extraídos de un depósito mineral. Se pueden clasificar dependiendo del tipo de elemento, estos pueden ser menas de cobre en donde los minerales como sulfuros son calcopirita (CuFeS_2), calcosina (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4) u óxidos de cobre como cuprita (Cu_2O); menas de zinc como esfalerita (ZnS); menas de plomo como galena (PbS), entre otras (Canet & Camprubi, 2006) (Figura 3.18).

Minerales de ganga

Son los minerales que carecen de interés económico para un determinado tipo de depósito mineral o aprovechamiento metalúrgico, aunque a veces se forman al mismo tiempo que los minerales de mena. Estos pueden ser cuarzo (SiO_2), calcita (CaCO_3), pirita (FeS_2) (Canet & Camprubi, 2006) (Figura 3.18).

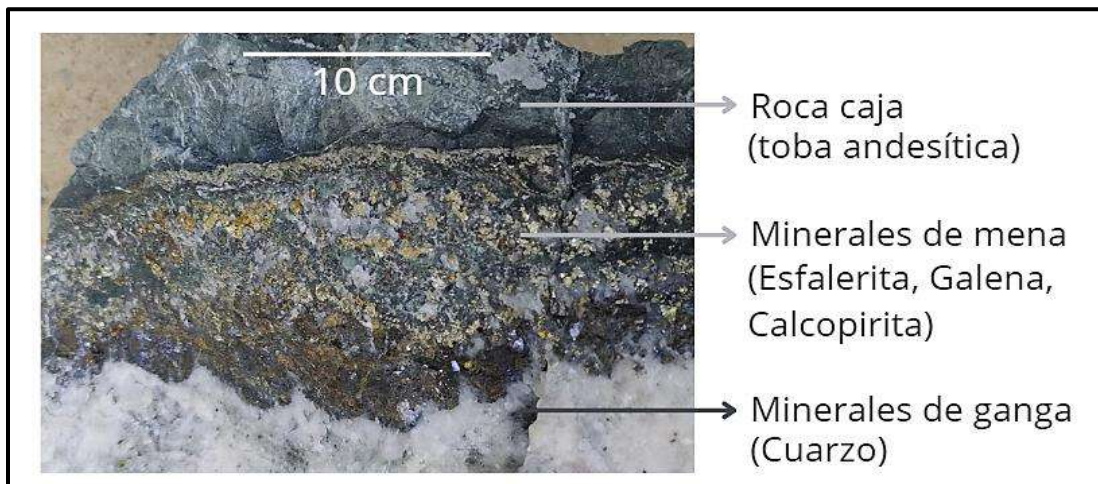


Figura 3.18. Representación de minerales de mena, ganga y roca encajante (Foto del área de estudio, veta Jorupe – Tres Reyes).

3.3.1.1 Láminas delgadas y láminas pulidas

Las láminas delgadas son rebanadas muy finas de roca de alrededor de 30 μm de espesor, las cuales son montadas sobre un portaobjetos y adheridas mediante resina epoxi. Su preparación se realiza en laboratorio y el objetivo es revelar la composición mineral de la roca, estructuras, propiedades ópticas y la interrelación de los minerales. Su estudio se realiza mediante un microscopio petrográfico de luz transmitida (Reed & Mergner, 1953). En la figura 3.19 A, se observan los componentes de las láminas delgadas y en la figura 3.19 B, se observa la elaboración de una lámina delgada para el área de estudio.

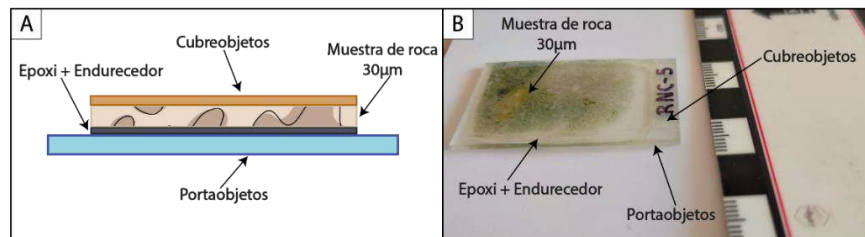


Figura 3.19. Ilustración de láminas delgadas. A. Esquema gráfico con las partes de una lámina delgada; B. Partes de una lámina delgada del área de estudio.

Las láminas pulidas son prismas de roca de espesor delgado altamente pulido de aproximadamente 1 a 2 mm, sin embargo, no existe una restricción en su espesor, ya que se rige por la altura que existe entre la platina del microscopio y la lente (Craig & Vaughan, 1994). Este prisma de roca se adhiere a un portaobjetos mediante resina epoxi y para obtener una superficie pulida libre de rayas se utiliza una serie de polvos abrasivos, lijas de papel y pasta de diamante de diferentes medidas (Grundmann & Scholz, 2015). El objetivo de esta técnica es estudiar principalmente los minerales opacos e identificar las texturas de los minerales de mena. Su análisis se realiza mediante un microscopio de luz reflejada (Craig & Vaughan, 1994). En la figura 3.20 A, se observan los componentes de las láminas pulidas y en la figura 3.20 B, se observa la elaboración de una lámina pulida del área de estudio.

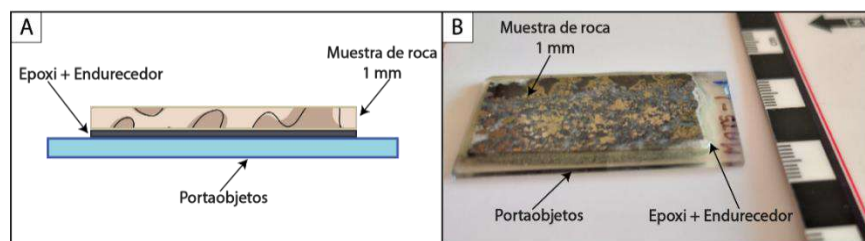


Figura 3.20. Ilustración de láminas pulidas. A. Esquema gráfico con las partes de una lámina pulida; B. Partes de una lámina pulida del área de estudio.

El primer paso es organizar las rocas recolectadas en campo, verificar el etiquetado y elegir el plano que se va a cortar en cada roca. Una vez hecha la selección de los planos con la ayuda de una sierra circular ingletadora (Figura 3.21 A), se corta las rocas en prismas rectangulares (chips) con dimensiones aproximadas de 3.5 cm de largo x 2.5 cm de ancho x 1 cm de espesor (Figura 3.21 B). Luego, se toma una lámina de vidrio (5 cm x 3 cm) y sobre la superficie se coloca epoxi y endurecedor, se mezclan los componentes (Figura 3.21 C). Cuando la mezcla está lista, se procede a pegar el chip de roca sobre la superficie y se deja secar alrededor de 20 minutos (Figura 3.21 D).

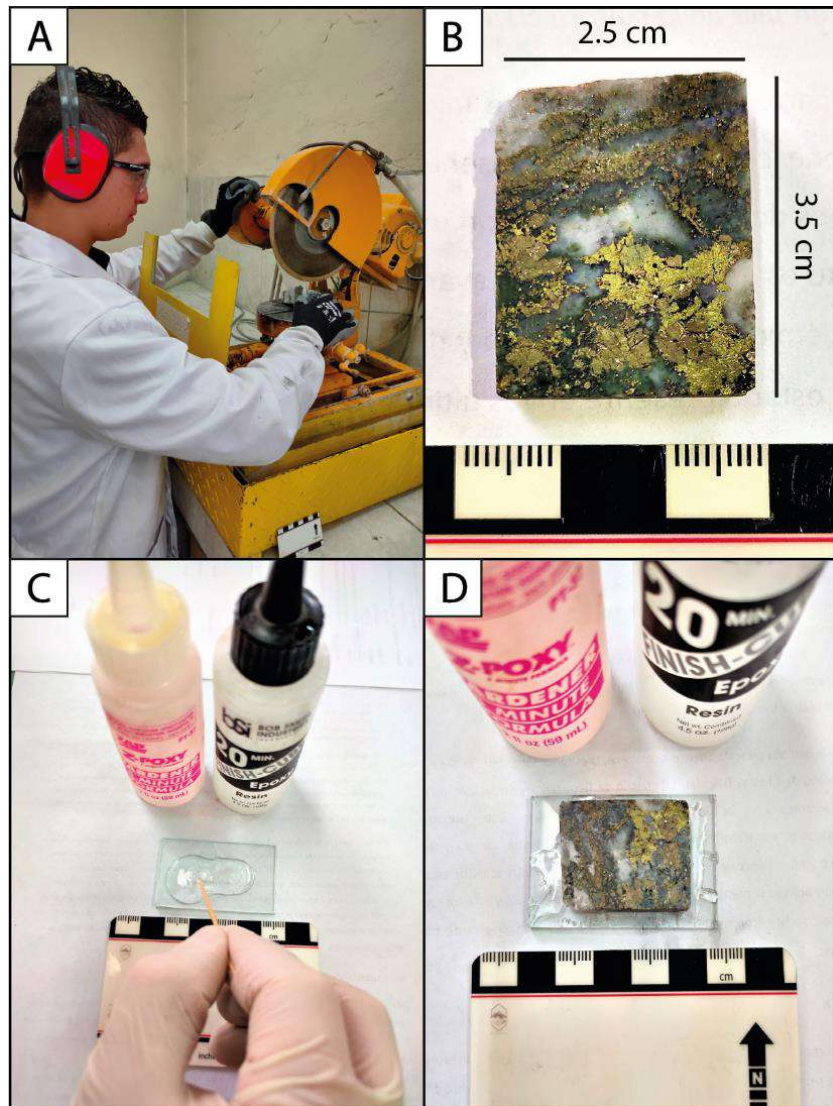


Figura 3.21. Proceso inicial para la elaboración de láminas delgadas y pulidas. A. Corte de las rocas en chips; B. Chip de roca; C. Mezcla de epoxi y endurecedor (marca ZAP Z-POXY); D. Chip de roca adherido a la lámina de vidrio.

Este procedimiento se realiza tanto para las láminas delgadas como para las láminas pulidas. La elaboración de los dos tipos de muestras de láminas se realizó en el laboratorio de Láminas Delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional. A continuación, se detallan los otros pasos necesarios para la elaboración de láminas delgadas y láminas pulidas.

3.3.1.1.1 *Elaboración de láminas delgadas*

El proceso de la elaboración continúa cuando el chip de roca fijo a la lámina de vidrio. A continuación, se coloca en la pulidora con el objetivo de dejar totalmente plana la cara de interés del chip de roca (Figura 3.22 A).

Para lograr una mayor uniformidad en la cara de interés se realiza un pulido a mano utilizando polvo de carburo de silíceo de 800 y 1200 *grits*, se coloca una pequeña cantidad de polvo de 800 *grits* sobre un cristal esmerilado y un poco de agua (actúa como lubricante), sobre este cristal que contiene la mezcla (polvo y agua) se procede a desbastar la cara de interés del chip de roca realizando movimientos circulares, se realiza lo mismo con el polvo de 1200 *grits* (Figura 3.22 B).

Con la cara de interés totalmente pulida y uniforme, se procede a tomar un portaobjetos petrográfico y sobre este se coloca epoxi y endurecedor, los cuales se mezclan. Como siguiente paso se pega la cara pulida del chip de roca sobre el portaobjetos petrográfico y se deja secar por 24 horas aproximadamente para un mejor resultado. Al momento de pegar el chip al portaobjetos se debe aplicar una leve presión de manera que no queden burbujas, ya que esta será la superficie de análisis. Ambas caras del chip de roca se encuentran cubiertas, una con la lámina de vidrio y la otra con el portaobjetos (Figura 3.22 C).

Posteriormente se toma el chip de roca y con la ayuda de una cortadora se corta la cara del chip adherida a la lámina de vidrio hasta dejarla de 1 mm de espesor (Figura 3.22 D). Con el objetivo de rebajar el chip de roca hasta 30 μm se somete a desbastar en la pulidora (Figura 3.22 D).

Para mejorar el acabado de la lámina delgada, se realiza el pulido final a mano utilizando los polvos de 800 y 1200 *grits*; y se realiza el mismo proceso anteriormente mencionado. Para comprobar que el espesor de la lámina delgada es el correcto, se utiliza un microscopio petrográfico donde se observa los colores de interferencia de los minerales.

Finalmente, se aplica sobre la lámina delgada un cubreobjetos petrográfico adherido mediante bálsamo de Canadá y se deja secar por 24 horas (Figura 3.22 E). La muestra está lista para el análisis mediante un microscopio petrográfico (Figura 3.22 F).

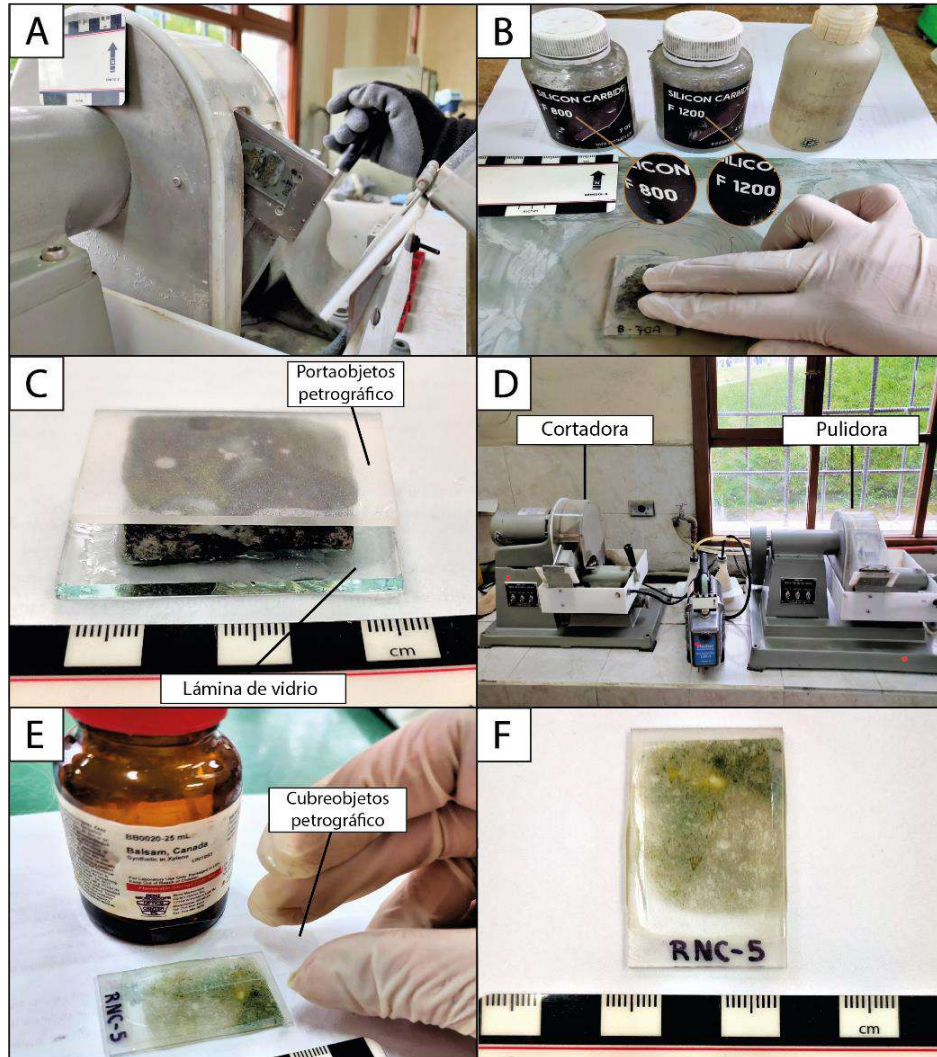


Figura 3.22. Procedimiento, equipos, y materiales para la elaboración de láminas delgadas. A. Pulido del chip de roca con la pulidora; B. Pulido del chip de roca con polvo de carburo de silíceo; C. Chip de roca adherido a la lámina de vidrio y portaobjetos petrográfico mediante epoxi y endurecedor; D. Cortadora INGRAM-WARD 400U y pulidora INGRAM-WARD 137U; E. Aplicación del cubreobjeto petrográfico; F. Resultado final de la lámina delgada.

3.3.1.1.2 Elaboración de Láminas Pulidas

El proceso de la elaboración continúa al colocar en la cortadora la lámina de vidrio que contiene el chip de roca, con el objetivo de cortar el chip hasta lograr un espesor de 1 a 2 mm (Figura 3.23 A).

Luego de obtener el espesor indicado se debe pulir la cara de interés del chip de roca hasta dejarla totalmente plana, para ello, se ocupa la pulidora (Figura 3.23 B). Con el fin de eliminar cualquier deformación o irregularidad a la superficie pulida se utiliza la desbastadora (máquina pulidora manual) (Figura 3.23 C), en esta máquina se coloca lijas de carburo de silicio de 800, 1500 y 2500 grits (Figura 3.23 D).

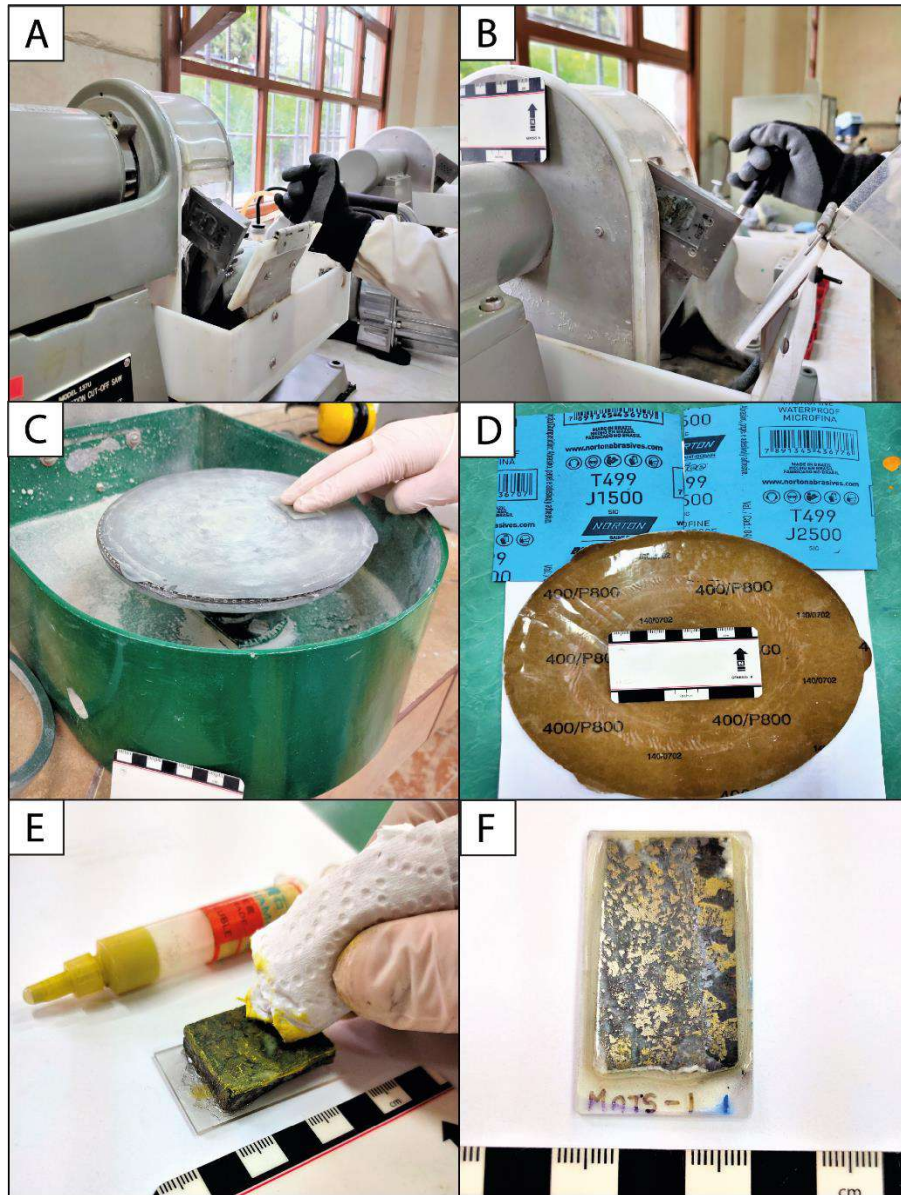


Figura 3.23. Procedimiento, equipos, y materiales para la elaboración de láminas pulidas. A. Corte del chip de roca; B. Pulido del chip de roca; C. Desbastado del chip de roca; D. Lijas de carburo de silicio; E. Pulido final del chip de roca con pasta de diamante; F. Resultado final de la lámina pulida.

Primero se inicia con la lija de 800 grits y se ubica la cara de interés sobre esta, dejando interactuar por unos pocos minutos y se repite el proceso con las lijas restantes, el tamaño de lijas varía de mayor a menor para un mejor pulido. El resultado final de este proceso abrasivo genera una cara de interés bastante plana y se empieza a obtener una superficie brillante. Finalmente, la cara de interés se somete a un último pulido, esto permite eliminar arañazos o rayas dejadas por las lijas previamente usadas. Para el pulido final se aplica pasta de diamante de $1\mu\text{m}$ (14000 mesh) sobre la superficie de interés y con la ayuda de una toalla de cocina se realizan movimientos circulares en toda la superficie hasta observar un brillo metálico uniforme (Figura 3.23 E).

Para comprobar que no existen rayas y que la estructura de los minerales es la correcta se observa en el microscopio de luz reflejada, en caso de que las rayas no se hayan eliminado en su totalidad se repite el último paso (pulido con pasta de diamante).

Con el último paso concluido, las láminas pulidas están listas para ser analizadas con el microscopio de luz reflejada (Figura 3.23 F).

3.3.2 Geoquímica mineral

3.3.2.1 Fluorescencia de Rayos X (XRF)

La fluorescencia de rayos X es una técnica analítica usada en la determinación química de elementos mayores y elementos traza en las rocas. Se pueden analizar cerca de 80 elementos con un amplio rango de sensibilidad, detectando concentraciones desde 100% hasta pocas partes por millón (ppm) (Figura 3.24) (Rollinson, 2021). La limitación principal es que no se puede analizar mediante fluorescencia de rayos X a los elementos más ligeros que el sodio (Na) (número atómico = 11).

La fluorescencia de rayos X se basa en la excitación de una muestra por rayos X. Un haz de rayos primarios excita los rayos secundarios (fluorescencia de rayos X) que tienen longitudes de onda características de los elementos presentes en la muestra. La intensidad de los rayos X secundarios permite determinar las concentraciones de los elementos presentes en base a estándares de calibración, con correcciones de los errores por instrumentos y los efectos que la composición de la muestra tiene en la intensidad de la emisión de rayos X (Rollinson, 2021). El análisis se realiza con el equipo XRF (Figura 3.24).

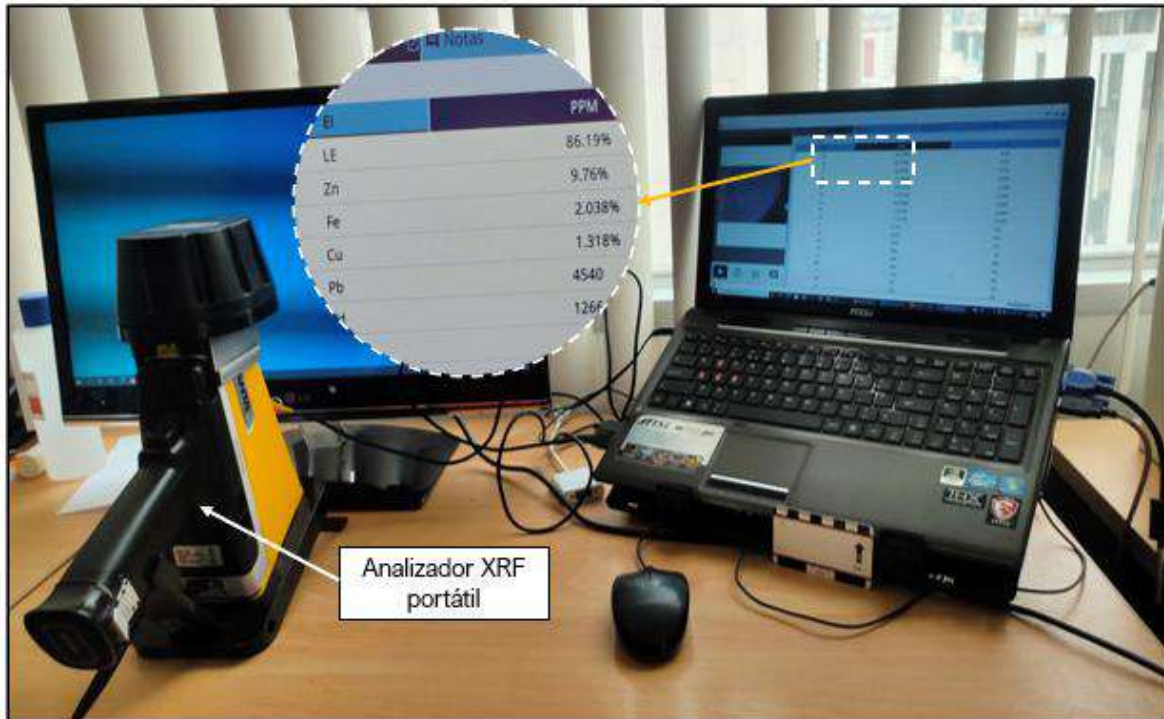


Figura 3.24. Equipo para el análisis de fluorescencia de rayos X – XRF. Foto tomada en el laboratorio de Geostat S.A.

3.3.2.1.1 Preparación de muestras para análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF)

El proceso de preparación de las muestras se realizó en el laboratorio de Geoquímica y Preparación de Muestras del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional. Se preparó un total de 14 muestras tomadas de las vetas de la zona de estudio.

El proceso inicia con la selección y etiquetado de las muestras de roca que se van a utilizar (Figura 3.25 A). Luego, las rocas se deben cortar en secciones de aproximadamente 1,5 cm de espesor (Figura 3.25 B), para ello se ocupa la cortadora (Figura 3.25 C). Una vez que las rocas se encuentren cortadas, se debe colocar cada muestra en una funda plástica y con la ayuda del martillo geológico se tritura hasta obtener pequeños pedazos de roca menores a 1 cm (Figura 3.25 D). Para cada muestra de roca se debe utilizar una nueva funda con el objetivo de evitar contaminación o mezcla de las muestras.



Figura 3.25. Proceso inicial de preparación de muestras. A. Etiquetado de las rocas; B. Corte de las rocas en secciones; C. Cortadora INGRAM-WARD 400U; D. Trituración manual de las rocas.

Para el siguiente paso se utiliza el molino de discos vibratorio y el juego de molienda de carburo de tungsteno de 100 ml. El juego de molienda está compuesto por un recipiente con tapa, un disco y un anillo (Figura 3.26 A). Se arma el juego de molienda de forma correcta (Figura 3.26 B) y se coloca la muestra de roca triturada (aproximadamente 140 gr) en el espacio libre entre el recipiente y el anillo (Figura 3.26 C) luego, se tapa el recipiente.



Figura 3.26. Juego de molienda de carburo de tungsteno de 100 ml (marca Retsch). A. Partes del juego de molienda; B. Forma correcta de colocar el juego de molienda; C. Espacio adecuado para colocar la muestra triturada.

Después, se introduce el juego de molienda en el molino de discos vibratorio (Figura 3.27 A), aquí se debe verificar que el recipiente se ajuste al perno de bloqueo del molino (Figura 3.27 B) y también, se baja la palanca de presión, esto genera seguridad al momento de que el equipo inicie su función. Una vez que el juego de molienda está insertado de forma correcta (Figura 3.27 C), se elige los parámetros (duración y velocidad). En este caso, para el funcionamiento del molino de discos vibratorio se programó un tiempo de molienda de 1 min y 30 s con una velocidad de 1000 revoluciones por minuto (rpm) (Figura 3.27 D).

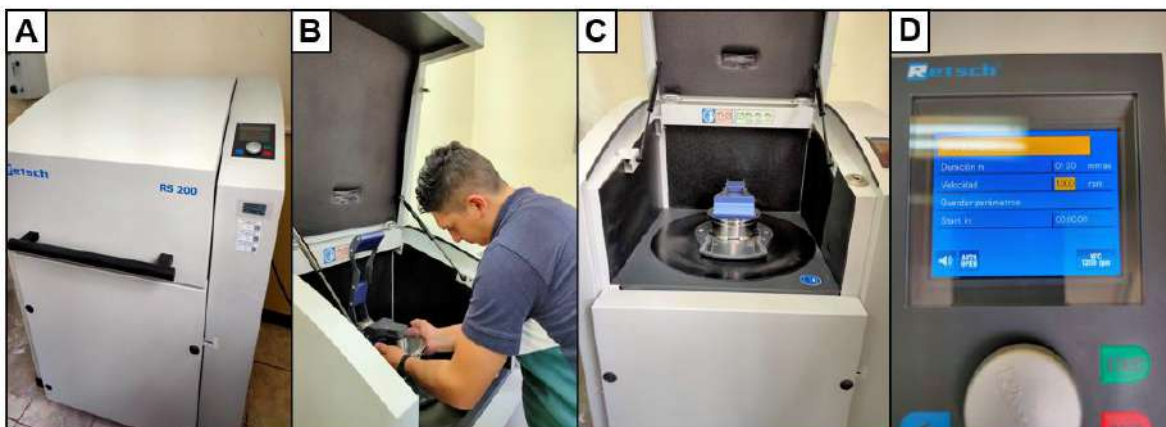


Figura 3.27. Uso del molino de discos vibratorio. A. Molino de discos vibratorio RS 200 (marca Retsch); B. Ajuste del perno de bloqueo; C. Forma correcta de colocar el juego de molienda en el molino de discos vibratorio; D. Parámetros para el funcionamiento del molino de discos vibratorio.

El equipo genera como resultado una granulometría muy fina menor a $20\ \mu\text{m}$ (Figura 3.28 A). Luego, se extrae toda la muestra molida del recipiente y se coloca sobre una hoja (Figura 3.28 B), de manera que sea más fácil de guardar en una funda hermética etiquetada (Figura 3.28 C). Finalmente, se debe lavar muy bien todo el juego de molienda para evitar contaminación y eliminar todos los restos de la muestra pulverizada anterior. Se lava con jabón, se seca con toallas de cocina y con una nueva toalla se coloca alcohol en todo el equipo. Se repite este proceso para cada muestra de roca y es imprescindible lavar todo el juego de molienda entre cada muestra molida y utilizar nuevas hojas y fundas.



Figura 3.28. Resultado obtenido del molino de discos vibratorio. A. Muestra molida; B. Extracción de la muestra del juego de molienda; C. Empaquetamiento de las muestras molidas.

Cuando las muestras están molidas y empacadas en las fundas herméticas (Figura 3.29 A), se someten a un nuevo proceso previo a la utilización del analizador XRF portátil. Para ello, se emplea el envase para XRF de anillo de presión (Figura 3.29 B) y un rollo de plástico

especial para XRF (Prolene) (Figura 3.29 C) con espesor muy fino de 3 a 4 μm y un ancho de 7,62 cm. El envase de anillo de presión está compuesto por un anillo principal que es el cuerpo del envase, un anillo de presión y una tapa resellable.



Figura 3.29. Material XRF para colocar las muestras molidas. A. Muestras empaquetadas y etiquetadas; B. Partes del anillo de presión modelo 1340 marca Chemplex; C. Prolene (plástico especial para XRF) marca Chemplex.

Antes de iniciar, se busca un espacio amplio con una superficie plana y sobre esta se coloca una toalla de cocina. En este espacio se arma el envase de anillo de presión, para ello primero se debe cortar del rollo de plástico un pedazo de 10 cm (Figura 3.30 A). Después, se toma el anillo principal y encima de este se coloca el pedazo de plástico cortado y para sujetar el plástico al anillo principal se coloca el anillo de presión (Figura 3.30 B).

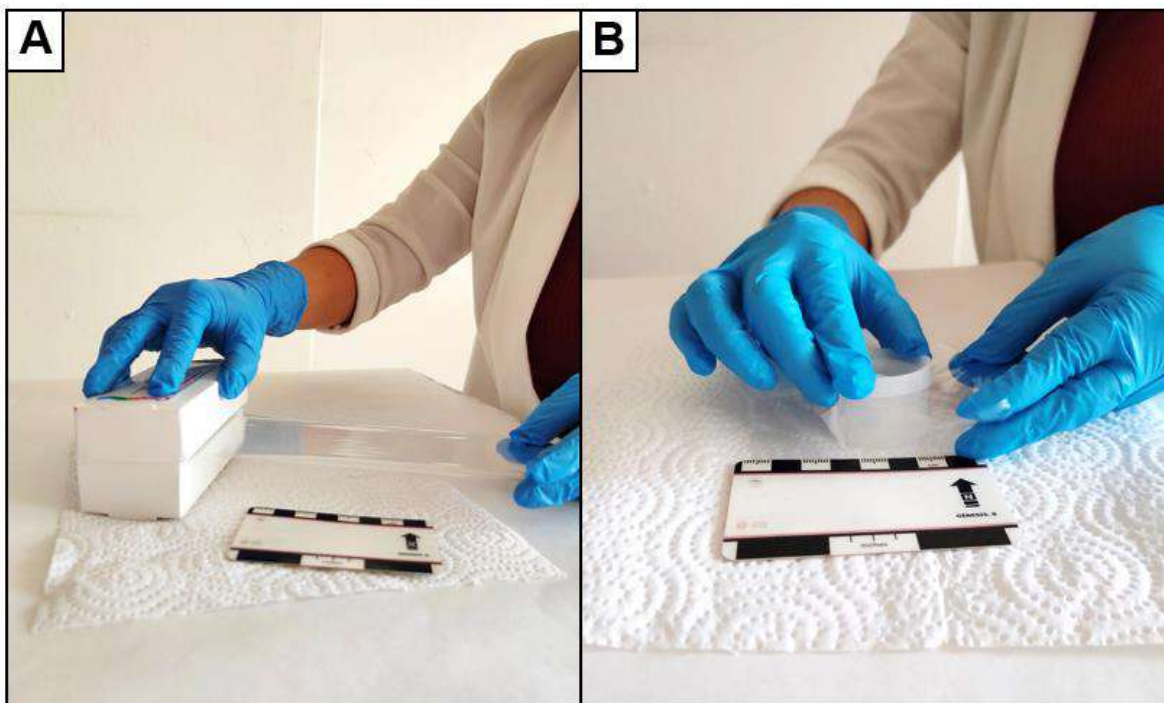


Figura 3.30. Armado del Anillo de Presión. A. Corte del Prolene; B. Unión del anillo principal, prolene y anillo de presión.

El siguiente paso es rellenar el envase con la muestra molida (Figura 3.31 A), únicamente hasta las $\frac{3}{4}$ partes del envase (Figura 3.31 B). El resto del envase será llenado con algodón (Figura 3.19 C), se hace presión para sellar el envase con la tapa resellable (Figura 3.31 D).

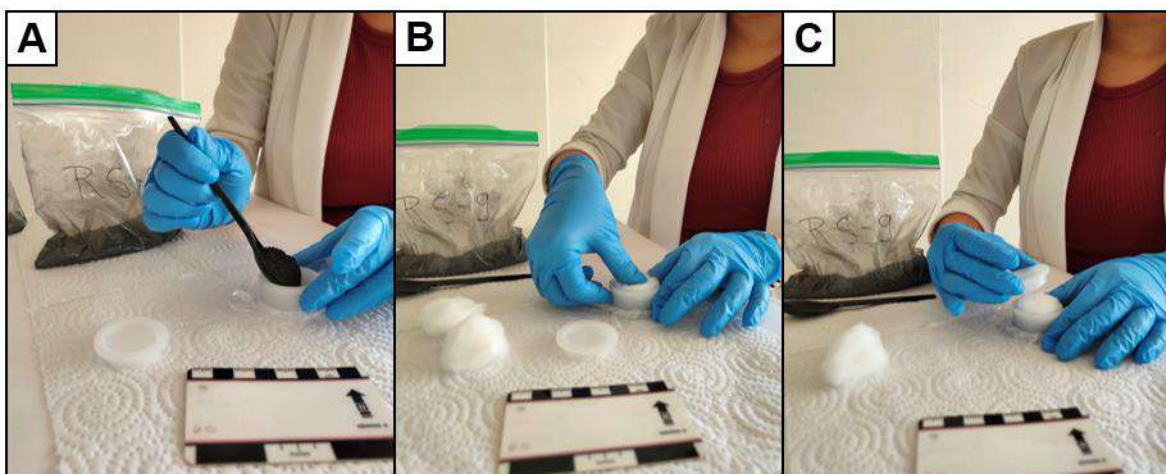


Figura 3.19. Relleno del anillo de presión con la muestra molida. A. Relleno del envase; B. Colocar algodón sobre la muestra molida; C. Sellado del envase.

Sobre la tapa se coloca el código correspondiente de la muestra (Figura 3.32 A). La muestra está lista para ser analizada en el equipo XRF (Figura 3.32 B), adicional, es importante colocar cada frasco en una funda hermética etiquetada (Figura 3.32 C). Para cada muestra se debe repetir este proceso, es imprescindible cambiar en el espacio de trabajo la toalla de cocina, además, se debe utilizar envases, plástico y cuchara nuevos en cada muestra, con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación.

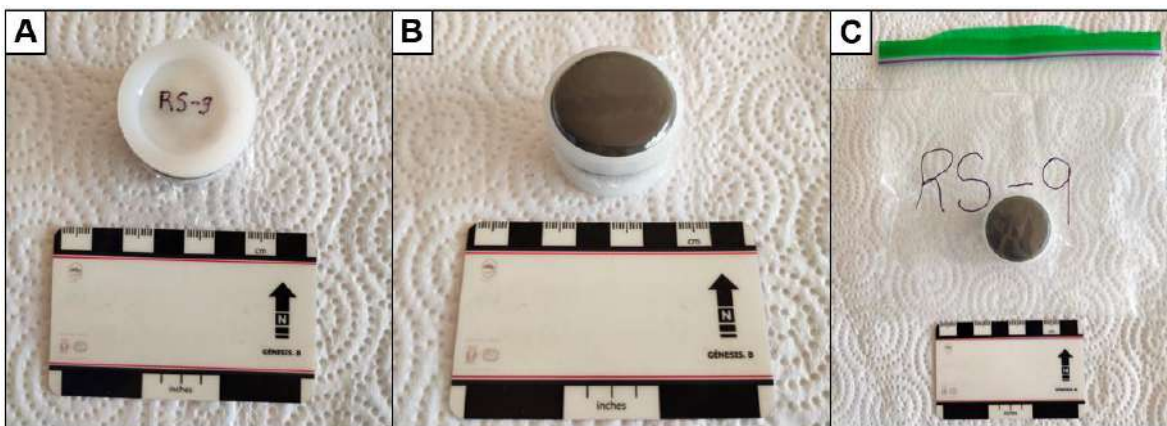


Figura 3.32. Proceso final de la preparación de la muestra. A. Etiquetado de la muestra; B. Muestra lista para ser analizada en el equipo XRF; C. Empaquetamiento de la muestra en funda hermética.

El último paso es analizar las muestras en el equipo XRF, este proceso se realizó en el laboratorio de la empresa Geostat S.A. en donde se utilizó el Analizador XRF portátil Vanta serie M y los accesorios XRF de mano Vanta. Para iniciar, se debe armar los accesorios de mano, primero se arma el pie de suelo y sobre este se coloca el equipo XRF, cuando está seguro el equipo, se procede a montar el soporte de campo que está conformado por una base y una tapa (Figura 3.33 A). Luego, sin la tapa y sobre la ventana de medición del equipo se coloca el envase con la muestra lista. Se debe colocar la cara del envase que está cubierta con el plástico para el análisis (Figura 3.33 B).

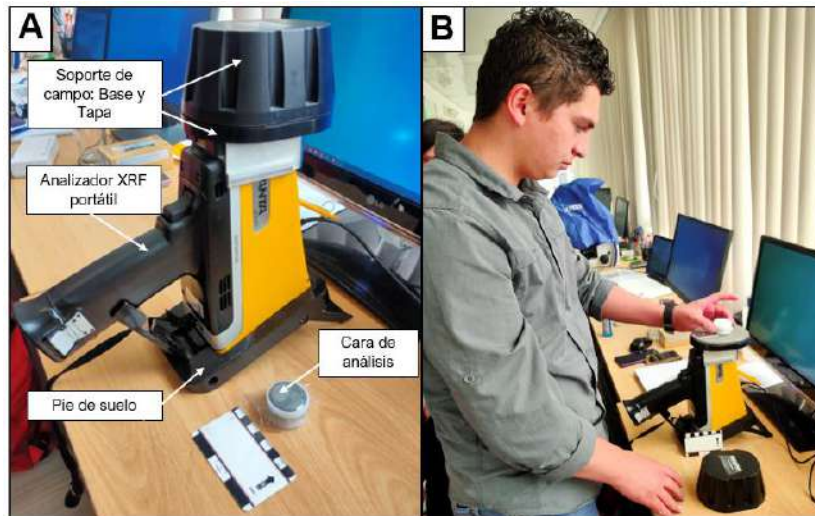


Figura 3.33. Armado y análisis del equipo XRF portátil Vanta (serie M marca Olympus). A. Componentes del equipo XRF portátil; B. Colocación de la muestra de análisis.

El siguiente paso, es generar el disparo y para ello se debe colocar la tapa del soporte de campo (Figura 3.34 A). Después de cada disparo, se guarda la información en la computadora (Figura 3.34 B). Como una medida de control de calidad del análisis se usó una muestra estándar cada 5 disparos (Figura 3.34 C) y también, se hizo 2 disparos por muestra, ya que esto brinda mayor confianza al momento de revisar las medidas de composición de cada elemento. De igual manera, se repite este proceso para cada muestra y al final se exportarán los datos obtenidos a un documento Excel que se muestran en el siguiente capítulo de resultados.

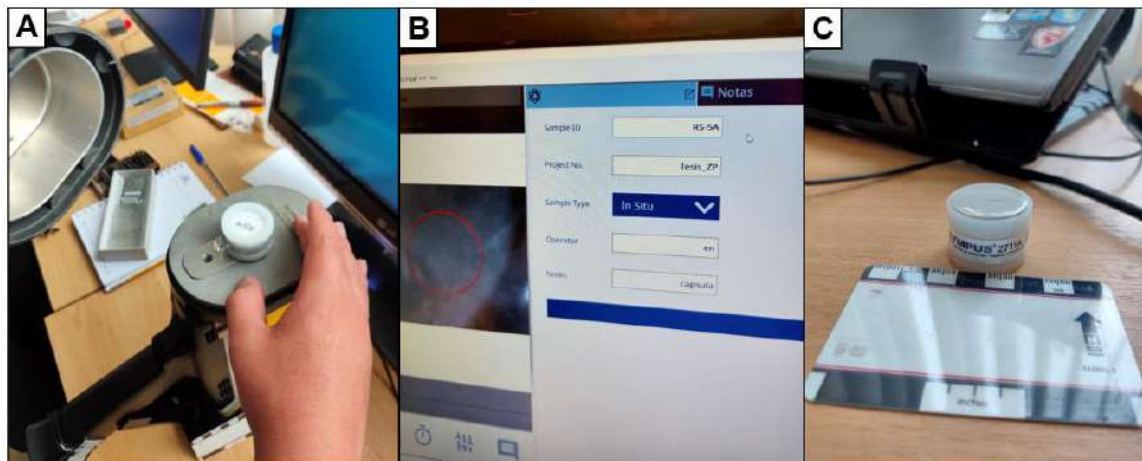


Figura 3.34. Proceso de análisis de las muestras. A. Colocación de la tapa para realizar el disparo; B. Registro de la información después de cada disparo; C. Muestra utilizada para el control de calidad.

Además, se realizó fluorescencia de rayos X en muestras de mano en el Laboratorio geoquímico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). Se realizó un total de 10 análisis en 10 muestras (1 disparo por muestra) para conocer la composición del mineral a ser analizado. El equipo que se utilizó es un espectrómetro XRF portátil marca Thermo Scientific Niton Analyzers modelo XL3T y el accesorio Thermo Scientific SmartStand (Figura 3.35 A).

La muestra de roca a analizar se colocó sobre el Thermo Scientific SmartStand en la ventana de medición del equipo XRF (Figura 3.35 A), para realizar el disparo se debe bajar la tapa del soporte. El tiempo de análisis es de 90 s por muestra (Figura 3.35 B), luego, se procede a guardar el análisis con los datos de la muestra y la información correspondiente (Figura 3.35 C), finalmente, los datos generados son exportados a un documento Excel.

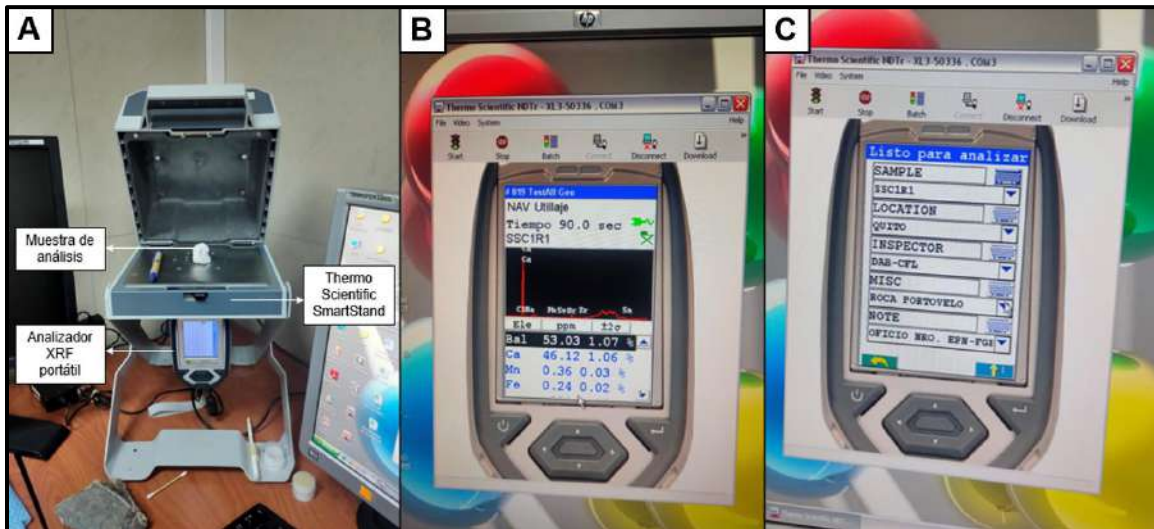


Figura 3.35. Proceso de análisis de las muestras de mano con el espectrómetro XRF portátil. A. Colocación de la muestra en el equipo; B. Tiempo de análisis por disparo (90 s); C. Registro de la información después de cada disparo.

3.3.2.2 Ensayos al fuego

Se define como una serie de análisis químicos cuantitativos que se aplican para determinar metales preciosos, contenido de menas, productos metalúrgicos y material chatarra (metales sin valor económico). El método es una técnica pirometalúrgica que separa el metal que será analizado, en este caso oro y plata, de las impurezas y la ganga presentes en la muestra (Haffty et al., 1977).

Se realizó un total de 40 ensayos con este método. Las muestras a ser analizadas se enviaron al Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Minera Oroconcent S. A.

El proceso consiste en una serie de pasos previos necesarios para el análisis, los cuales se listan a continuación:

- 1) Secado. Consiste en secar la muestra utilizando una cocina de convección por al menos 1 día (Figura 3.36 A);
- 2) Trituración y molienda. Consiste en reducir de tamaño la muestra hasta una medida adecuada para la pulverización (para este paso es común utilizar una trituradora de mandíbulas para reducir por primera vez el tamaño y posteriormente un molino de discos) (Figura 3.36 B).
- 3) Homogenización y cuarteo. Luego de tener la muestra reducida de tamaño se procede a mezclar y dividir en partes iguales, una de las partes es utilizada para continuar con el procedimiento del ensayo. Las otras partes del cuarteo se guarda para verificación o posteriores análisis.
- 4) Pulverización. A la muestra sobrante se le reduce de tamaño con el uso de una pulverizadora de anillos, se realiza nuevamente un cuarteo y se toma una porción ideal de toda la muestra que generalmente es de 100 g (Figura 3.36 C).
- 5) Tostación. Se somete la muestra pulverizada a un horno a altas temperaturas para oxidar los sulfuros que se encuentren.
- 6) Fundición. Consiste en someter la muestra con reactivos y fundentes (nitrato de plata y bórax) a un horno a 1000 °C entre 60 y 90 minutos (Figura 3.36 D).
- 7) Separación. Consiste en separar los productos de la fundición los cuales son la escoria y la fase metálica de interés (oro y plata) con el Plomo.
- 8) Copelación. Se calientan las copelas alrededor de una hora, luego se funde a temperaturas entre 900 a 1000 °C con el fin de eliminar el plomo, el resultado de esta fundición permite obtener un botón de Au y Ag el cual se denomina Doré (Figura 3.36 E).
- 9) Disolución. Con el fin de obtener el oro únicamente se disuelve el Doré utilizando ácido nítrico, el resultado será una solución líquida de nitrato de oro y plata, para diluir el oro únicamente se utiliza agua regia.

