

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estudio geológico minero y evaluación preliminar de
un yacimiento polimetálico ubicado en la zona centro
del Perú**

Omar Brian Laura Mantari

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Nelida Tantavilca Martinez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Enero de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

ESTUDIO GEOLÓGICO MINERO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UN YACIMIENTO POLIMETÁLICO UBICADO EN LA ZONA CENTRO DEL PERÚ

Autores:

1. OMAR BRIAN LAURA MANTARI – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

ASESORA

Ing. Nélida Tantavilca Martínez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios, sobre todo, por ser el sustento de mi fe y quien me da la fuerza de seguir adelante en mis objetivos

DEDICATORIA

A mi familia y asesor de tesis, quienes me apoyaron en este camino del conocimiento y estudio para ser un buen profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Formulación del problema	13
1.1.1. Problema general	13
1.1.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivos	13
1.1.3. Objetivos generales.....	13
1.1.4. Objetivos específicos	13
1.4. Justificación e importancia.....	13
1.5. Hipótesis de la investigación.....	14
1.1.5. Hipótesis general	14
1.1.6. Hipótesis específicas.....	14
1.6. Identificación de variables	14
1.6.1. Variable independiente	14
1.1.2. Variable dependiente	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes del problema	15
2.2.1 Geología general	16
2.2.2. Accesibilidad.....	17
2.2.3. Historia geológica	17
2.2.4. Estratigrafía	18
2.2.5. Petrología y mineralogía de la zona.....	19
2.2.6. Geología local	19
2.2.7. Pliegues.....	22
2.2.8. Diaclasas	22
2.2.9. Fallas	22

2.3. Bases teóricas.....	23
2.3.1. Conceptos básicos de paragénesis.....	23
2.3.1.3. Relación entre paragénesis y génesis mineral.....	24
2.3.2. Formación de yacimientos polimetálicos.....	25
2.3.2.1 . Procesos geológicos en la formación de yacimientos polimetálicos.....	25
2.3.2.2. Tipos de yacimientos polimetálicos.....	25
2.3.2.3. Factores que influyen en la mineralización.....	26
2.3.3. Técnicas de análisis paragenético	27
2.3.3.1. Métodos de identificación de minerales.....	27
2.3.3.2. Técnicas de análisis petrográfico y microscópico.....	28
2.3.3.2. Interpretación de secuencias paragenéticas.....	28
2.3.4. Evaluación del potencial mineral	29
2.3.4.1. Métodos de estimación del potencial mineral.....	29
2.3.4.2. Evaluación económica de los recursos minerales	29
2.3.4.3. Aplicación de análisis paragenético en la evaluación de yacimientos	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	31
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	31
3.1.2. Nivel de investigación.....	31
3.2. Diseño de la investigación	31
3.3. Población y muestra.....	32
3.3.1. Población	32
3.3.2. Muestra	32
3.4. Métodos e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.4.1. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
4.1. Análisis paragenético de las muestras.....	34
4.1.1. Muestra 1	34
4.1.2. Muestra 2	39
4.1.3. Muestra 3	44
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM WSG 84 del denuncia Santo Domingo de Jinchis	16
Tabla 2. Factores que determinan la mineralización de los yacimientos polimetálicos.....	26
Tabla 3. Distribución del mineral en porcentajes de la muestra 1	35
Tabla 4. Tabla de alteraciones y procesos secundarios para la muestra 2	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formación estratigráfica de Santo Domingo de Jinchis	18
Figura 2. Diagrama de los principales métodos de identificación de minerales	27
Figura 3. Aspectos clave en la interpretación de secuencias paragenéticas	29
Figura 4. Fotografía de la muestra 1 - clasificación: dacita porfírica metasomatizada	34
Figura 5. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 1	36
Figura 6. Diagrama de barras – Alteración de la muestra 1 compuesta en su mayoría por silicificación	37
Figura 7. Agregados microgranoblásticos de cuarzo (cz) de grano fino. 50X.....	38
Figura 8. Agregados granoblásticos de cuarzo (cz) de grano grueso, a los cuales están asociados las adularias (ad). 50X.	39
Figura 9. Fotografía de la muestra 2 - clasificación: dacita porfírica metasomatizada	39
Figura 10. Diagrama de barras – composición mineral de la muestra 2	40
Figura 11. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 1	41
Figura 12. Agregados de cuarzos (cz) con hábito plumosos, con extinción ondulante. 50X.....	44
Figura 13. Venilla de cuarzo (cz) que atraviesa al agregado microgranoblástico de cuarzo (cz). 50X.....	44
Figura 14. Fotografía de la muestra 3 - clasificación: dacita porfírica parcialmente piroclástica	45
Figura 15. Diagrama de barras – composición mineral de la muestra 3	46
Figura 16. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 3	47
Fig. 17. Gráfico de barras de alteración de la roca en la muestra 3	48
Figura 18. Agregados de microlitos de plagioclasa (pl) fuertemente reemplazados por el cuarzo (cz), están en contacto de los cuarzos (cz) recristalizados. 50X	49
Figura19. Agregados microgranoblásticos de cuarzo (cz) de granulometría media. 50X	49