Las soluciones resultantes están listas para ser analizadas utilizando el espectrómetro de absorción atómica (IIGE, 2020) (Figura 3.36 F).

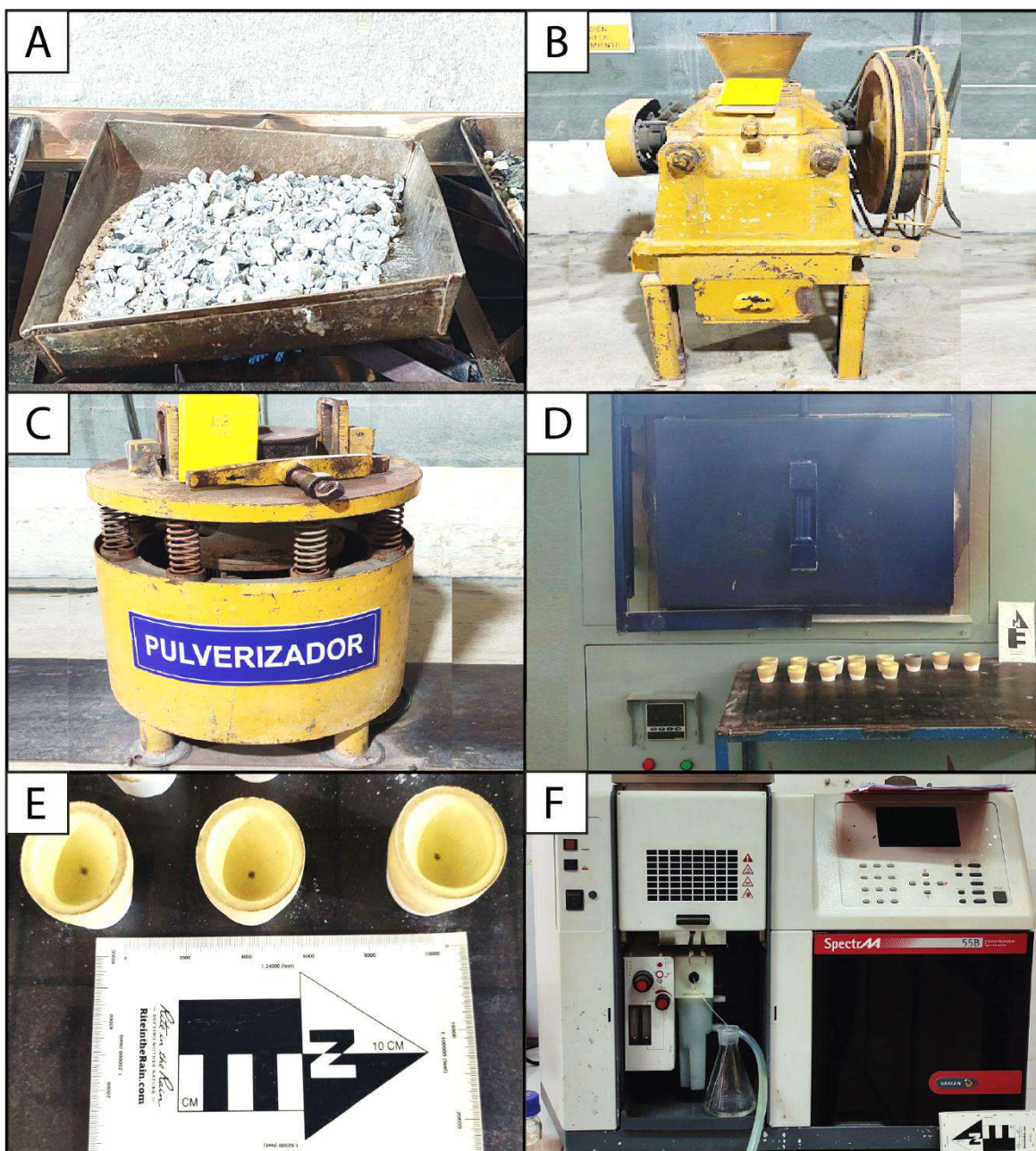


Figura 3.36. Proceso de preparación de muestras para análisis de ensayo al fuego; A. Secado de muestra utilizando una cocina de convección; B. Trituración de la muestra utilizando un molino de disco; C. Pulverización de la muestra utilizando un pulverizador; D. Fundición de la muestra utilizando un horno de alta temperatura; E. Botón de doré obtenido del proceso de copelación; F. Equipo de Absorción Atómica marca Varian modelo SpectraAA 55B utilizado para realizar los análisis en el Laboratorio Químico y Metalúrgico de la empresa minera Oroconcent S. A.

3.3.2.3 Espectrometría de absorción atómica (EAA)

Es una técnica analítica usada para la determinación cuantitativa y cualitativa de elementos químicos en muestras de rocas debidamente preparadas. Se basa en medir la cantidad de energía electromagnética de una longitud de onda particular (de la región visible o ultravioleta), absorbida mientras pasa a través de una nube de átomos de un elemento químico particular, procedente de muestras y estándares (Martínez, 2020).

Un tratamiento matemático relaciona la cantidad de energía absorbida con el número de átomos absorbidos, proporcionando una medida de la concentración del elemento en la muestra. Esta técnica es relativamente rápida, poco costosa y permite determinar más de 60 elementos químicos en las muestras (Martínez, 2020) (Figura 3.37).



Figura 3.37. Equipo de Espectrometría de absorción atómica marca Varian modelo SpectraAA 55B del Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Minera Oroconcent S. A.

Se realizó un total de 40 ensayos con este método para analizar el contenido de oro, plata y cobre. Las muestras obtenidas para ser analizadas se enviaron al Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Minera Oroconcent S. A.

4 RESULTADOS ESTRUCTURALES, PETROGRÁFICOS Y MINERALÓGICOS

4.1 Estructuras Regionales

Con el propósito de identificar rasgos geomorfológicos regionales, a partir de la página web “Marc Souris IRD”, se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM) de la zona de estudio, cada área tiene 800 x 800 píxeles y una resolución de 50 m por píxel (alta resolución), generado a partir de líneas de contorno por IRD/MS (*l’Institut de Recherche pour le Développement / Marc Souris*).

Este DEM fue procesado utilizando el software QGIS, para obtener mapas de sombras variando la incidencia de la luz solar, permitiendo de esta manera junto con las imágenes satelitales (Google 2023), identificar y establecer las estructuras regionales más importantes (Fig. 4.1 y 4.2).

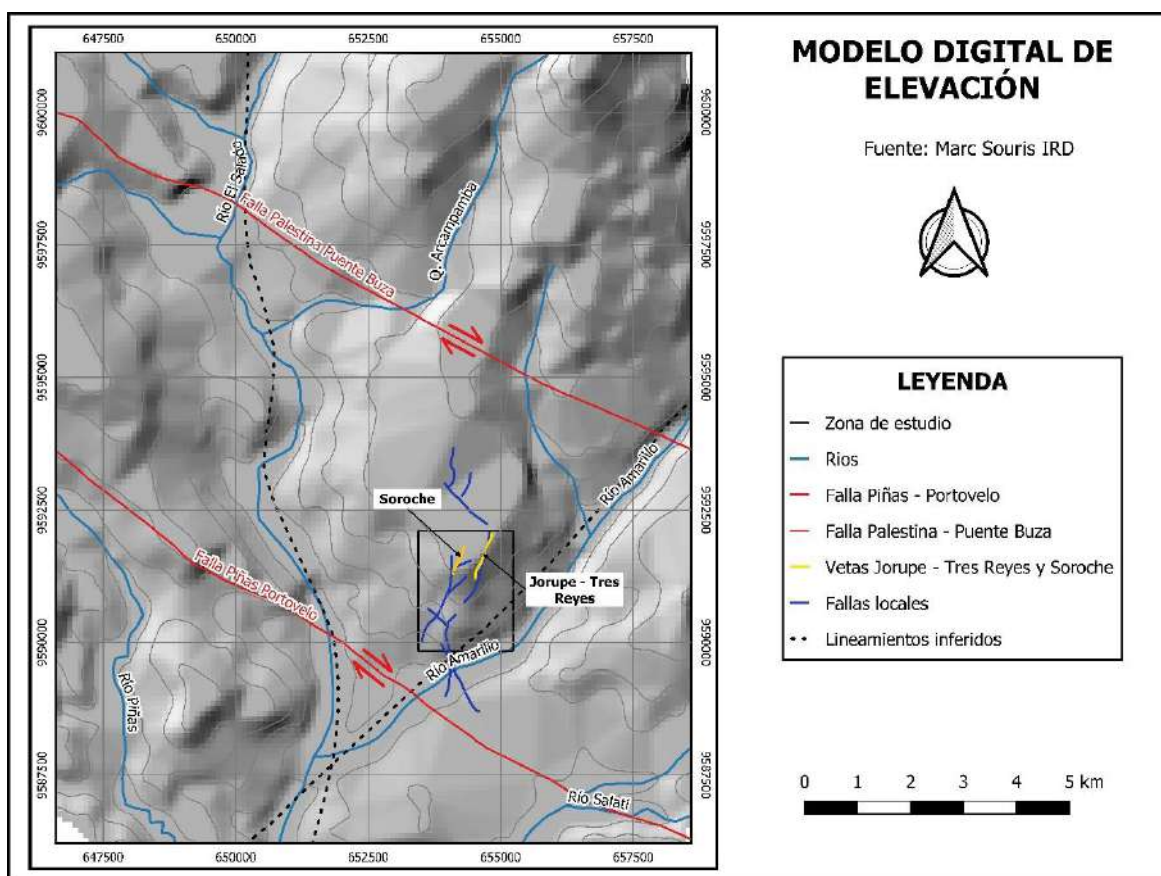


Figura 4.1. Modelo de Digital de Elevación (DEM) de la zona de estudio.

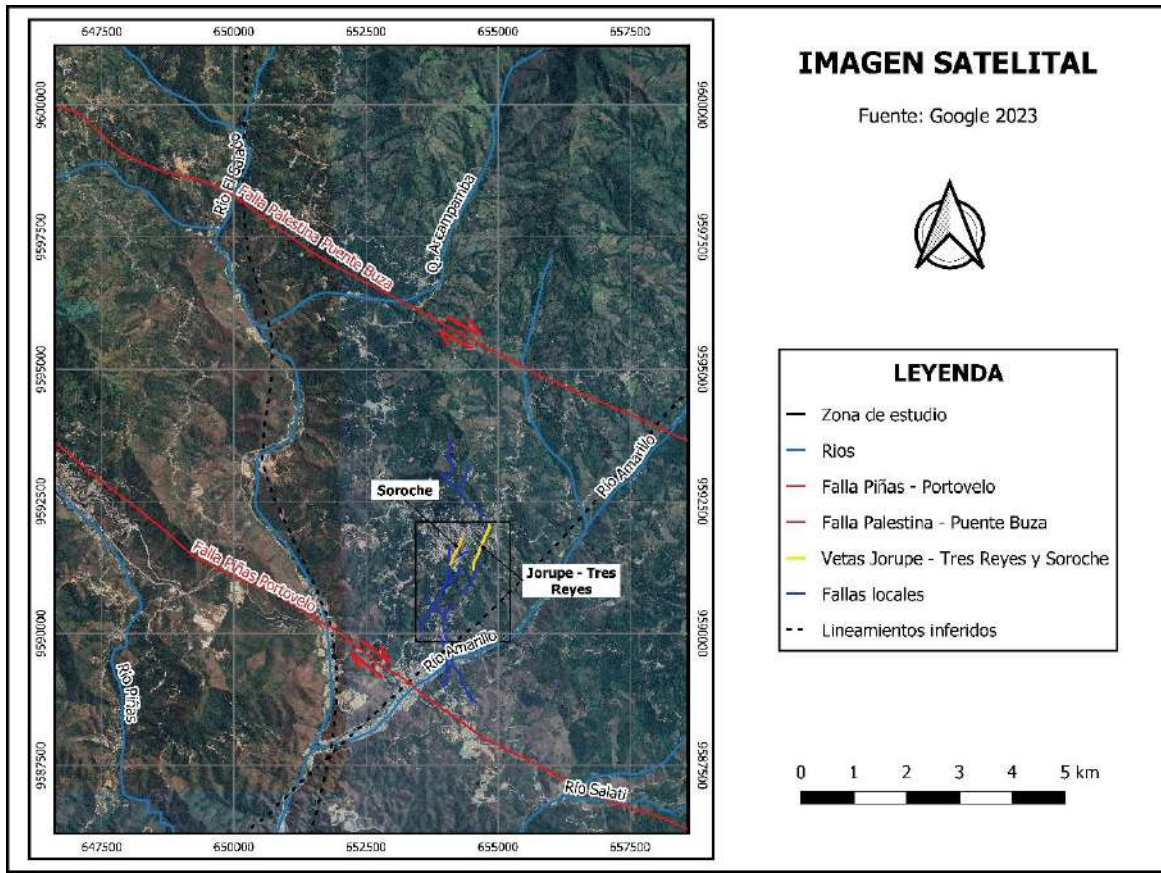


Figura 4.2. Imagen Satelital generada para la zona de estudio (Google, 2023).

En la zona de estudio se identifican dos rasgos estructurales regionales principales con rumbo NW-SE, representadas por las fallas Piñas – Portovelo (FPP) y Palestina – Puente Buza (FPPB), (Fig. 4.1 y 4.2). Estas fallas limitan el sistema mineral polimetálico vetiforme del distrito minero Zaruma-Portovelo, la FPPB con un movimiento inverso dextral y dirección NW-SE marca el límite Norte; mientras que la FPP también con una dirección preferencial NW-SE con un movimiento inverso dextral, constituye el límite sur de la mineralización.

Estructuras menores con rumbo N-S y NNE-SW, son inferidos a partir del DEM (Fig. 4.1 y 4.2) y desde el punto de vista regional estarían asociados a estructuras mayores ubicadas al NE del área de estudio. Las estructuras locales con rumbo NW-SE, son casi paralelas a la FPPB y FPP.

4.1.1 Estructuras locales

El sistema vetiforme del distrito Zaruma – Portovelo posee un control estructural con rumbo N-S con ligeras variaciones NE-SW y NW-SE. La mineralización se localiza entre las fallas

FPFB y FPP, presentan un fuerte control geométrico estructural según los datos generados en esta investigación con un sentido preferente N-S a NE-SW.

Con las medidas estructurales recolectadas sistemáticamente en campo tanto de vetas, diaclasas y fallas, y con el soporte del software Dips, se realizaron diagramas de rosas, que representa un histograma de forma redonda que permite visualizar las direcciones generales de dichas estructuras. Las medidas estructurales tomadas en campo están expresadas en notación de Dip Direction/Dip.

4.1.1.1 Análisis de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche

En las figuras 4.3 B, 4.3 C y 4.3 D se observan ejemplos de las vetas de estudio. En la figura 4.3 B se observa una zona de la veta Jorupe – Tres Reyes con brechificación, su dirección principal (130/80) con una potencia estimada de 1.25 m, en la figura 4.3 C se observa una sección de la veta Soroche masiva con una dirección principal (120/75) con una potencia de 50 cm y en la figura 4.3 D se observa una sección de la veta Jorupe – Tres Reyes crostiforme con datos estructurales (128/87) con una potencia de 40 cm.

La roseta generada a partir de datos estructurales tomados en las vetas permite visualizar dos rumbos claramente establecidos. La moda principal tiene una orientación aproximada NE-SW, mientras que, la moda secundaria tiene una orientación aproximada N-S (Figura 4.3 A), indicando que estas vetas se generaron a partir de dilataciones en orientación N-S a NE-SW sometido a un esfuerzo mínimo (σ_3) en esta dirección.

Estas vetas concentran minerales con valores económicos de Au, Ag, Cu, Pb y Zn y presentan potencias que van desde los 12 cm hasta los 125 cm en la veta Jorupe – Tres Reyes y 17 cm hasta los 98 cm en la veta Soroche. Se adjuntan los 104 datos estructurales de las vetas que se tomaron en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche en el Anexo 01.

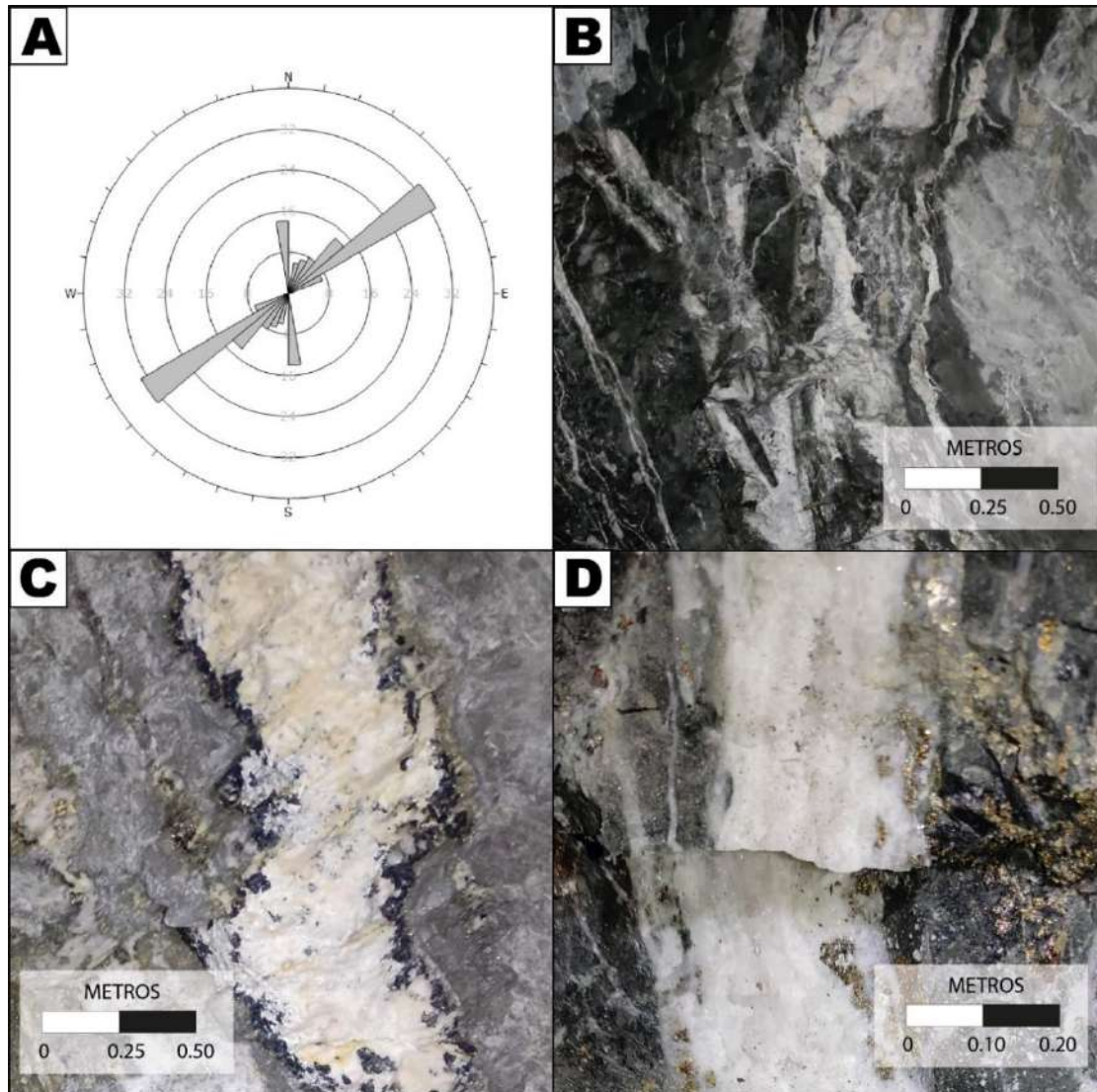


Figura 4.3. Control estructural de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las vetas; B. Veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (130/80); C. Veta Soroche con datos estructurales (120/75); D. Veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (128/87).

4.1.1.2 Análisis de fallas y diaclasas en galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche

En las figuras 4.4 B, C y D se observan planos de fallas en las galerías principales de las vetas de estudio. Se analizaron un total de 186 datos de fallas tomadas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche que se adjuntan en el Anexo 01. La moda principal de dilatación tiene una orientación preferente NE-SW (Fig. 4.4 A), estas fallas son evidencia

de un esfuerzo mínimo (σ_3) regional en esta dirección aplicado al distrito minero entre las fallas PPB y PP.

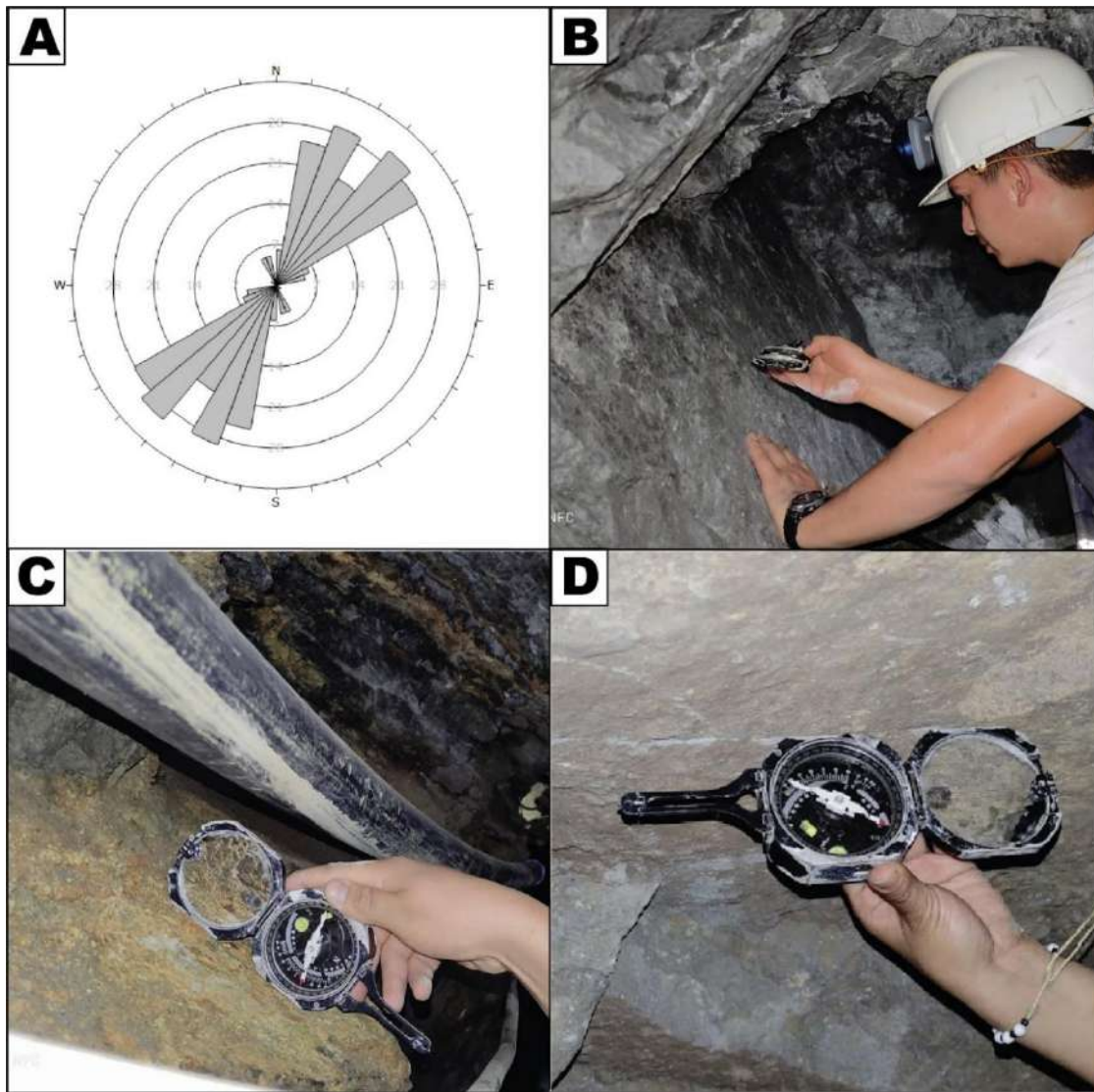


Figura 4.4. Control estructural de las fallas. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las fallas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche; B. Plano de falla en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (110/55); C. Plano de falla en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes con datos estructurales (128/33); D. Plano de falla en galería de la veta Soroche con datos estructurales (98/73).

En los extremos de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche (caja alta y baja) ciertos tramos presentan diaclasamiento. Esta característica está asociada al tipo de litología ya que se generan en un ambiente frágil a frágil - dúctil. Así mismo, tienen una dirección preferencial en sentido NE – SW que está relacionado al control estructural del distrito minero (Fig. 4.5 A).

En las figuras 4.5 B, C y D se observan planos de diaclasamiento en las galerías principales de las vetas de estudio. Se analizaron un total de 155 datos de diaclasas tomadas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche que se adjuntan en el Anexo 01.

Se adjuntan los 155 datos estructurales de las diaclasas que se tomaron en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche en el Anexo 01.

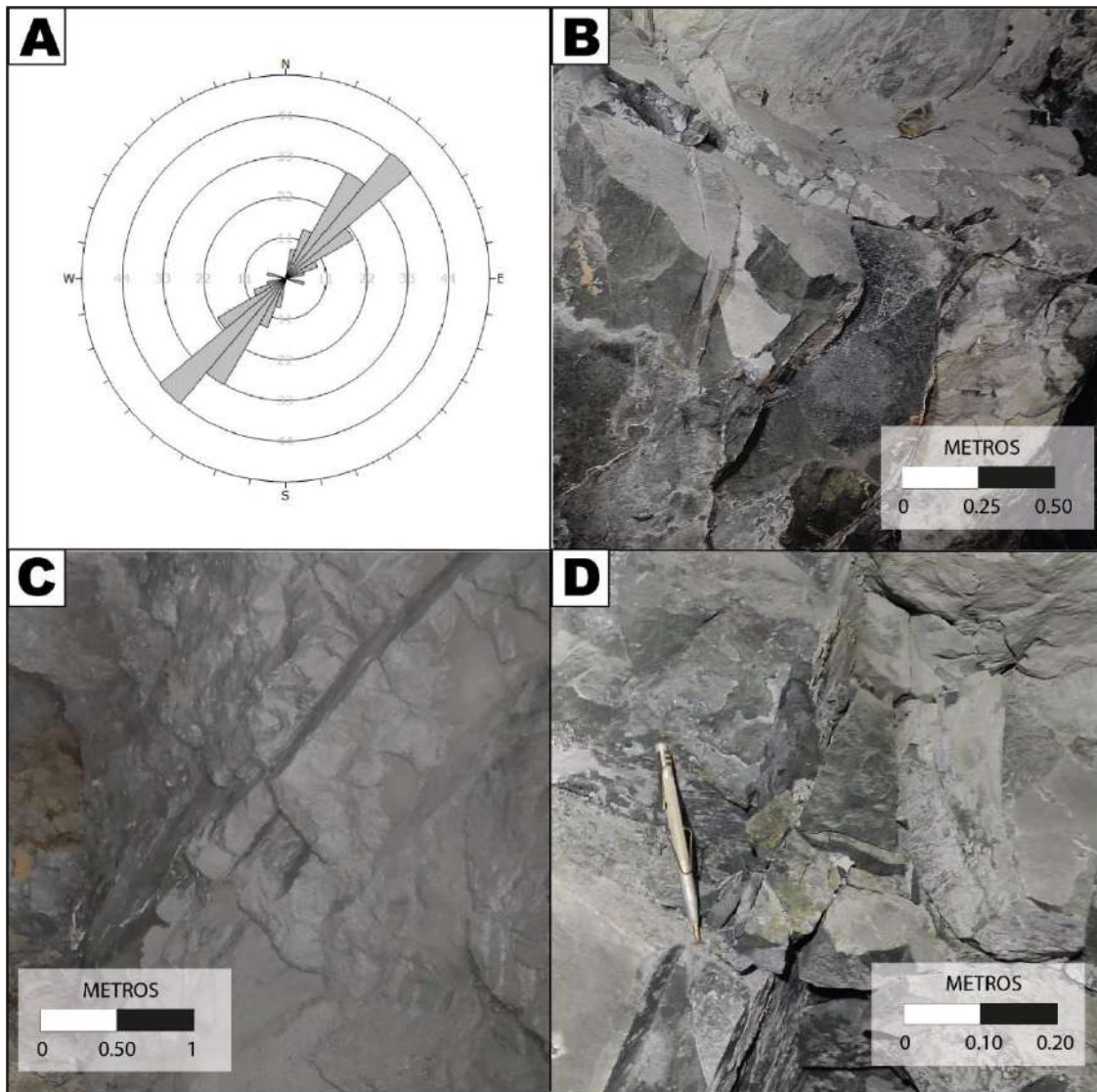


Figura 4.5. Control estructural de las diaclasas. A. Diagrama de rosetas generado a partir de datos estructurales tomados de las diaclasas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche; B. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes; C. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Soroche; D. Planos de diaclasamiento en galería de la veta Jorupe – Tres Reyes.

4.2 Petrografía y mineralogía de la roca caja

El reconocimiento en campo y los análisis petrográficos realizados en las láminas delgadas y muestras de mano permitieron definir las diferentes litologías que albergan la mineralización de las vetas de estudio. También, a partir de estos análisis, se definen los minerales secundarios que caracterizan el tipo de alteración en la zona de estudio. Se reconocieron cuatro tipos de litologías que se describen a continuación.

4.2.1 Andesita

Las rocas presentan coloraciones verdosas a gris claro, dependiendo del grado de alteración de la roca (Fig. 4.9).

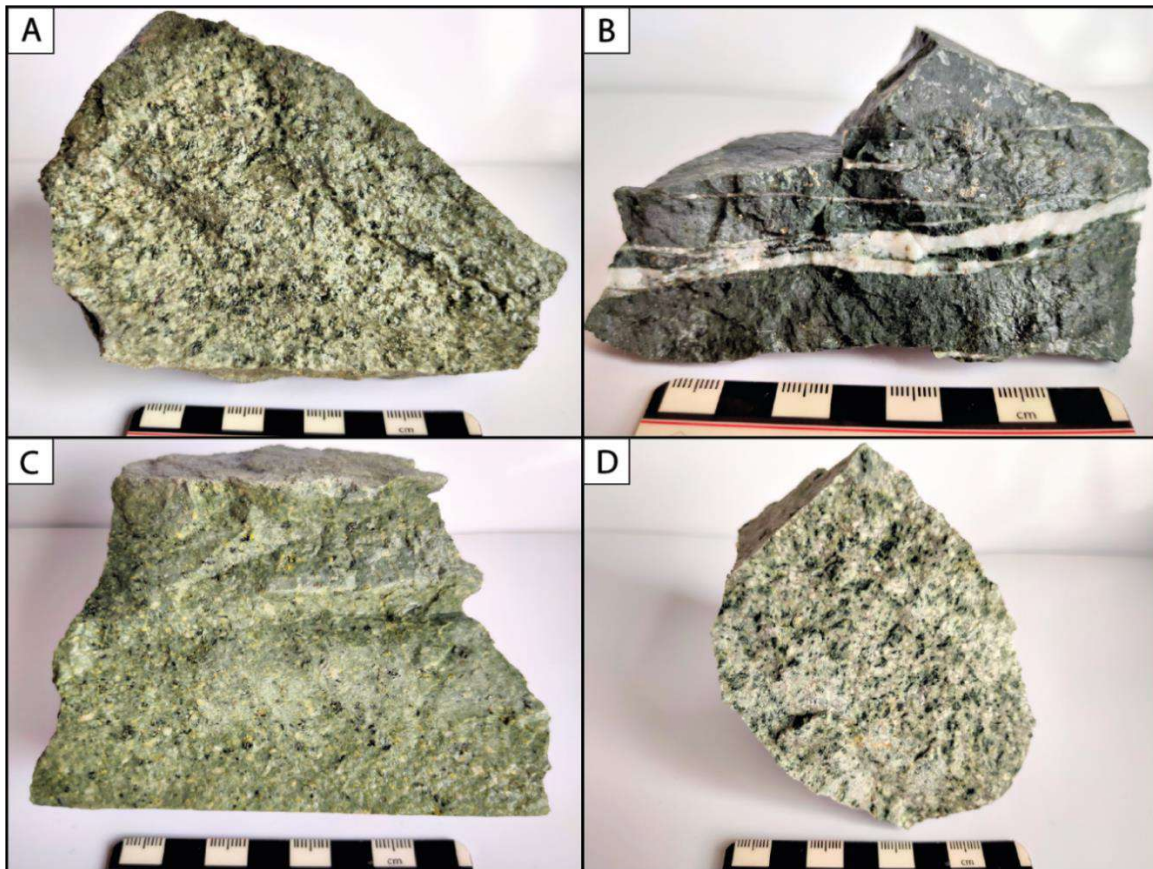


Figura 4.9. Muestras de mano de lavas andesíticas. A. Roca compuesta principalmente de Pl y minerales máficos (Amp, Px) alterados a Chl (RSC1); B. Venillas de Qz y Cal que cortan a la lava andesítica (SNC4); C. Roca con textura porfídica, compuesta principalmente por fenocristales de Pl y Amp englobados en una matriz con ligera silicificación (RNC8); D. La muestra presenta una alteración selectiva a las muestras anteriores (MMC13). *Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclasa; Px: piroxeno; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).*

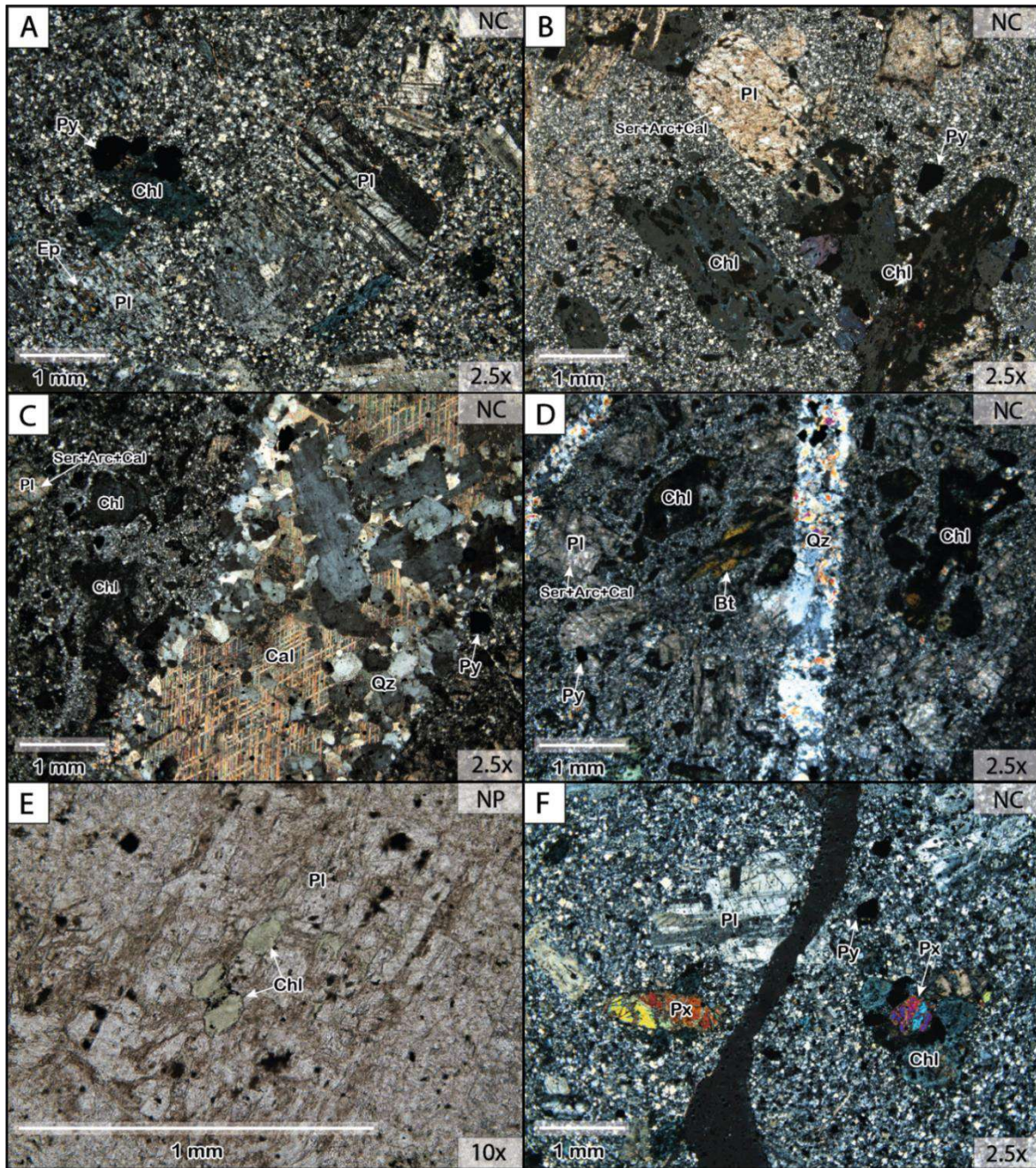


Figura 4.10. Láminas delgadas correspondientes a lavas andesíticas con nicoles cruzados (NC) y nicoles paralelos (NP). A. Textura porfídica, fenocristales de Pl y minerales máficos alterados a Chl, englobados en una matriz silicificada (MMC13); B. Textura glomeroporfídica, crecimiento en grupo de minerales máficos alterados a Chl (RSC15); C. Vetilla de Cal bordeada por granos subhedrales de Qz (SNC4); D. Fenocristales de Bt fresca, Pl y minerales máficos alterados inmersos en una matriz silicificada y cortada por vetillas de Qz de grano fino (SNC4); E. Textura poiquilítica, pequeños granos de Chl incluidos en el fenocristal de Pl (RSC1); F. Pl con macla polisintética, Px (Aug) frescos con maclas simples y lamelares (MMC13). Abreviaciones minerales: Aug: augita; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclase Px: piroxeno; Qz: cuarzo (Whitney & Evans, 2010).

La asociación mineralógica que define esta litología es plagioclasa (25%), anfíbol (10%), piroxeno (7%) en menor cantidad biotita (3%). Las andesitas muestran una textura porfídica, con fenocristales envueltos en una matriz hipocristalina (55%) (Fig. 4.10 A). También, tienen una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto) (Figs. 4.10 B, 4.10 F). Además, una textura poiquilítica, pequeños cristales de clorita incluidos en un fenocristal de plagioclasa (Fig. 4.10 E). En estas rocas se observa vetillas rellenas de cuarzo y calcita con un espesor de hasta 10 mm (Fig. 4.10 C, 4.10 D).

Las plagioclasas presentan formas euhedrales a subhedrales de hábito tabular con tamaños de hasta 4mm. Se encuentran alteradas a epidota, sericita y arcilla, también, están reemplazadas por calcita. Varias plagioclasas que no tienen una alteración intensa muestran zonación y maclas polisintéticas (Fig. 4.10 A, 4.10 F), contienen pequeñas inclusiones de minerales máficos los cuales están alterados a clorita (Fig. 13E). Microlitos de plagioclasa forman parte de la matriz y presentan la misma alteración.

Los minerales máficos (anfíbol, piroxeno y biotita), se encuentran total o parcialmente alterados a clorita y en menor grado alterados a epidota y reemplazados levemente por calcita. Sin embargo, en algunas rocas que no están alteradas intensamente se logró identificar que los piroxenos y biotitas presentan cristales euhedrales a subhedrales con tamaños de hasta 1.5 mm, en los piroxenos (augita) se muestran maclas simples (Fig. 4.10 F). Se tiene anfíboles totalmente alterados a clorita, y debido a las formas prismáticas alargadas (tamaños de hasta 3 mm) y el ensamble mineralógico se asume que son hornblendas (Figs. 4.10 A, 4.10 B, 4.10 D). Microlitos de estos minerales forman parte de la matriz y tienen alteración propilítica a subpropilítica.

La matriz de la roca está conformada por vidrio, microlitos de plagioclasa y máficos. Gran parte de la matriz se encuentra reemplazada por cuarzo, generando una silicificación en la matriz, y alterada a arcilla, sericita y clorita. También, contiene pirita subhedral diseminada (Fig. 4.10 A).

4.2.2 Dacita

Las rocas presentan un color gris oscuro ligeramente verdoso (Fig. 4.11).

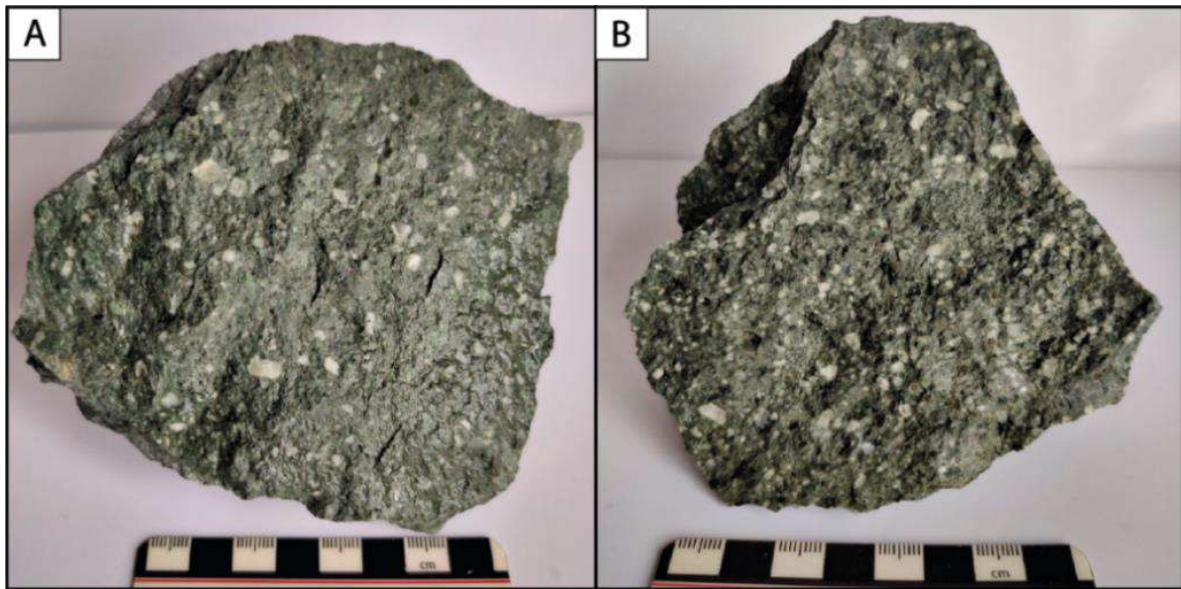


Figura 4.11. Muestras de mano de lavas dacíticas. A. Roca compuesta principalmente por Pl, Qz, Bt y Amp (RNC10); B. Roca con textura porfídica fenocristales de Pl, Qz, Bt y Amp englobados en una matriz silicificada (SSC9). Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo (Whitney & Evans, 2010).

La asociación mineralógica que define este tipo de litología es plagioclasa (20%), anfíbol (10%), cuarzo (9%) y biotita (5%). Las dacitas presentan una textura porfídica, tiene fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol englobados en una matriz hipocristalina (56%) (Fig. 4.12). Muestran una textura glomeroporfídica, varios fenocristales de plagioclasas están agrupados (Figs. 4.12 A, 4.12 B). Estas rocas contienen xenolitos de andesitas y finas vetillas de cuarzo de espesor menor a 1 mm (Fig. 4.12 B).

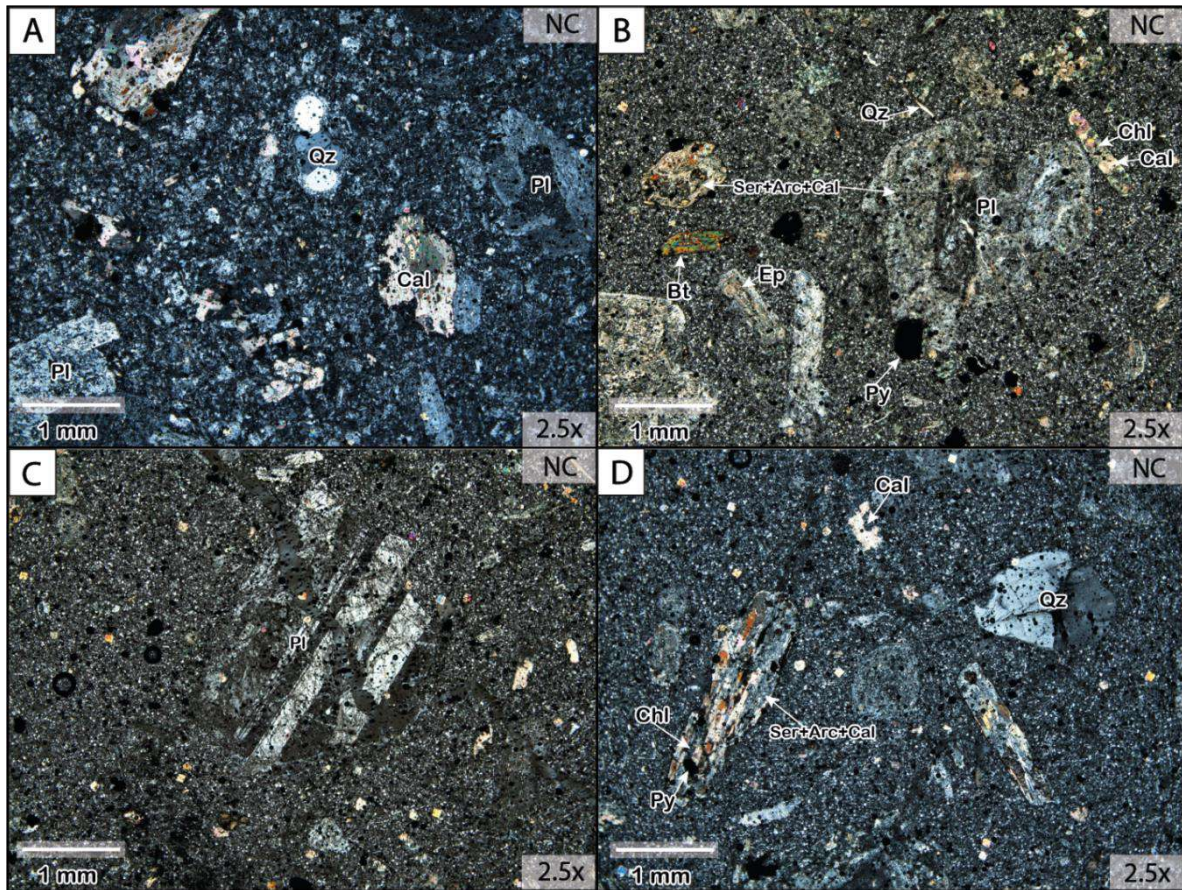


Figura 4.12. Láminas delgadas correspondientes a las lavas dacíticas con nicoles cruzados (NC). A. Textura porfídica, fenocristales de Pl, Qz y minerales máficos reemplazados por Cal, englobados en una matriz levemente silicificada (RNC10); B. Textura glomeroporfídica, crecimiento en grupo de Pl (alteradas a Ser, Arc, Ep y reemplazadas por Cal), se observa molde de una posible Hbl (forma hexagonal) junto a Bt fresca (SSC9); C. Pl con macla polisintética (SSC9); D. Granos redondeados de Qz con extinción ondulante y moldes de posibles minerales máficos con intensa alteración (SSC9). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Pl: plagioclasa; Py: pirita; Qz: cuarzo; Ser: sericita. Las rocas presentan un color gris oscuro ligeramente verdoso (Fig. 4.11) (Whitney & Evans, 2010).

Las plagioclasas muestran cristales tabulares con tamaños de hasta 4 mm. Se encuentran alteradas a epidota, sericita, arcilla y reemplazadas por calcita. Se puede apreciar un maclado polisintético en los cristales que no tienen un grado de alteración alto (Fig. 4.12 C). Microlitos de plagioclasa forman parte de la matriz y presentan la misma alteración.

El cuarzo se presenta como granos subhedrales con tendencia redondeada (hasta 1.5 mm de diámetro) y muestra una extinción ondulante (Figs. 4.12 A, 4.12 D).

La biotita tiene formas euhedrales a subhedrales de hábito tabular con tamaños de hasta 2 mm (Fig. 4.12 B). Posibles cristales de biotita se encuentran alterados a clorita y reemplazados por calcita.

El anfíbol (hornblenda) se encuentra completamente alterado a clorita en menor grado a sericita y epidota; y están reemplazados por calcita. (Figs. 4.12 B, 4.12 D).

La matriz de la roca está constituida por microlitos de plagioclasa y minerales máficos (biotita, anfíbol) alterados en su mayoría a arcilla-sericita, y clorita; respectivamente. También, está formada por microgranos anhedrales de cuarzo como producto de una ligera silicificación posterior y en menor cantidad presenta vidrio. Se observa pirita subhedral diseminada en la matriz (Figs. 4.12 B, 4.12 D).

4.2.3 Toba andesítica

Las rocas presentan una coloración con varios tonos de verde debido a los diferentes estilos de alteración presente (Fig. 4.13).

La asociación mineralógica que define este tipo de litología son fragmentos de cristales principalmente de plagioclasa (25%) y minerales máficos alterados (anfíbol (15%)) en menor cantidad, fragmentos de líticos (5%) y matriz principalmente compuesta por vidrio (55%). Las rocas presentan una textura clástica fragmentada. Se identificaron dos tipos de tobas, toba de cristales y toba vitrocrystalina, ambas de composición andesítica.

La toba vitrocrystalina está compuesta por cristales de plagioclasa con formas subhedrales a anhedrales fracturadas y tamaños de hasta 1 mm (Fig. 4.14 A). Se encuentran alteradas a arcilla y sericita, levemente a epidota, también, están reemplazadas por calcita, no es posible observar las maclas características de la plagioclasa. Se observan pequeños cristales de clorita fracturados, posiblemente relictos de minerales máficos (Fig. 4.14 A). También, está constituida por fragmentos líticos de andesita silicificada (Fig. 4.14 A). La matriz está constituida principalmente por vidrio y en menor cantidad microlitos de plagioclasa, clorita y pirita diseminada. La roca contiene amígdalas rellenas por epidota (Fig. 4.14 A).

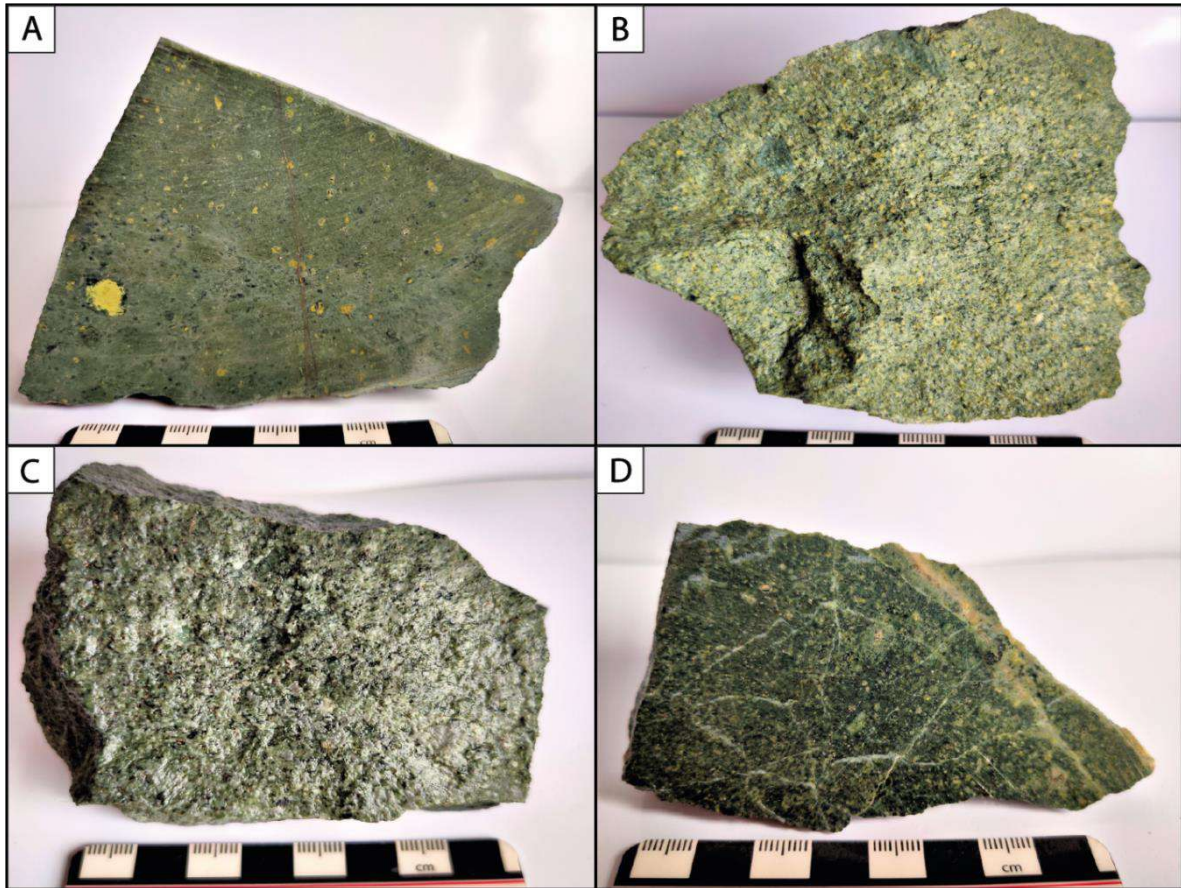


Figura 4.13. Muestras de mano de las tobas de composición andesítica. A. Toba vitrocristalina con amígdalas rellenas por Ep (REC2); B. Toba de cristales con pequeños fragmentos líticos de composición andesítica (RSC7); C. Toba de cristales con abundante Py dispersa en la roca (RSC11); D. Toba de cristales con textura fragmentada (MCC12). Abreviaciones minerales: Ep: epidota; Py: pirita (Whitney & Evans, 2010).

Las tobas de cristales están compuestas por cristales de plagioclasa con formas subhedralas fracturadas de hábito tabular y tamaños de hasta 2 mm. Están alteradas a epidota, sericita, arcilla y reemplazadas por calcita. Sin embargo, en varios cristales se puede observar el maclado polisintético de las plagioclasas (Fig. 4.14 B). Los minerales máficos están alterados totalmente a clorita y en menor cantidad a arcilla y epidota. Se asume que son posibles cristales de anfíbol y biotita por las formas prismáticas y tabulares, poseen tamaños de hasta 2 mm (Figs. 4.14 C, 4.14 D). Los cristales se encuentran empaquetados en una matriz compuesta por vidrio, el cual está reemplazado por cuarzo, reemplaza totalmente generando una silicificación en la matriz y también se observan parches de silicificación (Figs. 4.14 B, 4.14 C). Además, posee microlitos de plagioclasa y minerales máficos, alterados a arcilla y clorita. También, se observa pirita diseminada,

pequeñas vetillas de calcita, epidota y cuarzo (espesor menor a 1 mm) que cortan la roca (Figs. 4.13 D, 4.14 C, 4.14 D) y algunos parches de arcilla y calcita que reemplazan a la matriz.

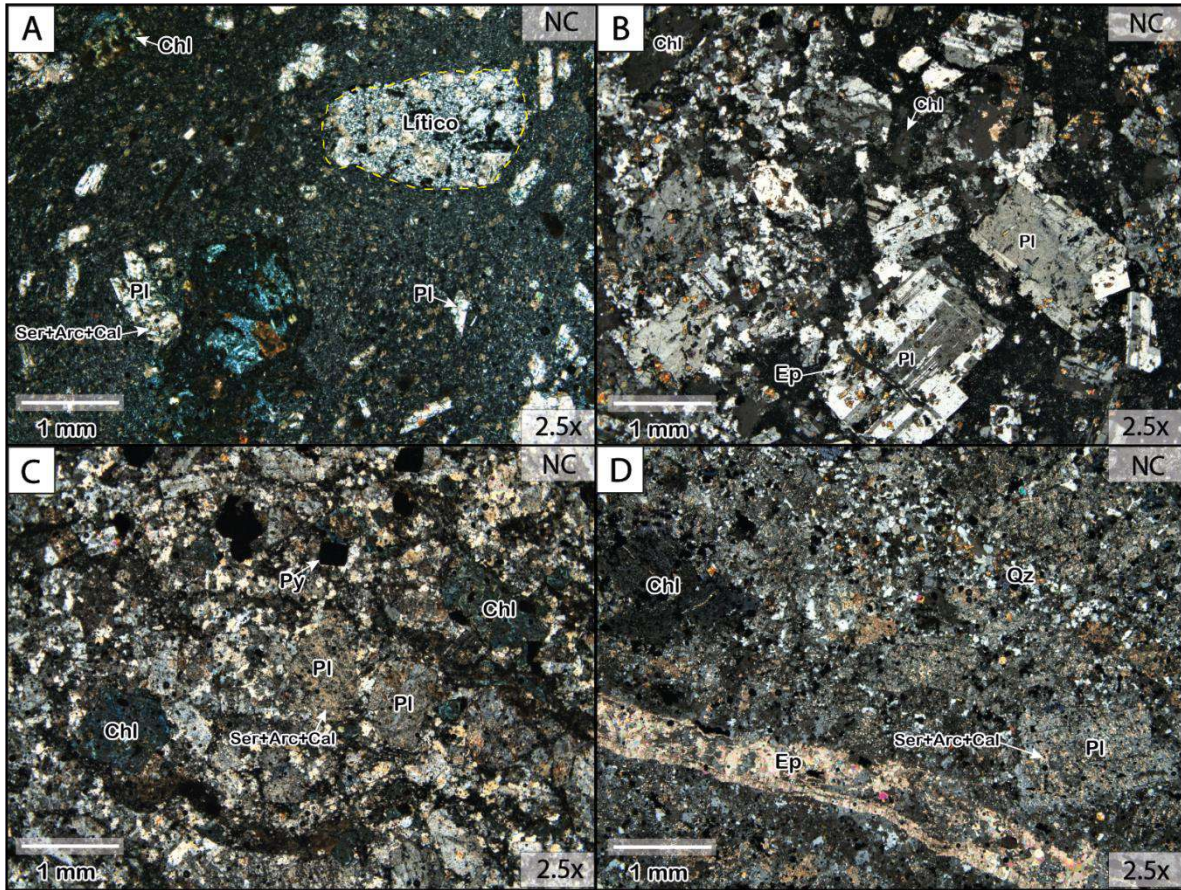


Figura 4.14. Láminas delgadas correspondientes a las tobas de composición andesítica con nícoles cruzados (NC). A. Toba vitrocrystalina, compuesta por fragmentos de cristales de Pl, Chl y fragmentos líticos silicificados (REC2); B. Pl con macla polisintética y leve alteración a Ep (RSC7); C. Cristales de minerales máficos totalmente alterados a Chl y cristales de Pl alterados a Ser, Arc y reemplazados por Cal (RSC11); D. Vetillas de Ep y Qz que cortan la roca (AGDC6). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).

4.2.4 Brecha volcánica

La roca presenta una coloración verdosa, debido a la alteración (Fig. 4.15 A). Posee una textura fragmental, es matriz soportada y pobremente sorteada. Está conformada por fragmentos líticos (38%), fragmentos de cristales de plagioclasa (10%), englobados en la matriz (52%), conformada de vidrio, microlitos de plagioclasa y cuarzo.

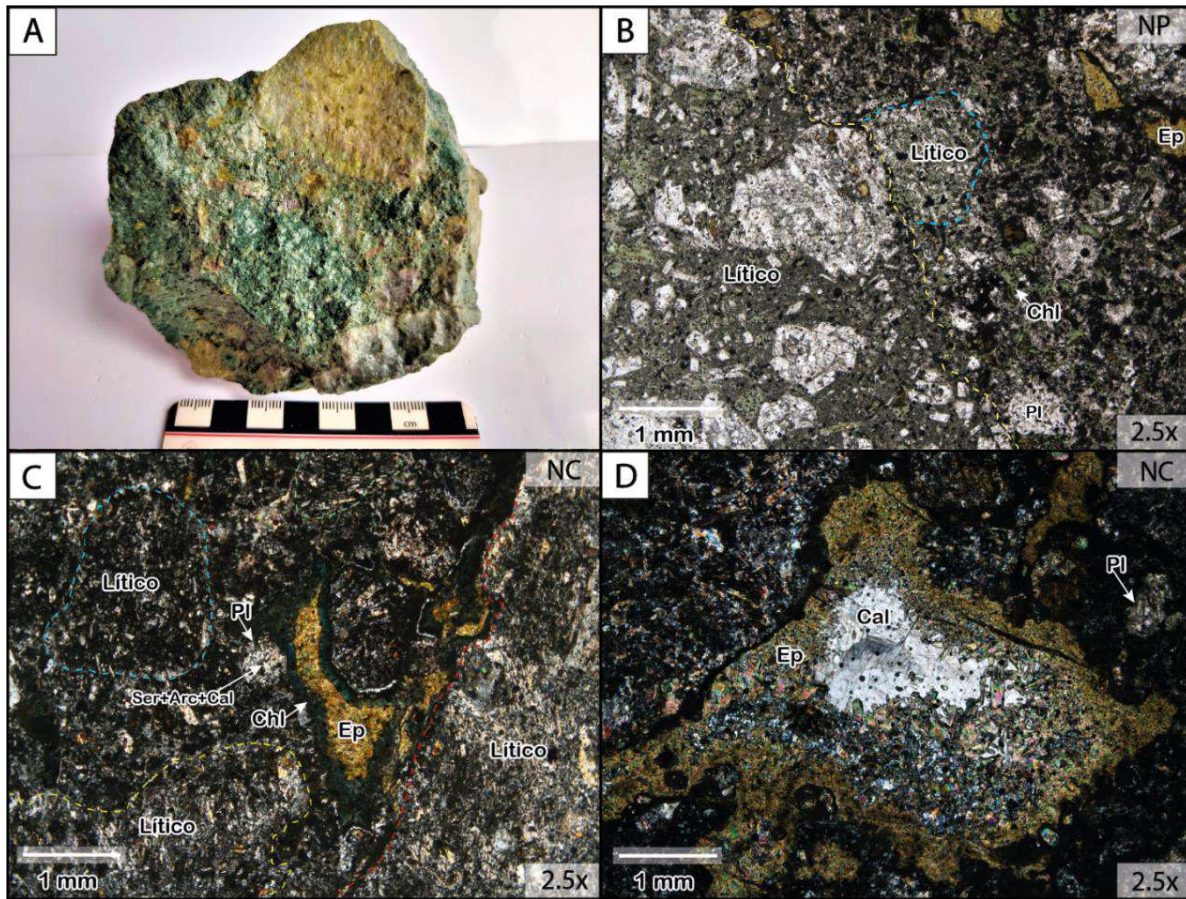


Figura 4.15. Muestra de mano y láminas delgada correspondientes a la brecha volcánica con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP). A. Muestra de mano de la brecha volcánica (RNC5); B. Fragmentos líticos y fragmentos de cristales (Pl, Ep), englobados en una matriz compuesta principalmente por Vg y microlitos de Pl, Qz y Chl (RNC5); C. Oquedades rellenas por Ep y Chl (RNC5); D. Oquedades rellenas por Ep y Cal (RNC5). Abreviaciones minerales: Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Vg: vidrio (Whitney & Evans, 2010).

Los fragmentos líticos presentan formas angulares a subangulares de hasta 4 cm (Fig. 4.15 A). En general la mayoría de los fragmentos tienen una textura porfídica y están formados principalmente por cristales de plagioclasas euhedrales a subhedrales de hábito tabular alterados a epidota, sericita, arcilla y reemplazados por calcita, también, se observan escasos cristales máficos (anfíbol y biotita) completamente alterados a clorita y parcialmente a epidota (Fig. 4.15 B). La matriz de los fragmentos está constituida en su mayoría por vidrio, microlitos de plagioclasa y cuarzo. Además, muestran oquedades rellenas por clorita. Se infiere que son líticos de naturaleza volcánica, de composición andesítica (Fig. 4.15 B).

Los fragmentos de cristales son principalmente de plagioclasa con formas subangulares alteradas a epidota, sericita, arcilla y reemplazadas por calcita, con tamaños de hasta 1 mm (Figs. 4.15 B, 4.15 C). Se observan algunos fragmentos de cristales de epidota (Fig. 4.15 B). La matriz de la roca en la que se encuentran inmersos los fragmentos líticos y fragmentos de cristales está constituida por vidrio alterado parcialmente a arcilla, microlitos de plagioclasa y cuarzo (Figs. 4.15 B, 4.15 C, 4.15 D). Esta brecha muestra oquedades rellenas por clorita, epidota, calcita y cuarzo (Figs. 4.15 C, 4.15 D).

4.3 Alteración hidrotermal

En la presente sección se describe la mineralogía secundaria resultado de la alteración parcial o total de la asociación mineral primaria. Con la identificación de los minerales secundarios se han definido tres tipos de alteraciones que predominan en la roca encajante de las vetas de estudio.

4.3.1 Alteración propilítica

El ensamble mineral que caracteriza esta alteración es epidota, clorita, calcita, en asociación con cantidades menores de sericita, pirita y arcilla. Esta alteración afecta principalmente a las tobas, dacitas y brechas, en menor intensidad a las andesitas. Las rocas muestran una coloración verdosa que varía con el grado de alteración (Figs. 4.9, 4.11, 4.13, 4.15 A).

La clorita es el mineral más abundante, se presenta en todas las rocas de estudio de manera pervasiva. Se forma como producto de la alteración de los fenocristales de minerales máficos como anfíboles (hornblenda), piroxenos (augita) y biotita, presenta formas prismáticas y tabulares. Estas formas son heredadas del mineral al cual se encuentra sustituyendo, por lo que se denomina transformación pseudomórfica (conserva la forma del mineral primario, pero tiene otra composición) (Fig. 4.16 A-D). En la mayoría de las rocas la clorita se encuentra alterando totalmente a los minerales máficos. También, se observa este tipo de alteración en los minerales de la matriz.

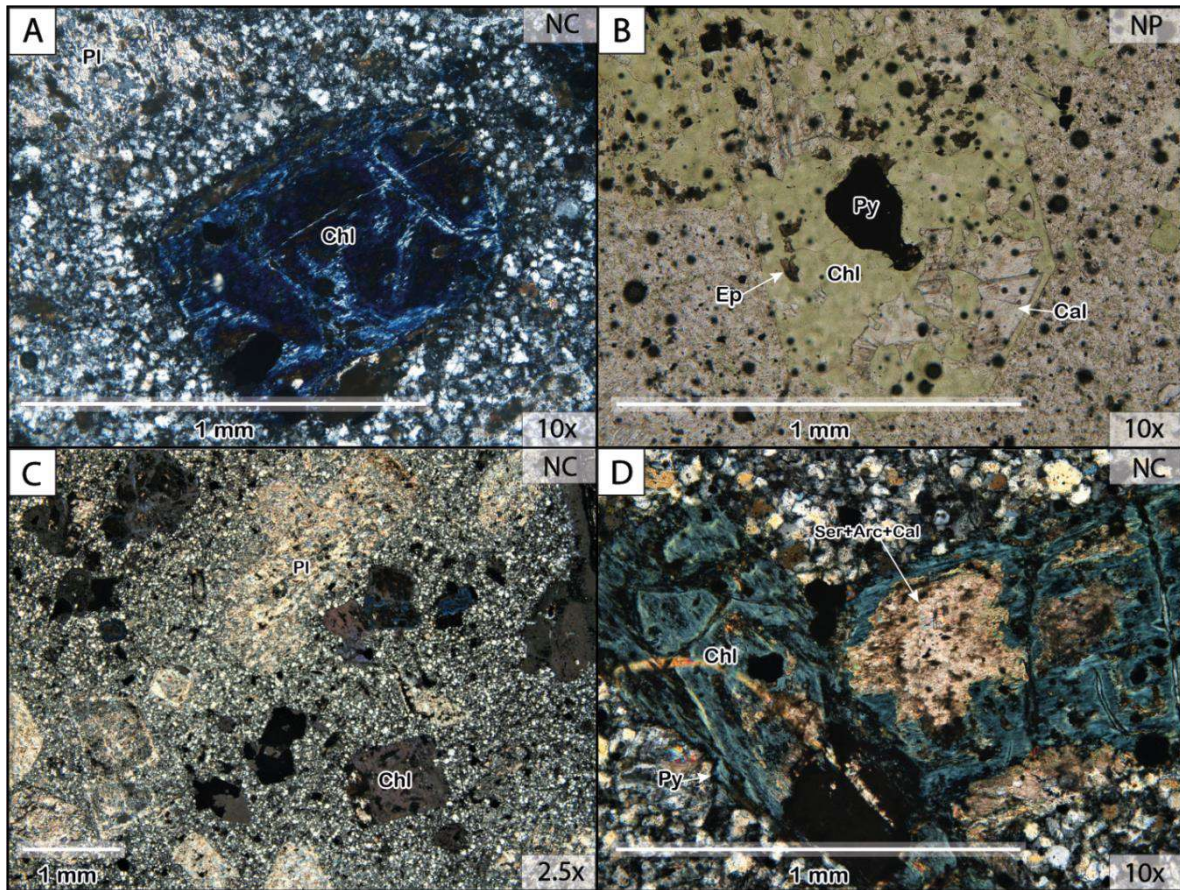


Figura 4.16. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP) muestran alteración propilítica pseudomórfica, Chl formada a partir de minerales máficos (Amp, Px, Bt). A. Chl con forma subhedral de hábito tabular formada a partir de Px (RSC1); B. Chl con forma hexagonal, posible Hbl alterada principalmente a Chl, levemente a Ep y reemplazada parcialmente por Cal (SSC9); C. Cristales euhedrales de Chl de hábito tabular englobados en una matriz silicificada (RSC15); D. Chl subhedral de hábito tabular alargado, forma heredada de minerales máficos, alterados principalmente a Chl y parcialmente a Ser, Arc y Cal (MMC13). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Px: piroxeno; Py: pirita; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).

La epidota se presenta en menor abundancia, sin embargo, es un mineral clave para definir la alteración propilítica. Se forma principalmente como resultado de la alteración de los fenocristales de plagioclasa y en menor cantidad debido a la alteración de los fenocristales de biotita y anfíbol. Se observa microcristales con formas prismáticas alargadas y como agrupaciones anhedral en grandes cristales de plagioclasa (Fig. 4.17 A, 4.17 B). Sin embargo, también se presenta, aunque de manera escasa en la matriz y sobre los cristales de minerales máficos que previamente fueron alterados a clorita (Fig. 4.17 C, 4.17 D). La epidota se muestra como una alteración selectiva en los diferentes minerales.

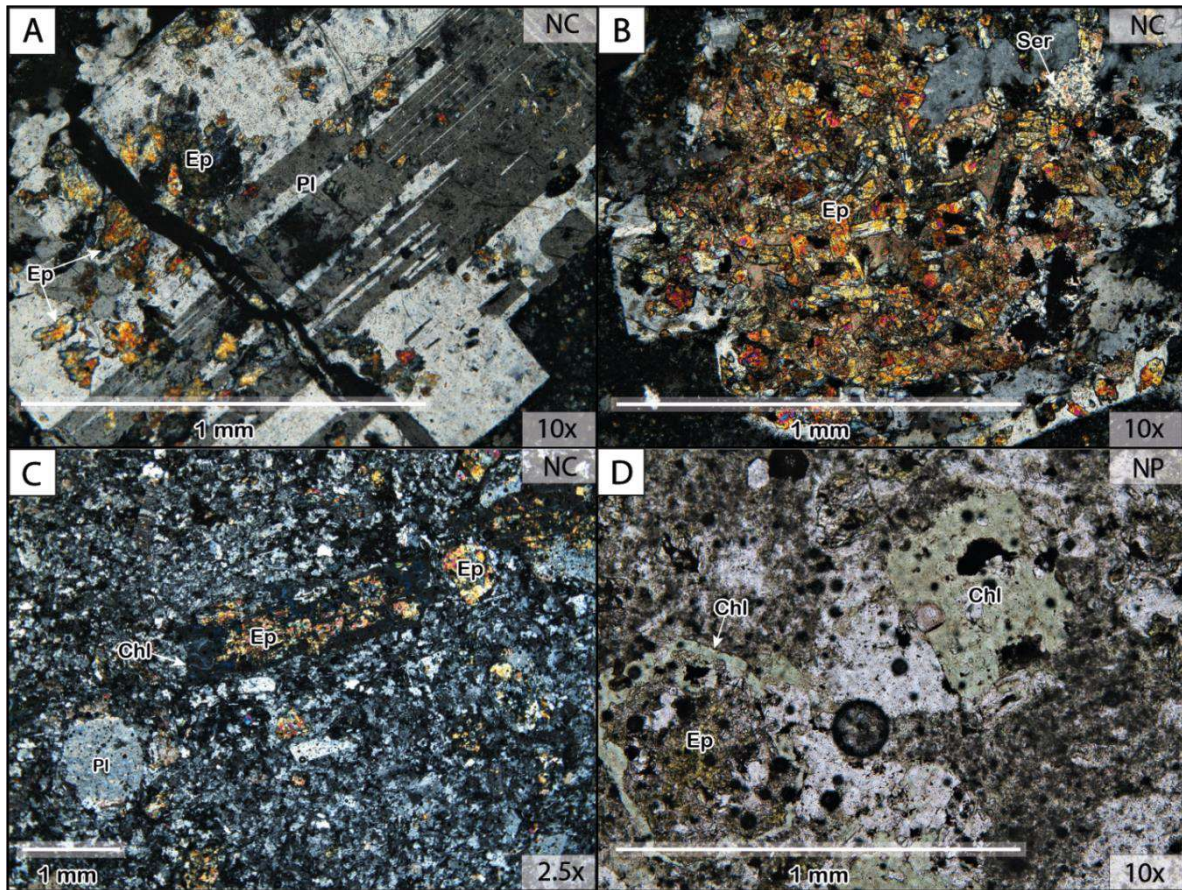


Figura 4.17. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP), presentan alteración propilítica, Ep formada a partir de la alteración de fenocristales de Pl y minerales máficos (Amp, Bt). A. Ep como producto de la alteración de fenocristales de Pl (RSC7); B. Microcristales de Ep agrupados con formas prismáticas (RSC14); C. Ep como resultado de la alteración de minerales máficos que previamente se alteraron a Chl (RNC8). D. Pseudomorfo de Chl y Ep (RSC7). Abreviaciones minerales: Amp: anfíbol; Bt: biotita; Chl: clorita; Ep: epidota; Pl: plagioclasa (Whitney & Evans, 2010).

La calcita es abundante en la mayoría de las rocas, se encuentra reemplazando total o parcialmente a los fenocristales de plagioclasa y minerales máficos (anfíbol, piroxeno, biotita). Se sobrepone a las alteraciones previas de los minerales, por lo que se observan relictos de clorita y epidota, en cristales de minerales máficos reemplazados por calcita (Fig. 4.18 A). Los fenocristales de plagioclasa son de grano muy fino y se encuentra asociada con sericita y arcilla (Fig. 4.18 B). También, se presenta formando parte de la matriz de la roca.

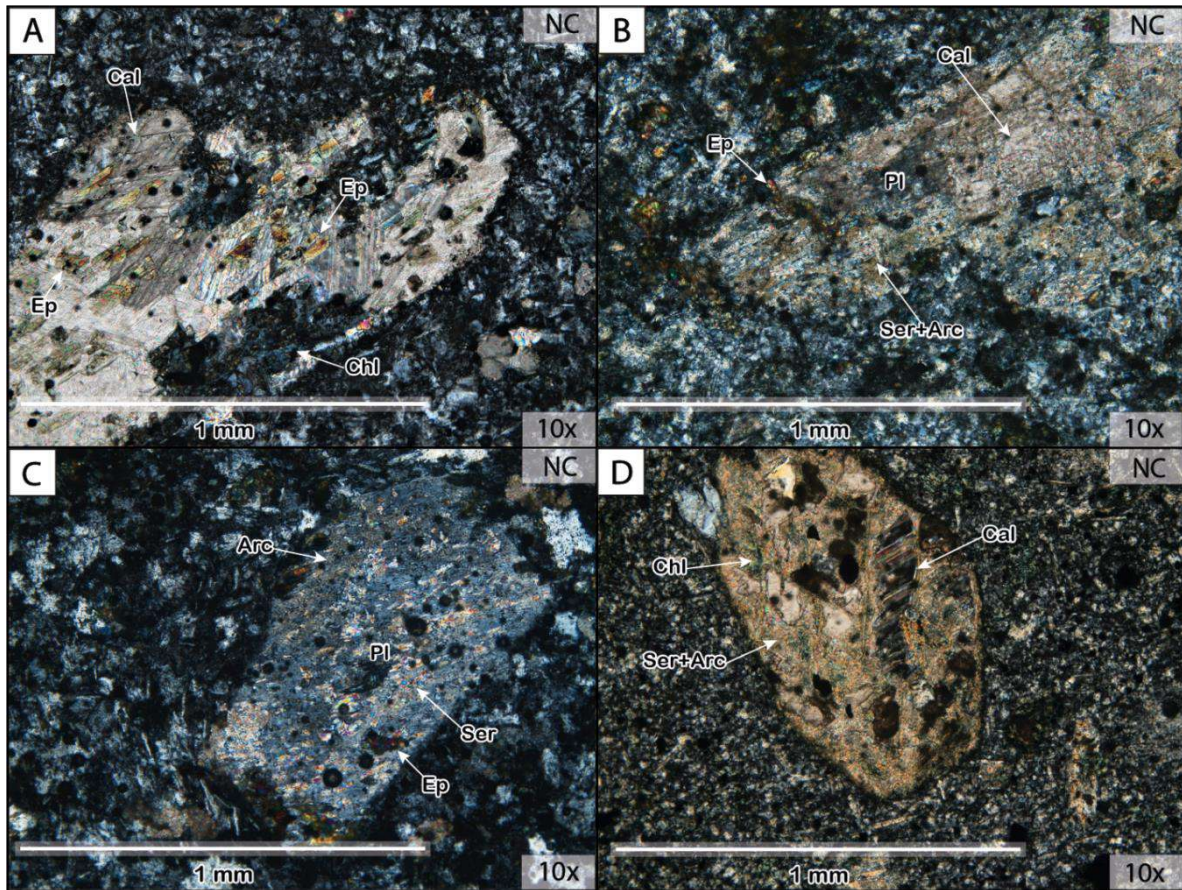


Figura 4.18. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) que presentan alteración propilítica, agregados de Ser, Cal y Arc en fenocristales de Pl y minerales máficos (Amp, Px, Bt.). A. Cal reemplazando casi totalmente a minerales máficos que previamente se alteraron a Chl y Ep (RNC10); B. Fenocristal de Pl con alteración intensa a Ser, Arc y levemente a Ep y reemplazado parcialmente por Cal (MCC12); C. Fenocristal de Pl parcialmente alterado a Ser, Arc y Ep (RNC8); D. Posible mineral máfico (Hbl por la forma hexagonal) alterado intensamente a Ser, Arc y reemplazo parcialmente por Cal (SSC9). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Amp: anfíbol; Bt: biotita; Cal: calcita; Chl: clorita; Ep: epidota; Hbl: hornblenda; Pl: plagioclasa; Px: piroxeno; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).

La sericita está presente en la mayoría de las rocas con variación en su abundancia. Se desarrolla a partir de la alteración de los fenocristales de plagioclasa, donde se presenta como agregados anhedrales de grano muy fino y en ocasiones muestra un hábito radial (Fig. 4.18 C). Algunos minerales máficos se encuentran corroídos parcialmente por este mineral de alteración (Fig. 4.18 D).

Las arcillas se encuentran en mayor proporción en la matriz de la roca, como producto de la alteración del vidrio, clorita y plagioclasa, y en menor cantidad se encuentran alterando a los fenocristales de plagioclasa y clorita. Se observan como agregados muy finos que dan un aspecto “sucio” o terroso, tanto a los fenocristales como a la matriz (Fig. 4.18).

La pirita se encuentra diseminada en la matriz de la roca, en concentraciones significativas. Posee formas euhedrales a subhedrales (Figs. 4.16).

4.3.2 Alteración subpropilítica

Esta alteración se caracteriza por no tener epidota en su ensamble mineral. Contiene abundante clorita, calcita y al igual que en la alteración propilítica está asociado con sericita, arcilla y pirita, aunque en concentraciones menores. Afecta principalmente a las rocas andesíticas (Fig. 4.19).

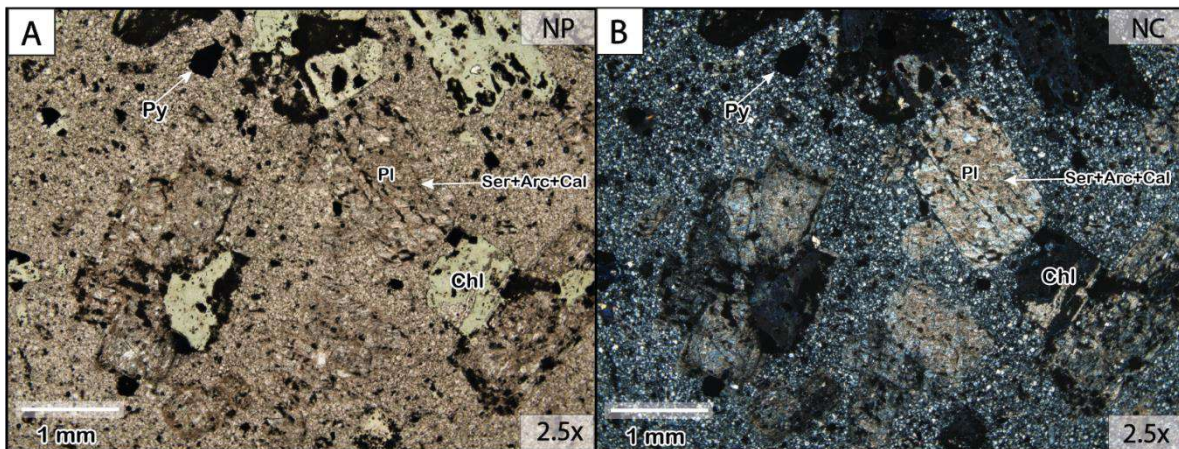


Figura 4.19. Láminas delgadas con *nícoles cruzados* (NC) y *nícoles paralelos* (NP) que presenta alteración subpropilítica. A. Fenocristales de Pl y minerales máficos alterados a Chl englobados en una matriz silicificada (RSC1 con NP); B. Fotografía anterior con NC, donde se observa la alteración de Pl a Ser, Arc y leve reemplazamiento por Cal (RSC1 con NC). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Cal: calcita; Chl: clorita; Pl: plagioclasa; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).

El origen de formación de los minerales secundarios y sus características, son las mismas que en la alteración propilítica.

4.3.3 Silicificación

Esta alteración afecta a todos los tipos de roca del área de estudio a excepción de la brecha. Se encuentra reemplazando total o parcialmente a los componentes de la matriz, especialmente al vidrio. Altera intensamente a la roca, destruyendo la textura original y generando una matriz silicificada (Fig. 4.20 A). Además, incrementa la dureza de la roca. También, reemplaza levemente a los fenocristales de la roca, principalmente a la plagioclasa (Fig. 4.20 B).

Se presenta como cuarzo microgranular con formas anhedrales que cubre o inunda toda la matriz (Fig. 4.20 A). Se encuentra reemplazando la matriz de la roca en conjunto con la clorita, calcita, arcilla y sericita (en menor cantidad). También, forma vetillas y rellena oquedades en la roca (Fig. 4.14 D).

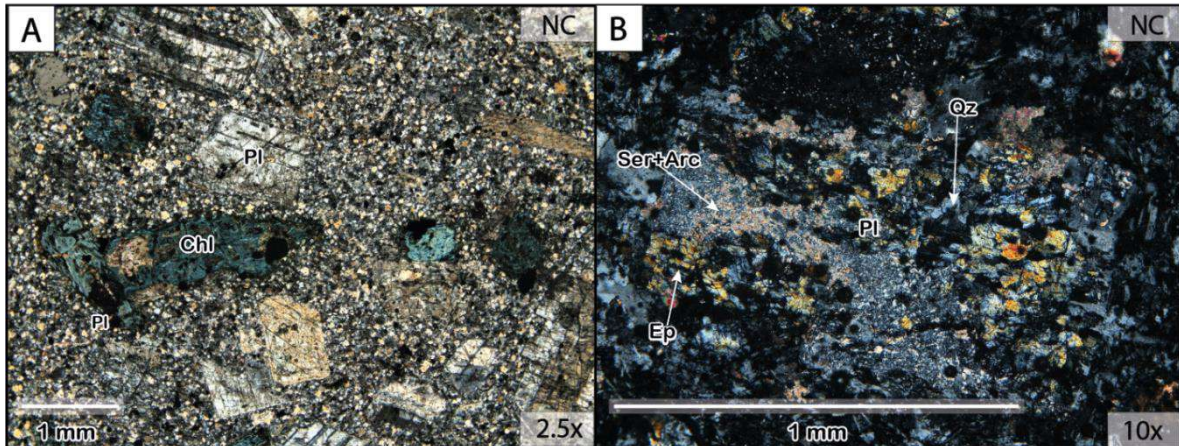


Figura 4.20. Láminas delgadas con nícoles cruzados (NC) indicando silicificación en la matriz y fenocristales. A. Qz microgranular reemplazando la matriz de la roca y englobando fenocristales de Pl y minerales máficos alterados (MCC13); B. Fenocristal de Pl con alteración a Ser, Arc, Ep y reemplazado parcialmente por Qz (RNC8). Abreviaciones minerales: Arc: arcilla; Ep: epidota; Pl: plagioclasa; Qz: cuarzo; Ser: sericita (Whitney & Evans, 2010).

Las rocas han experimentado procesos de cloritización, epidotización, calcitización, seritización y silicificación a lo largo de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche, dando como resultado una alteración de las rocas superior al 50 %. En el Anexo 03 se puede observar en detalle la descripción litológica y de alteraciones de cada una de las rocas de estudio.

4.4 Petrografía, mineralogía y secuencia paragenética de la mineralización

Las características texturales de los minerales de mena y ganga, la morfología de los granos, relaciones de corte y abundancia del mineral, tanto en láminas pulidas como muestras de mano, permitieron realizar un diagrama paragenético de los minerales que forman las vetas de estudio, compuesto por cinco etapas descritas a continuación (Fig. 4.21).

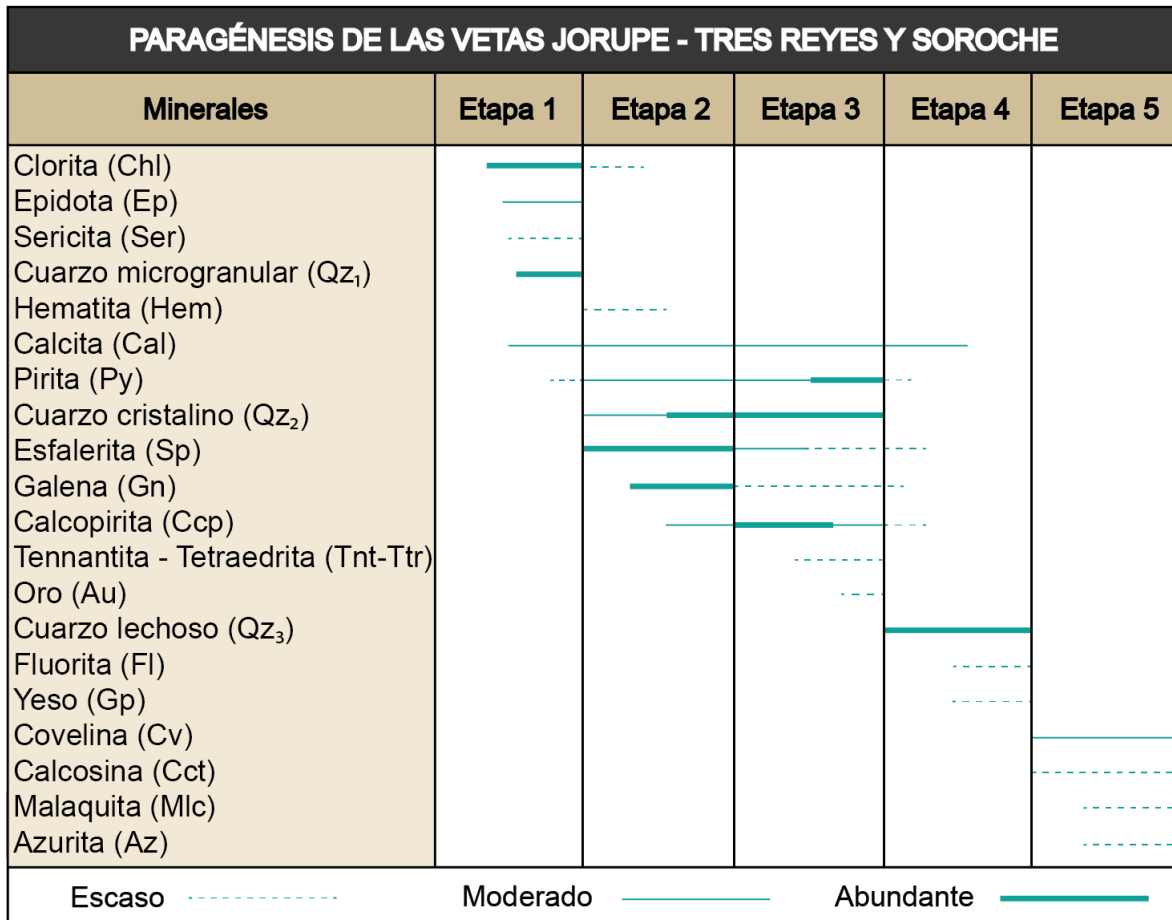


Figura 4.21. Secuencia paragenética de las vetas Jorupe - Tres Reyes y Soroche.

4.4.1 Etapa 1

Los minerales que se asocian en esta etapa son clorita + epidota + sericita + pirita + cuarzo microgranular + calcita. Esta etapa se caracteriza por la alteración propilítica que afectó a la roca original de composición principalmente andesítica.

La clorita está alterando a los fenocristales máficos principalmente (anfíbol, piroxeno, biotita) y a la matriz de la roca caja (Fig. 4.16). La epidota se presenta como agregados anhedrales en los fenocristales de plagioclasa (Fig. 4.17). La sericita al igual que la epidota se forma como producto de la alteración de la plagioclasa principalmente (Fig. 4.18). También, se observa calcita reemplazando a las plagioclasa y minerales máficos (Fig. 4.18) y se encuentra pirita diseminada en la roca caja. Esta asociación mineral define la alteración propilítica que está afectando a la roca caja en esta etapa inicial.

El cuarzo que caracteriza esta etapa es microgranular (forma anhedral) y afecta a la roca caja generando una silicificación, especialmente en la matriz (Fig. 4.20). La pirita presenta una forma subhedral a anhedral con tamaños menores a 0.05 mm, sin embargo, algunos cristales de pirita en esta etapa tienen un tamaño de hasta 1 mm con forma euhedral (Figs. 4.10, 4.12, 4.14, 4.16).

4.4.2 Etapa 2

Los minerales que se asocian en esta etapa son esfalerita + galena + calcopirita + pirita + cuarzo cristalino + calcita + clorita + hematita. Esta etapa polimetálica de metales base se caracteriza por un enriquecimiento de los minerales de mena, principalmente de esfalerita y galena, en menor cantidad calcopirita y pirita.

La esfalerita presenta grandes cristales anhedrales con tamaños de hasta 2 cm y en muestra de mano se observa un color miel que indica que la esfalerita es pobre en hierro, por su color se la denomina blenda acaramelada, (Fig. 4.23 D). En el análisis XRF puntual realizado en la esfalerita se observa el contenido de hierro (4.25%) (Anexo 04, muestra RS7ES1). Se encuentra asociada con la galena, calcopirita y pirita (Fig. 4.22).

La galena tiene formas anhedrales con tamaños de hasta 6 mm, está bordeando a la esfalerita y reemplazándola selectivamente a través de pequeñas fisuras (Figs. 4.22 A, 4.22 B, 4.22 D). Presenta zonas de desgarre de forma triangular conocidos como “*pits*” producto del pulido de la muestra (Fig. 4.22 A). También, reemplaza selectivamente a la pirita. Los análisis de XRF puntuales realizados en la galena indican que posee plata en su composición (429 ppm) (Anexo 04, muestra RS7GA1).

La pirita en esta etapa tiene un tamaño de hasta 1.5 mm con formas euhedrales a subhedrales y se asocia con esfalerita y galena (Fig. 4.22 B). También, se encuentra como inclusiones en la ganga.

La calcopirita empieza a formarse en esta etapa y se encuentra reemplazando principalmente a la esfalerita, galena y selectivamente a la pirita (Fig. 4.22 A, 4.22 D). La relación de reemplazo que muestra con la esfalerita genera la textura denominada “enfermedad de la calcopirita” es decir, que los grandes granos de esfalerita contienen diminutos granos anhedrales de calcopirita, debido a la infiltración de fluidos ricos en cobre en la esfalerita que contiene hierro (Fig. 4.22 A, 4.22 D).

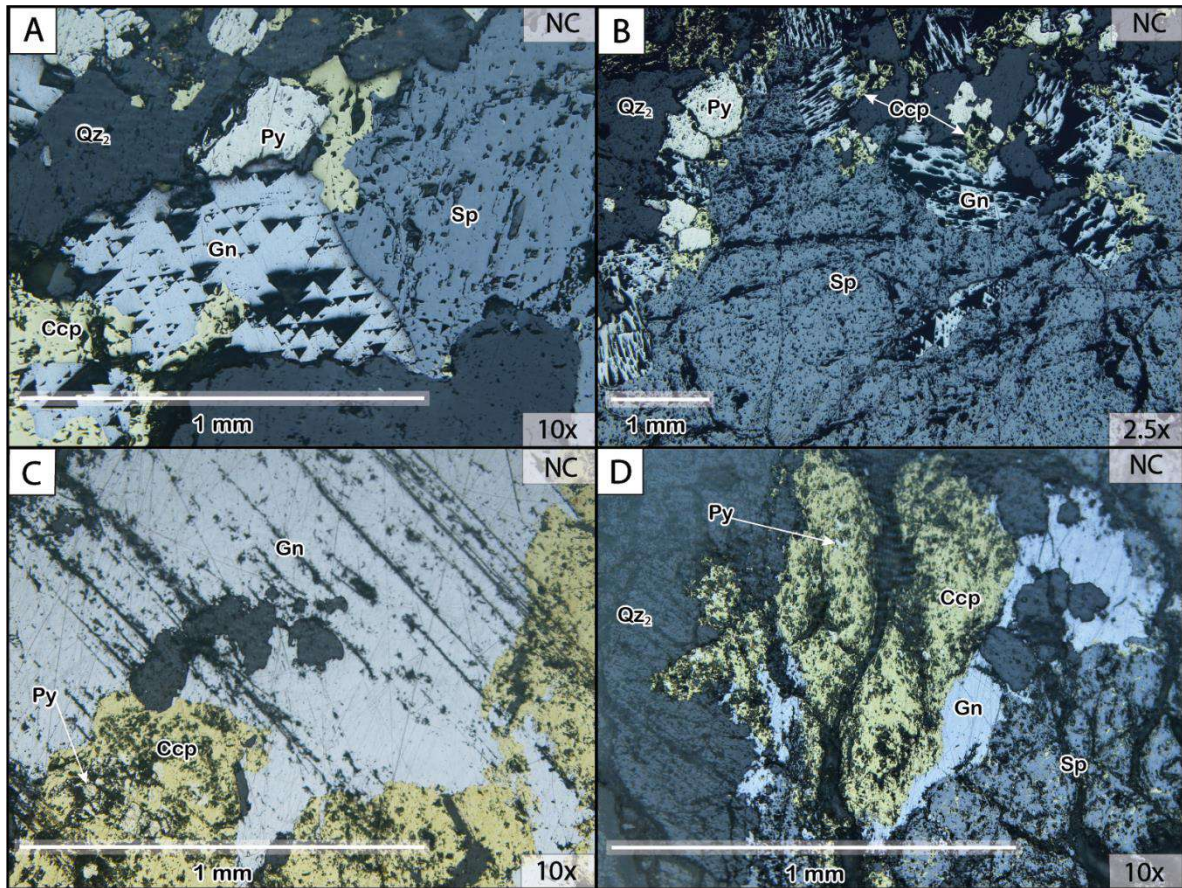


Figura 4.22. Láminas pulidas con nícoles cruzados (NC) correspondientes a la mineralización de la zona de estudio. A. Ccp reemplazando a Sp, Gn y Py (AD12A); B. Gn bordeando a la Sp y reemplazándola a través de pequeñas fracturas (AD12A); C. Ccp reemplazando a Gn, se observan entrantes cóncavas de Ccp en la Gn (RS7A); D. Pequeños granos de Ccp reemplazando a Sp (enfermedad de la calcopirita) (SN11). Abreviaciones minerales: Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz₂: cuarzo cristalino; Sp: esfalerita (Whitney & Evans, 2010).