RESUMEN

Esta tesis explora el potencial mineralógico y económico de un yacimiento polimetálico ubicado en el denuncio minero de Santo Domingo de Jinchis en el departamento de Áncash con el objetivo de determinar el potencial mineral para la extracción de minerales. Se enfoca en un estudio paragenético detallado de muestras representativas de roca, empleando métodos petrográficos para evaluar la composición, la textura, y la secuencia de cristalización de los minerales presentes. La importancia de este estudio radica en la necesidad de contar con herramientas fiables que permitan, en fases preliminares de exploración, determinar el valor potencial de yacimientos polimetálicos donde una variedad de metales puede incrementar el valor del depósito.

La metodología se centró en un análisis detallado de tres muestras clave, realizando observaciones en mano y en sección delgada. Cada muestra fue caracterizada por su composición mineralógica, las texturas observadas y las alteraciones presentes. Se aplicaron técnicas de microscopía óptica para describir las fases de fenocristales y matriz, así como el orden de cristalización, identificando distintos episodios de enfriamiento y eventos de alteración hidrotermal. Se complementaron estos estudios con la cuantificación de los porcentajes de minerales, la identificación de alteraciones hidrotermales como la sericitización y silicificación y el análisis de fases minerales secundarias. Además, se generaron diagramas de cristalización y alteración para facilitar la comprensión de la evolución geológica y mineralógica del yacimiento.

Este estudio concluye que el yacimiento presenta características mineralógicas y paragenéticas que podrían ser económicamente rentables. La intensa alteración hidrotermal y la diversidad de fases minerales sugieren un alto potencial polimetálico, lo que justifica estudios adicionales para confirmar la extensión y la concentración de los metales presentes.

Palabras clave: paragénesis, Santo Domingo de Jinchis, potencial mineral.

ABSTRACT

This thesis explores the mineralogical and economic potential of a polymetallic deposit located in the Santo Domingo de Jinchis mining claim in the department of Áncash, with the objective of determining the mineral potential for mineral extraction. It focuses on a detailed paragenetic study of representative rock samples, using petrographic methods to assess the composition, texture, and crystallization sequence of the present minerals. The importance of this study lies in the need for reliable tools that allow, in preliminary exploration phases, the assessment of the potential value of polymetallic deposits where a variety of metals can increase the value of the deposit.

The methodology centered on a detailed analysis of three key samples, conducting observations in hand samples and thin sections. Each sample was characterized by its mineralogical composition, observed textures, and present alterations. Optical microscopy techniques were applied to describe the phases of phenocrysts and matrix, as well as the crystallization order, identifying distinct cooling episodes and hydrothermal alteration events. These studies were complemented with the quantification of mineral percentages, identification of hydrothermal alterations such as sericitization and silicification, and analysis of secondary mineral phases. Additionally, crystallization and alteration diagrams were generated to facilitate the understanding of the geological and mineralogical evolution of the deposit.

This study concludes that the deposit presents mineralogical and paragenetic characteristics that could be economically viable. The intense hydrothermal alteration and the diversity of mineral phases suggest a high polymetallic potential, which justifies additional studies to confirm the extent and concentration of the present metals.

Keywords: paragenesis, Santo Domingo de Jinchis, mineral potential.

INTRODUCCIÓN

La minería moderna enfrenta el desafío de evaluar con precisión el potencial mineral de yacimientos polimetálicos, una tarea esencial para la toma de decisiones estratégicas. Sin embargo, la heterogeneidad de estos yacimientos y la complejidad de sus minerales asociados a menudo complican este proceso, y los métodos tradicionales pueden resultar costosos y lentos. Este estudio aborda estas limitaciones mediante un análisis paragenético de las muestras superficiales del yacimiento, proporcionando una alternativa más eficiente y económica para la evaluación preliminar del potencial económico.

La relevancia de esta investigación radica en su capacidad para ofrecer un enfoque más preciso y detallado del análisis mineralógico, permitiendo entender mejor las relaciones entre los diferentes minerales y las condiciones geológicas que influyen en su formación. Esto no solo proporciona información valiosa sobre la evolución del sistema mineral, sino que también da una alternativa para poder determinar las estimaciones del potencial económico del yacimiento.