El cuarzo que define esta etapa es cristalino y presenta texturas primarias como coloforme – crostiforme, tipo peine y zonal. La textura tipo peine se desarrolla en oquedades y fracturas de la roca que permiten al cuarzo cristalino formar cristales con terminaciones euhedrales (Figs. 4.23 A, 4.23 B). Se observa un bandedo coloforme – crostiforme formado por bandas finas de clorita, hematita, pirita y cuarzo cristalino con textura peine y zonal (Fig. 4.23 B). También, presenta texturas de reemplazamiento en enrejado que es producto del reemplazamiento de la calcita por cristales de cuarzo, esta calcita se forma en una etapa de ebullición (Fig. 4.23 C).

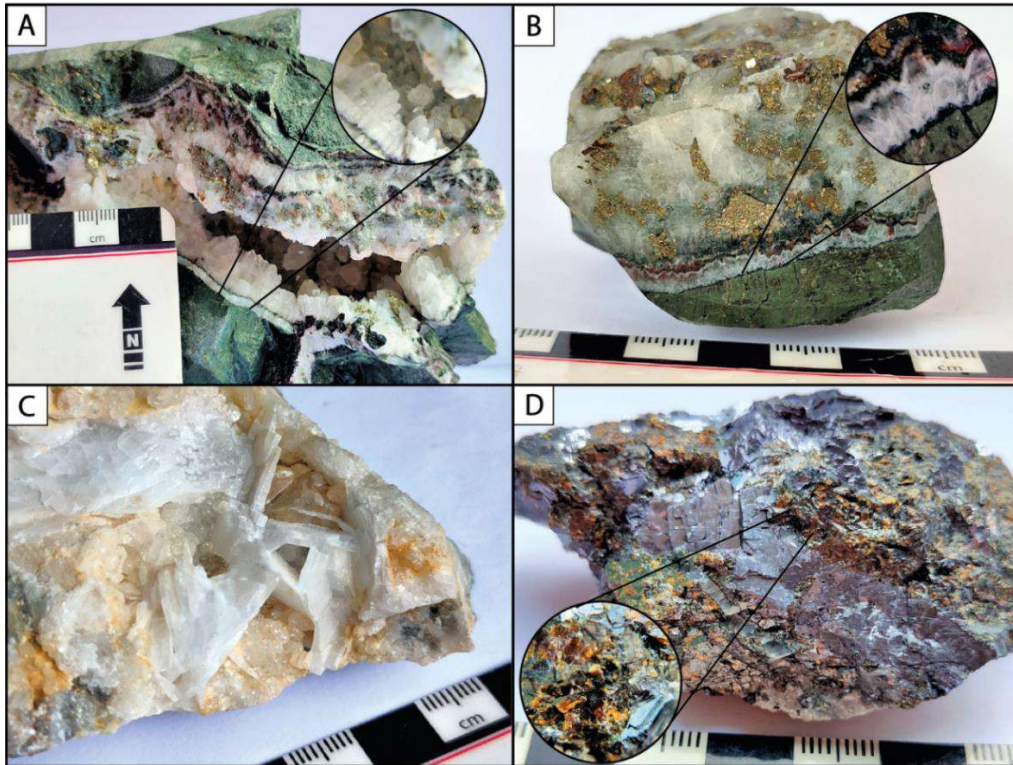


Figura 4.23. Muestras de mano correspondientes a las texturas del cuarzo y mineralización en la zona de estudio. A. Textura peine y crostiforme; B. Textura crostiforme – coloforme, peine y zonal; C. Textura en enrejado; D. Esfalerita de color miel característica de las vetas de estudio, acompañada de galena, calcopirita y pirita (Whitney & Evans, 2010).

4.4.3 Etapa 3

Los minerales que se asocian en esta etapa son: calcopirita + pirita + oro + esfalerita + galena + tetraedrita–tennantita + cuarzo cristalino + calcita. Se caracteriza por un enriquecimiento de los minerales de mena, principalmente calcopirita, pirita, oro en traza y la formación de tetraedrita-tennantita.

La calcopirita es abundante en esta etapa, precipita masivamente relleno los espacios vacíos entre los granos minerales, principalmente envuelve a los granos de pirita y reemplaza selectivamente granos de esfalerita y galena. (Fig. 4.24). La relación de reemplazo con la esfalerita también genera la textura enfermedad de la calcopirita.

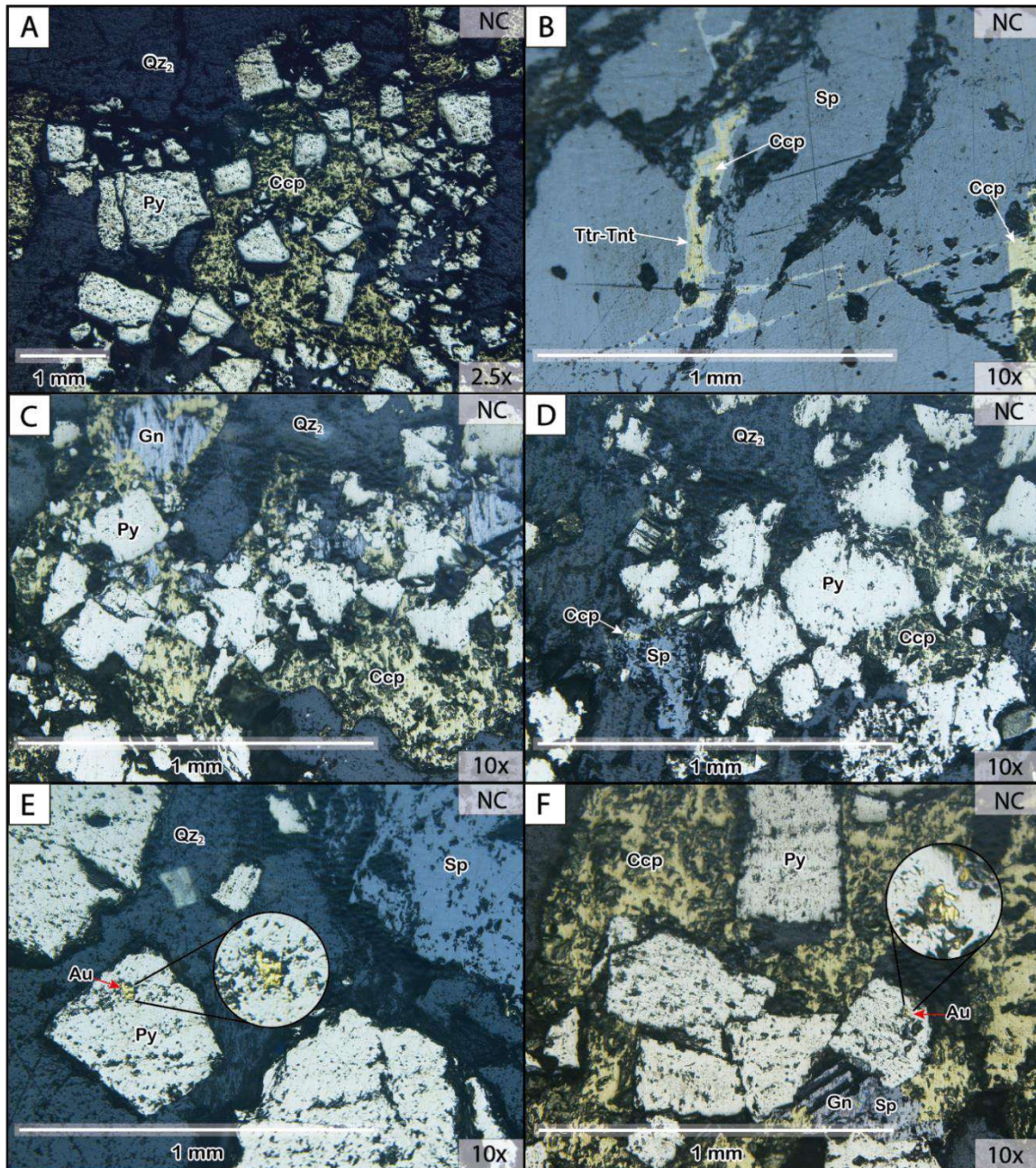


Figura 4.24. Láminas pulidas con nicoles cruzados (NC) correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Ccp masiva englobando cristales de Py (SS6A); B. Tnt-Ttr como microvenillas (RS7B); C. Ccp y Py reemplazando selectivamente a Gn en los bordes (AD12B); D. Ccp y Py reemplazando selectivamente a Sp en los bordes (RS9); E. Microgranos de Au incluido en la Py euhedral (RS7B). F. Au incluido en la Py subhedral, Ccp bordeando a Py y reemplazando selectivamente a Gn y Sp (SS6A). Abreviaciones minerales: Au: oro; Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz₂: cuarzo cristalino; Sp: esfalerita; Ttr - Tnt: tetraedrita - tennantita (Whitney & Evans, 2010).

La pirita en esta etapa aumenta su tamaño hasta 6 mm y también, su contenido significativamente. Presenta una forma euhedral a subhedral (Fig. 4.24) y contiene inclusiones de oro (Figs. 4.24 E, 4.24 F). En el análisis XRF puntual realizado en un grano de pirita se determinó que contiene impurezas de arsénico (134 ppm) (Anexo 04, muestra ADF8PY1).

La tetraedrita – tennantita se forma en esta etapa y se asocian a la calcopirita y esfalerita. Se encuentra reemplazando en los bordes de la calcopirita y se presenta como microvenillas que cortan esfalerita (Fig. 4.24 B).

El oro se encuentra como microgranos anhedrales incluidos en los cristales de pirita (Figs. 4.24 E, 4.24 F). Sin embargo, también se encuentra como “oro invisible” o refractario, es decir que el oro puede está incorporado en la estructura cristalina de la pirita (Fig. 4.25). Este resultado se obtuvo del diagrama “Gold Solubility in Pyrite”, realizado con los análisis de XRF puntuales de esta etapa (107 ppm) (Anexo 04, muestra AGDAZ1).

En los análisis de XRF realizados en las muestras que corresponden a esta etapa, se observa que con el aumento de oro también, existe un aumento en la cantidad de plata (Anexo 05, muestra RS5).

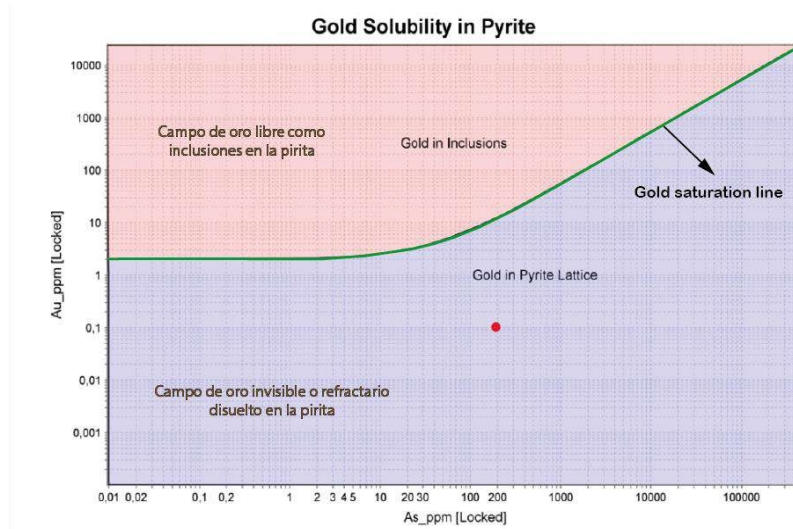


Figura 4.25. Diagrama “Gold Solubility in Pyrite” realizado en el software ioGAS, representa la asociación Au-As en la pirita.

La esfalerita pobre en hierro, al igual que la galena, se encuentran en menor cantidad y con un tamaño de hasta 2 mm, ambas con formas anhedrales. Están reemplazadas por calcopirita (Figs. 4.24 B, 4,24 C, 4.24 D, 4.24 F).

El cuarzo cristalino al igual que la calcita presentan las mismas texturas que en la etapa 2 (Figs. 4.23 A, 4.23 B, 4.23 C), por lo que se define que este tipo de cuarzo es el que se asocia a la mineralización económica. En esta etapa el cuarzo cristalino es más abundante.

4.4.4 Etapa 4

Los minerales que se asocian en esta etapa son cuarzo lechoso + calcita + fluorita + yeso + esfalerita + calcopirita + galena + pirita. Se caracteriza por una disminución significativa en la mineralización de esfalerita, galena, pirita, calcopirita y por el aumento de un cuarzo blanquecido que se define como cuarzo lechoso.

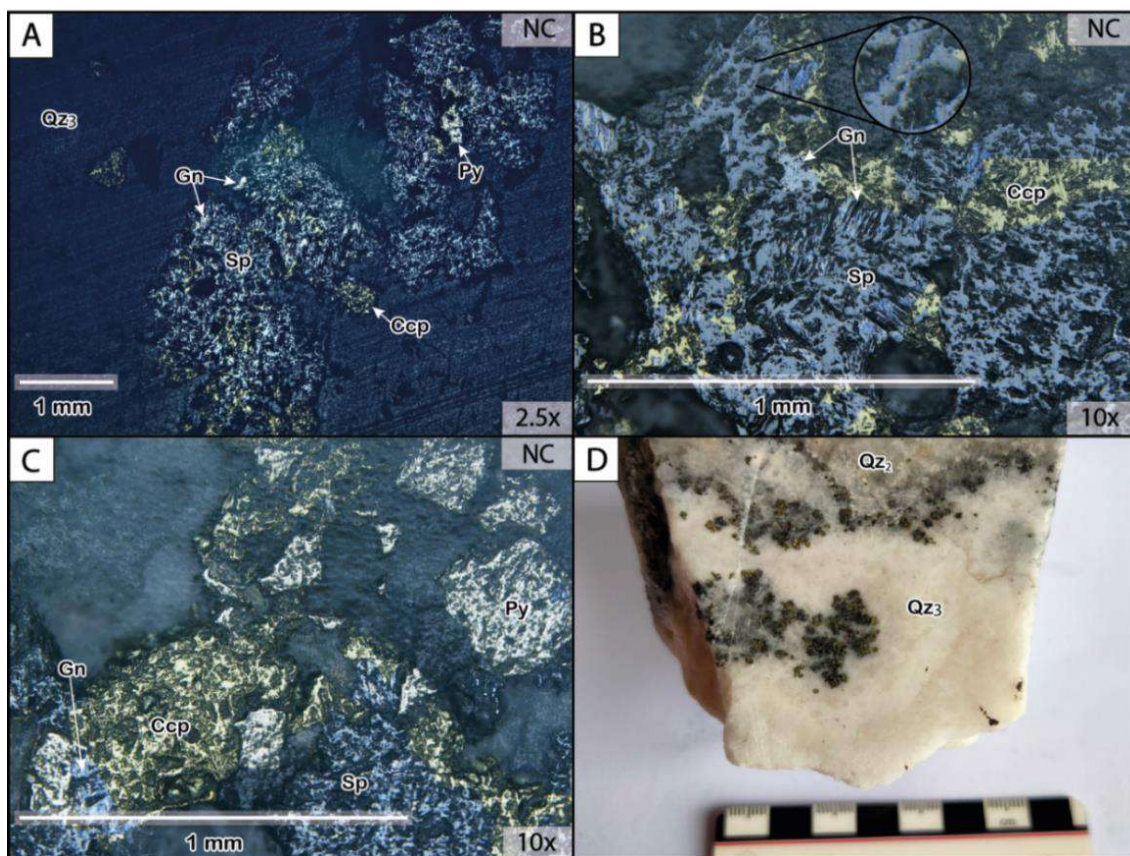


Figura 4.26. Láminas pulidas con nicoles cruzados (NC) (A-B-C) y muestra de mano (D) correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Ccp y Gn bordeando y reemplazando selectivamente a cristales anhedrales de Sp; B. Ccp reemplazando a Sp y generando la textura enfermedad de la Ccp (pequeños granos de Ccp en Sp); C. Py euhedral en intercrecimiento con Ccp y como inclusiones en el Qz3; D. Sp, Ccp, Gn y Py bordeando al Qz3 (limitando el Qz2 del Qz3). Las láminas pulidas descritas y muestra de mano corresponden a la muestra RS10. Abreviaciones minerales: Ccp: calcopirita; Gn: galena; Py: pirita; Qz2: cuarzo cristalino; Qz3: cuarzo lechoso; Sp: esfalerita (Whitney & Evans, 2010).

La esfalerita presenta un tamaño menor a 2 mm, mientras que la galena, calcopirita y pirita presentan un tamaño menor a 1 mm. La galena y calcopirita bordean y reemplazan selectivamente a los cristales anhedral de esfalerita (Figs. 4.26 A, 4.26 B, 4.26 C). La calcopirita genera la textura enfermedad de la calcopirita en la esfalerita debido al reemplazamiento (Fig. 4.26 B). La pirita presenta una forma euhedral a subhedral intercrecida con la calcopirita y como inclusiones en el cuarzo lechoso (Fig. 4.26 C). Estos sulfuros (esfalerita, galena, calcopirita, pirita) se encuentran diseminados y en los bordes del cuarzo lechoso, limitando el cuarzo cristalino del cuarzo lechoso (Figs. 4.26 D, 4.27 A). También, se observa parches donde estos sulfuros de menor tamaño bordean núcleos de cuarzo cristalino (Figs. 4.26 D, 4.28 A).

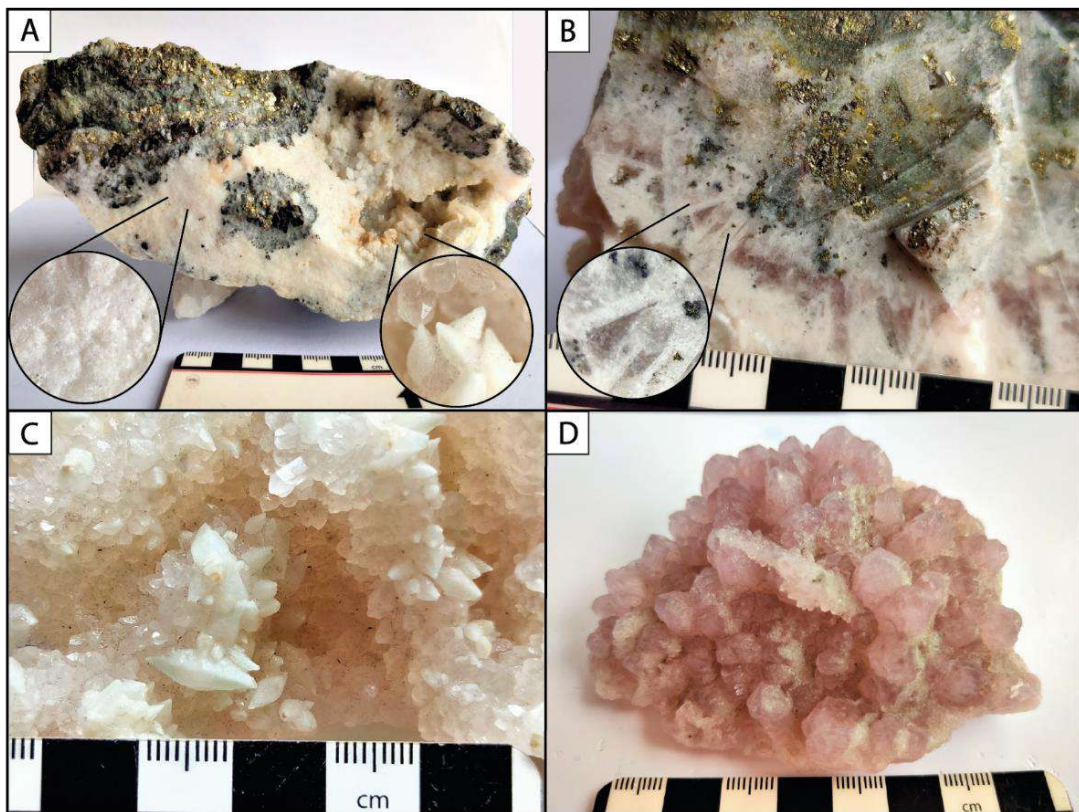


Figura 4.27. Muestras de mano correspondientes a las texturas de los minerales de ganga en la zona de estudio. A. Qz₃ con textura sacaroidal y textura peine intercrecida con Cal euhedral; B. Textura en enrejado reemplazada por Qz amatista; C. Cal bipiramidal intercrecida con Qz tipo peine; D. Qz amatista con textura peine. Abreviaciones minerales: Cal: calcita; Qz₃: cuarzo lechoso (Whitney & Evans, 2010).

El cuarzo que define esta etapa es un cuarzo lechoso (color blanco) subhedral y de grano fino, que presenta una textura primaria tipo peine desarrollada en espacios abiertos (Figs. 4.27 A, 4.27 C). También, presenta texturas de reemplazamiento en enrejado que es

producto de sustitución de la calcita, en esta etapa la calcita es reemplazada por cuarzo amatista (Fig. 4.27 B) y la textura sacaroidal (Fig. 4.27 A). Además, la calcita cristaliza de forma bipiramidal intercrecida con el cuarzo tipo peine (Figs. 4.27 A, 4.27 C). El cuarzo amatista también desarrolla una textura tipo peine, presenta cristales euhedrales (Fig. 4.27 D).

El cuarzo lechoso corta los eventos anteriores generando una brechificación, se observa que engloba fragmentos de las etapas 2 y 3 (Fig. 4.28 A, 4.28 D).

La fluorita cristaliza en espacios abiertos en el cuarzo con textura tipo peine, donde se observa una cristalización euhedral (Fig. 4.28 B). También, exhibe un intercrecimiento con el yeso (Fig. 4.28 B). Además, el yeso se encuentra en pequeñas vetillas que cortan a todas las etapas anteriores (Fig. 4.28 C).

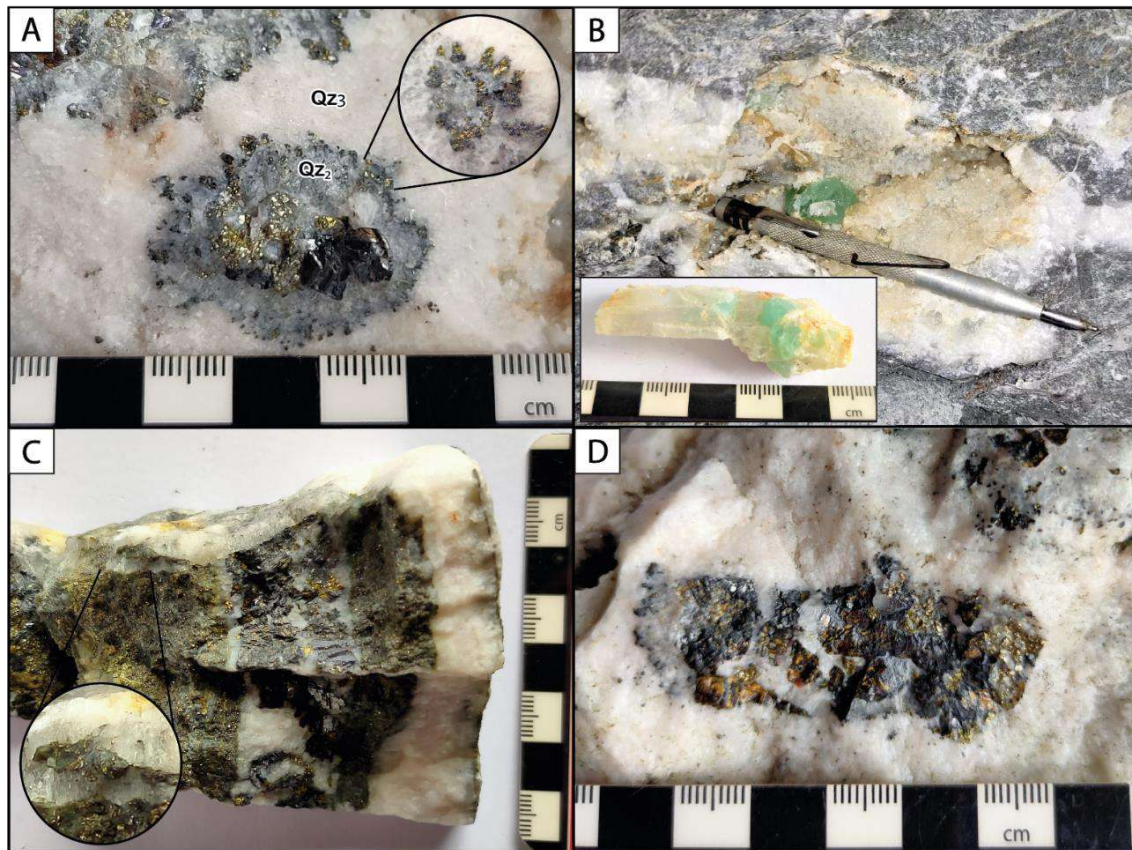


Figura 4.28. Muestras de mano correspondientes a las texturas de los minerales de ganga y mineralización en la zona de estudio. A. Sulfuros bordeando núcleo de Qz₂ y mineralización de los eventos 2 y 3; B. Fl intercrecida con Gp; C. Gp fibroso cortando eventos anteriores; D. Qz₃ con fragmentos de mineralización de eventos 2 y 3. Abreviaciones minerales: Fl: fluorita; Gp: yeso; Qz₂: cuarzo cristalino; Qz₃: cuarzo lechoso (Whitney & Evans, 2010).

4.4.5 Etapa 5

Los minerales que se asocian en esta etapa son: covelina + calcosina + malaquita + azurita. Esta etapa corresponde a la zona de oxidación y a la zona de enriquecimiento secundario.

La covelina y calcosina se forman en la zona de enriquecimiento secundario. La covelina presenta cristales anhedrales de color azul oscuro (Fig. 4.29 C). Mientras que la calcosina presenta un color negro (Fig. 4.29 D). Ambas se encuentran reemplazando a la calcopirita y pirita (Figs. 4.29 C, 4.29 D).

La malaquita y azurita se forman en la zona de oxidación. La malaquita presenta una coloración verde terrosa, mientras que la azurita presenta un color azul intenso y se encuentra intercreciendo con la malaquita (Figs. 4.29 A, 4.29 B).

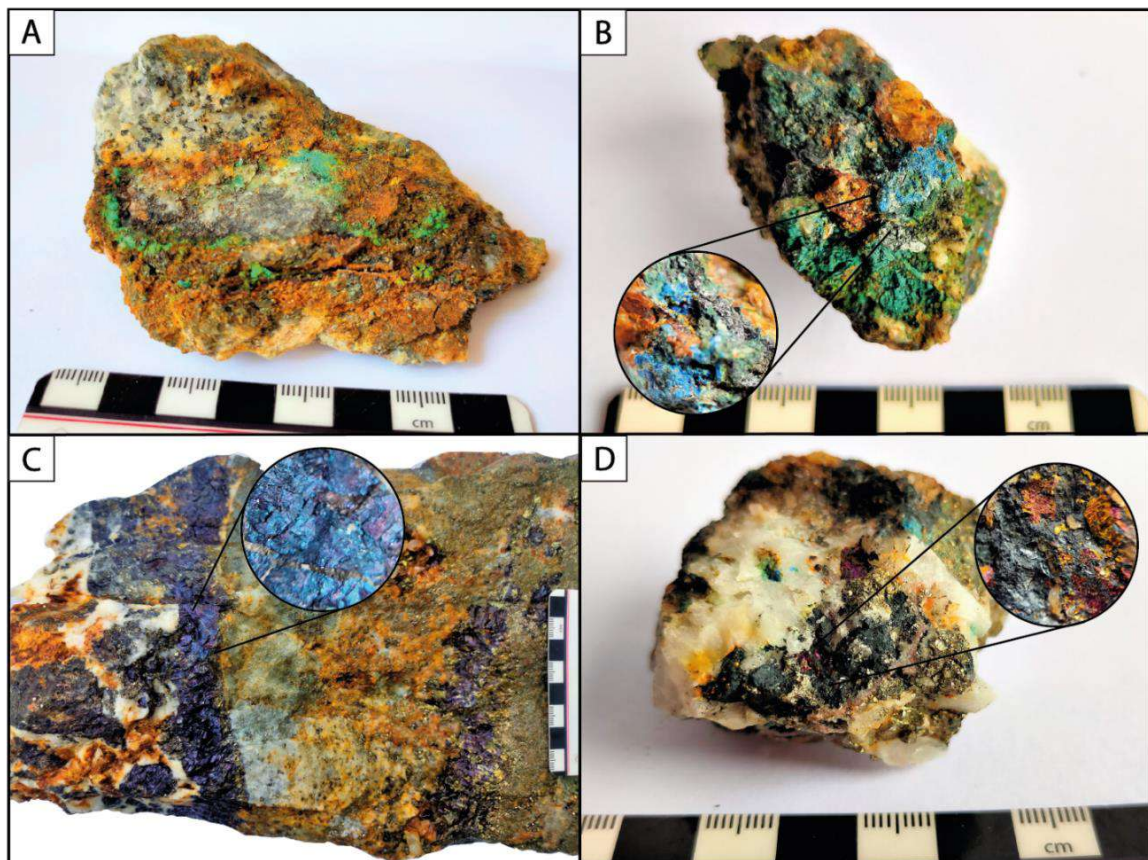


Figura 4.29. Muestras de mano correspondientes a la mineralización en la zona de estudio. A. Mlc terrosa; B. Az en intercrecimiento con Mlc; C. Cv reemplazando a Ccp y Py; D. Cct reemplazando a Ccp y Py. Abreviaciones minerales: Az: azurita; Cct: calcosina; Ccp: calcopirita; Cv: covelina; Mlc: malaquita; Py: pirita (Whitney & Evans, 2010).

El estudio mineralógico realizado en el depósito vetiforme de Zaruma-Portovelo da como resultado una secuencia paragenética de cinco etapas. Las etapas de interés económico se caracterizan por una asociación principalmente de esfalerita, galena rica en Ag, calcopirita y pirita con inclusiones de Au. Los minerales de ganga predominantes son cuarzo y carbonatos. También, se observó en muestras de mano sulfuros supergénicos y carbonatos, que corresponden a la etapa de enriquecimiento secundario. En la figura 4.21 se encuentra el resumen de las etapas paragenéticas propuestas.

En el Anexo 06 se describen en detalle las características mineralógicas de las láminas pulidas y muestra de mano de las vetas de estudio.

Adicional, se analizó los valores de Au, Ag y Cu mediante ensayos de Absorción Atómica (Anexo 07) y se determinó que los valores más rentables se encuentran en la veta Jorupe – Tres Reyes.

5 Discusión

5.1 Caracterización estructural de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche

Para explicar la orientación de los enjambres de vetas se puede aducir que la dilatación se obtiene mediante un esfuerzo mínimo sigma (σ_3) de dirección N-NE, mientras que el esfuerzo principal máximo sigma (σ_1) de dirección NO-SE pudo desarrollar fallas de direcciones NNO-SSE o Cizallas Riedel R sintéticas, fracturas extensionales N-S y NO-SE y un juego de estructuras menores de rumbo NNE-SSO o Cizallas Riedel antitéticas R'.

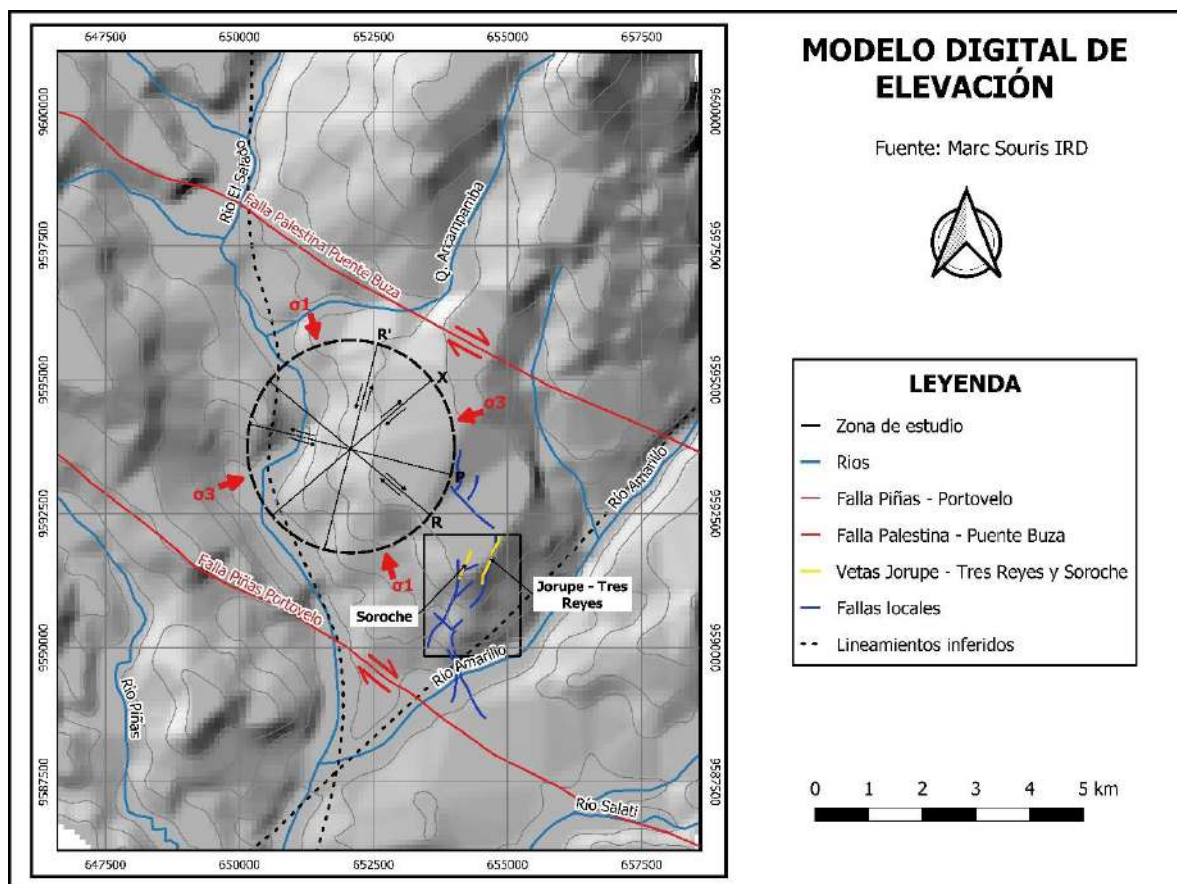


Figura 5.1. Modelo de Riedel. Donde σ_1 = esfuerzo máximo; σ_3 = esfuerzo mínimo; P= cizalla sintética secundaria; R= cizalla sintética; X=fractura de cizallamiento; R'= cizalla antitética (Modificada de Bonilla, 2009).

De acuerdo con Anderson (1951), no existen esfuerzos paralelos a la superficie de la tierra, lo que conlleva a que uno de los tres esfuerzos principales (σ_1), (σ_2) y (σ_3) sea perpendicular a dicha superficie. La figura 5.2 A indica el esquema de esfuerzos de una

falla de desgarre o transcurrente con un ángulo de 90° , donde el esfuerzo vertical es σ_2 y los esfuerzos horizontales son σ_1 y σ_3 . En la figura 5.2 B se representa el estereograma entre la tensión (T) y compresión (P) de forma diagonal para fallas de desgarre o transcurrente.

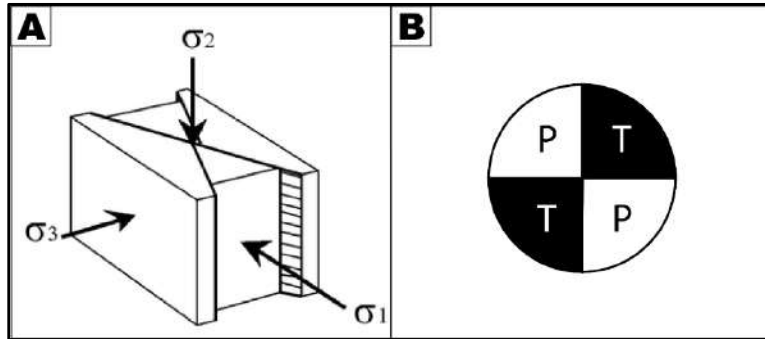


Figura 5.2. Representación de esfuerzos y deformaciones. A. Relación entre la orientación del estrés principal y regímenes tectónicos (Modificado de Anderson, 1951); B. Diedros rectos que indican los campos de compresión (P) y tensión (T) para una falla transcurrente (Modificado de Allmendinger, 1986).

Para el caso de este estudio, los indicadores cinemáticos muestran campos de compresión (P) con dirección NO-SE marcando el eje principal como σ_1 y campos de tensión (T) con dirección NE-SO marcando los ejes secundarios como σ_2 y σ_3 (Figura 5.3).

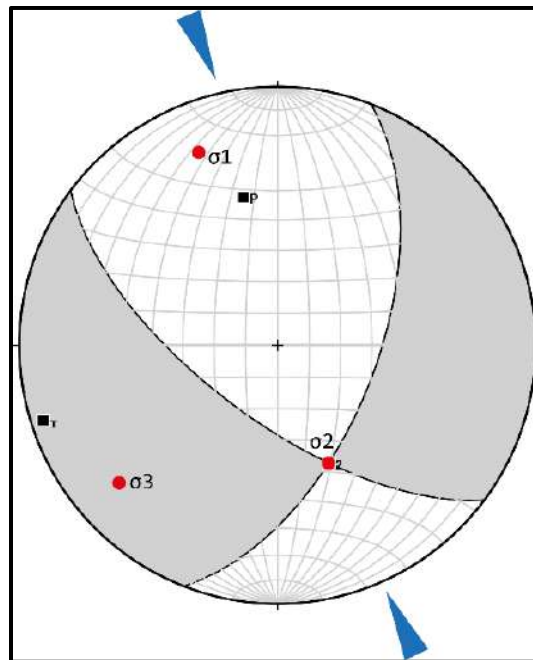


Figura 5.3. Diedros rectos de las fallas, las flechas azules representan el esfuerzo principal σ_1 con dirección NO-SE.

El principal control geométrico de la mineralización en las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche dentro del Distrito Minero Zaruma – Portovelo se establece como control estructural, especialmente se presentan como vetas de carácter masivo con geometría sigmoide con dirección preferencial NE-SW. Sillitoe y Hedenquist (2003), mencionan que los depósitos epitermales se originan en arcos calcolcalinos andesítico – dacíticos y se caracterizan por tener un fuerte control estructural.

Las estructuras secundarias que se generan se producen por la acción de las fallas principales; Piñas – Portovelo y Palestina – Puente Buza, influyen en los procesos de mineralización y generan las principales vías, actuando como conductos que transportan los fluidos y a la vez depositan la mineralización, generando los filones Jorupe – Tres Reyes y Soroche. Las fallas tienen un componente extensional y una deformación transtensional (Figura 5.1). Las dilataciones que se observan en las vetas de este sistema son de varios metros de potencia, decenas de metros en altura y cercanas al kilómetro en extensión.

El filón Jorupe está limitado por la falla Jorupe al Oeste y su continuación al NE con la falla Tres Reyes. Lo que caracteriza a la veta Jorupe – Tres Reyes como un solo sistema continuo. El rumbo dominante se estima NE – SW, con buzamiento subvertical al sur mientras que al norte el rumbo tiene una tendencia N – S con buzamiento promedio de 70° al E (Figura 5.1).

El filón Soroche, tiene una geometría aislada más lineal, caracterizada con un rumbo NE – SW con buzamiento más inclinado en promedio de 60° al E (Figura 5.1).

Las vetas se alojaron en fracturas previas al ascenso de fluidos mineralizantes que probablemente provienen del intrusivo porfirítico El Poglio, esto es corroborado por Spencer (2002), quien propone al intrusivo como foco térmico que permitió el ascenso de los fluidos calientes que mineralizaron las vetas del distrito.

Las fallas N-S con evidencia de la apertura provocada por esfuerzos transtensionales en sentido NW-SE, sugieren la presencia de movimientos inversos y horizontales que permitieron la formación de las discontinuidades para albergar las vetas. En contraste con la propuesta de Rhys y Lewis (2004) que mencionan que el ascenso del pórfido El Poglio generó un sistema de fracturas con rumbo N-S donde ocurrió la mineralización.

De acuerdo a Van Thournout et al. (1996) estas discontinuidades con rumbo NW-SE son las responsables del desarrollo de un amplio espacio dilatante en sentido N-S. Este

ambiente tectónico de tipo transtensivo dio lugar a “dúplex” extensionales que permitieron el ingreso de soluciones y mineralización; sin embargo, queda la duda de como al norte de este espacio dilatante, también se han formado vetas con mineralización similar a las estructuras vetiformes encontradas al sur de la Falla Palestina – Puente Buza. Bonilla en el 2009 plantea la explicación de este fenómeno, y es que las estructuras de la zona de Minas Nuevas – Muluncay al ser sinestrales, permitieron la migración de fluidos hacia el norte de la Falla Palestina – Puente Buza.

Bonilla (2009), también ha propuesto, en base a datos estructurales, el modelo de Riedel aplicado al distrito minero Zaruma – Portovelo (Fig. 5.1), en el cual se interpreta que la dilatación se consiguió con un esfuerzo mínimo (σ_3) de orientación N a NE. Por consiguiente, bajo un esfuerzo principal máximo (σ_1) de dirección NW-SE a NNW-SSE, la porción sur del distrito localizada entre la Falla Piñas-Portovelo y Falla Puente Buza-Palestina pudo desarrollar:

- a) Fallas de direcciones NNW-SSE (juntas de cizallamiento conjugadas derechas o cizallas Riedel R sintéticas).
- b) Fracturas extensionales N-S a NW-SE.
- c) Estructuras subordinadas de rumbo NNE-SSW (juntas de cizallamiento conjugadas izquierdas o cizallas Riedel antitéticas R') siguiendo un diseño geométrico en acuerdo con el modelo de Riedel en un ambiente frágil a frágil-dúctil de la corteza (McClay 1987).

5.2 Caracterización litológica y alteraciones hidrotermales en las vetas Jorupe - Tres Reyes y Soroche

En el área de estudio se identificaron cuatro tipos de litología que corresponden a andesitas, dacitas, tobas (vitrocristalinas y de cristales) y brechas volcánicas (Fig. 5.4). En este tipo de rocas se alojan las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche, de acuerdo, con lo propuesto por Billingsley (1926) y Pratt et al. (1997) estas rocas pertenecen a la Unidad Portovelo de edad Oligoceno superior – Mioceno inferior (Schütte et al., 2010). En el corte geológico realizado por Berrezueta et al. (2021) se observa que las vetas cortan parcialmente a las tres series que conforman la Unidad Portovelo (Serie Muluncay, Serie Portovelo, Serie Faique), estas series fueron definidas por Billingsley (1926).

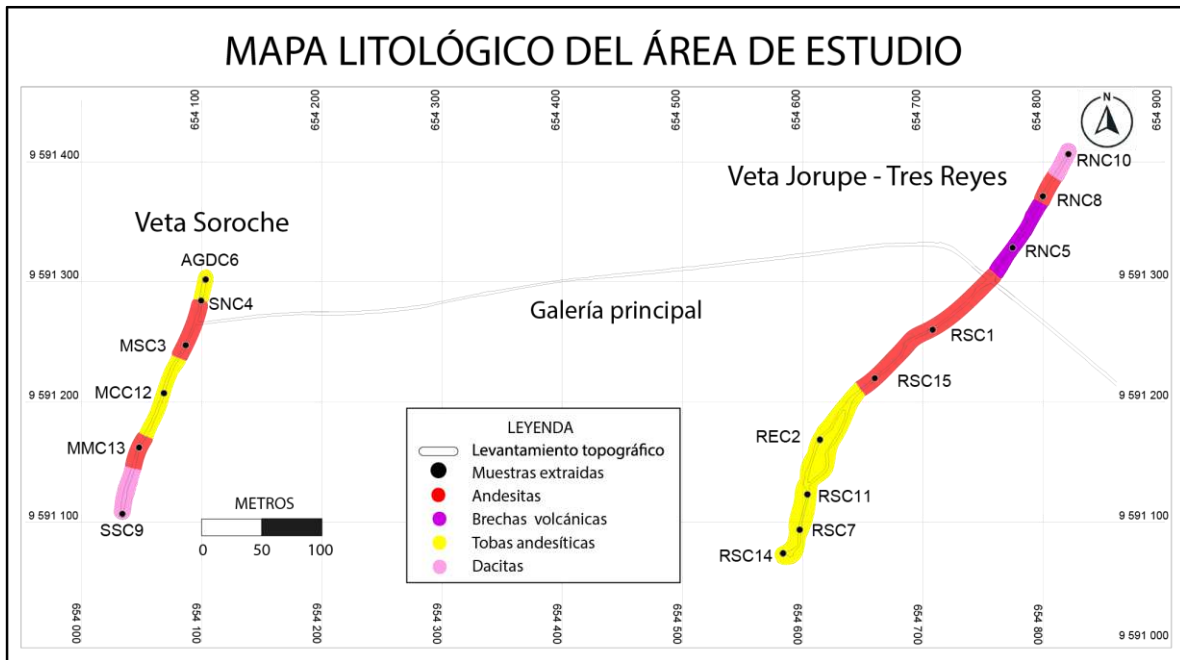


Figura 5.4. Mapa litológico del área de estudio (Vetas: Soroche y Jorupe - Tres Reyes).

Los análisis petrográficos realizados en la roca caja permitieron identificar varios minerales secundarios que reemplazan a la mineralogía primaria, estos minerales se forman como resultado de la alteración hidrotermal. El ensamble mineral que predomina consiste principalmente en clorita, epidota, calcita y en menor cantidad sericita, arcillas y piritita. Esta mineralogía define la alteración propilítica que afecta a todos los tipos de litología en el área de estudio (Fig. 5.5). La presencia de epidota indica una alteración propilítica de alta temperatura (Hedenquist et al., 2000). Pratt et al. (1997) observó que los fenocristales de augita y anfíboles (posible hornblenda) no solo se alteran a clorita, sino, que también se alteran a epidota, esto concuerda con lo observado en las láminas delgadas (Figs. 4.17 C, 4.17 D). En este estudio se identificó además que los minerales máficos están destruidos por sericita, arcillas y reemplazados por calcita (Fig. 4.18 D). Dentro de las alteraciones hidrotermales también se reconoció una alteración subpropilítica caracterizada por no tener epidota en el ensamble mineral (Figs. 4.19, 5.5) (Corbett & Leach, 1998). También, se observa una silicificación que se presenta como cuarzo microgranular que reemplaza totalmente a la matriz de la roca caja y parcialmente a fenocristales de plagioclasa (Figs. 4.20, 5.5). La precipitación de sílice se debe al rápido enfriamiento de un fluido caliente que asciende a la superficie, es decir disminución de la temperatura del fluido (Palacio & Godeas, 2008). La sílice puede precipitar en diferentes especies: 1) cuarzo a temperaturas

mayores a 200°C, 2) cuarzo criptocristalino (calcedonia) a temperaturas menores desde 150°C hasta 200°C o 3) sílice amorfa con temperaturas de 100°C hasta 150°C (Hedenquist et al., 2000).

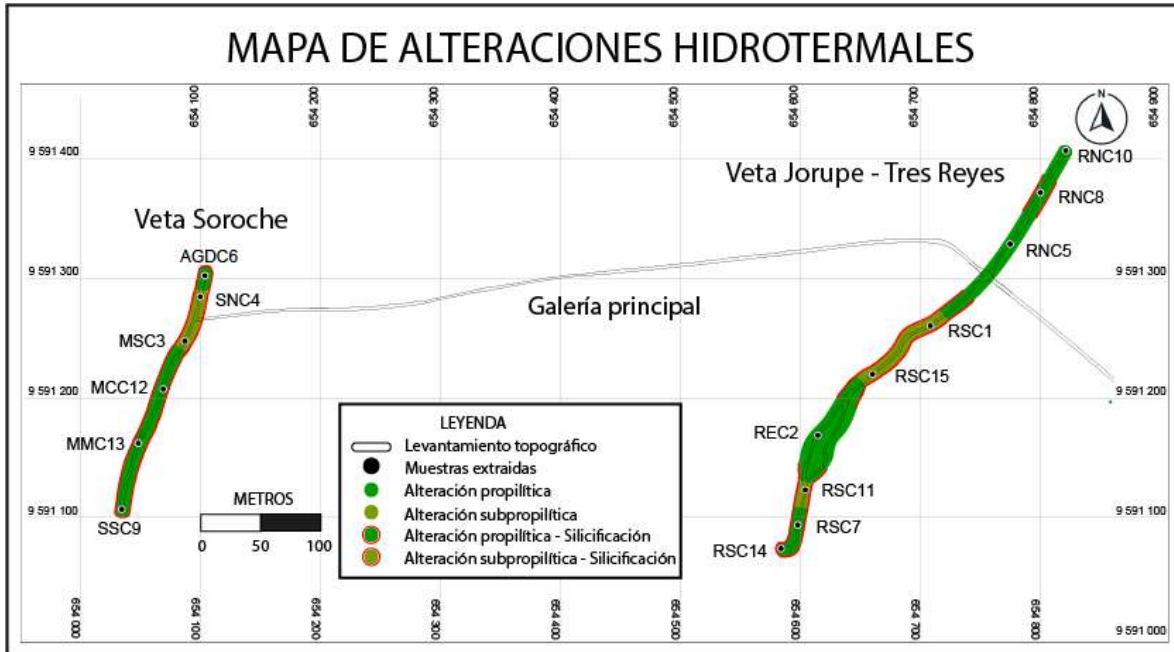


Figura 5.5. Mapa de alteraciones propilítica, subpropilítica y silicificación presentes en el área de estudio (Vetas: Soroche y Jorupe - Tres Reyes).

5.3 Caracterización de la paragénesis mineral en las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche

El estudio mineralógico realizado tanto en láminas pulidas como en muestras de mano evidenció cinco etapas que engloban la evolución mineral y secuencia paragenética de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche. La primera etapa corresponde a la alteración hidrotermal de la roca caja (propilítica, subpropilítica y silicificación), el ensamble mineral de la alteración es similar al propuesto por Bonilla (2009), sin embargo, en este estudio no se evidenció adularia y no se pudo discriminar los diferentes tipos de arcillas. La etapa dos y tres representan una mineralización económica, se caracterizan por un enriquecimiento de minerales de mena principalmente de esfalerita, galena, calcopirita, pirita y oro en traza (Fig. 5.6), esta asociación mineral está acorde a lo propuesto por Spencer et al. (2002) en el mapa de la zonificación de minerales de mena del sistema Portovelo y a la asociación paragenética de Bonilla (2009) indicada para los filones Jorupe y Soroche. Billingsley (1926)

menciona que el conjunto mineral (mena) de las vetas Tamayo, Soroche, Cantabria y Jorupe está definido por esfalerita, pirita, galena y calcopirita, con predominio de la esfalerita, además, indica que estos sulfuros tienen una abundancia del 20 al 40 por ciento en las vetas de cuarzo, esto es concordante con el ensamble de minerales de mena propuesto en este estudio. El cuarzo en estas etapas es cristalino y tiene texturas primarias como crostiforme, coliforme, en peine y zonal; y la textura de reemplazamiento en enrejado, estas texturas definen a las dos etapas y por lo tanto se asocian a la mineralización económica (Fig. 4.23). Este tipo de texturas se correlacionan a lo indicado por Bonilla (2009), sin embargo, en esta investigación se presencié también una textura zonal. La textura de reemplazamiento en enrejado, se refiere a la calcita hojosa o laminar que es reemplazada por un agregado de cuarzo, esta textura de enrejado de la calcita indica un proceso de ebullición (Hedenquist et al., 2000). El oro presente en estas etapas se muestra como microgranos anhedrales incluidos en los cristales de pirita (Figs. 4.24 E, 4.24 F), este tipo de relación del oro con la pirita se observa en Bonilla (2009), sin embargo, en este estudio gracias a los análisis de XRF puntuales, se asumió que el oro se encuentra en la estructura cristalina de la pirita como “oro invisible” (Chen & Zhao, 2014) (Fig. 4.25), al igual que la plata se encuentra en solución sólida con galena (Anexo 04, muestra RS7GA1). En la etapa cuatro la concentración de sulfuros es menor, pero de igual manera presenta la misma asociación de los minerales de mena que en las etapas anteriores (esfalerita, galena, calcopirita, pirita). El cuarzo que caracteriza esta etapa es lechoso de color blanquecino, este cuarzo genera una brechificación en las etapas anteriores, este tipo de brechamiento hidrotermal de las vetas es típico de los ambientes epitermales (Hedenquist et al., 2000). La última etapa (cinco) corresponde a un enriquecimiento supergénico evidenciada por calcosina y covelina; así como también, carbonatos presentes en la zona de oxidación como malaquita, y azurita. Estos carbonatos se han formado a partir de diferentes procesos supérgenos como oxidación y lixiviación, que dieron paso a la formación de una zona de oxidación, ubicada sobre el nivel freático (ambiente oxidante) (Jović, 1998). En esta zona de oxidación las soluciones ricas en cobre (producto de la lixiviación) reaccionan con las rocas del entorno y forman malaquita y azurita (Figs. 4.29 A, 4.29 B). Los sulfuros supérgenos covelina y calcosina se forman en un ambiente reductor (bajo el nivel freático), como resultado de la interacción de soluciones ricas en cobre que pasan el nivel freático e interactúan con los sulfuros hipógenos (Jović, 1998). Estos sulfuros representan la zona de enriquecimiento secundario (Figs. Figs. 4.29 C, 4.29 D). La

malaquita, azurita, covelina y calcosina han sido reportados en diferentes estudios del distrito minero Zaruma - Portovelo como Van Thournout et al. (1996), PRODEMINCA (2000), Spencer et al. (2002) y Bonilla (2009).

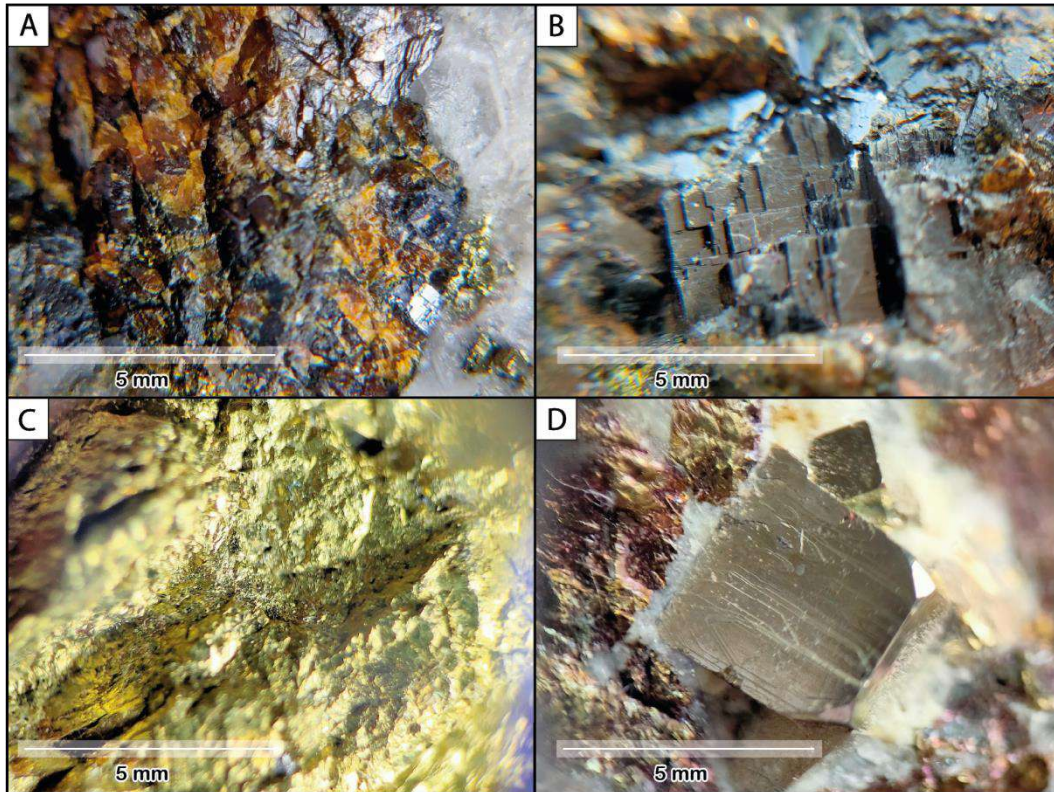


Figura 5.6. Imágenes de sulfuros dominantes en la zona de estudio (Zn, Pb, Cu, Fe). A. esfalerita color miel; B. galena con exfoliación cúbica; C. calcopirita masiva; D. Pirita cúbica.

5.4 Características de depósitos epitermales de sulfuración intermedia

Los depósitos epitermales de sulfuración intermedia se componen de esfalerita pobre en hierro, galena, calcopirita, pirita y tetraedrita - tenantita en menor cantidad y como metales principales contiene Au, Ag, Zn, Pb y Cu (Sillitoe y Hedenquist, 2003). La mayor salinidad en los fluidos de sulfuración intermedia (5 a 20 % en peso de NaCl equivalente) es el responsable de las altas concentraciones de Ag y metales base (Sillitoe y Hedenquist, 2003). Los resultados obtenidos mediante los análisis de Fluorescencia de rayos X y Absorción Atómica, nos permitieron comprobar el alto contenido de los metales principales que caracterizan a un epitermal de sulfuración intermedia (Anexo 05, Anexo 07). Los minerales de ganga en este tipo de depósitos son principalmente cuarzo, carbonatos de

manganeso, comúnmente rodocrosita y calcita manganosa. De manera local pueden presentar barita, fluorita, dolomita-ankerita, moscovita, albita y minerales silicatados como rodonita y helvita (Wang et al., 2019). La pirita, esfalerita y minerales de ganga como el cuarzo, calcita y fluorita tienden a formar cristales euhedrales según Segal y Crosta (2011), esto se observa en las figuras 4.23, 4.27 y 4.28. El ensamble mineralógico (mena) evidenciado en este estudio es similar al propuesto por Sillitoe y Hedenquist (2003). En esta investigación se encontró rodocrosita, esto fue corroborado con el análisis de XRF puntual realizado en la muestra de mano (anexo 04, muestra SSC1R1). La rodocrosita se encuentra cerca de las vetas de estudio en el mismo sistema hidrotermal y la presencia nos permitió caracterizar a este depósito como un epitermal de sulfuración intermedia. También, se observó un nuevo mineral de ganga reportado por primera vez en las vetas epitermales de Zaruma – Portovelo, que podría ser kutnohorita, encontrada al inicio sur de la veta Soroche. La kutnohorita es un carbonato de calcio y manganeso con magnesio y hierro ($\text{Ca}(\text{Mn},\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$), tiene una dureza de 3,5 a 4, se comprobó la dureza y reacciona al ácido clorhídrico. En la muestra de mano se presenta como un agregado de cristales aciculares en forma de abanico (Fig. 5.7). Este mineral aparece como característico en los epitermales de sulfuración intermedia según lo indicado por Camprubí (2021) en el curso virtual sobre la “clasificación de los depósitos epitermales” organizado por el SEG UNSA y también, Wang et al. (2019) menciona este mineral en la asociación de minerales de ganga de varios yacimientos de este tipo en el mundo.

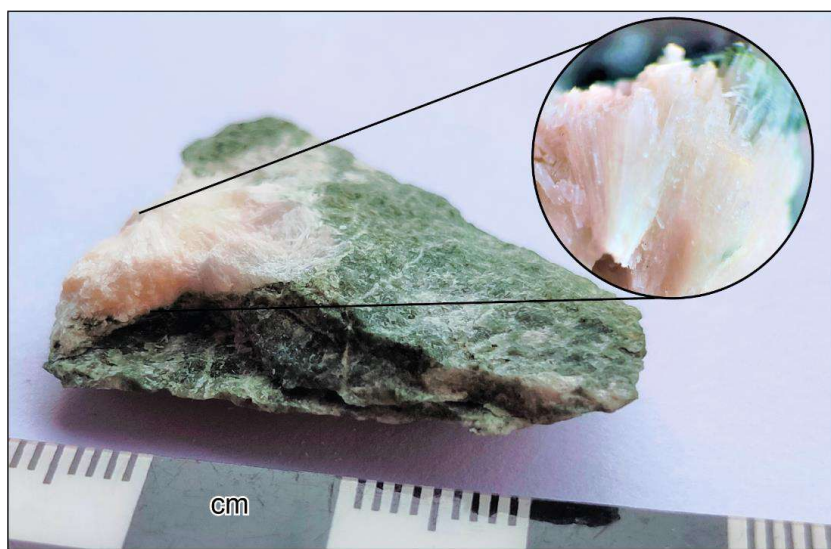


Figura 5.7. Kutnohorita como agregado de cristales aciculares de color rosado encontrado en la veta Soroche.

6 Conclusiones y Recomendaciones.

6.1 Conclusiones

- El depósito epitermal Zaruma-Portovelo se origina en un arco calcoalcalino del Paleógeno - Neógeno en el sur del Ecuador con una composición andesítica – dacítica compuesto por un fuerte control estructural que caracteriza a la mineralización.
- Los filones del sistema Jorupe – Tres Reyes y Soroche muestran orientaciones que sugieren su formación durante un sistema geo dinámicamente activo con rumbo N-S con ligeras variaciones NE-SW controlado por las fallas dextrales Piñas – Portovelo y Palestina – Puente Buza.
- Las litologías dominantes en las que encajan las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche son andesitas, dacitas, tobas andesíticas y brechas volcánicas. Estas litologías corresponden a las rocas de la Unidad Portovelo, cuya edad tiene un rango de Oligoceno superior a Mioceno inferior.
- Las rocas de este estudio presentan una alteración hidrotermal bastante desarrollada, muestran tonalidades verdosas a grises. La alteración propilítica es la más abundante y afecta a todos los tipos de rocas, se caracteriza por la presencia de clorita, epidota, calcita y en menor cantidad contiene sericita, arcillas y pirita. La alteración subpropilítica se define por no tener epidota en su ensamble mineral y afecta principalmente a las rocas andesíticas. Además, se observa silicificación en la mayoría de las muestras, la cual destruye principalmente a la matriz de la roca.
- La secuencia paragenética de las vetas Jorupe – Tres Reyes y Soroche comprende cinco etapas. Estas etapas se diferencian por los sulfuros dominantes y las texturas de los granos del cuarzo. La primera etapa se relaciona con la propilitización de la roca caja y la presencia de cuarzo microgranular en la matriz (silicificación). La etapa dos se caracteriza por un enriquecimiento de los minerales de mena, principalmente de esfalerita y galena, en menor cantidad de calcopirita y pirita. El cuarzo de esta etapa es cristalino y presenta texturas primarias (coloforme – crostiforme, peine y zonal) y texturas de reemplazamiento (en enrejado). La etapa tres se define por un enriquecimiento de los minerales de mena, calcopirita, pirita con inclusiones de oro y tennantita – tetraedrita, la esfalerita y galena están presentes en menor cantidad. La etapa cuatro se caracteriza por una disminución de sulfuros y por presentar un

cuarzo lechoso. El cuarzo presenta una textura primaria tipo peine y una textura de reemplazamiento en enrejado y sacaroidal. La etapa cinco corresponde a la zona de enriquecimiento supergénico y a la zona de oxidación, definida por la presencia de covelina, calcosina, malaquita y azurita.

- La mineralización se caracteriza por la abundancia de esfalerita pobre en hierro, galena, calcopirita y pirita, en menor cantidad contiene tennantita – tetraedrita, oro y plata. Los minerales de ganga encontrados son cuarzo, calcita, fluorita, rodocrosita y posible kutnohorita. La asociación mineral presente en este estudio concuerda con trabajos previos para clasificar al depósito mineral como epitermal de sulfuración intermedia.

6.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis a detalle de las Fallas Palestina – Puente Buza y Piñas - Portovelo, ya que tienen una incidencia importante en el control de la mineralización del distrito minero Zaruma – Portovelo, ya que han desplazado algunas vetas al norte y sur del sistema dentro del distrito minero.
- Realizar un estudio para caracterizar la fuente de la mineralización del depósito epitermal (geoquímica de isótopos estables, estudios de inclusiones fluidas), se define al pórfido El Poglio como la fuente del sistema, aunque actualmente no se han encontrado indicios de mineralización.
- Realizar análisis con el uso de espectrometría SWIR para identificar los diferentes tipos de arcillas y poder caracterizar de mejor manera los tipos de alteraciones hidrotermales.
- Realizar análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM) para comprobar en que sitio de la estructura cristalina de la pirita se podría encontrar el Au.

BIBLIOGRAFÍA

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D., & Chomiak, B. (2001). Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 8, 1-32.2
- Allmendinger, R. W. (1986). Tectonic development, southeastern border of the Puna Plateau, northwestern Argentine Andes. *Geological Society of America Bulletin*, 97(9), 1070-1082.
- Anderson, E. M. (1951). *The Dynamics of Faulting, Etc. (Revised.)*. Edinburgh, London.
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204. Aspen
- Aspden, J. A., Bonilla, W. and Duque, P. (1995). The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposit. *Overseas Geology and Mineral Resources*, No. 67, 63pp.
- Aspden, J. A., Litherland, M., Duque, P., Salazar, E., Bermudez, R. and Vitteri, F. (1987). Un nuevo cinturón ofiolítico en la Cordillera Real, Ecuador, y su posible significación regional. *Politécnica (Quito). Monografía de Geología*, Vol. 12, 81-94,
- Baldock, J. W. (1982). *Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador. Dirección General de Geología y Minas, Quito, 70.*
- Bates, R. L., & Jackson, J. A. (1980). *Glossary of geology: falls church*. Virginia, American Geological Institute, 167.
- Berrezueta, E., Ordóñez-Casado, B., Espinoza-Santos, C., Loayza-Ramírez, J., Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., & Bonilla, W. (2021). Caracterización mineralógica y petrográfica de las vetas Vizcaya, Octubrina y Gabi del yacimiento aurífero epitermal Zaruma-Portovelo, Ecuador. *Boletín Geológico Min*, 132, 421-437.
- Billingsley, P. (1926). *Geology of the Zaruma gold district of Ecuador: American Institute of Mining and Metallurgical Engineering*, V. 74, p. 255-275.
- Bonilla, W. (2009). *Metagenia del distrito minero Zaruma-Portovelo, República del Ecuador, Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 218 págs.*

- Bons, P. D. (2000). The formation of veins and their microstructures. *Journal of the Virtual Explorer*, 2, 12.
- Camprubí, A., Ferrari, L., Cosca, M. A., Cardellach, E., & Canals, À. (2003). Ages of epithermal deposits in Mexico: regional significance and links with the evolution of Tertiary volcanism. *Economic Geology*, 98(5), 1029-1037.
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 27-81
- Camprubí, A. (2021). Orígenes y evolución de los fluidos y diversidad tipológica en depósitos epitermales. Camprubí, A. (Ed.), *Clasificación de los depósitos epitermales*. SEG STUDENT CHAPTER UNSA.
- Canet, C., & Camprubí, A. (2006). *Yacimientos minerales: los tesoros de la tierra*: Fondo de Cultura Económica, México DF, México, 232 p.
- Chauvet, A. (2019). Structural control of ore deposits: The role of pre-existing structures on the formation of mineralized vein systems. *Minerals*, 9(1), 56.
- Chen, J., Li, Y., & Zhao, C. (2014). First principles study of the occurrence of gold in pyrite. *Computational materials science*, 88, 1-6.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization (Vol. 6, pp. 69-82). Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists.
- Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1994). *Ore microscopy and ore petrography*. John Wiley & Sons Ltd.
- Dashwood, M. F., & Abbotts, I. L. (1990). Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 50(1), 89-117.
- Dong, G., Morrison, G., & Jaireth, S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90(6), 1841-1856.
- Dunkley, P. N., and Gaibor, A. (1997). Mapa geológico de la cordillera Occidental del Ecuador entre 2°–3° S. CODIGEM-Min. Energ. Min.- BGS publications, escala 1:200,000.
- Echeveste, H. J. (2018). *Manual de levantamiento geológico*. Series: Libros de Cátedra.

- Erazo, M. (1957). Apuntes sobre la geología y estructura del Valle de Cuenca. *Anuales de la Universidad de Cuenca*, Vol. 13, 157-197.
- Feininger, T. (1978). Geologic map of the western part of the El Oro Province (1:50,000), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Fossen, H. (2010). Structural geology. Cambridge university press.
- García, F. (2003). Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría. D.F., México: Editorial Pax México.
- George, S. W. M. (2019). Basin evolution, deformation, and magmatism during variable tectonic regimes in the region linking the central and northern Andes (Doctoral dissertation).
- Girty, G.H. (2009). Perilous Earth: Understanding Processes behind Natural Disasters. Chapter 7, Montezuma Publishing.
- Grundmann, G. and Scholz, H. (2015). Preparation methods in Mineralogy & Geology: The Preparation of thin sections, polished sections, acetate foil prints, preparation for elutriation analysis, and staining tests for the optical and electron microscopy.
- Haffty, J., Riley, L. B., & Goss, W. D. (1977). A Manual on Fire Assaying and Determination of the Noble Metals in Geological Materials: Detailed Description of Techniques and Methods of Analysis (Vol. 1445). Department of the Interior, Geological Survey.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for epithermal gold deposits.
- Hedenquist, J. W., Simmons, S. F., Giggenbach, W. F., & Eldridge, C. S. (1993). White Island, New Zealand, volcanic-hydrothermal system represents the geochemical environment of high-sulfidation Cu and Au ore deposition. *Geology*, 21(8), 731-734.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A., & White, N. C. (1996). Hydrothermal system in volcanic arcs, origin of the exploration for epithermal gold deposits: a short course at Mineral Resource Department. Geological Survey of Japan. In Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba 305, Japan.
- Helg, U. (1997). Geologie des Intermontanen Beckens von Sta. Isabel: (Miozän, Südecuador): Beckennordteil. Master's Thesis, Institute of Geology ETH-Zürich, 128 pp.

- Henley, R. W., & Ellis, A. J. (1983). Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth-science reviews*, 19(1), 1-50.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., ... & Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1-2), 75-124.
- Hungerbühler, D. (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Heller, F., & Ford, M. (1995). An integrated study of fill and deformation in the Andean intermontane basin of Nabón (Late Miocene), southern Ecuador. *Sedimentary Geology*, 96(3-4), 257-279.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO. (2020). *“Análisis químico para la determinación de oro” por el método de ensayo al fuego*. Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético.
- Jović, V. (1998). Supergene. In: *Geochemistry*. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht.
- Lagat, J. (2009). Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from Olkaria domes geothermal field, Kenya. Dipresentasikan dalam short course IV on exploration for geothermal resources.
- Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M. G., Egüez, A., Dugas, F., & Vivier, G. (1992). New K - Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(3-4), 309-320.
- Litherland, M. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *Overseas Mem Br Geol Surv*, 11, 1-147.
- Lonsdale, P. (1978). Ecuadorian subduction system. *AAPG Bulletin*, 62(12), 2454-2477.
- Lonsdale, P., & Klitgord, K. D. (1978). Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin. *Geological Society of America Bulletin*, 89(7), 981-999.

- López García, J. Á. (2019). Microscopía Práctica de Minerales Opacos: minerales y texturas más comunes– sulfuros, óxidos, y metales nativos en diferentes tipos de yacimientos minerales.
- Macharé, J. (2016). Aspectos clave de la Geología Estructural para las Exploraciones. Presentado en Perú.
- MacKenzie, W. S., & Guilford, C. (2014). Atlas of the rock-forming minerals in thin section. Routledge.
- MacKenzie, W. S., Adams, A. E., & Brodie, K. H. (2017). Rocks and minerals in thin section: A colour atlas. CRC Press.
- MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H., & Guilford, C. (1982). Atlas of igneous rocks and their textures (Vol. 148). Harlow: Longman.
- Martínez Guijarro, M. (2020). Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).
- McClay, K. R., & Ellis, P. G. (1987). Geometries of extensional fault systems developed in model experiments. *Geology*, 15(4), 341-344.
- Neumann, U. (2020). Guide for the microscopical identification of ore and gangue minerals.
- Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., ... & Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287-291.
- Pacheco, J. A. (2020). Modelamiento geológico basado en trabajos históricos y actuales de la mina agua dulce, Portovelo-Ecuador (Bachelor's thesis).
- Palacio, M. D. B., & Godeas, M. C. (2008). Guía de Minerales de Alteración de la República Argentina.
- Pilger Jr, R. H. (1983). Kinematics of the South American subduction zone from global plate reconstructions. *Geodynamics of the eastern Pacific region, Caribbean and Scotia arcs*, 9, 113-125.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal processes and wall rock alteration. *Hydrothermal processes and mineral systems*, 73-164.
- Pirajno, F. (1992). Hydrothermal Processes in Oceanic Crust and Related Mineral Deposits. *Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, 450-506.

- Pracejus, B. (2015). *The ore minerals under the microscope: an optical guide*. Elsevier.
- Pratt, W. T., Duque, P., & Ponce, M. (2005). An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 399(1-4), 251-278.
- Pratt, W.T., Figueroa, J.F., and Flores, B.G. (1997). Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3°–4°S. CODIGEM-Min. Energ. Min.-BGS publications, escala 1:200,000.
- Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador: Depósitos Porfídicos y Epi-Mesotermales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real. (Vol. 4). Quito, Ecuador: UCP PRODEMINECA proyecto MEM BIRF 36-55 EC.
- Reed, F. S., & Mergner, J. L. (1953). Preparation of rock thin sections. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 38(11-12), 1184-1203.
- Rhys, D., & Lewis, P. (2004). *Gold vein deposits: Turning geology into discovery*. BC and Yukon Chamber of Mines Cordilleran Exploration Round-up.
- Rollinson, H. R., Rollinson, H., & Pease, V. (2021). *Using geochemical data: To understand geological processes*. Cambridge University Press.
- Sandoval, F. (2001). La pequeña minería en el Ecuador. IIED and WBCSD (Ed.), *Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD)*, 75, 30.
- Schütte, P., Chiaradia, M., Barra, F., Villagómez, D., & Beate, B. (2012). Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os, ⁴⁰Ar/³⁹Ar, and U-Pb geochronology. *Mineralium Deposita*, 47, 383-410.
- Schütte, P., Chiaradia, M., & Beate, B. (2010). Geodynamic controls on Tertiary arc magmatism in Ecuador: Constraints from U–Pb zircon geochronology of Oligocene–Miocene intrusions and regional age distribution trends. *Tectonophysics*, 489(1-4), 159-176.
- Segal, S. J., & Crosta, S. (2011). *Atlas de asociaciones paragenéticas de menas de la República Argentina*.
- Sillitoe, R. H., & Hedenquist, J. W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343.

- Sillitoe, R. H. (2000). Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery.
- Simmons, S. F., White, N. C., & John, D. A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits.
- Spencer, R. M., Montenegro, J. L., Gaibor, A., Perez, E. P., Mantilla, G., Viera, F., and Spencer, C. E. (2002). The Portovelo-Zaruma Mining Camp, Southwest Ecuador: Porphyry and Epithermal Environments: Society of Economic Geologists Newsletter, N° 49, p. 1, 8-14.
- Steinmann, M. (1997). The Cuenca basin of southern Ecuador: Tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution [Doctoral Thesis, ETH Zurich].
- Thompson, A. J., Thompson, J. F. H., & Dunne, K. P. E. (1996). Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. (No Title).
- Vallejo, C., Almagor, S., Romero, C., Herrera, J. L., Escobar, V., Spikings, R. A., ... & Vermeesch, P. (2020). Sedimentology, provenance and radiometric dating of the Silante Formation: Implications for the Cenozoic evolution of the Western Andes of Ecuador. *Minerals*, 10(10), 929.
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. In *Andean Tectonics* (pp. 209-236). Elsevier.
- Vallejo, C. (2007). Evolution of the western cordillera in the Andes of Ecuador (late Cretaceous-Paleogene). Unpublished PhD Thesis, ETHZ, Zürich, Switzerland.
- Van Thournout, F., Salemink, J., Valenzuela, G., Merlyn, M., Boven, A., & Muechez, P. (1996). Portovelo: A volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America. *Mineralium Deposita*, 31, 269-276.
- Vikentyev, I., Banda, R., Tsepina, A., Prokofiev, V., & Vikentyeva, O. (2005). Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma gold-sulphide vein deposit, Ecuador. *Geochemistry, mineralogy and petrology*, 43, 148-154.
- Wang, L., Qin, K. Z., Song, G. X., & Li, G. M. (2019). A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107, 434-456.
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1), 185-187.

ANEXOS

Anexo 01.

Registro de datos estructurales obtenidos en las galerías Jorupe – Tres Reyes y Soroche interior mina para análisis estructurales.

PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA	PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA
P001	Veta	145	56	50	Jorupe - Tres Reyes	E016	Veta	115	80	73	Jorupe - Tres Reyes
P002	Veta	144	53	70	Jorupe - Tres Reyes	E017	Veta	115	80	55	Jorupe - Tres Reyes
P003	Veta	131	44	50	Jorupe - Tres Reyes	J001	Veta	125	38	80	Jorupe - Tres Reyes
P004	Veta	132	54	51	Jorupe - Tres Reyes	J002	Veta	120	50	48	Jorupe - Tres Reyes
P005	Veta	140	45	52	Jorupe - Tres Reyes	J003	Veta	108	45	42	Jorupe - Tres Reyes
P006	Veta	135	44	45	Jorupe - Tres Reyes	J004	Veta	121	40	42	Jorupe - Tres Reyes
P007	Veta	145	49	125	Jorupe - Tres Reyes	J005	Veta	124	38	64	Jorupe - Tres Reyes
P008	Veta	138	55	119	Jorupe - Tres Reyes	J006	Veta	120	61	46	Jorupe - Tres Reyes
P009	Veta	136	48	98	Jorupe - Tres Reyes	J007	Veta	125	43	57	Jorupe - Tres Reyes
P010	Veta	140	57	98	Jorupe - Tres Reyes	J008	Veta	120	45	55	Jorupe - Tres Reyes
P011	Veta	145	54	48	Jorupe - Tres Reyes	J009	Veta	105	75	30	Jorupe - Tres Reyes
P012	Veta	151	54	66	Jorupe - Tres Reyes	J010	Veta	100	76	28	Jorupe - Tres Reyes
P013	Veta	153	49	94	Jorupe - Tres Reyes	J011	Veta	118	78	43	Jorupe - Tres Reyes
P014	Veta	151	40	120	Jorupe - Tres Reyes	J012	Veta	125	40	20	Jorupe - Tres Reyes
P015	Veta	145	56	110	Jorupe - Tres Reyes	J013	Veta	150	35	25	Jorupe - Tres Reyes
P016	Veta	145	56	105	Jorupe - Tres Reyes	J014	Veta	130	55	36	Jorupe - Tres Reyes
P017	Veta	153	65	80	Jorupe - Tres Reyes	J015	Veta	144	51	25	Jorupe - Tres Reyes
P018	Veta	148	80	35	Jorupe - Tres Reyes	J016	Veta	135	60	12	Jorupe - Tres Reyes
P019	Veta	130	61	30	Jorupe - Tres Reyes	J017	Veta	135	60	20	Jorupe - Tres Reyes
P020	Veta	145	63	60	Jorupe - Tres Reyes	J018	Veta	135	55	38	Jorupe - Tres Reyes
P021	Veta	150	70	90	Jorupe - Tres Reyes	J019	Veta	135	60	35	Jorupe - Tres Reyes
P022	Veta	140	60	54	Jorupe - Tres Reyes	J020	Veta	140	68	27	Jorupe - Tres Reyes
P023	Veta	140	55	36	Jorupe - Tres Reyes	J021	Veta	142	65	30	Jorupe - Tres Reyes
P024	Veta	142	54	60	Jorupe - Tres Reyes	J022	Veta	151	65	30	Jorupe - Tres Reyes
P025	Veta	140	48	25	Jorupe - Tres Reyes	J023	Veta	145	65	30	Jorupe - Tres Reyes
P026	Veta	147	50	57	Jorupe - Tres Reyes	J024	Veta	151	62	28	Jorupe - Tres Reyes
P027	Veta	145	49	49	Jorupe - Tres Reyes	J025	Veta	145	63	30	Jorupe - Tres Reyes
P028	Veta	135	42	28	Jorupe - Tres Reyes	J026	Veta	142	62	25	Jorupe - Tres Reyes
P029	Veta	145	57	62	Jorupe - Tres Reyes	J027	Veta	140	65	28	Jorupe - Tres Reyes
P030	Veta	144	61	28	Jorupe - Tres Reyes	J028	Veta	146	62	25	Jorupe - Tres Reyes
P031	Veta	145	51	40	Jorupe - Tres Reyes	J029	Veta	150	52	31	Jorupe - Tres Reyes
P032	Veta	143	51	70	Jorupe - Tres Reyes	S001	Veta	96	77	21	Soroche
E001	Veta	110	75	45	Jorupe - Tres Reyes	S002	Veta	95	61	29	Soroche
E002	Veta	113	76	112	Jorupe - Tres Reyes	S003	Veta	87	69	20	Soroche
E003	Veta	140	69	20	Jorupe - Tres Reyes	S004	Veta	87	60	33	Soroche
E004	Veta	135	70	22	Jorupe - Tres Reyes	S005	Veta	89	58	17	Soroche
E005	Veta	135	70	20	Jorupe - Tres Reyes	S006	Veta	89	60	32	Soroche
E006	Veta	109	77	35	Jorupe - Tres Reyes	S007	Veta	85	64	27	Soroche
E007	Veta	160	87	70	Jorupe - Tres Reyes	S008	Veta	86	70	47	Soroche
E008	Veta	143	80	75	Jorupe - Tres Reyes	S009	Veta	86	70	40	Soroche
E009	Veta	125	78	55	Jorupe - Tres Reyes	S010	Veta	86	72	24	Soroche
E010	Veta	130	80	47	Jorupe - Tres Reyes	S011	Veta	86	69	60	Soroche
E011	Veta	125	76	55	Jorupe - Tres Reyes	S012	Veta	144	53	70	Soroche
E012	Veta	100	75	80	Jorupe - Tres Reyes	S013	Veta	135	44	45	Soroche
E013	Veta	120	70	95	Jorupe - Tres Reyes	S014	Veta	136	48	98	Soroche
E014	Veta	115	75	85	Jorupe - Tres Reyes	S015	Veta	140	48	25	Soroche
E015	Veta	115	80	60	Jorupe - Tres Reyes	S016	Veta	145	49	49	Soroche

PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA	PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA
S018	Veta	120	50	48	Soroche	P022	Falla	144	51		Jorupe - Tres Reyes
S019	Veta	108	45	42	Soroche	P023	Falla	283	77		Jorupe - Tres Reyes
S020	Veta	121	40	42	Soroche	P023	Falla	285	50		Jorupe - Tres Reyes
S021	Veta	125	43	57	Soroche	P024	Falla	105	60		Jorupe - Tres Reyes
S022	Veta	120	45	55	Soroche	P024	Falla	135	44		Jorupe - Tres Reyes
S023	Veta	125	40	20	Soroche	P025	Falla	145	49		Jorupe - Tres Reyes
S024	Veta	150	35	25	Soroche	P025	Falla	138	55		Jorupe - Tres Reyes
S025	Veta	130	55	36	Soroche	P026	Falla	136	48		Jorupe - Tres Reyes
S026	Veta	144	51	25	Soroche	P026	Falla	159	57		Jorupe - Tres Reyes
P001	Falla	99	50		Jorupe - Tres Reyes	P027	Falla	146	62		Jorupe - Tres Reyes
P001	Falla	101	51		Jorupe - Tres Reyes	P027	Falla	145	54		Jorupe - Tres Reyes
P002	Falla	120	42		Jorupe - Tres Reyes	P028	Falla	310	71		Jorupe - Tres Reyes
P002	Falla	150	50		Jorupe - Tres Reyes	P028	Falla	151	54		Jorupe - Tres Reyes
P003	Falla	134	60		Jorupe - Tres Reyes	P029	Falla	141	49		Jorupe - Tres Reyes
P003	Falla	135	40		Jorupe - Tres Reyes	P029	Falla	140	50		Jorupe - Tres Reyes
P004	Falla	65	47		Jorupe - Tres Reyes	P030	Falla	166	57		Jorupe - Tres Reyes
P004	Falla	68	48		Jorupe - Tres Reyes	P030	Falla	120	75		Jorupe - Tres Reyes
P005	Falla	139	64		Jorupe - Tres Reyes	P031	Falla	145	56		Jorupe - Tres Reyes
P005	Falla	122	55		Jorupe - Tres Reyes	P032	Falla	153	65		Jorupe - Tres Reyes
P006	Falla	270	79		Jorupe - Tres Reyes	P032	Falla	160	64		Jorupe - Tres Reyes
P006	Falla	110	65		Jorupe - Tres Reyes	J001	Falla	148	80		Jorupe - Tres Reyes
P007	Falla	165	78		Jorupe - Tres Reyes	J001	Falla	160	64		Jorupe - Tres Reyes
P007	Falla	148	84		Jorupe - Tres Reyes	J002	Falla	130	61		Jorupe - Tres Reyes
P008	Falla	137	75		Jorupe - Tres Reyes	J002	Falla	102	40		Jorupe - Tres Reyes
P008	Falla	140	78		Jorupe - Tres Reyes	J003	Falla	108	60		Jorupe - Tres Reyes
P009	Falla	115	80		Jorupe - Tres Reyes	J003	Falla	130	60		Jorupe - Tres Reyes
P009	Falla	100	75		Jorupe - Tres Reyes	J004	Falla	138	66		Jorupe - Tres Reyes
P010	Falla	120	70		Jorupe - Tres Reyes	J004	Falla	140	55		Jorupe - Tres Reyes
P010	Falla	105	75		Jorupe - Tres Reyes	J005	Falla	120	60		Jorupe - Tres Reyes
P011	Falla	115	80		Jorupe - Tres Reyes	J005	Falla	142	54		Jorupe - Tres Reyes
P011	Falla	102	88		Jorupe - Tres Reyes	J006	Falla	140	48		Jorupe - Tres Reyes
P012	Falla	225	29		Jorupe - Tres Reyes	J006	Falla	147	50		Jorupe - Tres Reyes
P012	Falla	252	83		Jorupe - Tres Reyes	J007	Falla	145	49		Jorupe - Tres Reyes
P013	Falla	265	60		Jorupe - Tres Reyes	J007	Falla	135	42		Jorupe - Tres Reyes
P013	Falla	125	38		Jorupe - Tres Reyes	J008	Falla	145	57		Jorupe - Tres Reyes
P014	Falla	120	50		Jorupe - Tres Reyes	J009	Falla	144	61		Jorupe - Tres Reyes
P014	Falla	117	53		Jorupe - Tres Reyes	J009	Falla	145	51		Jorupe - Tres Reyes
P015	Falla	108	45		Jorupe - Tres Reyes	J010	Falla	143	51		Jorupe - Tres Reyes
P015	Falla	121	40		Jorupe - Tres Reyes	J010	Falla	135	55		Jorupe - Tres Reyes
P016	Falla	124	38		Jorupe - Tres Reyes	J011	Falla	135	60		Jorupe - Tres Reyes
P016	Falla	120	61		Jorupe - Tres Reyes	J011	Falla	99	80		Jorupe - Tres Reyes
P017	Falla	125	43		Jorupe - Tres Reyes	J012	Falla	65	42		Jorupe - Tres Reyes
P017	Falla	120	45		Jorupe - Tres Reyes	J012	Falla	65	45		Jorupe - Tres Reyes
P018	Falla	92	75		Jorupe - Tres Reyes	J013	Falla	245	45		Jorupe - Tres Reyes
P018	Falla	100	75		Jorupe - Tres Reyes	J013	Falla	245	40		Jorupe - Tres Reyes
P019	Falla	100	76		Jorupe - Tres Reyes	J014	Falla	125	45		Jorupe - Tres Reyes
P019	Falla	118	78		Jorupe - Tres Reyes	J014	Falla	110	45		Jorupe - Tres Reyes
P020	Falla	125	40		Jorupe - Tres Reyes	J015	Falla	135	48		Jorupe - Tres Reyes
P020	Falla	312	81		Jorupe - Tres Reyes	J015	Falla	100	55		Jorupe - Tres Reyes
P021	Falla	270	87		Jorupe - Tres Reyes	J016	Falla	130	45		Jorupe - Tres Reyes
P021	Falla	140	88		Jorupe - Tres Reyes	J016	Falla	130	44		Jorupe - Tres Reyes
P022	Falla	308	70		Jorupe - Tres Reyes	J017	Falla	137	57		Jorupe - Tres Reyes

PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA	PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA
J017	Falla	130	50		Jorupe - Tres Reyes	S007	Falla	119	76		Soroche
J018	Falla	133	48		Jorupe - Tres Reyes	S008	Falla	270	86		Soroche
J018	Falla	142	57		Jorupe - Tres Reyes	S008	Falla	145	50		Soroche
J019	Falla	115	40		Jorupe - Tres Reyes	S009	Falla	139	55		Soroche
J019	Falla	118	50		Jorupe - Tres Reyes	S009	Falla	137	48		Soroche
J020	Falla	135	54		Jorupe - Tres Reyes	S010	Falla	153	54		Soroche
J020	Falla	135	39		Jorupe - Tres Reyes	S010	Falla	142	49		Soroche
J021	Falla	130	62		Jorupe - Tres Reyes	S011	Falla	143	50		Soroche
J021	Falla	121	60		Jorupe - Tres Reyes	S012	Falla	166	56		Soroche
J021	Falla	113	48		Jorupe - Tres Reyes	S013	Falla	158	63		Soroche
J021	Falla	120	54		Jorupe - Tres Reyes	S014	Falla	102	43		Soroche
J022	Falla	129	43		Jorupe - Tres Reyes	S015	Falla	130	63		Soroche
J022	Falla	130	70		Jorupe - Tres Reyes	S015	Falla	121	60		Soroche
J022	Falla	127	65		Jorupe - Tres Reyes	S016	Falla	142	54		Soroche
J023	Falla	115	60		Jorupe - Tres Reyes	S017	Falla	140	48		Soroche
J023	Falla	119	60		Jorupe - Tres Reyes	S018	Falla	148	52		Soroche
J023	Falla	122	55		Jorupe - Tres Reyes	S018	Falla	135	54		Soroche
J023	Falla	123	65		Jorupe - Tres Reyes	S019	Falla	135	68		Soroche
J024	Falla	116	61		Jorupe - Tres Reyes	S020	Falla	102	79		Soroche
J024	Falla	118	59		Jorupe - Tres Reyes	S021	Falla	65	42		Soroche
J024	Falla	107	61		Jorupe - Tres Reyes	S021	Falla	110	44		Soroche
J024	Falla	112	80		Jorupe - Tres Reyes	S022	Falla	135	44		Soroche
J025	Falla	109	60		Jorupe - Tres Reyes	S022	Falla	101	46		Soroche
J025	Falla	110	65		Jorupe - Tres Reyes	S023	Falla	137	52		Soroche
J025	Falla	119	53		Jorupe - Tres Reyes	S023	Falla	142	58		Soroche
J025	Falla	123	57		Jorupe - Tres Reyes	S024	Falla	118	50		Soroche
J025	Falla	108	60		Jorupe - Tres Reyes	S025	Falla	135	62		Soroche
J025	Falla	118	68		Jorupe - Tres Reyes	S026	Falla	113	48		Soroche
J026	Falla	115	65		Jorupe - Tres Reyes	S026	Falla	120	54		Soroche
J026	Falla	117	74		Jorupe - Tres Reyes	S027	Falla	129	43		Soroche
J026	Falla	110	66		Jorupe - Tres Reyes	S028	Falla	130	72		Soroche
J027	Falla	110	58		Jorupe - Tres Reyes	S029	Falla	116	59		Soroche
J027	Falla	105	60		Jorupe - Tres Reyes	S030	Falla	115	80		Soroche
J028	Falla	104	74		Jorupe - Tres Reyes	S031	Falla	122	53		Soroche
J028	Falla	74	70		Jorupe - Tres Reyes	S032	Falla	120	68		Soroche
J028	Falla	72	55		Jorupe - Tres Reyes	S033	Falla	113	66		Soroche
J029	Falla	38	60		Jorupe - Tres Reyes	S034	Falla	106	58		Soroche
J029	Falla	75	46		Jorupe - Tres Reyes	S035	Falla	108	74		Soroche
J029	Falla	86	54		Jorupe - Tres Reyes	S036	Falla	70	67		Soroche
S001	Falla	102	50		Soroche	P001	Diaclasa	10	82		Jorupe - Tres Reyes
S001	Falla	134	62		Soroche	P001	Diaclasa	10	82		Jorupe - Tres Reyes
S002	Falla	68	47		Soroche	P002	Diaclasa	15	73		Jorupe - Tres Reyes
S002	Falla	123	54		Soroche	P003	Diaclasa	128	40		Jorupe - Tres Reyes
S003	Falla	110	66		Soroche	P004	Diaclasa	148	78		Jorupe - Tres Reyes
S003	Falla	137	74		Soroche	P005	Diaclasa	143	75		Jorupe - Tres Reyes
S004	Falla	100	74		Soroche	P005	Diaclasa	136	51		Jorupe - Tres Reyes
S004	Falla	117	81		Soroche	P006	Diaclasa	135	49		Jorupe - Tres Reyes
S005	Falla	102	89		Soroche	P007	Diaclasa	128	46		Jorupe - Tres Reyes
S005	Falla	125	39		Soroche	P008	Diaclasa	125	48		Jorupe - Tres Reyes
S006	Falla	126	49		Soroche	P008	Diaclasa	150	72		Jorupe - Tres Reyes
S006	Falla	117	52		Soroche	P009	Diaclasa	156	75		Jorupe - Tres Reyes
S007	Falla	100	75		Soroche	P009	Diaclasa	131	45		Jorupe - Tres Reyes

PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA	PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA
P010	Diaclasa	135	40		Jorupe - Tres Reyes	J013	Diaclasa	315	86		Jorupe - Tres Reyes
P010	Diaclasa	136	49		Jorupe - Tres Reyes	J014	Diaclasa	330	87		Jorupe - Tres Reyes
P011	Diaclasa	132	55		Jorupe - Tres Reyes	J015	Diaclasa	153	85		Jorupe - Tres Reyes
P011	Diaclasa	121	40		Jorupe - Tres Reyes	J015	Diaclasa	345	45		Jorupe - Tres Reyes
P012	Diaclasa	13	81		Jorupe - Tres Reyes	J016	Diaclasa	310	84		Jorupe - Tres Reyes
P012	Diaclasa	12	82		Jorupe - Tres Reyes	J017	Diaclasa	135	78		Jorupe - Tres Reyes
P013	Diaclasa	128	35		Jorupe - Tres Reyes	J017	Diaclasa	128	85		Jorupe - Tres Reyes
P014	Diaclasa	120	64		Jorupe - Tres Reyes	J018	Diaclasa	115	80		Jorupe - Tres Reyes
P014	Diaclasa	115	30		Jorupe - Tres Reyes	J018	Diaclasa	125	76		Jorupe - Tres Reyes
P015	Diaclasa	122	55		Jorupe - Tres Reyes	J019	Diaclasa	108	60		Jorupe - Tres Reyes
P015	Diaclasa	130	70		Jorupe - Tres Reyes	J019	Diaclasa	108	58		Jorupe - Tres Reyes
P016	Diaclasa	126	70		Jorupe - Tres Reyes	J020	Diaclasa	102	68		Jorupe - Tres Reyes
P016	Diaclasa	104	35		Jorupe - Tres Reyes	J021	Diaclasa	113	64		Jorupe - Tres Reyes
P017	Diaclasa	115	58		Jorupe - Tres Reyes	J021	Diaclasa	120	70		Jorupe - Tres Reyes
P018	Diaclasa	106	50		Jorupe - Tres Reyes	J021	Diaclasa	120	71		Jorupe - Tres Reyes
P018	Diaclasa	135	70		Jorupe - Tres Reyes	J021	Diaclasa	120	60		Jorupe - Tres Reyes
P019	Diaclasa	130	62		Jorupe - Tres Reyes	J022	Diaclasa	122	84		Jorupe - Tres Reyes
P020	Diaclasa	140	73		Jorupe - Tres Reyes	J022	Diaclasa	106	65		Jorupe - Tres Reyes
P021	Diaclasa	139	65		Jorupe - Tres Reyes	J023	Diaclasa	115	75		Jorupe - Tres Reyes
P022	Diaclasa	145	70		Jorupe - Tres Reyes	J023	Diaclasa	119	53		Jorupe - Tres Reyes
P023	Diaclasa	138	55		Jorupe - Tres Reyes	J023	Diaclasa	109	49		Jorupe - Tres Reyes
P023	Diaclasa	151	75		Jorupe - Tres Reyes	J024	Diaclasa	105	58		Jorupe - Tres Reyes
P024	Diaclasa	120	53		Jorupe - Tres Reyes	J025	Diaclasa	130	79		Jorupe - Tres Reyes
P025	Diaclasa	120	55		Jorupe - Tres Reyes	J025	Diaclasa	321	72		Jorupe - Tres Reyes
P026	Diaclasa	315	65		Jorupe - Tres Reyes	J025	Diaclasa	103	64		Jorupe - Tres Reyes
P026	Diaclasa	113	45		Jorupe - Tres Reyes	J025	Diaclasa	300	82		Jorupe - Tres Reyes
P027	Diaclasa	112	38		Jorupe - Tres Reyes	J026	Diaclasa	133	86		Jorupe - Tres Reyes
P028	Diaclasa	135	65		Jorupe - Tres Reyes	J026	Diaclasa	125	75		Jorupe - Tres Reyes
P029	Diaclasa	141	75		Jorupe - Tres Reyes	J026	Diaclasa	135	63		Jorupe - Tres Reyes
P029	Diaclasa	310	56		Jorupe - Tres Reyes	J027	Diaclasa	130	80		Jorupe - Tres Reyes
P030	Diaclasa	115	70		Jorupe - Tres Reyes	J027	Diaclasa	130	80		Jorupe - Tres Reyes
P031	Diaclasa	110	70		Jorupe - Tres Reyes	J028	Diaclasa	117	53		Jorupe - Tres Reyes
P032	Diaclasa	130	55		Jorupe - Tres Reyes	J028	Diaclasa	130	58		Jorupe - Tres Reyes
J001	Diaclasa	135	45		Jorupe - Tres Reyes	J028	Diaclasa	135	54		Jorupe - Tres Reyes
J002	Diaclasa	162	40		Jorupe - Tres Reyes	J029	Diaclasa	120	54		Jorupe - Tres Reyes
J002	Diaclasa	125	69		Jorupe - Tres Reyes	J029	Diaclasa	129	75		Jorupe - Tres Reyes
J003	Diaclasa	165	78		Jorupe - Tres Reyes	J029	Diaclasa	315	65		Jorupe - Tres Reyes
J003	Diaclasa	325	60		Jorupe - Tres Reyes	S001	Diaclasa	320	82		Soroche
J004	Diaclasa	325	57		Jorupe - Tres Reyes	S001	Diaclasa	318	64		Soroche
J005	Diaclasa	130	74		Jorupe - Tres Reyes	S002	Diaclasa	130	57		Soroche
J006	Diaclasa	145	74		Jorupe - Tres Reyes	S002	Diaclasa	130	66		Soroche
J006	Diaclasa	133	63		Jorupe - Tres Reyes	S003	Diaclasa	308	55		Soroche
J007	Diaclasa	145	82		Jorupe - Tres Reyes	S003	Diaclasa	304	48		Soroche
J008	Diaclasa	95	63		Jorupe - Tres Reyes	S004	Diaclasa	96	43		Soroche
J009	Diaclasa	119	57		Jorupe - Tres Reyes	S004	Diaclasa	113	60		Soroche
J009	Diaclasa	295	60		Jorupe - Tres Reyes	S005	Diaclasa	138	85		Soroche
J010	Diaclasa	312	85		Jorupe - Tres Reyes	S005	Diaclasa	167	87		Soroche
J010	Diaclasa	315	87		Jorupe - Tres Reyes	S006	Diaclasa	135	49		Soroche
J011	Diaclasa	305	85		Jorupe - Tres Reyes	S006	Diaclasa	123	50		Soroche
J011	Diaclasa	125	71		Jorupe - Tres Reyes	S007	Diaclasa	143	65		Soroche
J012	Diaclasa	130	80		Jorupe - Tres Reyes	S007	Diaclasa	115	45		Soroche
J013	Diaclasa	140	78		Jorupe - Tres Reyes	S008	Diaclasa	175	88		Soroche

PUNTO	ESTRUCTURA	D-Dir	Dip	POTENCIA	REFERENCIA
S008	Diaclasa	326	49		Soroche
S009	Diaclasa	150	89		Soroche
S009	Diaclasa	148	87		Soroche
S010	Diaclasa	323	70		Soroche
S010	Diaclasa	152	68		Soroche
S011	Diaclasa	130	73		Soroche
S012	Diaclasa	120	75		Soroche
S013	Diaclasa	145	81		Soroche
S014	Diaclasa	155	55		Soroche
S015	Diaclasa	303	58		Soroche
S015	Diaclasa	163	45		Soroche
S016	Diaclasa	115	44		Soroche
S017	Diaclasa	126	41		Soroche
S018	Diaclasa	135	56		Soroche
S018	Diaclasa	145	67		Soroche
S019	Diaclasa	301	70		Soroche
S020	Diaclasa	121	61		Soroche
S021	Diaclasa	125	65		Soroche
S021	Diaclasa	135	56		Soroche
S022	Diaclasa	125	60		Soroche
S022	Diaclasa	120	76		Soroche
S023	Diaclasa	138	66		Soroche
S023	Diaclasa	135	60		Soroche
S024	Diaclasa	305	71		Soroche
S025	Diaclasa	120	55		Soroche
S026	Diaclasa	155	39		Soroche
S026	Diaclasa	145	51		Soroche
S027	Diaclasa	132	61		Soroche
S028	Diaclasa	130	67		Soroche
S029	Diaclasa	125	41		Soroche
S030	Diaclasa	151	88		Soroche
S031	Diaclasa	140	48		Soroche
S032	Diaclasa	125	75		Soroche
S033	Diaclasa	115	87		Soroche
S034	Diaclasa	160	63		Soroche
S035	Diaclasa	132	65		Soroche
S036	Diaclasa	320	70		Soroche
S036	Diaclasa	144	38		Soroche

Anexo 02.


Registro de muestras para análisis mineralógicos, petrográficos y geoquímicos (láminas delgadas, láminas pulidas, absorción atómica y análisis de fluorescencia de rayos X).

CÓDIGO	NORTE	ESTE	COTA	FECHA	PESO (Kg)	ANÁLISIS	REFERENCIA
RN3	654780,9715	9591337,5420	676	25/4/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS4	654727,8092	9591275,3689	676	28/3/2021	0,4	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS5	654701,4313	9591257,2306	676	5/4/2021	0,8	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS7A	654615,5902	9591171,3130	676	8/4/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS7B	654629,3140	9591172,5157	676	8/4/2021	0,4	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS9	654604,3753	9591126,5785	676	2/5/2021	0,5	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS10	654597,7259	9591094,5524	676	3/5/2021	0,5	Lámina Pulida y XRF	Jorupe - Tres Reyes
AD12	654100,7356	9591291,1275	676	29/3/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Soroche
ADF8	654098,5606	9591279,1358	676	30/3/2021	0,7	Lámina Pulida y XRF	Soroche
SN2	654091,1190	9591256,9181	676	22/5/2021	0,5	Lámina Pulida y XRF	Soroche
SN11	654084,2673	9591242,6503	676	23/5/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Soroche
MATS1A	654069,8645	9591213,9526	676	27/5/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Soroche
MATS1B	654057,3191	9591179,9722	676	27/5/2021	0,4	Lámina Pulida y XRF	Soroche
SS6A	654037,8868	9591131,1178	676	6/6/2021	0,5	Lámina Pulida y XRF	Soroche
SS6B	654034,5114	9591115,9647	676	6/6/2021	0,6	Lámina Pulida y XRF	Soroche
RNC10	654821,1891	9591407,1927	676	25/4/2021	0,6	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RNC8	654799,2487	9591370,5152	676	25/4/2021	0,7	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RNC5	654773,4999	9591327,7568	676	25/4/2021	0,5	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RSC1	654707,4793	9591260,3604	676	5/4/2021	0,5	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RSC15	654664,4442	9591223,0217	676	5/4/2021	0,4	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
REC2	654612,3669	9591166,0881	676	5/4/2021	0,6	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RSC11	654604,4680	9591125,0294	676	5/4/2021	0,5	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RSC7	654597,6381	9591093,9369	676	5/4/2021	0,7	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
RSC14	654583,7850	9591073,6290	676	6/4/2021	0,4	Lámina Delgada	Jorupe - Tres Reyes
SNC4	654102,4986	9591300,9974	676	6/6/2021	0,6	Lámina Delgada	Soroche
AGDC6	654099,3536	9591283,8220	676	29/3/2021	0,6	Lámina Delgada	Soroche
MSC3	654084,2673	9591242,6503	676	27/5/2021	0,5	Lámina Delgada	Soroche
MCC12	654068,2238	9591207,8778	676	27/5/2021	0,5	Lámina Delgada	Soroche
MMC13	654048,3072	9591163,0816	676	27/5/2021	0,7	Lámina Delgada	Soroche
SSC9	654033,5294	9591106,6969	676	6/6/2021	0,7	Lámina Delgada	Soroche
RSRM1	654682,1556	9591239,2222	676,6	7/4/2021	0,6	XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS4NC1	654656,0058	9591216,3449	676,6	7/4/2021	0,5	XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS7CPY1	654632,7337	9591193,7065	676,6	25/5/2021	0,5	XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS7GA1	654614,6659	9591168,7230	676,6	8/4/2021	0,7	XRF	Jorupe - Tres Reyes
RS7ES1	654604,1407	9591142,9637	676,6	8/4/2021	0,5	XRF	Jorupe - Tres Reyes
RSRNM1	654793,8136	9591360,7467	676,6	15/3/2021	0,6	XRF	Jorupe - Tres Reyes
AGDCE1	654100,5923	9591289,8670	676,6	25/5/2021	0,5	XRF	Soroche
SSC1R1	654052,6713	9591171,0846	676,6	12/3/2021	0,4	XRF	Soroche
AGDAZ1	654089,4049	9591251,7452	676,6	25/5/2021	0,6	XRF	Soroche
ADF8PY1	654072,2621	9591219,6948	676,6	25/5/2021	0,6	XRF	Soroche

CÓDIGO	NORTE	ESTE	COTA	FECHA	PESO (Kg)	ANÁLISIS	REFERENCIA
J001	654765,0966	9591315,1411	676,638	16/3/2021	2,2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J002	654771,6055	9591325,0094	676,638	16/3/2021	2,5	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J003	654781,0295	9591337,3865	676,638	23/3/2021	2,2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J004	654787,6602	9591347,6680	676,638	23/3/2021	2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J005	654792,1170	9591358,4192	676,638	23/3/2021	2,5	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J006	654798,7476	9591369,3085	676,638	23/3/2021	1,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J007	654807,6181	9591384,0925	676,638	24/3/2021	2,2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J008	654814,7859	9591395,7890	676,638	24/3/2021	2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
J009	654821,0369	9591406,9905	676,638	30/3/2021	2,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P001	654753,0808	9591299,0560	676,638	30/3/2021	3	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P004	654742,5367	9591289,6057	676,638	31/3/2021	1,5	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P008	654728,1860	9591275,8434	676,638	31/3/2021	2,1	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P012	654717,1056	9591267,1318	676,638	2/4/2021	2,1	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P015	654703,8336	9591258,5924	676,638	2/4/2021	2,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P018	654685,6179	9591247,6595	676,638	6/4/2021	1,3	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P022	654677,9608	9591234,6806	676,638	6/4/2021	2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P025	654664,7857	9591223,5437	676,638	6/5/2021	2,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P029	654649,3883	9591210,6415	676,638	14/5/2021	2,5	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
P032	654637,5742	9591194,4833	676,638	21/5/2021	2,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
E004	654627,8884	9591186,8101	676,638	25/5/2021	2,3	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
E007	654619,6103	9591175,0605	676,638	23/3/2021	3,6	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
E011	654610,3183	9591161,2384	676,638	23/3/2021	3,2	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
E014	654606,5037	9591148,7080	676,638	1/4/2021	2,3	Absorción Atómica	Jorupe - Tres Reyes
S001	654101,1295	9591294,4367	676,638	20/4/2021	3,1	Absorción Atómica	Soroche
S003	654100,0807	9591286,9978	676,638	22/4/2021	1,3	Absorción Atómica	Soroche
S005	654098,6811	9591278,7384	676,638	29/4/2021	3,5	Absorción Atómica	Soroche
S007	654095,5781	9591268,7556	676,638	29/4/2021	2,6	Absorción Atómica	Soroche
S009	654092,2661	9591259,7718	676,638	29/4/2021	1,2	Absorción Atómica	Soroche
S011	654088,2755	9591251,2367	676,638	20/5/2021	2	Absorción Atómica	Soroche
S013	654084,8241	9591243,8597	676,638	20/5/2021	3,1	Absorción Atómica	Soroche
S015	654079,7839	9591235,6959	676,638	24/4/2021	1,8	Absorción Atómica	Soroche
S017	654073,8351	9591224,2430	676,638	21/6/2021	2,7	Absorción Atómica	Soroche
S019	654068,9601	9591211,2715	676,638	25/6/2021	3,2	Absorción Atómica	Soroche
S021	654064,1534	9591196,4329	676,638	30/6/2021	1,9	Absorción Atómica	Soroche
S023	654057,3191	9591179,9722	676,638	30/6/2021	3,5	Absorción Atómica	Soroche
S025	654052,6048	9591171,7265	676,638	2/7/2021	1,3	Absorción Atómica	Soroche
S027	654046,4696	9591158,4505	676,638	2/7/2021	2	Absorción Atómica	Soroche
S029	654042,6425	9591143,7050	676,638	6/7/2021	2,6	Absorción Atómica	Soroche
S031	654036,8101	9591126,5125	676,638	6/7/2021	1,9	Absorción Atómica	Soroche
S033	654033,5917	9591107,8541	676,638	6/7/2021	2,1	Absorción Atómica	Soroche

Anexo 03

Fichas de descripción de láminas delgadas.

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RSC1	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color verde grisáceo de textura porfídica. Compuesta principalmente por plagioclasa (21%) y minerales máficos totalmente alterados a clorita (15%). Presenta alteración a arcillas y presencia de carbonatos (5%). También, tiene abundante piritita diseminada en toda la roca (5%). Presenta una matriz (54%) de grano fino silicificada y alterada a arcillas.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	24%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, que da un aspecto "sucio" debido a que se están alterando intensivamente a Ser y Arc, también, están reemplazados parcialmente por Cal (Fig. A). Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 3 mm (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia fuertes (debido a la alteración) (Fig. B), suele tener colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se encuentran zonadas.</p>	
Anfíboles (Amp)	10%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.5 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Piroxenos (Px)	9%	<p>Posible Augita (Aug)</p> <p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Aug están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Matriz			
Matriz	57%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (42%) reemplazado en su totalidad por Qz y microlitos de Pl (10%) y Px - Amp (5%) alterados totalmente a Chl. El Qz, además rellena pequeñas fracturas en la matriz.</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	38%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg y relleno de fracturas en la roca.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p>	

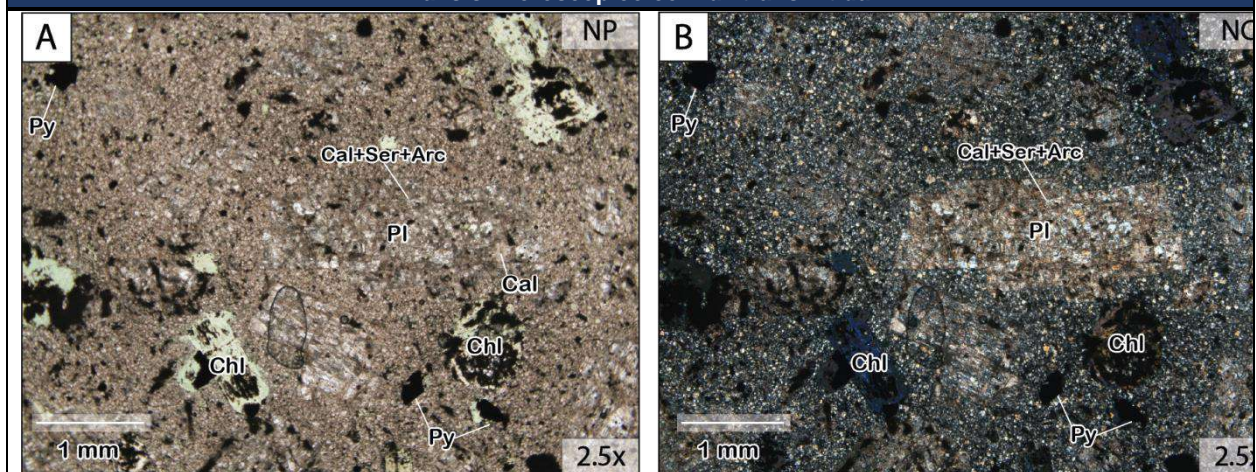
		NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una silicificación en la matriz.
Clorita (Chl)	24%	Producto de alteración de los Px y Amp y como pequeñas inclusiones en los grandes cristales de PI. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo (transformación pseudofórica de máficos, posiblemente de Hbl y Aug). Presenta cristales con tamaños de hasta 2.5 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B).
Calcita (Cal)	8%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de PI. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Sericita (Ser)	7%	Producto de alteración de los fenocristales de PI. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de PI a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Pirita (Py)	6%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Algunos cristales tienen un tamaño mayor que resalta, otros se encuentran como pequeñas inclusiones en los fenocristales de Chl, PI y la mayoría dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm (Fig. A-B).
Arcillas (Arc)	4%	Producto de alteración de los fenocristales de PI. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura porfídica, tiene fenocristales de PI y Chl englobados en una matriz hipocristalina (formada por cristales y vidrio). Presenta también, una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales de PI y Chl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral. Además, una textura poiquilítica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la PI incluye pequeños cristales de Chl).

La roca ha experimentado procesos de calcitización, seritización, silicificación y cloritización principalmente, dando como resultado una alteración de la roca en un 87%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Andesita	Alteración	Subpropilítica y Silicificación
--------------------------	----------	-------------------	---------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	REC2	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta una coloración verdosa debido a la presencia de clorita y epidota. La roca muestra una textura fragmentada, formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (11%) y minerales máficos alterados a Chl (6%). Contiene algunos fragmentos de líticos (3%) de hasta 2 mm y presenta oquedades rellenas por epidota (9%). La matriz (71%) está principalmente formada por vidrio.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	15%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, dando un aspecto "sucio" debido a que están alterados parcialmente a Ser, Arc y reemplazados por Cal (Fig. A). Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 1 mm. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia fuertes (debido a la alteración) (Fig. B), suele tener colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>	
Anfíboles (Amp)	5%	<p>Posible Hornblenda (Hbl) NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños de hasta 1 mm. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo predomina debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Opacos (Opq)	2%	<p>Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que reflejan la luz que incide sobre su superficie. Presenta formas subhedrales – anhedrales, con tamaños menores a 1 mm.</p>	
Fragmentos de líticos			
Líticos	3%	<p>Formada por fragmentos líticos de composición andesítica, presentan formas anhedrales con tamaños de hasta 2 mm. Algunos líticos presentan una matriz silicificada (Fig. B). Las Pl y minerales máficos que componen los líticos presentan la misma alteración que los fragmentos de cristales (Fig. A-B).</p>	
Matriz			
Matriz	75%	<p>Matriz formada por Vg (63%) parcialmente alterado a Arc y microlitos de Pl (12%) parcialmente alterados a Ser, Arc y Cal. Vidrio (Vg) NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A). NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Epidota (Ep)	12%	<p>Producto de alteración (leve) de los cristales de Pl y relleno de amígdalas de hasta 2 mm (forma redondeada). NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. C). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2^{do} a 3^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B-D).</p>	

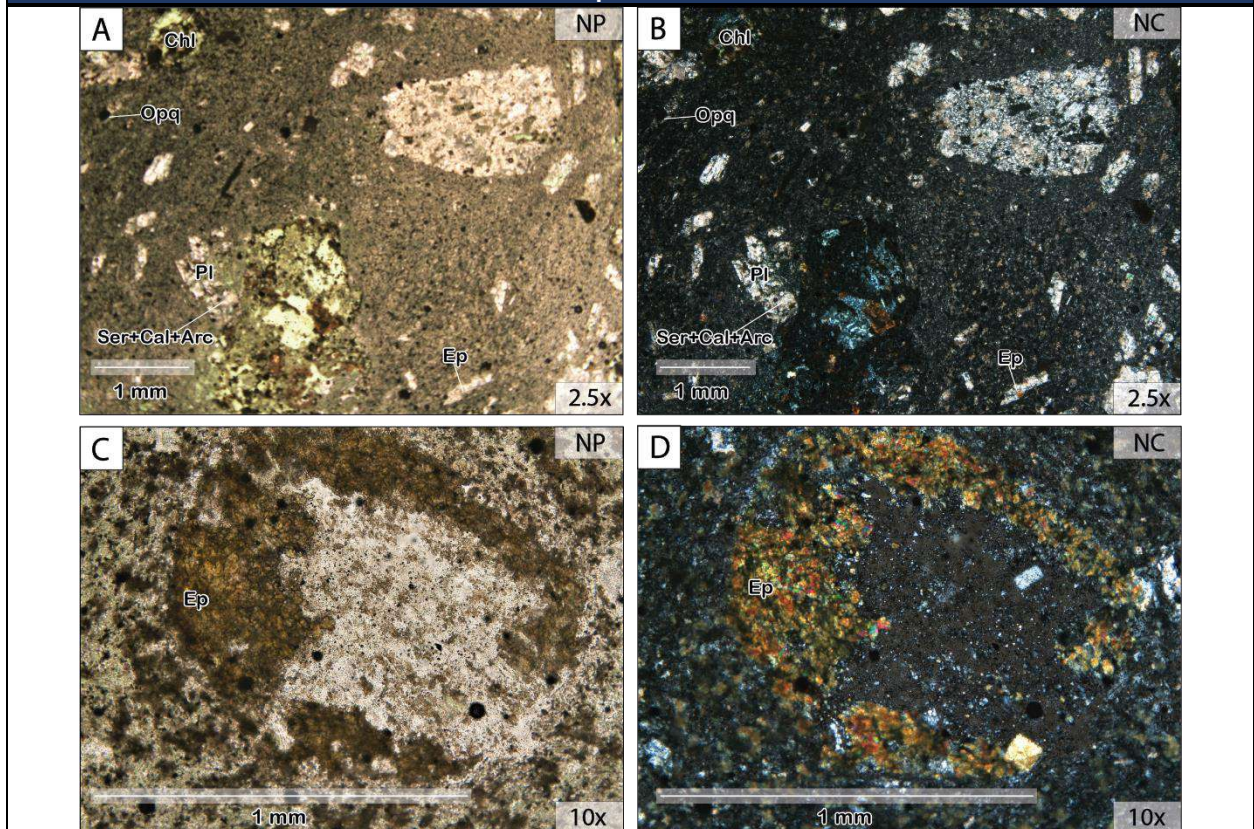
Sericita (Ser)	8%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Clorita (Chl)	7%	Producto de alteración de los posibles Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 1 mm y con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B).
Calcita (Cal)	5%	Producto del reemplazamiento de los cristales de Pl. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Arcillas (Arc)	5%	Producto de alteración de los cristales de Pl y alteración del Vg. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).
Pirita (Py)	<1%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B-C-D), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Cristales dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm.

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca presenta una matriz formada principalmente por vidrio (75%), cristales (22%) y líticos (3%), por lo tanto, es una toba de vitrocrystalina.

La roca ha experimentado procesos de seritización, calcitización, epidotización, y cloritización, dando como resultado una alteración de la roca en un 37%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba vitrocrystalina de composición andesítica	Alteración	Propilítica
--------------------------	--	-------------------	-------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	MSC3	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color gris con ligeras tonalidades verdosas de textura porfídica. Compuesta principalmente por plagioclasa (20%) y minerales máficos totalmente alterados a clorita (16%). Presenta abundante pirita (9%) diseminada en toda la roca y tiene una matriz (55%) de grano fino ligeramente silicificada.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	22%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, varias zonas del cristal tienen un color gris a castaño debido a que se están alterando parcialmente a Ser, y reemplazados parcialmente por Cal y Qz. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 4 mm (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Se observa macla polisintética (Fig. B).</p>	
Anfíboles (Amp)	9%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón (debido a la alteración no se observa esos colores), pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden, en este caso se observa un color café oscuro debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl y presentan un borde negro, debido a que están bordeadas por Py (Fig. A-B).</p>	
Piroxenos (Px)	9%	<p>Posible Augita (Aug)</p> <p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido (debido a la alteración no se observa esos colores), pleocroísmo débil. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden, en este caso se observa un color café oscuro debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl y presentan un borde negro, debido a que están bordeadas por Py (Fig. A-B).</p>	
Matriz			
Matriz	60%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (45%) reemplazado parcialmente por Qz y microlitos de Pl (15%).</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	28%	Producto del reemplazamiento del Vg y fenocristales de Pl.	

		<p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B).</p> <p>Genera una ligera silicificación en la matriz.</p>
Clorita (Chl)	18%	<p>Producto de alteración de los Px y Amp.</p> <p>NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo (posible Hbl y Aug). Presenta cristales con tamaños de hasta 2 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura. En este caso se observa un café oscuro debido a que la lámina delgada está muy gruesa (Fig. B).</p>
Pirita (Py)	12%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Se encuentra diseminados en toda la roca y bordeando a los cristales de Chl (Fig. A-B).
Calcita (Cal)	4%	<p>Producto del reemplazamiento de los fenocristales de PI.</p> <p>NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4^{to} orden en adelante) (Fig. B).</p>
Sericita (Ser)	4%	<p>Producto de alteración de los fenocristales de PI.</p> <p>NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A).</p> <p>NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2^{do} a 3^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de PI (Fig. B).</p>

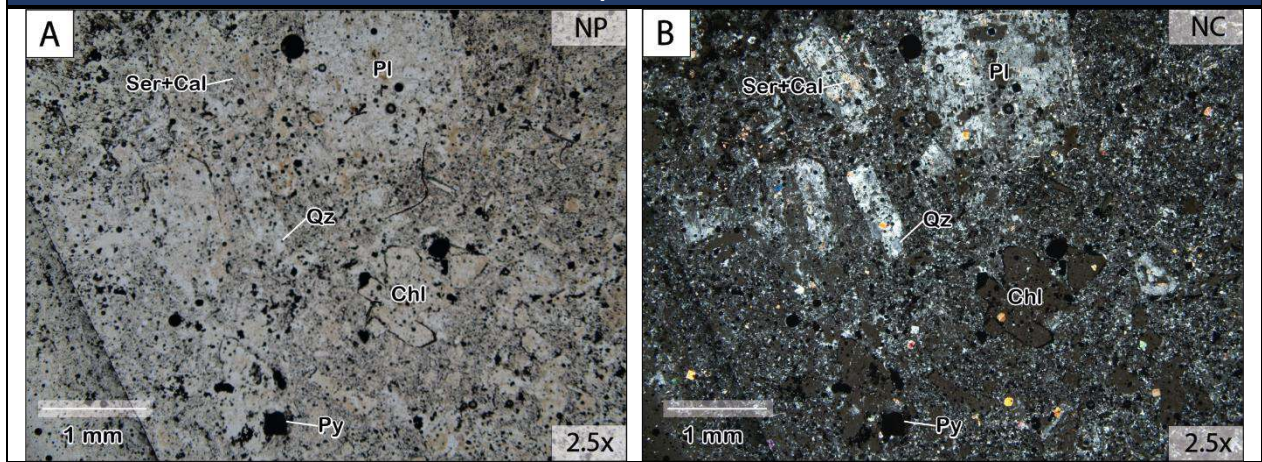
Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta una textura porfídica, tiene fenocristales de PI y Chl englobados en una matriz hipocristalina (formada por cristales y vidrio). Presenta también, una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales de PI y Chl han crecido en grupo.


Se muestran colores anómalos en los cristales debido a que la lámina delgada está muy gruesa.

La roca ha experimentado procesos de calcitización, seritización, silicificación y cloritización principalmente, dando como resultado una alteración de la roca en un 66%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Andesita	Alteración	Subpropilítica y Silicificación
--------------------------	----------	-------------------	---------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	SNC4	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta una coloración verde oscura y tiene una textura porfídica. Está cortada por varias vetillas de calcita y cuarzo (8%) con tamaños de hasta 1 cm. Está compuesta por cristales de plagioclasa (21%) y cristales de minerales máficos alterados a clorita (16%). Presenta pirita diseminada en toda la roca (4%) y tiene una matriz (51%) de grano fino silicificada.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	24%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, pero, se observa en varias zonas del cristal un aspecto "sucio" en tonos castaños y grises, debido a que los granos de Pl están alterados a Arc, Ser y reemplazados por Cal (Fig. A-C). Cristales subhedrales con tamaños de hasta 2 mm. Relieve medio – bajo (debido a la alteración) (Fig. A), sin embargo, las Pl que están dentro de la vetilla de Qz-Cal tienen un relieve muy bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blanco, como se observa en las Pl que entran dentro de la vetilla de Qz-Cal (Fig. B). Sin embargo, las Pl que no están dentro de la vetilla presentan colores de interferencia de 1^{er} a 2^{do} orden debido a la alteración (Fig. B-D). Varias Pl tienen fracturamiento (Fig. C-D).</p>	
Anfíboles (Amp)	10%	<p>Possible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales, tabulares) (Fig. A-B-C-D) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A-C).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B-D).</p>	
Piroxenos (Px)	8%	<p>Possible Augita (Aug)</p> <p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B-C-D) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A-C).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Aug están alteradas completamente a Chl (Fig. B-D)</p>	
Biotita (Bt)	2%	<p>NP: Color marrón oscuro, pleocroísmo débil en tonos de marrón. Cristales tabulares de hasta 2 mm y con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción paralela y moteada. Colores de interferencia muy altos de 3^{er} a 4^{to} orden, sin embargo, el fuerte color del mineral suele enmascararlos. En esta muestra se observan biotitas con poca alteración a Chl.</p>	
Matriz			
Matriz	56%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (vidrio) (38%) reemplazado en su mayoría por Qz, microlitos de Pl (14%) alterados parcialmente a Ser y microlitos de Px y Amp (4%) alterados totalmente a Chl.</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A-C).</p> <p>NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B-D).</p>	
Minerales de Alteración			

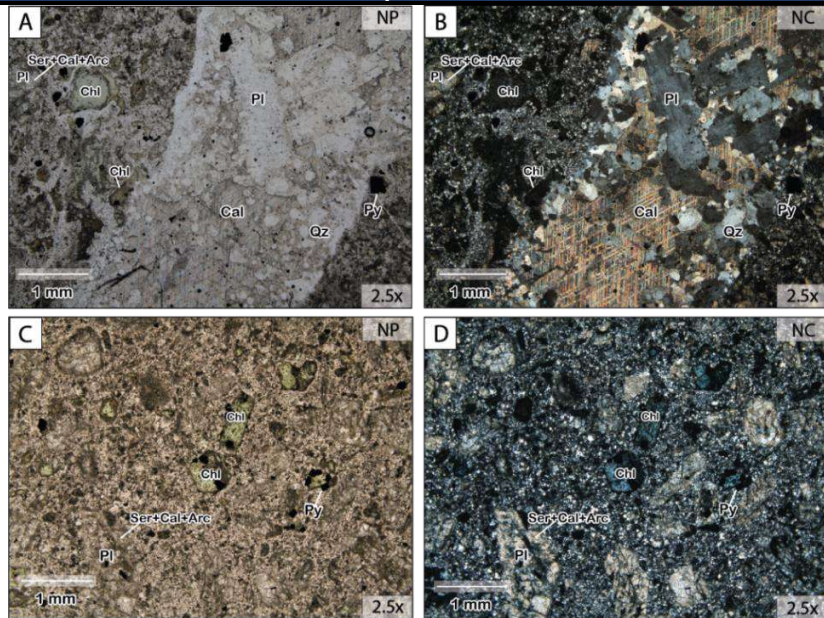
Cuarzo (Qz)	38%	Producto del reemplazamiento del Vg, también, se encuentra en vetillas y en las vetillas de mayor tamaño se encuentra en los bordes (Fig. B). NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A-C) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B-D). Genera silicificación en la matriz.
Clorita (Chl)	22%	Producto de alteración de los Px, Amp y Bt. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A-B-C-D), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo (transformación pseudomórfica de máficos). Cristales con tamaños de hasta 2 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A-C). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo intenso (Fig. B).
Calcita (Cal)	6%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de PI y también, se encuentra rellenando vetillas. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Sericita (Ser)	6%	Producto de alteración de los fenocristales de PI y microlitos de PI en la matriz. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A-C). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de PI a la cual se encuentra alterando (Fig. B-D).
Pirita (Py)	5%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B-C-D), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Se encuentran dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm (Fig. A-B-C-D).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura porfídica, tiene fenocristales de PI, Chl y Bt englobados en una matriz silicificada (reemplazo de Vg por Qz). También, tiene una textura glomeroporfídica se refiere a que varios de los fenocristales de PI, Chl y Bt han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral. Las fracturas de la roca han sido rellenadas por Cal y Qz.

La roca ha experimentado procesos de cloritización, sercitización, calcitización y silicificación, dando como resultado una alteración de la roca en un 77%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Andesita	Alteración	Subpropilítica y Silicificación
--------------------------	----------	-------------------	---------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RNC5	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta una coloración verdosa por la presencia de clorita y epidota, tiene una textura fragmentada. Se observa que la roca tiene fragmentos con formas angulares a subangulares de hasta 4 cm. Está compuesta por fragmentos líticos (35%), fragmentos de cristales principalmente de PI (10%), englobados en una matriz (55%) formada en su mayoría por vidrio.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos Líticos			
Líticos de naturaleza volcánica, de composición andesítica.	38%	<p>Lítico A: Fragmento subangular de 2.5 cm. Tiene fenocristales de Ep (epidota) y PI (plagioclasa) alterados a Ser (sericita) (alteración intensa) y Ep (alteración débil) y reemplazados parcialmente por Cal (calcita). Tiene una matriz hipocristalina, formada por Vg (vidrio) que está reemplazado parcialmente por Qz (cuarzo) y alterado a Arc (arcillas) y microlitos de PI alterados a Ser. También, tiene vetillas de Ep y Cal en la matriz y Opq (opacos) (Fig. A-B).</p> <p>Lítico B-C-D: Fragmentos subangulares a angulares de hasta 3 mm. Tienen principalmente cristales de PI alteradas parcialmente a Ep y Ser. Contiene pocos cristales de posibles Amp (anfíboles), Px (piroxenos) y Bt (biotita), que están alterados a Chl (clorita) y pocos Opq. Tienen una matriz hipocristalina formada por Vg alterado a Arc y microlitos de PI alterados a Ser (Fig. A-B).</p> <p>Lítico E: Fragmento subangular de 2 cm. Formado por fenocristales de PI alterados a Ep (alteración moderada) y Ser (alteración débil) y reemplazados parcialmente por Cal, también, posibles fenocristales de Amp, Px y Bt alterados completamente a Chl. Tienen una matriz hipocristalina formada por Vg alterado parcialmente a Arc y microlitos de PI alterados a Ser. Presenta algunas oquedades rellenas de Chl (Fig. C-D).</p> <p>Lítico F: Fragmento subangular de 1.5 mm. Tiene principalmente cristales de PI alteradas parcialmente a Ep y posibles cristales de Amp, Px y Bt alterados completamente a Chl. La matriz está formada por Vg parcialmente alterado a Arc (Fig. C-D).</p> <p>Los fragmentos presentan una textura porfídica.</p>	
Fragmentos de cristales			
Cristales	10%	Formada principalmente por fragmentos de cristales de PI con formas subangulares alteradas a Ep, Ser y Arc y reemplazadas por Cal, con tamaños de hasta 1 mm.	
Matriz			
Matriz	52%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (37%) alterado a Arc y reemplazado parcialmente por Qz, también, formada por microlitos de PI (12%) alterados parcialmente a Ser y Qz (3%). Además, presenta oquedades rellenas de Chl, Ep, Cal y Qz.</p> <p>Vidrio (Vg) NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A-C). NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B-D).</p>	
Minerales de Alteración			


Clorita (Chl)	20%	Producto de alteración de posibles Amp, Px y Bt y rellenando oquedades en la roca. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas subhedrales (Fig. A-C), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo. NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B-D).
Epidota (Ep)	18%	Producto de alteración de los cristales de Pl y rellenando oquedades en la roca. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A-C). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B-D).
Calcita (Cal)	12%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Pl y rellenando oquedades en la roca. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. B). NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. D).
Sericita (Ser)	10%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A-C). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl (Fig. B-D).
Arcillas (Arc)	10%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A-B). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B-D).
Cuarzo (Qz)	5%	Producto del reemplazamiento del Vg y y rellenando oquedades en la roca. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con relieve bajo (Fig. A-B). NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B-D).

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta una textura fragmental, es matriz soportada y pobremente sorteada. Está conformada por fragmentos líticos, fragmentos de cristales de Pl, englobados en una matriz de Vg y microlitos de Pl y Qz. La roca ha experimentado procesos de cloritización, epidotización, calcitización y seritización principalmente, dando como resultado una alteración de la roca en un 75 %.

Análisis microscópico con luz transmitida

Nombre de la roca	Brecha volcánica	Alteración	Propilitica

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	AGDC6	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta un color verde oscuro y una textura fragmentada. Está formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (23%) y minerales máficos alterados a Chl (15%). Presenta vetillas de Ep y Qz (5%). La matriz (51%) presenta una silicificación moderada y abundante pirita dispersa en la roca (6%)</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	28%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, dando un aspecto "sucio" debido a que están alterados parcialmente a Arc, Ser, Ep y reemplazados por Cal y Qz (Fig. A). Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia fuertes (debido a la alteración) (Fig. B), suele tener colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>	
Anfíbol (Amp)	18%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales – subhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños de hasta 2 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo predomina debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Fragmentos de líticas			
Líticas	0%	No presenta	
Matriz			
Matriz	54%	<p>Matriz formada por Vg (46%) reemplazada parcialmente por Qz y Arc y microlitos de Pl (8%) parcialmente alterados a Ser, Arc y Cal.</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	37%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg, de fenocristales de Pl y como relleno de vetillas.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B).</p> <p>Genera una silicificación en la matriz.</p>	

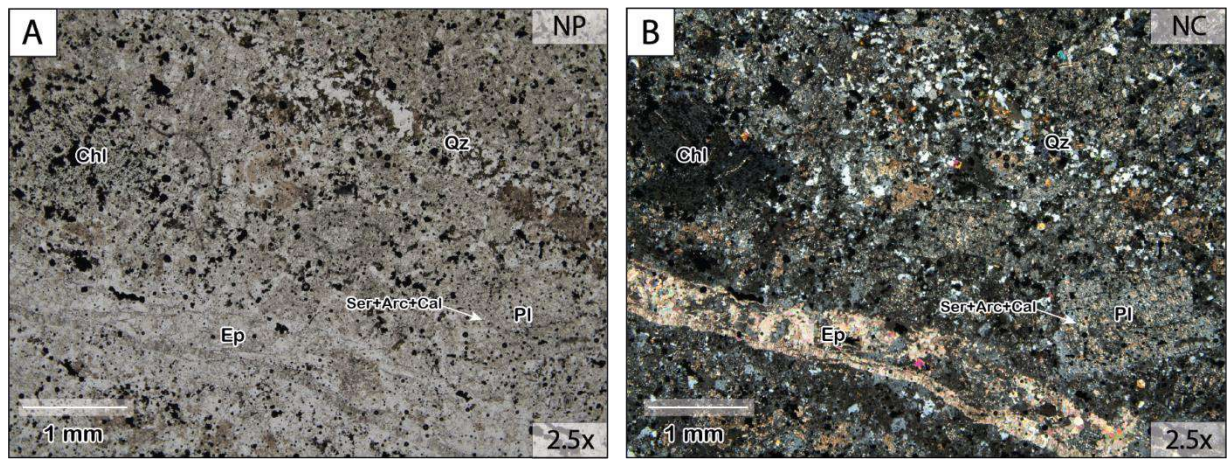
Clorita (Chl)	18%	Producto de alteración de los posibles Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 2 mm y con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B).
Arcillas (Arc)	10%	Producto de alteración de los cristales de Pl y alteración del Vg. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).
Epidota (Ep)	9%	Producto de alteración leve de los cristales de Pl y como relleno de vetillas. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B).
Pirita (Py)	8%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Cristales dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm.
Calcita (Cal)	5%	Producto del reemplazamiento de los cristales de Pl. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Sericita (Ser)	4%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl y microlitos de la matriz. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca está formada por abundantes cristales (46%). Por lo tanto, se caracteriza por ser una toba de cristales.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, epidotización, cloritización, seritización y calcitización, dando como resultado una alteración de la roca en un 93%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba de cristales	Alteración	Propilítica y Silicificación
--------------------------	-------------------	-------------------	------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RSC7	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta un color verde claro y una textura fragmentada. Está formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (28%) y minerales máficos alterados a Chl (16%). También, está formada por fragmentos líticos (3%). La matriz (53%) presenta silicificación.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	29%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A-B). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1er orden, en tonos grises y blanco (Fig. B). Presenta maclas polisintéticas (Fig. B).</p>	
Anfíbol (Amp)	17%	<p>Posible Hornblenda (Hbl) NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales – subhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños de hasta 1.5 mm. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo predomina debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Fragmentos de líticos			
Líticos	0%	En la fracción microscópica analizada no se encontraron.	
Matriz			
Matriz	54%	<p>Matriz formada por Vg (50%) reemplazada casi en su totalidad por Qz y microlitos de Pl (4%). Vidrio (Vg) NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A). NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	40%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1er orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una silicificación en la matriz.</p>	
Epidota (Ep)	19%	<p>Producto de alteración cristales de Pl principalmente y en menor cantidad de minerales máficos. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2do a 3er orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B). Se observan como agrupaciones anhedrales (Fig. A-B).</p>	

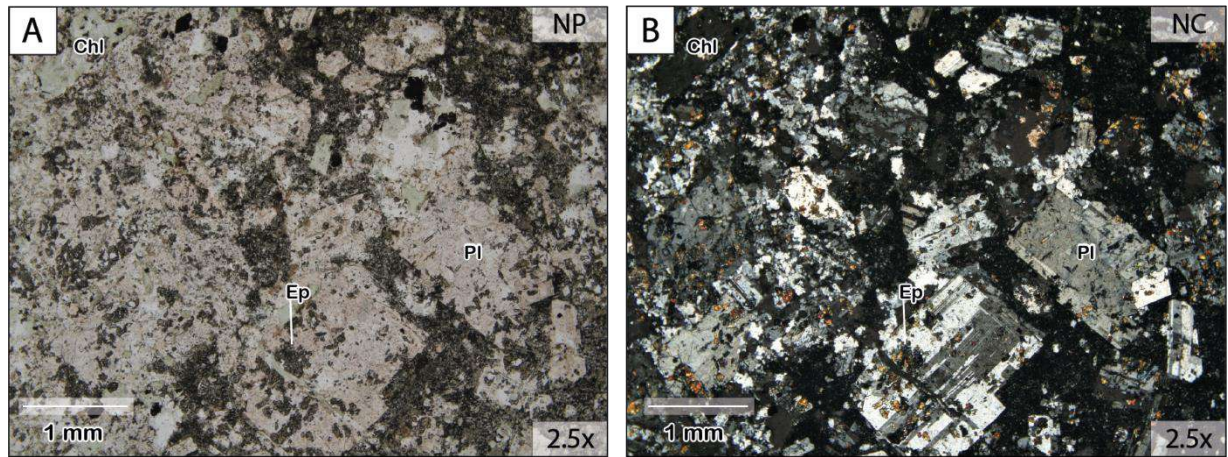
Clorita (Chl)	17%	Producto de alteración de los posibles Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 1.5 mm y con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B).
------------------	-----	---

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca está formada por abundantes cristales (46%). Por lo tanto, se define como una toba de cristales.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, epidotización y cloritización dando como resultado una alteración de la roca en un 76%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba de cristales	Alteración	Propilítica y Silicificación
--------------------------	-------------------	-------------------	------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RNC8	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color verde claro de textura porfídica. Compuesta principalmente por plagioclasa (23%) y minerales máficos totalmente alterados a clorita (17%). Presenta una matriz (60%) de grano fino silicificada.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	20%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Varias zonas del están alterando a Ep y Ser y están reemplazados parcialmente por Cal (Fig. A). Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl presentan macla polisintética (Fig. B).</p>	
Anfíboles (Amp)	9%	<p>Posible Hornblenda (Hbl) NP: Color en varios tonos de verde a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 2.5 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas principalmente a Chl y en menor cantidad a Ep (Fig. B).</p>	
Piroxenos (Px)	8%	<p>Posible Augita (Aug) NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores en tonalidades de verde, pleocroísmo débil. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas) con tamaños de hasta 2.5 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Aug están alteradas principalmente a Chl y en menor cantidad a Ep (Fig. B).</p>	
Matriz			
Matriz	63%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (50%) reemplazado en su totalidad por Qz y microlitos de Pl (13%). Vidrio (Vg) NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A). NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	40%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una silicificación en la matriz.</p>	
Clorita (Chl)	17%	<p>Producto de alteración de los Px y Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A), las formas son heredadas del mineral al cual está</p>	

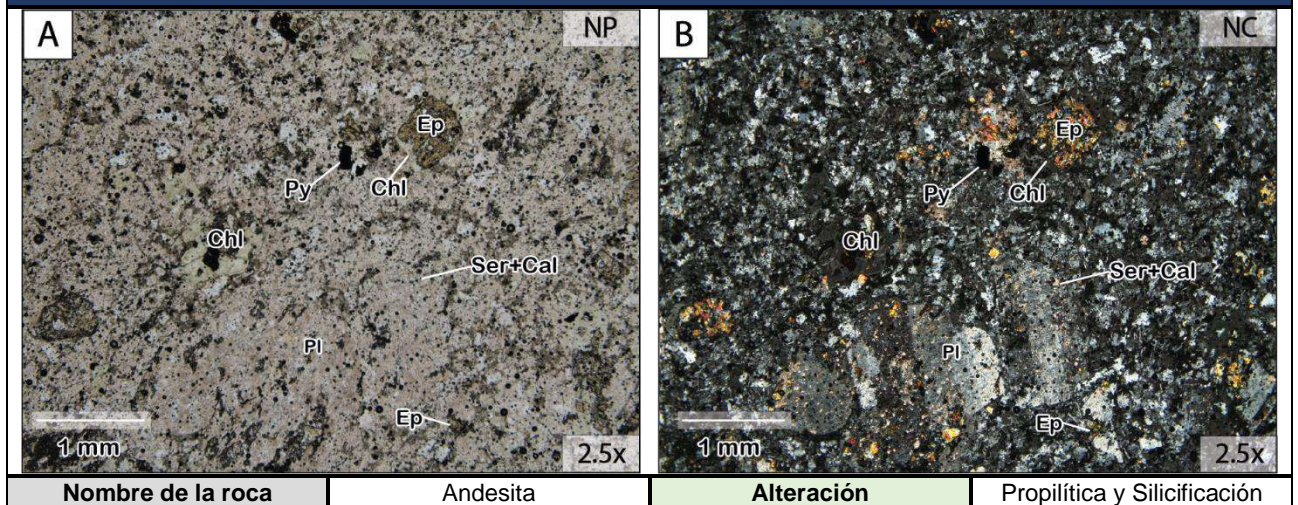
		sustituyendo (transformación pseudofórica de máficos, posiblemente de Hbl y Aug). Presenta cristales con tamaños de hasta 2.5 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B).
Epidota (Ep)	12%	Producto de alteración de los cristales de Pl y minerales máficos. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. C). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B).
Sericita (Ser)	3%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Calcita (Cal)	3%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Pirita (Py)	2%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm (Fig. A-B).

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta una textura porfídica, tiene fenocristales de Pl y Chl englobados en una matriz hipocristalina (formada por cristales y vidrio). Presenta también, una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales de Pl y Chl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral.

La roca ha experimentado procesos de cloritización, epidotización, silicificación, calcitización y seritización, dando como resultado una alteración de la roca en un 77%.

Análisis microscópico con luz transmitida




Nombre de la roca

Andesita

Alteración

Propilítica y Silicificación

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	SSC9	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
Roca de color gris con una ligera tonalidad verdosa, presenta una textura porfídica. Está compuesta por fenocristales de plagioclasas (24%), cuarzo (11%) y minerales máficos alterados (12%). Presenta una matriz (53%) con una silicificación moderada.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	20%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, en varias zonas del cristal se observa un aspecto “sucio” en tonos castaños y grises, debido a que los granos de Pl están alterados a Arc y Ser y reemplazados por Cal (Fig. C). Cristales tabulares con tamaños de hasta 4 mm y de relieve bajo (Fig. C). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blanco, en este caso presentan colores de interferencia fuertes debido a la alteración (Fig. D).	
Cuarzo (Qz I)	10%	NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos redondeados con tamaños de hasta 1.5 mm de diámetro y relieve bajo (Fig. A-C) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B-D).	
Anfiboles (Amp)	10%	Posible Hornblenda (Hbl) NP: Color en varios tonos de verde, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales de 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl y algunas Hbl están alteradas a Ep y reemplazadas en su mayoría por Cal (Fig. B).	
Biotita (Bt)	5%	NP: Color marrón oscuro, pleocroísmo débil en tonos de marrón. Cristales tabulares de hasta 2 mm y con relieve medio – alto (Fig. C) NC: Extinción paralela y moteada. Colores de interferencia muy altos de 3 ^{er} a 4 ^{to} orden, sin embargo, el fuerte color del mineral suele enmascararlos (Fig. D)	
Matriz			
Matriz	55%	Matriz hipocristalina, formada por Vg (vidrio) (33%) reemplazado parcialmente por Qz, microlitos de Pl (15%) alterados parcialmente a Ser y Arc y microlitos de minerales máficos (7%) alterados totalmente a Chl. Vidrio (Vg) NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A-C). NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B-D).	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz II)	21%	Producto del reemplazamiento del Vg. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una ligera silicificación en la matriz.	
		Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Amp y Pl.	

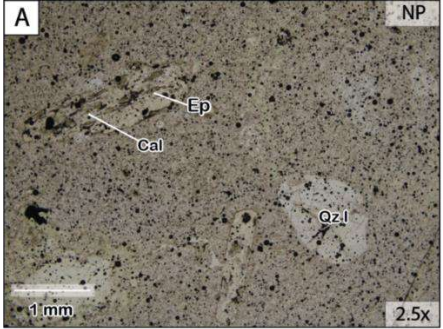
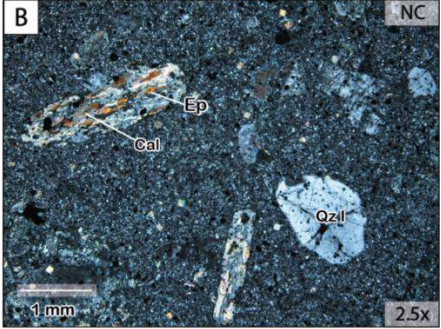
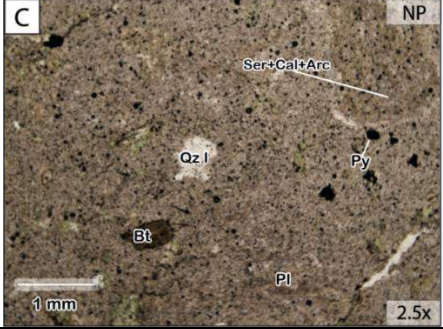

Calcita (Cal)	11%	NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A-C) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B-D).
Clorita (Chl)	8%	Producto de alteración de los fenocristales Amp y microlitos de minerales máficos. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A-C), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo. Cristales con tamaños de hasta 2 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A-C). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo intenso (Fig. B-D).
Epidota (Ep)	8%	Producto de alteración de los fenocristales de Amp y Bt. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B).
Arcillas (Arc)	6%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl y microlitos de Pl. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. C). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. D).
Sericita (Ser)	5%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl y microlitos de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. C). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. D).
Pirita (Py)	1%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B-C-D), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Se encuentran dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales con tamaños menores a 1 mm.


Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta una textura porfídica, tiene fenocristales de Pl Qz I y Chl englobados en una matriz parcialmente silicificada. También, tiene una textura glomeroporfídica se refiere a que varios de los fenocristales de Pl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral.

La roca ha experimentado procesos de cloritización, epidotización, sericitización, calcitización y silicificación, dando como resultado una alteración de la roca en un 60%.

Análisis microscópico con luz transmitida

	A	NP	B	NC
				
	C	NP	D	NC
				
Nombre de la roca	Dacita		Alteración	Propilítica y Silicificación

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RNC10	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
Roca de color gris con ligeras tonalidades verdosas, presenta una textura porfídica. Está compuesta por fenocristales de plagioclasas (23%), cuarzo (10%) y minerales máficos (12%). Presenta una matriz (55%) con silicificación moderada.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	20%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, en varias zonas del cristal se observa un aspecto "sucio" en tonos castaños y grises, debido a que los granos de Pl están alterados a Arc y Ser (Fig. A). Cristales tabulares con tamaños de hasta 3 mm y de relieve bajo (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blanco (Fig. B).	
Anfíboles (Amp)	11%	Posible Hornblenda (Hbl) NP: Color en varios tonos de verde, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales de 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl y algunas Hbl están alteradas a Ep y reemplazadas en su mayoría por Cal (Fig. B).	
Cuarzo (Qz I)	9%	NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos redondeados con tamaños menores a 1 mm de diámetro y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1er orden (entre grises y blancos) (Fig. B).	
Biotita (Bt)	4%	NP: Color marrón oscuro, pleocroísmo débil en tonos de marrón. Cristales tabulares de hasta 2 mm y con relieve medio – alto. NC: Extinción paralela y moteada. Colores de interferencia muy altos de 3 ^{er} a 4 ^{to} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Bt están alteradas completamente a Chl y algunas Bt están alteradas a Ep y reemplazadas en su mayoría por Cal (Fig. B).	
Matriz			
Matriz	56%	Matriz hipocristalina, formada por Vg (vidrio) (30%) reemplazado parcialmente por Qz y Cal, microlitos de Pl (17%) alterados parcialmente a Ser y Arc y microlitos de Amp y Bt (7%) alterados totalmente a Chl.	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz II)	20%	Producto del reemplazamiento del Vg. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una ligera silicificación en la matriz.	

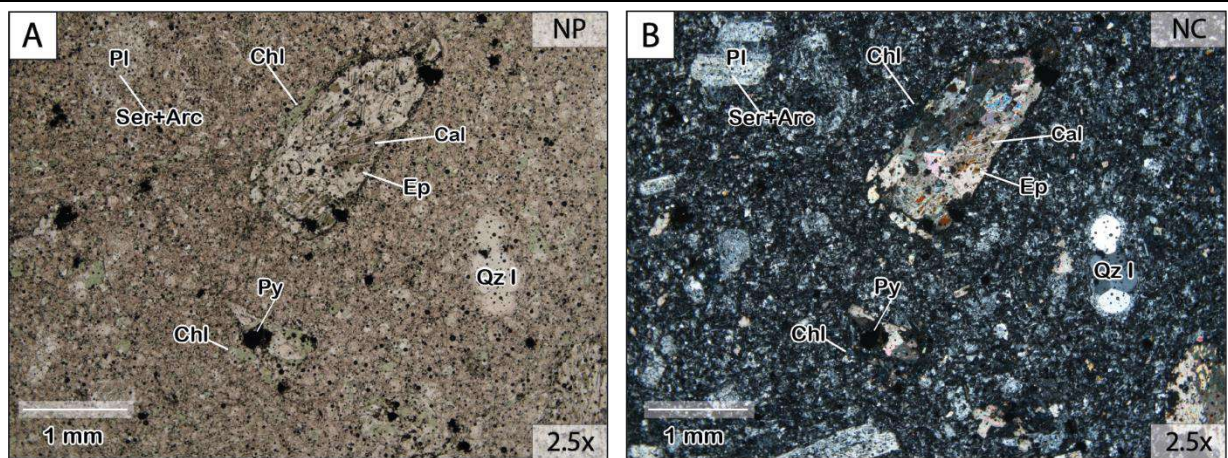
Calcita (Cal)	12%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Amp - Bt y parcialmente del reemplazamiento de la matriz. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).
Clorita (Chl)	9%	Producto de alteración de los fenocristales Amp - Bt y microlitos de Amp – Bt. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A-B), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo. Cristales con tamaños de hasta 2 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo intenso (Fig. B).
Epidota (Ep)	5%	Producto de alteración de los fenocristales de Amp y Bt. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. C). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B).
Arcillas (Arc)	4%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl y microlitos de Pl. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).
Sericita (Ser)	4%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl y microlitos de Pl en la matriz. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Pirita (Py)	1%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Se encuentran dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales con tamaños menores a 1 mm (Fig. A-B).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura porfídica, tiene fenocristales de Pl Qz I y Chl englobados en una matriz parcialmente silicificada. También, tiene una textura glomeroporfídica se refiere a que varios de los fenocristales de Pl, Qz I y Chl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral.

La roca ha experimentado procesos de cloritización, epidotización, sericitización, calcitización y silicificación, dando como resultado una alteración de la roca en un 55%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Dacita	Alteración	Propilítica y Silicificación
--------------------------	--------	-------------------	------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RSC11	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta un color verde oscuro y una textura fragmentada. Está formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (21%) y minerales máficos alterados a Chl (15%). La matriz (57%) presenta silicificación y contiene pirita diseminada en la roca (7%).</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	23%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, dando un aspecto "sucio" debido a que están alterados parcialmente a Arc, Ser y reemplazados por Cal (Fig. A). Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 1.5 mm (Fig. A-B).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1er orden, en tonos grises y blanco (Fig. B).</p>	
Anfíbol (Amp)	18%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales – subhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños de hasta 1.5 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo predomina debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Fragmentos de líticos			
Líticos	0%	No presenta.	
Matriz			
Matriz	59%	<p>Matriz formada por Vg (46%) reemplazada casi en su totalidad por Qz y Arc, también presta microlitos de Pl (13%).</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	36%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1er orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una silicificación en la matriz.</p>	
Clorita (Chl)	18%	<p>Producto de alteración de los posibles Amp.</p> <p>NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 1.5 mm y con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B).</p>	

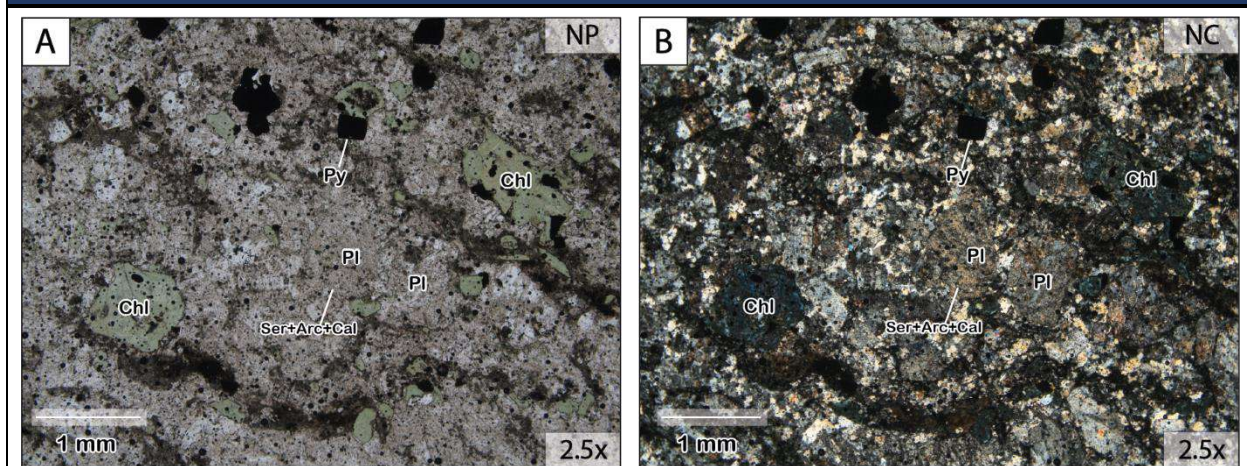
Pirita (Py)	8%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Cristales dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm.
Arcillas (Arc)	7%	Producto de alteración de los cristales de Pl y alteración del Vg. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).
Sericita (Ser)	5%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Calcita (Cal)	4%	Producto del reemplazamiento de los cristales de Pl. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A) NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. B).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca está formada por abundantes cristales (41%). Por lo tanto, se define como una toba de cristales.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, cloritización, seritización y calcitización dando como resultado una alteración de la roca en un 78%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba de cristales	Alteración	Subvolcánica y Silicificación
--------------------------	-------------------	-------------------	-------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	MCC12	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta un color verde oscuro y una textura fragmentada. Está formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (26%) y minerales máficos alterados a Chl (10%). La matriz (59%) presenta silicificación y muestra algunas vetillas de Cal (5%).</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	30%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A-B). Varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, dando un aspecto "sucio" (Fig. A), debido a que están alterados parcialmente a Arc, Ser, Ep y reemplazados por Cal.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1er orden, en tonos grises y blanco. En este caso debido a la alteración presenta colores de interferencia más fuertes (Fig. B).</p>	
Anfíbol (Amp)	10%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales – subhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños menores a 1 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden, en este caso el azul anómalo predomina debido a que los pequeños fragmentos de Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Fragmentos de líticas			
Líticos	0%	No presenta.	
Matriz			
Matriz	60%	<p>Matriz formada por Vg (45%) reemplazada casi en su totalidad por Qz y Arc, también presta microlitos de Pl (15%).</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	30%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1er orden (entre grises y blancos) (Fig. B). Genera una silicificación en la matriz.</p>	
Calcita (Cal)	12%	<p>Producto del reemplazamiento de los cristales de Pl.</p> <p>NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4to orden en adelante) (Fig. B).</p>	

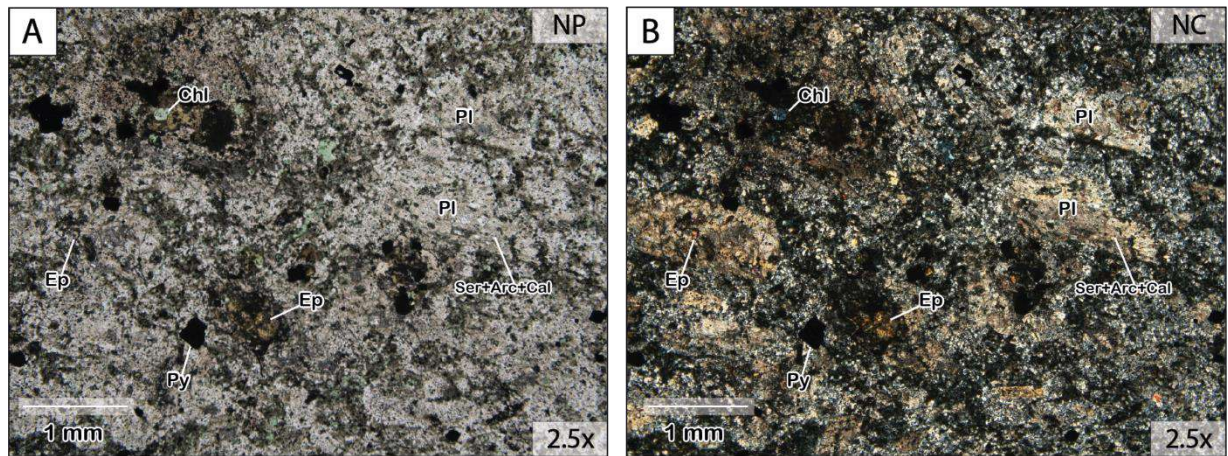
Epidota (Ep)	10%	Producto de alteración de los cristales de Pl. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B).
Clorita (Chl)	10%	Producto de alteración de los posibles Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 1.5 mm y con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B).
Arcillas (Arc)	9%	Producto de alteración de los cristales de Pl y alteración del Vg. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. B).
Sericita (Ser)	5%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).
Pirita (Py)	1%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Cristales dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm.

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca está formada por abundantes cristales (40%). Por lo tanto, se define como una toba de cristales.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, epidotización, cloritización, seritización y calcitización dando como resultado una alteración de la roca en un 77%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba de cristales	Alteración	Propilítica y Silicificación
--------------------------	-------------------	-------------------	------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	MMC13	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color gris claro con tonalidades verdosas y textura porfídica. Compuesta principalmente por plagioclasa (25%) y piroxenos (8%) y anfíboles (10%) alterados a Chl. Presenta una matriz (57%) de grano fino silicificada.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	24%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, que da un aspecto “sucio” (Fig. C) debido a que se están alterando parcialmente a Ser, Arc y Ep, también, están reemplazados parcialmente por Cal. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 3 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos (Fig. B-D). Algunas Pl muestran una macla polisintética (Fig. B).</p>	
Anfíboles (Amp)	12%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B-C-D) con tamaños de hasta 3 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A-C).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden, en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B-D).</p>	
Piroxenos (Px)	6%	<p>Augita (Aug)</p> <p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil (Fig. A). Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (colores intensos, naranja, amarillo, azul, verde, rojo, etc.) (Fig. B).</p>	
Matriz			
Matriz	58%	<p>Matriz hipocristalina, formada por Vg (35%) reemplazado en su totalidad por Qz, también, contiene microlitos de Pl (15%) y Px - Amp (8%) alterados totalmente a Chl. El Qz, además rellena pequeñas fracturas en la matriz.</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A-C).</p> <p>NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B-D).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	35%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg y relleno de fracturas en la roca.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A-C)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B-D).</p> <p>Genera una silicificación en la matriz.</p>	

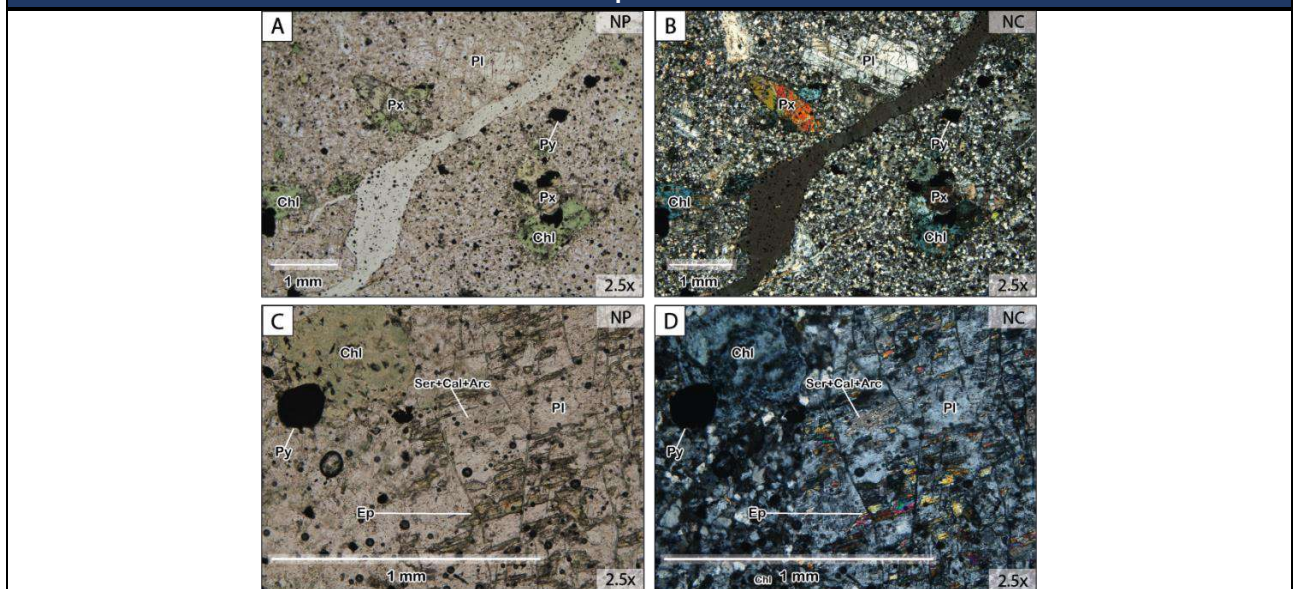
Clorita (Chl)	21%	Producto de alteración de los Amp y en menor cantidad de los Px. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A-C), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo (transformación pseudofórfica de máficos, posiblemente de Hbl y Aug). Presenta cristales con tamaños de hasta 2.5 mm y con un relieve medio – alto. NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul anómalo (Fig. B-D).
Epidota (Ep)	6%	Producto de alteración cristales de Pl. NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. C). NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B). Se observan como agrupaciones anhedrales (Fig. D).
Pirita (Py)	4%	Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B-C-D), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm.
Arcillas (Arc)	4%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. C). NC: Colores de interferencia fuertes de 2 ^{do} orden (Fig. D).
Calcita (Cal)	3%	Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. C). NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4 ^{to} orden en adelante) (Fig. D).
Sericita (Ser)	1%	Producto de alteración de los fenocristales de Pl. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. C). NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. D).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura porfídica, tiene fenocristales de Pl, Px y Chl englobados en una matriz hipocristalina (formada por cristales y vidrio). Presenta también, una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales de Pl, Px y Chl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, cloritización, epidotización, calcitización y seritización, dando como resultado una alteración de la roca en un 74%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Andesita	Alteración	Subpropilítica y Silicificación
--------------------------	----------	-------------------	---------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RSC14	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>La roca presenta un color verde claro y una textura fragmentada. Está formada por fragmentos de cristales de plagioclasa (25%) y minerales máficos alterados a Chl (15%). La matriz (60%) presenta silicificación.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Fragmentos de cristales principales			
Plagioclasa (Pl)	27%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta cristales subhedrales con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A-B).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1er orden, en tonos grises y blanco (Fig. B).</p>	
Anfíbol (Amp)	14%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales anhedrales – subhedrales (Fig. A-B) con relieve medio – alto y con tamaños de hasta 1.5 mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo predomina debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Fragmentos de líticos			
Líticos	0%	No presenta.	
Matriz			
Matriz	59%	<p>Matriz formada por Vg (53%) reemplazada casi en su totalidad por Qz y microlitos de Pl (6%).</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro (Fig. B) y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	38%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1er orden (entre grises y blancos) (Fig. B).</p> <p>Genera una silicificación en la matriz.</p>	
Epidota (Ep)	17%	<p>Producto de alteración cristales de Pl principalmente y en menor cantidad de minerales máficos.</p> <p>NP: Color marrón verdoso a incoloro, con pleocroísmo leve y con un relieve alto (Fig. A).</p>	

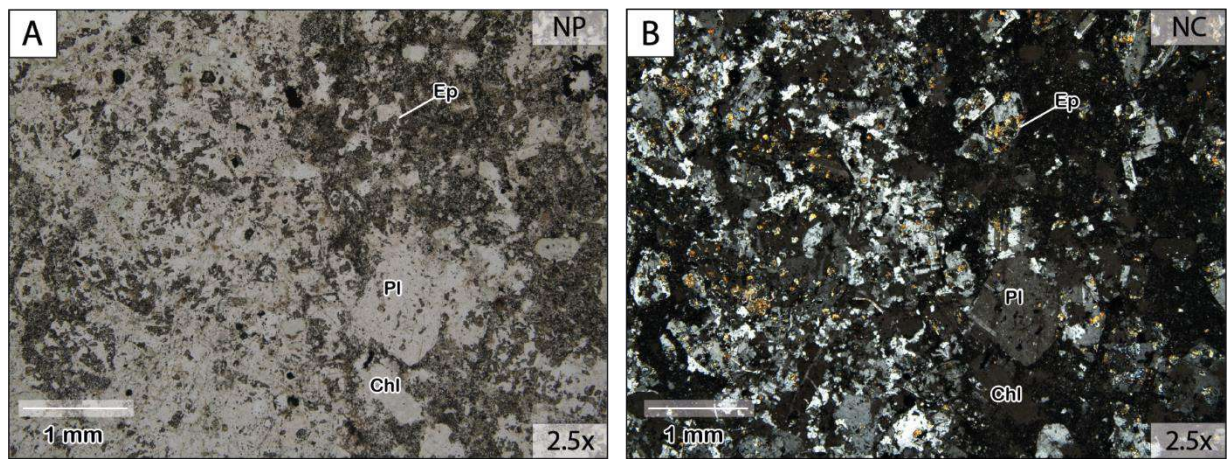
		NC: Extinción oblicua (paralela en cristales alargados). Colores de interferencia de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden (amarillos, verdes, azules, fucsias) (Fig. B). Se observan como agrupaciones anhedrales (Fig. A-B).
Clorita (Chl)	14%	Producto de alteración de los posibles Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas anhedrales (Fig. A-B). Cristales con tamaños de hasta 1.5 mm y con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia azul a marrón anómalo (Fig. B).

Características de la roca / Observaciones:


La roca presenta una textura clástica fragmentada. La textura fragmentada indica que los componentes de la roca (cristales) están rotos. La roca está formada por abundantes cristales (41%). Por lo tanto, se define como una toba de cristales.

La roca ha experimentado procesos de silicificación, epidotización y cloritización dando como resultado una alteración de la roca en un 69%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Toba de cristales	Alteración	Propilítica y Silicificación
--------------------------	-------------------	-------------------	------------------------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	RSC15	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color verde claro de textura porfídica. Compuesta principalmente por plagioclasas (18%) y minerales máficos totalmente alterados a clorita (16%). Contiene pirita (6%) diseminada en toda la roca.</p> <p>Presenta una matriz (60%) de grano fino silicificada y alterada a arcillas.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Plagioclasa (Pl)	20%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, sin embargo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, que da un aspecto "sucio" debido a que se están alterando a Arc, Ser y están reemplazadas parcialmente por Cal (Fig. A). Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo, con tamaños de hasta 3 mm (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia fuertes (debido a la alteración) (Fig. B), suele tener colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>	
Anfiboles (Amp)	9%	<p>Posible Hornblenda (Hbl)</p> <p>NP: Color en varios tonos de verde (verde azulado, verde amarillento) a marrón, pleocroísmo moderado. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Hbl están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Piroxenos (Px)	9%	<p>Posible Augita (Aug)</p> <p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales euhedrales – subhedrales (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.), en este caso el azul anómalo, marrón a púrpura predominan debido a que las Aug están alteradas completamente a Chl (Fig. B).</p>	
Matriz			
Matriz	62%	<p>Matriz hipocrystalina, formada por Vg (44%) reemplazado en su totalidad por Qz y Arc, también, contiene microlitos de Pl (10%) y minerales máficos (Px, Amp) (5%) alterados totalmente a Chl.</p> <p>Vidrio (Vg)</p> <p>NP: Color castaño grisáceo (suele ser incoloro), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve bajo (Fig. A).</p> <p>NC: Se observa en color negro y no tiene una forma definida. Se presenta como material intersticial entre los cristales (Fig. B).</p>	
Minerales de Alteración			
Cuarzo (Qz)	35%	<p>Producto del reemplazamiento del Vg y rellenando fracturas en la roca. El Qz genera una silicificación en la matriz.</p>	

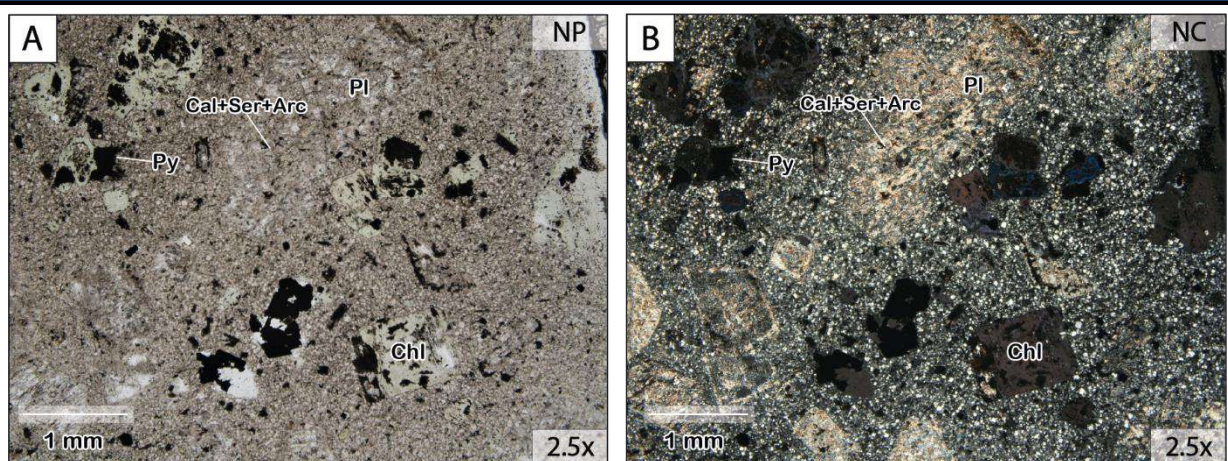
		<p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 1 mm y relieve bajo (Fig. A)</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B).</p>
Clorita (Chl)	23%	<p>Producto de alteración de los Px y Amp.</p> <p>NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas euhedrales – subhedrales (Fig. A), las formas son heredadas del mineral al cual está sustituyendo (transformación pseudofórica de máficos, posiblemente de Hbl y Aug). Presenta cristales con tamaños de hasta 2 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B).</p>
Arcillas (Arc)	9%	<p>Producto de alteración de los fenocristales de Pl.</p> <p>NP: Color castaño – marrón claro, da un aspecto como de “sucio” o terroso (Fig. A).</p> <p>NC: Colores de interferencia fuertes de 2^{do} orden (Fig. B).</p>
Pirita (Py)	8%	<p>Color negro tanto en NP y NC (Fig. A-B), debido a que refleja la luz que incide sobre su superficie. Algunos cristales tienen un tamaño mayor que resalta, se encuentran dispersos en toda la roca. Presentan formas subhedrales – anhedrales con tamaños menores a 1 mm (Fig. A-B).</p>
Calcita (Cal)	6%	<p>Producto del reemplazamiento de los fenocristales de Pl.</p> <p>NP: Incoloro (con irisaciones en los planos de clivaje), no presenta pleocroísmo y tiene un relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción paralela al clivaje y colores de interferencia muy altos e irisados (4^{to} orden en adelante) (Fig. B).</p>
Sericita (Ser)	5%	<p>Producto de alteración de los fenocristales de Pl.</p> <p>NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio (Fig. A).</p> <p>NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2^{do} a 3^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de Pl a la cual se encuentra alterando (Fig. B).</p>

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura porfídica, tiene fenocristales de Pl y Chl englobados en una matriz silicificada. Presenta también, una textura glomeroporfídica que indica que algunos de los fenocristales de Pl y Chl han crecido en grupo (crecen caras minerales en contacto), como una isla mineral.

La roca ha experimentado procesos de calcitización, seritización, silicificación y cloritización principalmente, dando como resultado una alteración de la roca en un 86%.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Andesita	Alteración	Subvolcánica y Silicificación
--------------------------	----------	-------------------	-------------------------------

Anexo 04.

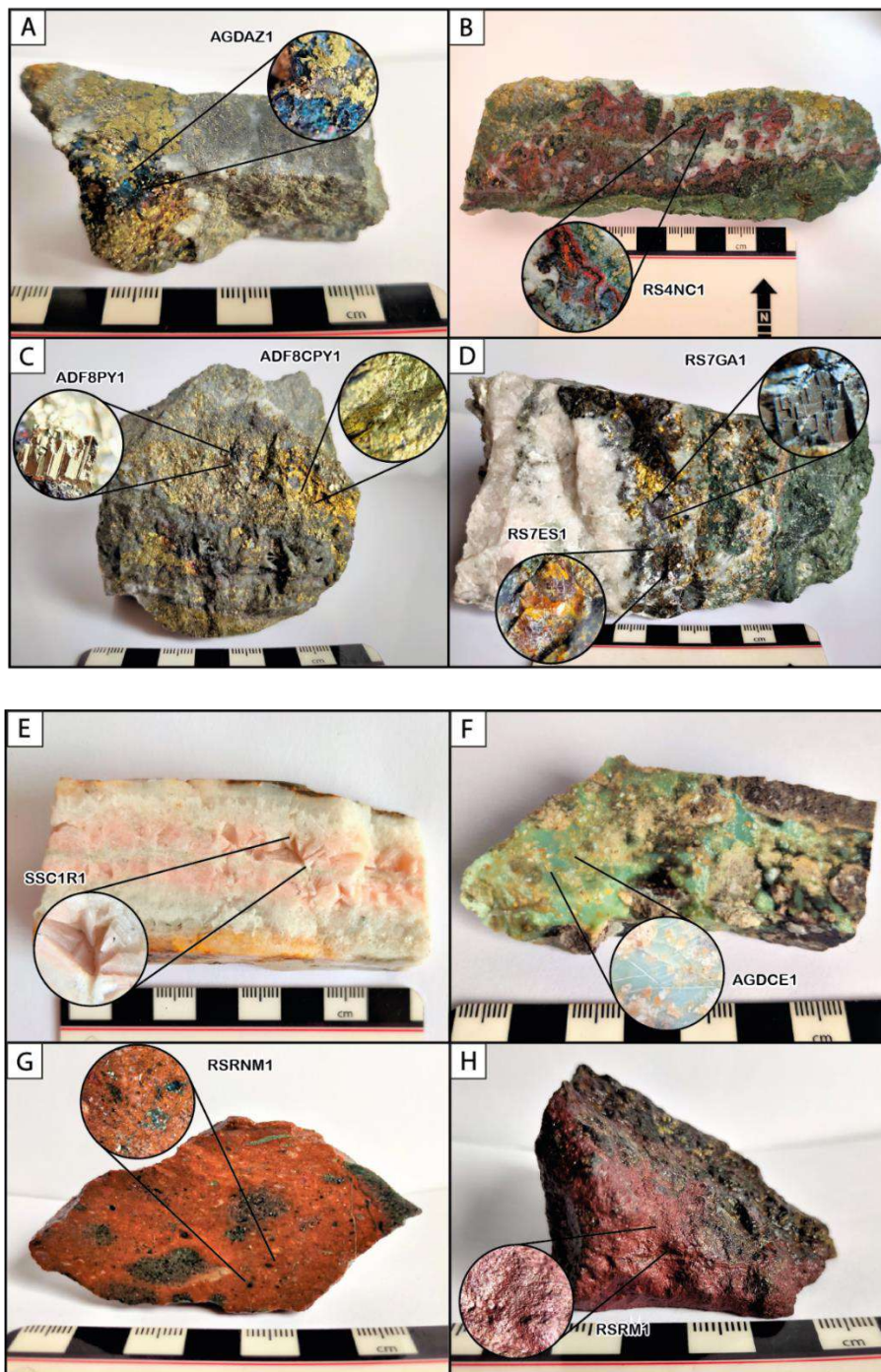
Registro de valores generados por análisis de fluorescencia de Rayos X realizados en el laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).

SAMPLE	Mo (ppm)	Zr (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	Au (ppm)	As (ppm)	Zn (ppm)	W (ppm)
RSRNM1	<LOD	136,37	23,55	237,82	<LOD	<LOD	11,87	44,63	<LOD
RSRM1	19,15	8,87	<LOD	<LOD	44,56	<LOD	44,64	132,81	209,78
SSC1R1	<LOD	<LOD	200,29	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
AGDCE1	<LOD	47,34	77,86	233,25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
AGDAZ1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	151,49	107,4	193,35	761,04	<LOD
RS4NC1	<LOD	36,01	4,76	5,7	89,96	<LOD	35,25	80,85	<LOD
ADF8PY1	26,85	<LOD	<LOD	46,45	84,88	<LOD	134,37	340,32	<LOD
ADF8CPY1	45,05	17,16	<LOD	46,43	<LOD	<LOD	161,73	492,26	<LOD
RS7GA1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	213966,16	<LOD	10984,32	22809,71	3189,03
RS7ES1	<LOD	<LOD	32,43	<LOD	8331,08	<LOD	<LOD	392480,53	<LOD
SAMPLE	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Ti (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	S (ppm)
RSRNM1	<LOD	31905,6	547,37	154	260,88	8533,72	6021,28	43846,81	<LOD
RSRM1	214,05	129229	1574,84	66,41	<LOD	<LOD	4925,2	<LOD	22131,5
SSC1R1	<LOD	2383,1	3618,06	<LOD	<LOD	<LOD	461204,3	<LOD	<LOD
AGDCE1	<LOD	746,55	<LOD	411,59	276,34	1876,56	4913,02	67472,22	<LOD
AGDAZ1	206387,8	300264	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	418580
RS4NC1	1822,77	27546,9	281,63	143,44	<LOD	130,01	381,08	415,18	30528,7
ADF8PY1	77124,69	339103	<LOD	<LOD	<LOD	490,52	<LOD	4296,71	500353
ADF8CPY1	159315,1	197494	<LOD	<LOD	<LOD	281,54	1000,89	6293,05	311020
RS7GA1	31897,46	55387,6	<LOD	<LOD	1127,67	537,71	1916,32	<LOD	202452
RS7ES1	2823,71	42484,7	682,1	330,61	<LOD	<LOD	45563,05	1769,19	307208
SAMPLE	Ba (ppm)	Cs (ppm)	Te (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Cd (ppm)	Ag (ppm)	Pd (ppm)	Nb (ppm)
RSRNM1	906,34	90,7	177,02	69,14	101,64	13,73	10,82	<LOD	14,9
RSRM1	237,86	59,35	86,25	56,11	58,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
SSC1R1	570,08	94,71	170,86	67,66	120,88	<LOD	<LOD	<LOD	12,17
AGDCE1	633,87	98,14	162,31	70,17	90,18	12,19	8,44	<LOD	<LOD
AGDAZ1	<LOD	138,17	304,58	508,64	165,25	<LOD	328,57	<LOD	24,27
RS4NC1	<LOD	<LOD	<LOD	58,77	<LOD	<LOD	22,54	<LOD	23,38
ADF8PY1	352,21	144,76	260,5	274,1	144,94	<LOD	114,21	<LOD	<LOD
ADF8CPY1	242,89	49,76	70,17	622,26	124,21	<LOD	223,2	<LOD	<LOD
RS7GA1	<LOD	362,6	938,75	1075,48	<LOD	490,32	429,43	40,68	<LOD
RS7ES1	298,49	128,96	261,11	<LOD	<LOD	2763,61	<LOD	<LOD	<LOD

Se muestran las fotografías de las rocas utilizadas para el análisis de fluorescencia de rayos X junto con las tablas en Excel que indican las concentraciones de elementos en cada muestra.

El análisis se realizó en el laboratorio geoquímico del IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético). El área analizada es de 3 mm, en la imagen agrandada se indica el lugar donde se realizó el disparo.

En las rocas que se observan en las fotografías C y D, se realizaron dos disparos en diferentes minerales.



Muestras tomadas en las galerías de las vetas Jorupe – Tres Reyes (B, D, G, H) y Soroche (A, C, F). En las fotografías C y D, se realizaron dos disparos en diferentes minerales.


Anexo 05.

Registro de valores generados por análisis de fluorescencia de Rayos X realizados en el laboratorio de la empresa Geostat S. A.

Sample ID	Mg (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	P (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)
AD12	0	727	163572	375	266451	1717	1286	0	0	333
ADF8	0	37872	251984	224	183657	14940	91	659	0	0
MATS1A	0	14188	223097	178	150136	5052	33017	0	0	119
MATS1B	0	14394	222635	213	150870	5308	33227	0	0	153
RN3	3445	14046	378032	257	36432	1887	815	360	0	0
RS10	0	4706	379826	287	51413	1010	1641	0	0	42
RS4	0	7448	332672	257	113282	961	8185	0	0	0
RS5	3370	16938	87851	93	263792	2892	6179	0	0	75
RS7A	0	12008	186486	156	187902	729	8861	0	0	114
RS7B	0	11981	187154	203	190173	754	8654	0	0	141
RS9	0	9224	320714	233	124493	1173	648	0	0	0
SN11	0	5984	206740	167	144190	1569	50447	0	0	57
SN2	0	3108	127671	359	276291	2194	4798	0	0	352
SS6A	0	10553	262751	247	133988	3053	8245	0	0	57
SS6B	0	10856	265037	237	135286	2523	8144	0	0	76
Sample ID	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)
AD12	122	54766	0	162	45431	186239	6405	110	0	0
ADF8	67	165682	620	0	33969	223	117	37	53	0
MATS1A	337	42614	104	51	12362	65941	2134	76	18	41
MATS1B	334	43235	167	41	12407	65711	2310	81	21	37
RN3	516	39709	173	18	3160	1981	34	9	7	0
RS10	125	7525	100	11	5793	29897	208	27	8	8
RS4	478	90176	352	21	20904	1007	106	31	0	3
RS5	511	239419	0	0	245549	1579	245	157	13	11
RS7A	814	83273	0	76	19448	142455	2262	86	0	0
RS7B	813	83346	0	75	19048	143347	2305	105	0	0
RS9	379	99428	343	26	24310	6506	108	25	7	3
SN11	330	11856	0	22	6134	156376	408	0	8	63
SN2	236	55886	0	103	15999	254247	5357	259	0	24
SS6A	147	35493	196	58	18261	130875	112	11	12	25
SS6B	115	35170	146	52	18019	128727	82	13	11	23

Sample ID	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Mo (ppm)	Ag (ppm)	Cd (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)
AD12	0	0	107	168	390	1914	142	2391	0	0
ADF8	0	12	0	42	78	0	0	193	120	0
MATS1A	0	0	40	68	125	692	68	416	155	0
MATS1B	0	0	35	69	140	719	90	390	159	192
RN3	0	10	0	0	11	0	0	74	0	0
RS10	0	0	0	8	46	246	0	146	60	0
RS4	0	0	0	0	87	24	0	144	121	0
RS5	0	0	0	11	591	47	0	1039	156	208
RS7A	0	0	23	66	131	1147	76	296	99	0
RS7B	0	0	15	58	130	1193	65	281	0	0
RS9	0	0	0	0	88	60	35	122	0	0
SN11	0	0	15	67	62	1488	0	237	180	0
SN2	0	0	85	228	202	1838	251	313	200	0
SS6A	9	0	0	51	121	1218	0	403	669	0
SS6B	0	0	0	54	113	1160	38	387	633	0
Sample ID	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	W (ppm)	Au (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
AD12	0	557	717	0	0	0	168261	0	106	0
ADF8	0	0	0	399	25	0	203	0	15	9
MATS1A	198	322	583	0	0	0	78015	0	64	0
MATS1B	0	0	0	0	0	0	77876	0	48	0
RN3	0	0	0	466	8	0	772	0	0	5
RS10	0	268	0	595	29	0	18829	0	0	0
RS4	0	0	0	375	18	0	1192	0	0	6
RS5	212	0	0	0	40	0	195	0	0	0
RS7A	0	0	0	0	0	0	55990	0	63	0
RS7B	0	0	0	0	0	0	56095	0	62	0
RS9	0	0	382	500	26	40	2889	0	17	0
SN11	213	0	0	0	0	0	23957	0	47	0
SN2	0	0	0	0	0	0	151406	0	147	0
SS6A	179	394	0	0	0	0	4503	0	19	0
SS6B	0	0	0	0	0	0	4470	0	22	0

Anexo 06.

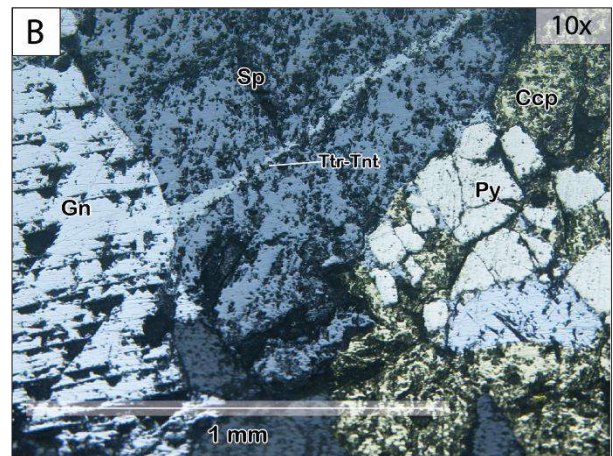
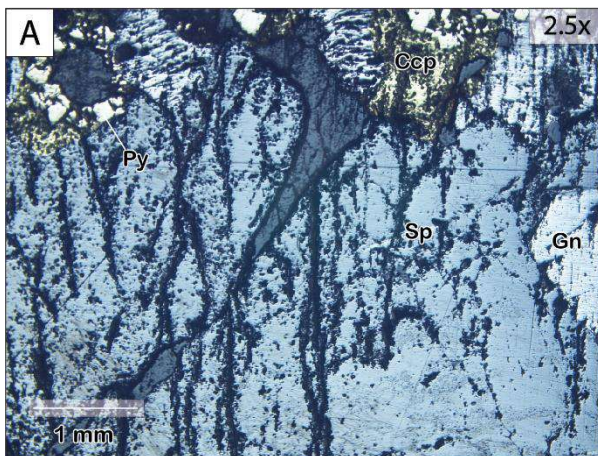
ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	MATS1A	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Pirita	17 %		
Esfalerita	15 %		
Calcopirita	11 %		
Galena	7 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino, lechoso y amatista)	40 %		
Calcita	6 %		
Yeso	4 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo presenta una textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Crostiforme y Zonado. Se observa bandeamiento de los minerales de mena.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	25%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. (Fig. A-B). Se presenta como pequeñas inclusiones en la Ccp (Fig. A-B)
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	12%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales subhedrales (Fig. A-C) con tamaños menores a 1mm hasta 5 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Intercrecimiento simple con Gn (Fig. A-B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	10%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1mm hasta 3 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se encuentra como pequeñas inclusiones en la Sp (Fig. A).
Galena (Gn)	PbS 2.5	6%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm hasta 2 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A-B) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Intercrecimiento simple con la Sp (Fig. A-B).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃ Cu ₁₂ SbS ₁₃ 3 – 4	1%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin rayas). Se encuentra como una pequeña vetilla en la Sp (Fig. A-B).
GANGA			


Cuarzo (Qz)	SiO ₂	46%	Principalmente Qz, presentan un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucidos su reflectancia es muy baja. También, presenta Cal (calcita) y Gp (yeso).
-------------	------------------	-----	---

Diagrama Paragenético

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Esfalerita (Sp)	—————	-----	
Galena (Gn)	—————	-----	
Calcopirita (Ccp)	—————	-----	
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)		-----	
Pirita (Py)	—————	-----	
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	—————	-----	
Calcita (Cal)	-----	-----	-----
Cuarzo lechoso (Qz ₃)			—————
Yeso (Gp)			-----

Análisis microscópico con luz reflejada

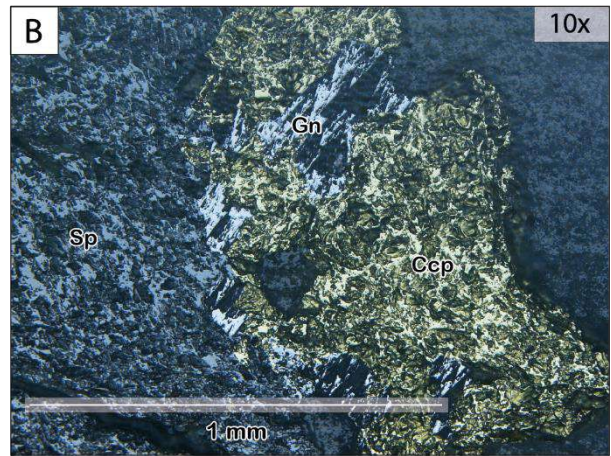
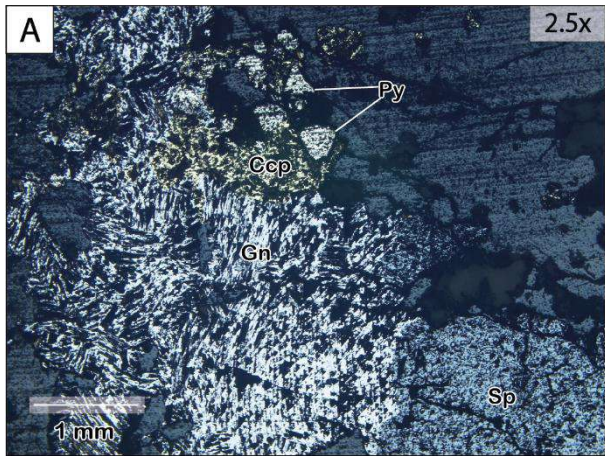



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	MATS1B	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	12 %		
Calcopirita	10 %		
Galena	9 %		
Pirita	5 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino, lechoso y amatista)	54%		
Calcita	6%		
Yeso	4 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo presenta una textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Crostiforme y Zonal. Se observa bandeamiento de los minerales de mena y en acumulaciones.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	11%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, grandes cristales subhedrales (Fig. A-B) con tamaños de hasta 9 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Intercrecimiento simple con Gn (Fig. A-B).
Galena (Gn)	PbS 2.5	8%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm hasta 3 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A-B) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Se encuentra parcialmente reemplazada por la Ccp (Fig. A-B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	5%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1mm hasta 4mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se presenta como pequeñas inclusiones en ganga (Fig. A)
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	3%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. (Fig. A-B). Se presenta como pequeñas inclusiones en la Ccp (Fig. A)
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO ₂	73%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja. También, está formada por Cal (calcita) y Gp (yeso).
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Esfalerita (Sp)	—————	
Galena (Gn)	—————	
Calcopirita (Ccp)	—————	
Pirita (Py)	- - - - -	
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	- - - - -	
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		—————
Calcita (Cal)	- - - - -	- - - - -

Escasa	- - - - -
Moderada	—————
Abundante	—————

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

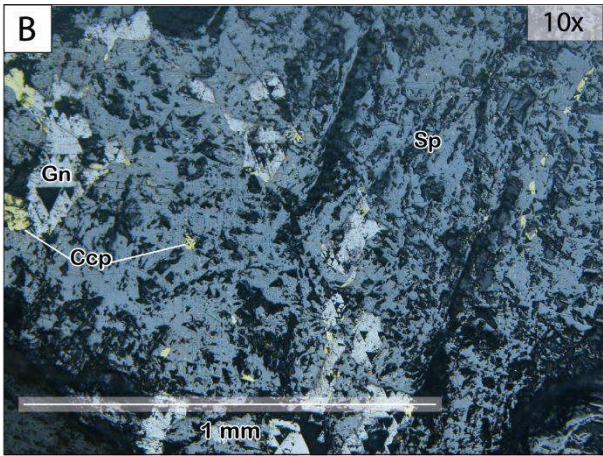
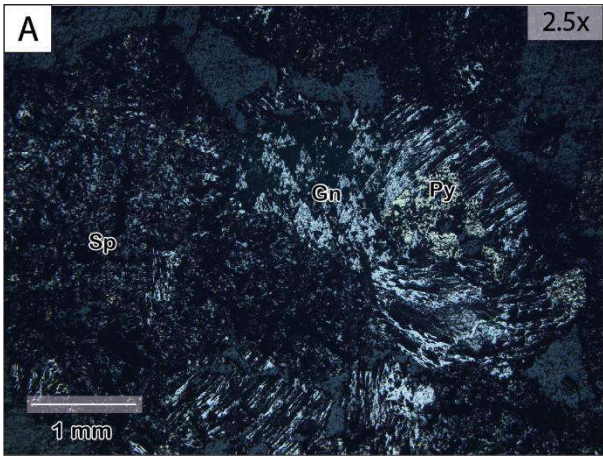


ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	SN2	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	26 %		
Galena	12 %		
Pirita	8 %		
Calcopirita	5 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	44 %		
Calcita	5 %		
Características de la roca / Observaciones: La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo presenta una textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Zonal y Crostiforme. Se observa bandeamiento en la muestra, intercalación entre la mena y la ganga. Dentro de las bandas de la mena se observa agrupaciones minerales y granos de esfalerita de gran tamaño de hasta 1.5 cm.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	30%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales anhedrales (Fig. A-B) con tamaños de hasta 7 mm. Aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Contiene pequeñas inclusiones de Ccp (Fig. B). Varios de los cristales están fracturados.
Galena (Gn)	PbS 2.5	15%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales con tamaños menores desde 1 mm hasta 4 mm (Fig. A-B). Presenta triángulos de arranque (típico de este mineral al ser pulido) debido a su baja dureza de pulido (Fig. A-B). Se encuentra como reemplazando parcialmente a la Sp a través de las fracturas (Fig. B).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	7%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A) menores de 1 mm. Se presenta intercrecida con la Gn (Fig. A)
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	3%	Color amarillo bronce, reflectancia media, dureza del pulido (media – alta) presenta rayas (Fig. B). Ccp está reemplazando parcialmente a la Gn (Fig. B). Se encuentra como pequeñas inclusiones en la Sp (Fig. B).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO ₂ CaCO ₃	45 %	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja.). También, está formado en menor cantidad por Cal.
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	_____	_____
Esfalerita (Sp)	_____	_____
Galena (Gn)	_____	_____
Calcopirita (Ccp)	_____	_____
Pirita (Py)	_____	_____
Cuarzo lechoso (Qz ₃)	_____	_____
Calcita (Cal)	_____	_____

Escasa	_____
Moderada	_____
Abundante	_____

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA




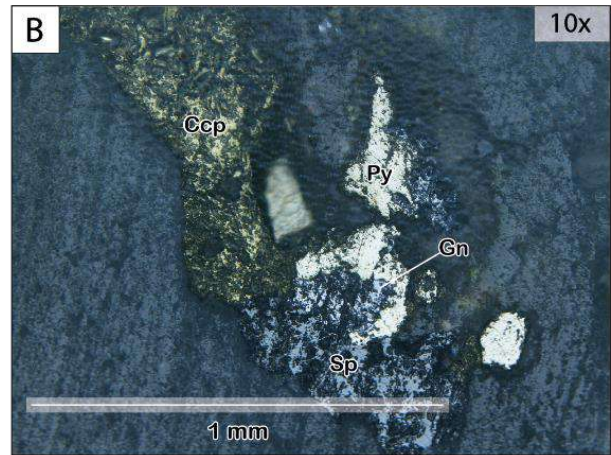
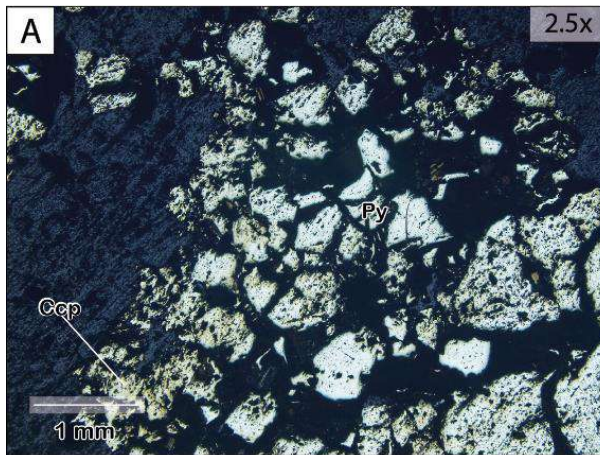
ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RN3	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Pirita	15 %		
Calcopirita	6 %		
Galena	3 %		
Esfalerita	2 %		
Minerales de ganga			
Cuazo (cristalino, lechoso y amatista)	58 %		
Calcita	12 %		
Hematita	4 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura brechada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Coloforme, en enrejado y Sacaroidal. Los minerales de mena tienen una distribución irregular.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	10%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm hasta 1.5 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. Presenta maclas de deformación.
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	4.4%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales hasta 1 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Ccp está englobando a la Py (Fig. A) y reemplazando parcialmente a la Sp (Fig. B).
Galena (Gn)	PbS 2.5	0.4%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. B-C) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Gn está bordeando a la Py (Fig. B)
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	0.2%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales anhedrales (Fig. B) con tamaños menores a 1 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. B).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO ₂ CaCO ₃	85%	Formada por Qz y Cal, tienen un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B) y reflectancia muy baja. También, contiene un poco de Hem (hematita) y algunas inclusiones de Py (Fig. A-B).


DIAGRAMA PARAGENÉTICO

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	=====	
Pirita (Py)	-----	-----
Esfalerita (Sp)	-----	-----
Galena (Gn)	-----	-----
Calcopirita (Ccp)	-----	-----
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		=====
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	=====
Abundante	=====

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

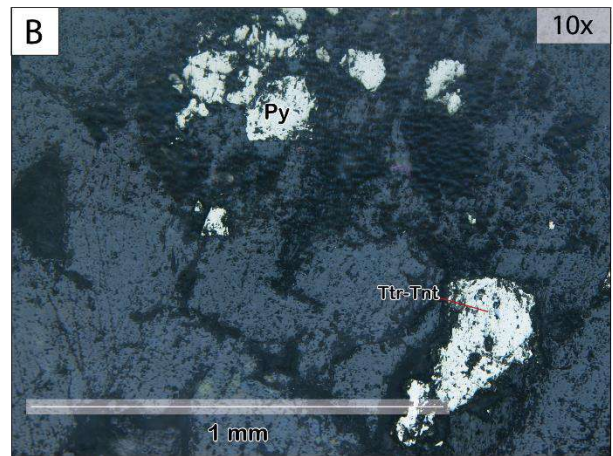
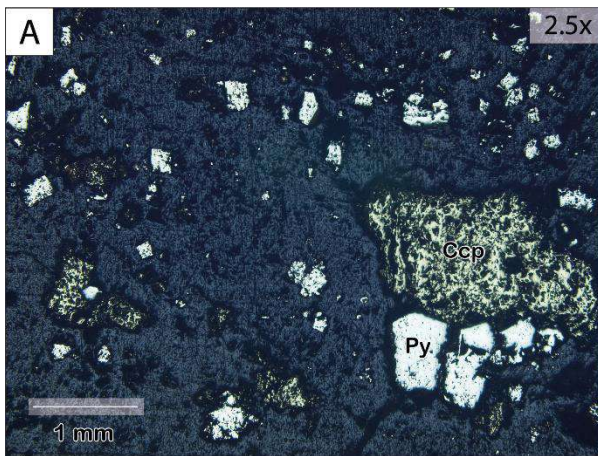


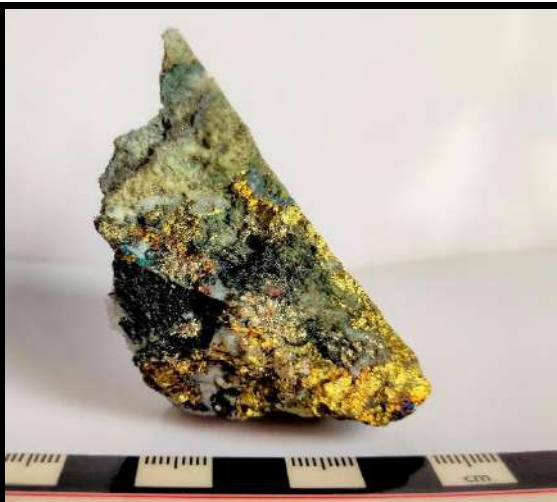
ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS4B	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Calcopirita	10 %		
Pirita	8 %		
Esfalerita	3 %		
Galena	2%		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	63 %		
Calcita	9 %		
Hematita	5 %		
Características de la roca / Observaciones: La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Coloforme y Crostiforme.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$ 3.5 – 4.5	8.5%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores de 1mm hasta 3 mm. Ccp se encuentra bordeando a la Py (Fig. A). Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A). Parte de la Ccp esta diseminada en la ganga y está en intercrecimiento simple con la Py (Fig. A).
Pirita (Py)	FeS_2 6 – 6.5	6%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales menores de 1 mm (Fig. A-B). Por su alta dureza del pulido tiene pequeños huecos, rayas y un relieve superior a los otros minerales (Fig. A-B). Py esta diseminada en la ganga (Fig. A-B).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	$Cu_{12}As_4S_{13}$ $Cu_{12}SbS_{13}$ 3 – 4	0.5%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin rayas). Se presenta como traza en la Py (Fig. B).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO_2 $CaCO_3$	85 %	Principalmente Qz, también, Cal y Hem (hematita). Tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser formada por minerales traslucidos su reflectancia es muy baja. Contiene inclusiones de Py y Ccp (Fig. A-B).
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Cuarzo cristalino (Qz ₂)			
Hematita (Hem)	—		
Pirita (Py)	—	—	
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)		—	
Calcopirita (Ccp)	—	—	
Cuarzo lechoso (Qz ₃)			—
Calcita (Cal)	—	—	—

Escasa	—
Moderada	—
Abundante	—

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

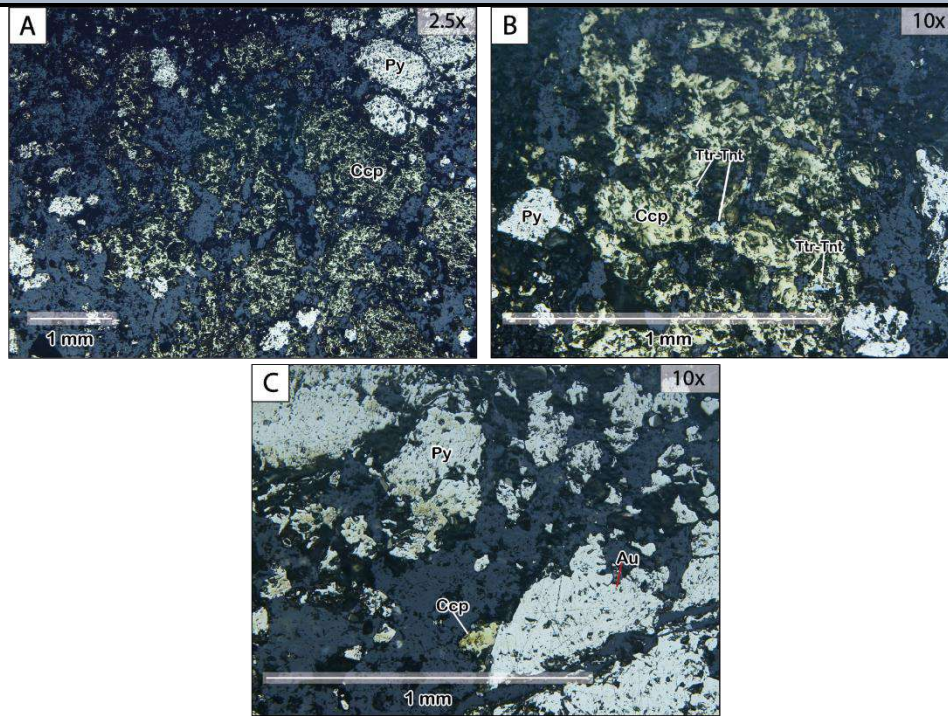


ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS5	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Calcopirita	25 %		
Pirita	13 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	46 %		
Calcita	10 %		
Hematita	4 %		
Fluorita	2 %		
Características de la roca / Observaciones:			
<p>La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura brechada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Crostiforme, Coloforme. Los minerales de mena tienen una distribución irregular.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$ 3.5 – 4.5	21%	Color amarillo bronce, reflectancia media, se presenta como una masa que reemplaza a los granos de pirita (Fig. A-B). Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta). Ccp presenta un intercrecimiento simple con la Py (Fig. A-B-C). Parte de la Ccp esta diseminada en la ganga (Fig. A-B-C).
Pirita (Py)	FeS_2 6 – 6.5	14%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B-C) menores de 1 mm hasta 2 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido (Fig. A-B-C). Parte de la Py esta diseminada en la ganga (Fig. A-B-C).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	$Cu_{12}As_4S_{13}$ $Cu_{12}SbS_{13}$ 3 – 4	1.5%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin rayas). Se encuentra reemplazando selectivamente a Ccp (Fig. B).
Oro (Au)	Au 2.5 – 3	0.5%	Color amarillo fuerte, reflectancia muy alta. Se encuentra como pequeñas inclusiones en la Py (Fig. C).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO_2 $CaCO_3$	63%	Principalmente Qz y en menor cantidad Cal. Tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B-C), al ser formada por minerales translucidos su reflectancia es muy baja. Parte de la Ccp y Py, se encuentran diseminados en la ganga.
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	—————	
Pirita (Py)	—————	
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)	-----	
Calcopirita (Ccp)	—————	
Oro (Au)	-----	
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		—————
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	—————
Abundante	—————

Análisis microscópico con luz reflejada




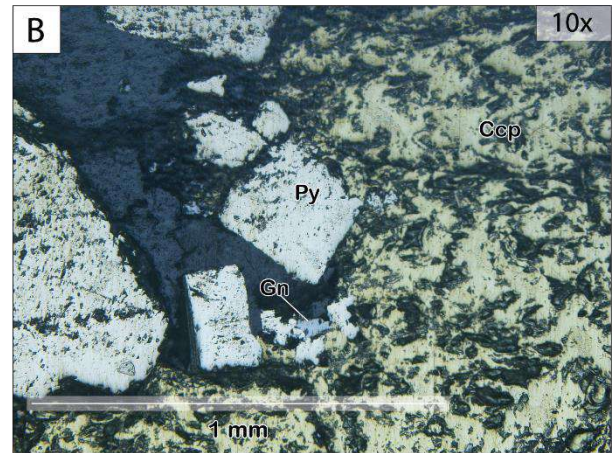
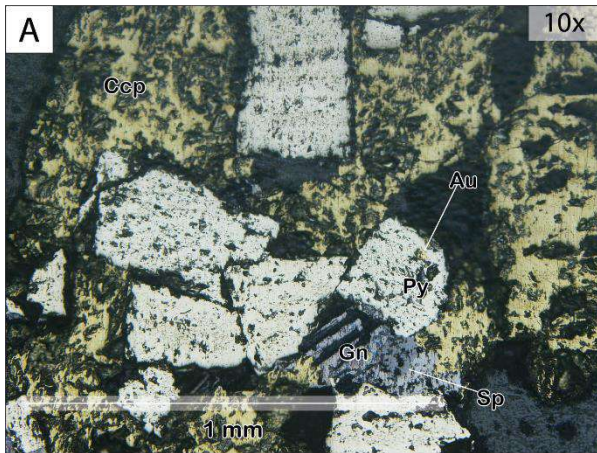
ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	SS6A	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Calcopirita	15 %		
Pirita	8 %		
Esfalerita	2 %		
Galena	2 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	66 %		
Calcita	7 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Crostiforme y Zonal.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$ 3.5 – 4.5	16%	Color amarillo bronce, reflectancia media y tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Ccp se presenta como una masa que engloba pequeños cristales subhedrales de Py (Fig. A-B). Ccp reemplazando parcialmente a Gn y Sp (Fig. A)
Pirita (Py)	FeS_2 6 – 6.5	8%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido y tiene un relieve superior a los otros minerales (Fig. A-B).
Galena (Gn)	PbS 2.5	2%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A-B) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja).
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	0.3%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos y tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A)
Oro (Au)	Au 2.5 – 3	0.1%	Color amarillo fuerte y reflectancia muy alta. Se encuentra como una pequeña inclusión en las microfracturas de Py (Fig. A).
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO_2	73.6%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral translucido su reflectancia es muy baja y también en menor cantidad Cal (calcita).


DIAGRAMA PARAGENÉTICO

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	—————	
Esfalerita (Sp)	-----	
Galena (Gn)	-----	
Calcopirita (Ccp)	—————	
Pirita (Py)	—————	
Oro (Au)		---
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		—————
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	—————
Abundante	—————

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

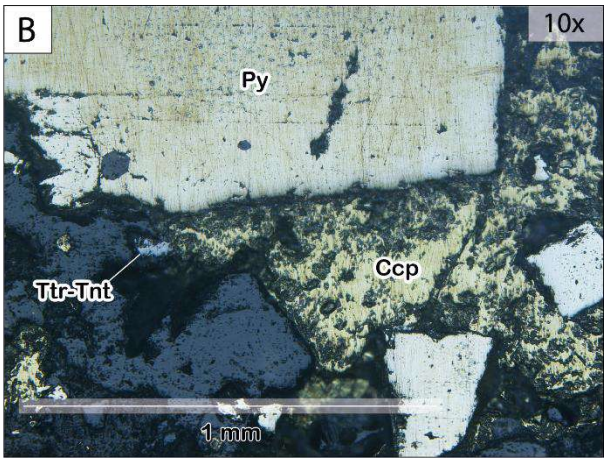
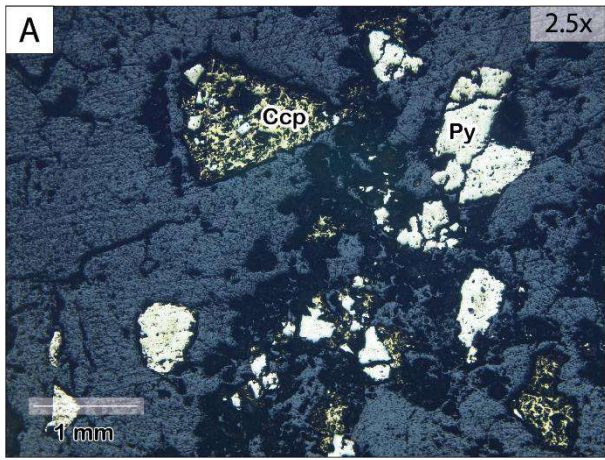



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	SS6B	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Pirita	11 %		
Calcopirita	8 %		
Esfalerita	2 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	74 %		
Calcita	5 %		
Características de la roca / Observaciones: La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada y brechada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Crostiforme y Zonal.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	9%	Color amarillo bronce, reflectancia media y tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se presenta como cristales anhedrales menores a 1mm hasta 2 mm (Fig. A-B).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	8%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) de hasta 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido y tiene un relieve superior a los otros minerales como mesetas (Fig. A-B). Se encuentra como pequeñas inclusiones dentro de la Ccp (Fig. A-B).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃ Cu ₁₂ SbS ₁₃ 3 – 4	0.1%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido). Se encuentra reemplazando selectivamente a Ccp (Fig. B).
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO ₂	82.9%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja. También, contiene en menor cantidad Cal (calcita).
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	—	—
Calcopirita (Ccp)	—	—
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)	---	---
Pirita (Py)	—	—
Cuarzo lechoso (Qz ₃)	—	—
Calcita (Cal)	---	---

Escasa	---
Moderada	—
Abundante	—

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS7A	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	17 %		
Galena	9 %		
Pirita	8 %		
Calcopirita	8 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	49 %		
Calcita	5 %		
Hematita y Clorita	4 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Coloforme y Crostiforme.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	15%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales subhedrales (Fig. A-B) con tamaños desde 1 a 10 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se observa textura de segregación (diminutas inclusiones de Ccp en Sp) (Fig. B).
Galena (Gn)	PbS 2.5	11%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores de 1 mm hasta 3 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Se encuentra bordeando y reemplazando selectivamente a la Sp (Fig. A).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	10%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm hasta 2 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. Al tener mayor dureza presenta un relieve superior a los otros minerales (Fig. A-B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	8%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales desde 0.5 – 5 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se encuentra reemplazando selectivamente a Sp y Gn (Fig. A-B).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃ Cu ₁₂ SbS ₁₃ 3 – 4	1%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, habito masivo, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin relieve). Se encuentra como microvenillas en la Sp y reemplazando a la Ccp (Fig. B).
GANGA			

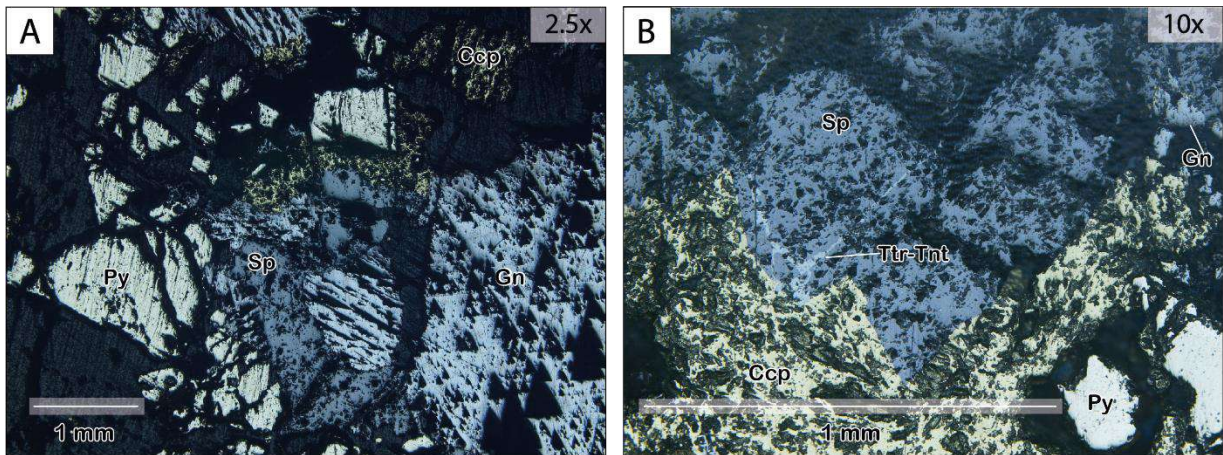
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO ₂ CaCO ₃	55 %	Principalmente Qz, pero también, presenta Cal, se muestra como un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser minerales traslucidos su reflectancia es muy baja. Contiene algunas inclusiones de Py (Fig. A). En menor cantidad presenta Hem (Hematita) y Chl (clorita).
------------------------------	---------------------------------------	------	---


DIAGRAMA PARAGENÉTICO

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Cuarzo cristalino (Qz ₁)	-----	-----	-----
Clorita (Chl)	-----	-----	-----
Hematita (Hem)	-----	-----	-----
Esfalerita (Sp)	-----	-----	-----
Galena (Gn)	-----	-----	-----
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)	-----	-----	-----
Pirita (Py)	-----	-----	-----
Calcopirita (Ccp)	-----	-----	-----
Cuarzo lechoso (Qz ₂)	-----	-----	-----
Calcita (Cal)	-----	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	-----
Abundante	-----

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS7B	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Pirita	15 %		
Calcopirita	10 %		
Esfalerita	9 %		
Galena	6 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo lechoso	49 %		
Calcita	6 %		
Hematita y Clorita	5 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Coloforme y Crostiforme. Los minerales de mena están ligeramente bandeados.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	11%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B-C) menores de 1 mm hasta 4 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. Al tener mayor dureza presenta un relieve superior a los otros minerales (Fig. A-B-C). Se encuentra reemplazando parcialmente a la Gn (Fig. B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	10%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1 mm hasta 3 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Ccp está reemplazando a la Gn y Sp (Fig. A-B).
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	9%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales subhedrales (Fig. A-C) con tamaños menores a 1 mm hasta 5 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Contiene diminutas inclusiones de Ccp en Sp (Fig. A).
Galena (Gn)	PbS 2.5	7%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales de 2 mm hasta 7 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A-B) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃ Cu ₁₂ SbS ₁₃ 3 – 4	2.4%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin relieve). Se encuentra rellenando pequeñas fracturas de la Sp (Fig. A) y reemplazando selectivamente a Ccp (Fig. A-B).
Oro (Au)	Au 2.5 – 3	0.6%	Color amarillo fuerte, reflectancia muy alta, presenta rayas debido a que tiene una dureza de pulido baja. Se encuentra como pequeñas inclusiones en la Py cúbica (Fig. C).
GANGA			

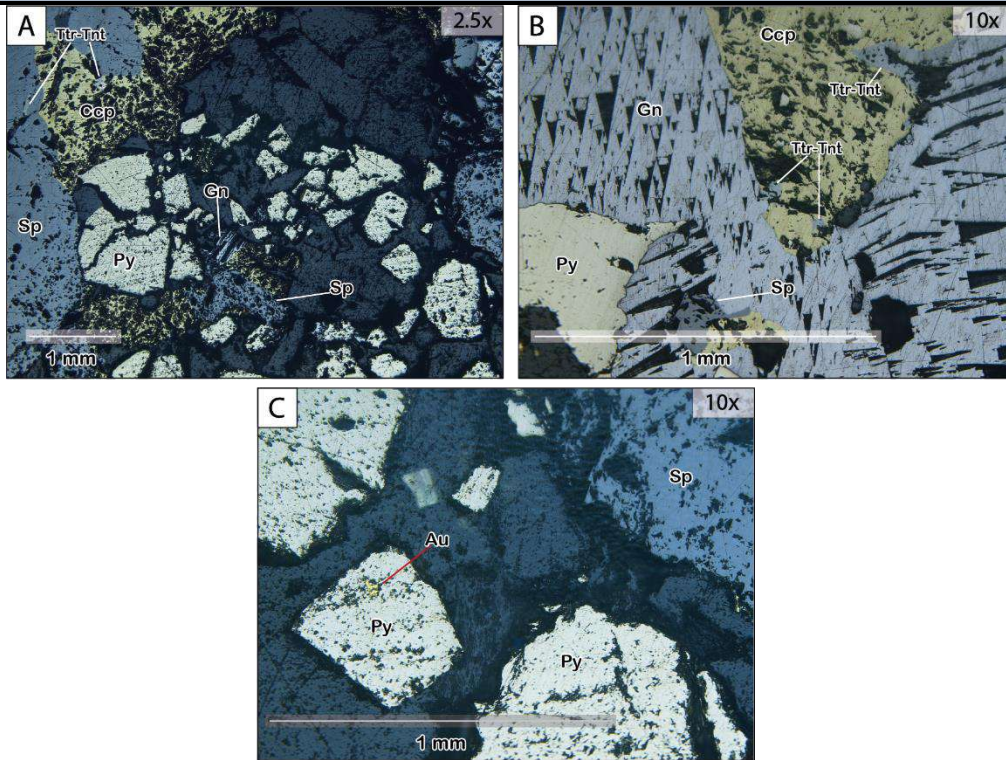
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO ₂ CaCO ₃	60%	Principalmente Qz, pero también, presenta Cal, se muestra como un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser minerales traslucidos su reflectancia es muy baja. Presenta en menor cantidad Hem (hematita) y Chl (clorita) algunas inclusiones de Py (Fig. A-C).
------------------------------	---------------------------------------	-----	---


DIAGRAMA PARAGENÉTICO

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Cuarzo cristalino (Qz _c)			
Clorita (Chl)	----		
Hematita (Hem)	----		
Esfalerita (Sp)	=====	-----	-----
Galena (Gn)	=====	-----	
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)		-----	
Pirita (Py)	=====	=====	-----
Calcopirita (Ccp)	=====	=====	-----
Oro (Au)			-----
Cuarzo lechoso (Qz _l)			=====
Calcita (Cal)	-----	-----	-----

Escasa	----
Moderada	=====
Abundante	-----

Análisis microscópico con luz reflejada

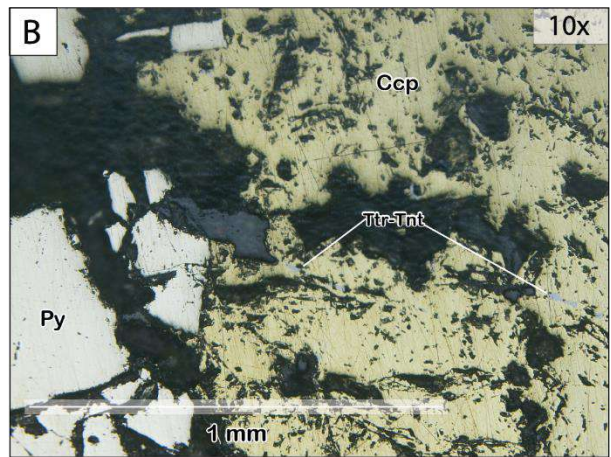
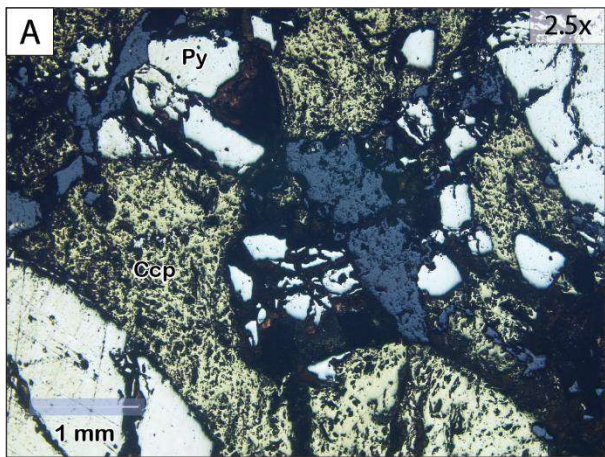


ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	ADF8	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Calcopirita	29 %		
Pirita	19 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	42 %		
Calcita	9 %		
Yeso	1 %		
Características de la roca / Observaciones: La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura ligeramente bandeada. El cuarzo tiene una textura tipo Peine (<i>Comb</i>).			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$ 3.5 – 4.5	30%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1 mm hasta 8 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Se encuentra bordeado a la Py (Fig. A)
Pirita (Py)	FeS_2 6 – 6.5	20%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B). de hasta 2 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. Se presenta en intercrecimiento simple con Ccp y como inclusiones en la ganga (Fig. A-B).
Tennantita (Tnt) - Tetraedrita (Ttr)	$Cu_{12}As_4S_{13}$ $Cu_{12}SbS_{13}$ 3 – 4	2%	Color gris claro con leves tintes verdosos, reflectancia media – baja, dureza de pulido media (presenta un buen pulido sin rayas). Se encuentra en traza en la Ccp (Fig. B).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO_2 $CaCO_3$	48%	Principalmente Qz, pero también, presenta Cal, se muestra como un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser minerales traslucidos su reflectancia es muy baja. En menor cantidad presenta Gp.
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	—	
Pirita (Py)	—	
Calcopirita (Ccp)	—	
Tennantita - Tetraedrita (Tnt-Ttr)	---	
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		—
Calcita (Cal)	----	----
Yeso (Gp)		---

Escasa	----
Moderada	—
Abundante	—

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA




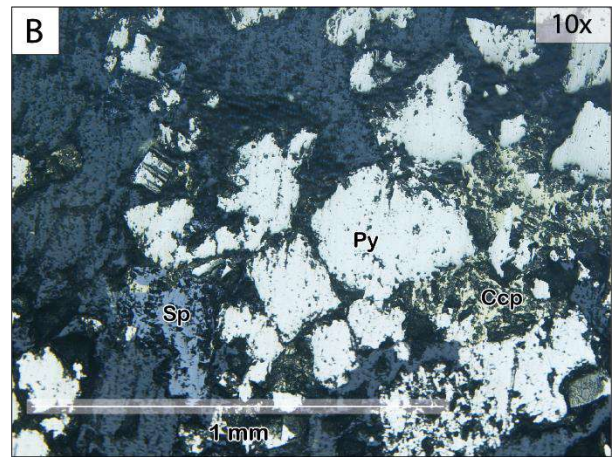
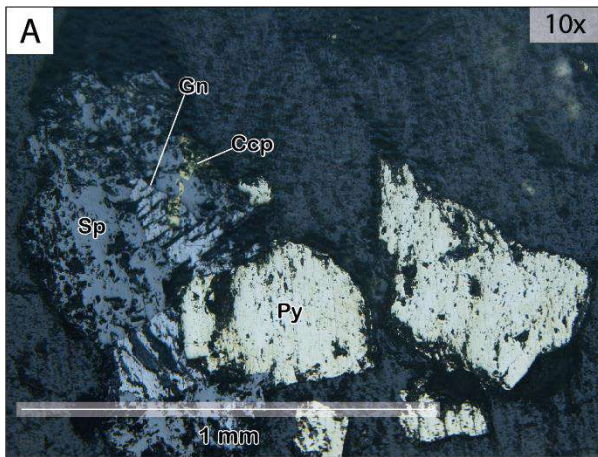
ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS9	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Pirita	9 %		
Calcopirita	4%		
Esfalerita	1 %		
Galena	1 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino, lechoso y amatista)	78 %		
Calcita	7 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. La veta presenta una textura brechada. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), Coloforme, en enrejado y Sacaroidal. Los minerales de mena tienen una distribución irregular.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	9%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm hasta 3 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido y tiene un relieve superior a los otros minerales (Fig. A-B). Está bordeada por la Ccp (Fig. A-B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	5%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. B). Ccp está reemplazando a la Py (Fig. B). Se encuentra reemplazando selectivamente a la Sp y Gn (Fig. A-B).
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	2%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales anhedrales (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Contiene diminutas inclusiones de Ccp (Fig. A).
Galena (Gn)	PbS 2.5	1%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Reemplazando selectivamente a la Sp (Fig. A).
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO ₂	83%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja. También, presenta un poco de Cal (calcita). Contiene algunas inclusiones de Py (Fig. A-B).


DIAGRAMA PARAGENÉTICO

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	=====	
Pirita (Py)	=====	=====
Esfalerita (Sp)	-----	-----
Galena (Gn)	-----	
Calcopirita (Ccp)	=====	=====
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		=====
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	=====
Abundante	=====

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

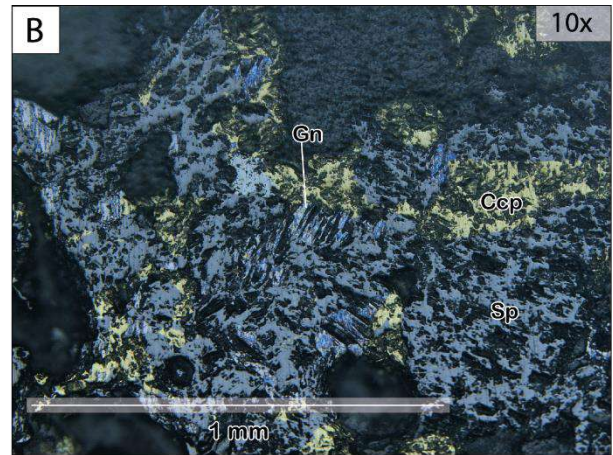



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	RS10	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	9%		
Calcopirita	5 %		
Pirita	3 %		
Galena	2 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	76 %		
Calcita	5 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo tiene varias texturas: textura tipo Peine (<i>Comb</i>), en enrejado y Sacaroidal.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	6%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales subhedrales (Fig. A-B) con tamaños menores a 1 mm hasta 2 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza de pulido (media – alta) (Fig. A-B). Contiene diminutas inclusiones de Ccp (Fig. A-B).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	4%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza de pulido (media – alta) (Fig. A-B). Ccp está reemplazando selectivamente a la Gn y Sp (Fig. A-B).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	2%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido (Fig. A-B). Está englobada por la Ccp (Fig. A).
Galena (Gn)	PbS 2.5	1%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales menores a 1 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A-B) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Se encuentra reemplazando parcialmente a la Sp (Fig. A-B).
GANGA			
Cuarzo (Qz) Calcita (Cal)	SiO ₂ CaCO ₃	87%	Formada por Qz y Cal, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B) y reflectancia muy baja por ser minerales traslucidos.
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)		
Pirita (Py)		
Esfalerita (Sp)		
Calcopirita (Ccp)		
Galena (Gn)		
Cuarzo lechoso		
Calcita		

Escasa	
Moderada	
Abundante	

ANÁLISIS MICROSCÓPICO CON LUZ REFLEJADA

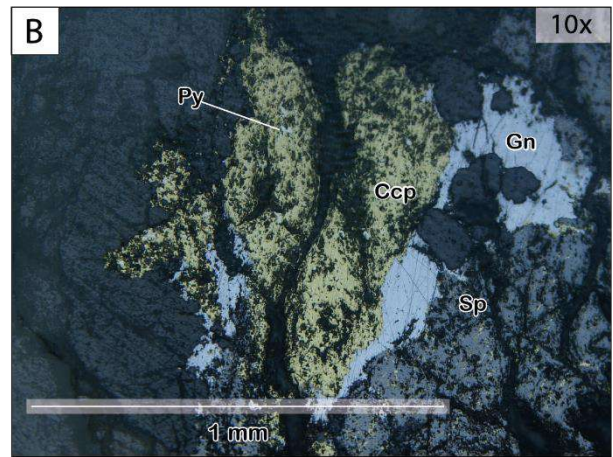
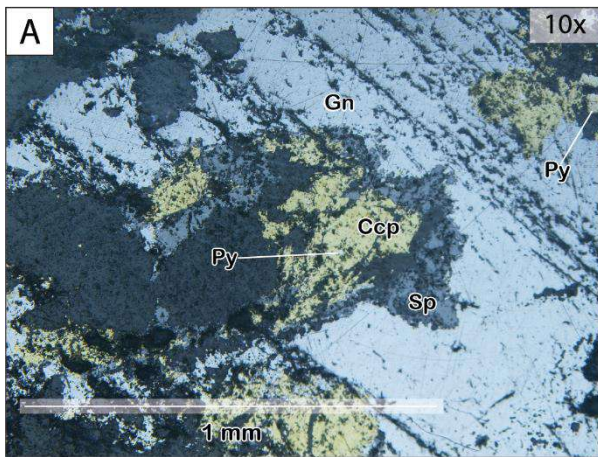



ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	SN11	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	13 %		
Calcopirita	5 %		
Galena	4 %		
Pirita	1 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	73 %		
Calcita	5 %		
Yeso	2 %		
Características de la roca / Observaciones:			
La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo presenta una textura tipo Peine (<i>Comb</i>).			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	11%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales anhedrales (Fig. A-B) con tamaños de hasta 10 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Contiene pequeñas inclusiones de Ccp (Fig. B).
Galena (Gn)	PbS 2.5	6%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta y presenta rayas debido a su baja dureza de pulido (Fig. A-B). Se encuentra reemplazando selectivamente a la Sp en los bordes (Fig. B)
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	5%	Color amarillo bronce, reflectancia media y presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Ccp está reemplazando parcialmente a la Gn y Sp (Fig. A-B).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	1%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A-B) menores de 1mm. Se encuentra rodeada por una masa de Ccp (Fig. A-B)
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO ₂	77%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja. También, contiene en menor cantidad Cal (calcita) y Gp (yeso). Contiene algunas inclusiones de Py (Fig. A-B).
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)	-----	
Esfalerita (Sp)	=====	
Galena (Gn)	=====	
Calcopirita (Ccp)	=====	
Pirita (Py)	-----	
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		=====
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	=====
Abundante	=====

Análisis microscópico con luz reflejada

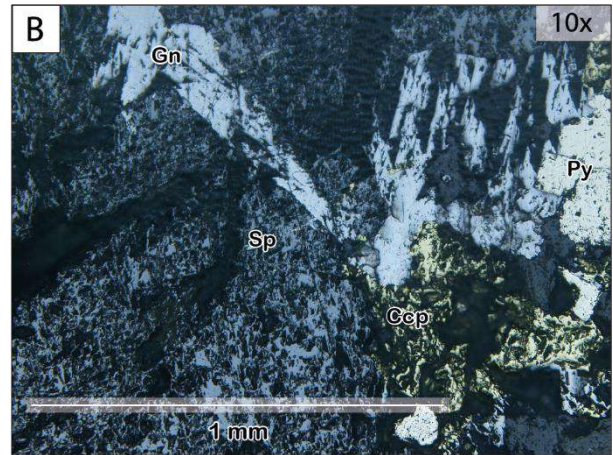
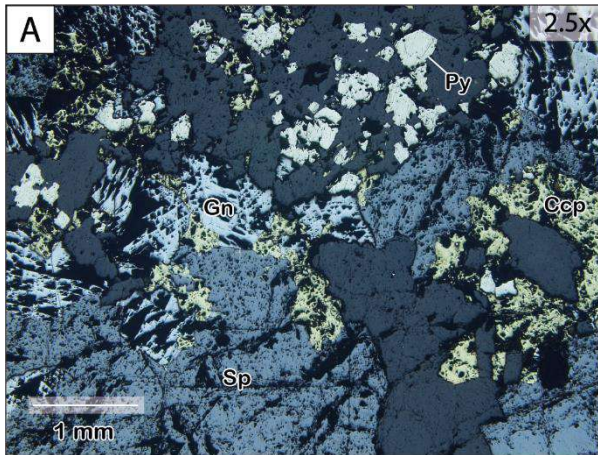


ANÁLISIS MINERALES DE MENA			
Código	AD12	Proyecto	Distrito Minero Zaruma - Portovelo
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Minerales de mena		Muestra de mano	
Esfalerita	24 %		
Galena	15 %		
Calcopirita	9 %		
Pirita	8 %		
Minerales de ganga			
Cuarzo (cristalino y lechoso)	39 %		
Calcita	4 %		
Características de la roca / Observaciones: La muestra corresponde a una veta epitermal. El cuarzo presenta una textura tipo Peine (<i>Comb</i>) y Crostiforme. Se observa un ligero bandeamiento en la muestra.			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
MENA			
Mineral	Composición química - Dureza	%	Propiedades
Esfalerita (Sp)	ZnS 3.5 – 4	27%	Color gris oscuro, reflectancia baja, presenta reflejos internos, cristales anhedrales (Fig. A-B) con tamaños menores a 1 mm hasta 6 mm. Tiene un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta). Contiene pequeñas inclusiones de Ccp (Fig. A)
Galena (Gn)	PbS 2.5	20%	Color blanco grisáceo, reflectancia media – alta, cristales anhedrales de 2 mm hasta 3 mm. Presenta triángulos de arranque (Fig. A) típico de este mineral al ser pulido (dureza de pulido baja). Remplazando parcialmente a Sp y en algunos cristales tiene un intercrecimiento simple con la Sp (Fig. A).
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂ 3.5 – 4.5	12%	Color amarillo bronce, reflectancia media, cristales anhedrales menores a 1 mm hasta 3 mm. Presenta un aspecto poroso debido a la dureza del pulido (media – alta) (Fig. A-B). Reemplaza parcialmente a la Gn y Sp (Fig. A-B).
Pirita (Py)	FeS ₂ 6 – 6.5	8%	Color amarillo blanquecino, reflectancia alta, cristales subhedrales – euhedrales (Fig. A) menores de 1 mm. Presenta pequeños huecos y rayas debido a la alta dureza del pulido. Al tener mayor dureza presenta un relieve superior a los otros minerales (Fig. A). Se encuentra englobada por la Ccp y como inclusiones en la ganga (Fig. A).
GANGA			
Cuarzo (Qz)	SiO ₂	33%	Principalmente Qz, tiene un color oscuro (casi negro) (Fig. A-B), al ser un mineral traslucido su reflectancia es muy baja. También, contiene un poco de Cal (calcita) y algunas inclusiones de Py (Fig. A).
DIAGRAMA PARAGENÉTICO			

	Etapa 1	Etapa 2
Cuarzo cristalino (Qz ₂)		
Esfalerita (Sp)	————	
Galena (Gn)	————	
Calcopirita (Ccp)	————	
Pirita (Py)		
Cuarzo lechoso (Qz ₃)		————
Calcita (Cal)	-----	-----

Escasa	-----
Moderada	————
Abundante	————

Análisis microscópico con luz reflejada



Anexo 07.

Registro de valores generados por análisis de ensayos al fuego y absorción atómica realizados en el laboratorio químico y metalúrgico de la empresa minera Oroconcent S. A.

Código	Fecha	NORTE	ESTE	COTA	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Referencia
J001	16/3/2021	654765,0966	9591315,1411	676,638	18,52	213,98	3,78	Jorupe - Tres Reyes
J002	16/3/2021	654771,6055	9591325,0094	676,638	9,33	97,12	2,59	Jorupe - Tres Reyes
J003	23/3/2021	654781,0295	9591337,3865	676,638	7,52	22,23	0,37	Jorupe - Tres Reyes
J004	23/3/2021	654787,6602	9591347,6680	676,638	6,46	20,29	0,78	Jorupe - Tres Reyes
J005	23/3/2021	654792,1170	9591358,4192	676,638	4,32	17,15	0,70	Jorupe - Tres Reyes
J006	23/3/2021	654798,7476	9591369,3085	676,638	4,28	21,75	0,49	Jorupe - Tres Reyes
J007	24/3/2021	654807,6181	9591384,0925	676,638	3,79	15,21	0,30	Jorupe - Tres Reyes
J008	24/3/2021	654814,7859	9591395,7890	676,638	3,86	12,47	0,75	Jorupe - Tres Reyes
J009	30/3/2021	654821,0369	9591406,9905	676,638	2,23	12,53	0,33	Jorupe - Tres Reyes
P001	30/3/2021	654753,0808	9591299,0560	676,638	19,35	153,19	2,37	Jorupe - Tres Reyes
P004	31/3/2021	654742,5367	9591289,6057	676,638	23,01	73,40	2,63	Jorupe - Tres Reyes
P008	31/3/2021	654728,1860	9591275,8434	676,638	20,26	84,97	2,50	Jorupe - Tres Reyes
P012	2/4/2021	654717,1056	9591267,1318	676,638	32,98	316,15	4,97	Jorupe - Tres Reyes
P015	2/4/2021	654703,8336	9591258,5924	676,638	39,32	501,12	7,45	Jorupe - Tres Reyes
P018	6/4/2021	654685,6179	9591247,6595	676,638	26,32	231,59	6,87	Jorupe - Tres Reyes
P022	6/4/2021	654677,9608	9591234,6806	676,638	27,30	118,92	3,71	Jorupe - Tres Reyes
P025	6/5/2021	654664,7857	9591223,5437	676,638	22,36	128,98	2,83	Jorupe - Tres Reyes
P029	14/5/2021	654649,3883	9591210,6415	676,638	40,56	139,52	2,03	Jorupe - Tres Reyes
P032	21/5/2021	654637,5742	9591194,4833	676,638	2,36	117,21	2,58	Jorupe - Tres Reyes
E004	25/5/2021	654627,8884	9591186,8101	676,638	2,19	88,56	2,53	Jorupe - Tres Reyes
E007	23/3/2021	654619,6103	9591175,0605	676,638	1,63	123,34	2,07	Jorupe - Tres Reyes
E011	23/3/2021	654610,3183	9591161,2384	676,638	2,06	114,16	1,98	Jorupe - Tres Reyes
E014	1/4/2021	654606,5037	9591148,7080	676,638	2,89	78,24	2,46	Jorupe - Tres Reyes
SAA001	20/4/2021	654101,1295	9591294,4367	676,638	2,50	360,31	3,82	Soroche
SAA003	22/4/2021	654100,0807	9591286,9978	676,638	2,06	214,69	2,98	Soroche
SAA005	29/4/2021	654098,6811	9591278,7384	676,638	17,25	125,60	2,83	Soroche
SAA007	29/4/2021	654095,5781	9591268,7556	676,638	28,96	66,41	1,90	Soroche
SAA009	29/4/2021	654092,2661	9591259,7718	676,638	21,01	92,42	1,64	Soroche
SAA011	20/5/2021	654088,2755	9591251,2367	676,638	3,68	151,81	1,41	Soroche
SAA013	20/5/2021	654084,8241	9591243,8597	676,638	2,57	72,81	0,09	Soroche
SAA015	24/4/2021	654079,7839	9591235,6959	676,638	3,04	63,20	0,04	Soroche
SAA017	21/6/2021	654073,8351	9591224,2430	676,638	1,99	113,45	1,26	Soroche
SAA019	25/6/2021	654068,9601	9591211,2715	676,638	0,14	101,23	1,05	Soroche
SAA021	30/6/2021	654064,1534	9591196,4329	676,638	0,72	107,92	1,01	Soroche
SAA023	30/6/2021	654057,3191	9591179,9722	676,638	0,35	133,13	1,03	Soroche
SAA025	2/7/2021	654052,6048	9591171,7265	676,638	3,20	114,22	1,12	Soroche
SAA027	2/7/2021	654046,4696	9591158,4505	676,638	2,47	126,22	2,03	Soroche
SAA029	6/7/2021	654042,6425	9591143,7050	676,638	2,08	116,13	1,98	Soroche
SAA031	6/7/2021	654036,8101	9591126,5125	676,638	3,37	99,42	2,18	Soroche
SAA033	6/7/2021	654033,5917	9591107,8541	676,638	2,47	96,21	2,92	Soroche