Este estudio no solo tiene implicaciones económicas significativas para el yacimiento estudiado, sino que también puede contribuir al desarrollo de la zona minera, promoviendo oportunidades de desarrollo local. La integración de conocimientos técnicos avanzados y la aplicación de mejores prácticas en la exploración y evaluación de recursos minerales permitirá determinar la factibilidad de desarrollar una operación exitosa. Este documento presenta un análisis crítico y pone de manifiesto la necesidad de estudios más detallados sobre la paragénesis de los minerales en la etapa de exploración para poder confirmar el potencial mineral de un yacimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En la minería, la evaluación precisa del potencial mineral de yacimientos polimetálicos es crucial para la toma de decisiones estratégicas. Sin embargo, la heterogeneidad de estos yacimientos y la complejidad de sus minerales asociados presentan desafíos significativos. Muchas veces, los métodos tradicionales de exploración y análisis pueden resultar demasiados costosos y requieren de estudios preliminares que toman mucho tiempo para determinar con precisión la composición y el valor económico de estos depósitos.

Un enfoque para superar limitaciones de tiempo y costos impone un análisis preliminar de exploración y un análisis paragenético en las muestras, esto permite entender mejor las relaciones entre los diferentes minerales y las condiciones geológicas que influyen en su formación. A través del estudio de la paragénesis en las muestras superficiales de un yacimiento polimetálico, es posible obtener información valiosa sobre la evolución del sistema mineral y sobre su potencial económico.

El problema por abordar en esta investigación es la falta de un estudio detallado y comprensivos sobre la paragénesis de los minerales que muchas veces pasa desapercibido en los estudios de exploración de yacimientos polimetálicos específicos, lo cual limita la precisión de las estimaciones del potencial mineral. Este estudio busca llenar ese vacío probando en un yacimiento la descripción de un análisis paragenético de sus muestras superficiales, que proporcionaran datos suficientes para determinar su potencial y por ende dar una alternativa para la evaluación del potencial económico en etapas preliminares de exploración geológica.

1.2. Formulación del problema

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo determinar el potencial mineral de un yacimiento polimetálico a partir de un análisis paragenético de muestras superficiales?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la composición mineral paragenética y sus porcentajes en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico?
- ¿Cuáles son las texturas, alteraciones y asociaciones en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico?
- ¿Cuáles son las etapas de cristalización de los minerales presentes en la paragénesis de las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico?

1.3. Objetivos

1.1.3. Objetivos generales

- Determinar el potencial mineral de un yacimiento polimetálico a partir de un análisis paragenético de muestras superficiales.

1.1.4. Objetivos específicos

- Identificar la composición mineral paragenética y sus porcentajes en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- Identificar las texturas, alteraciones y asociaciones en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- Determinar las etapas de cristalización de los minerales presentes en la paragénesis de las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.

1.4. Justificación e importancia

Este estudio propone una alternativa para determinar el potencial mineral mediante el análisis paragenético, que se enfoca en la secuencia y coexistencia de minerales sin depender de datos de leyes. La justificación de este enfoque radica en su capacidad para proporcionar una comprensión detallada de la evolución del sistema mineral, lo que permite inferir el potencial del yacimiento de manera más rápida y económica en etapas de exploración geológica.

Además, la importancia de este estudio se refleja en su aplicación práctica. Al validar un método basado en la paragénesis, se puede ofrecer una herramienta complementaria y en algunos casos superior a los métodos convencionales que solo muestran una descripción petrológica o mineralógica. Esto no solo optimiza la evaluación de recursos minerales, sino que también reduce costos y tiempos asociados a la exploración de yacimientos.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.1.5. Hipótesis general

- Es posible determinar el potencial mineral de un yacimiento polimetálico a partir de un análisis paragenético de muestras superficiales.

1.1.6. Hipótesis específicas

- **Ha1:** Se identificó la composición mineral paragenética y sus porcentajes en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- **Ho1:** No se identificó la composición mineral paragenética y sus porcentajes en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico
- **Ha2:** Se identificó las texturas, alteraciones y asociaciones en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- **Ho2:** No se identificó las texturas, alteraciones y asociaciones en las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- **Ha3:** Se determinó las etapas de cristalización de los minerales presentes en la paragénesis de las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.
- **Ho3:** No se determinó las etapas de cristalización de los minerales presentes en la paragénesis de las muestras recolectadas de un yacimiento polimetálico.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable independiente

- Muestras recolectadas

1.1.2. Variable dependiente

- Análisis paragenético

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

- a) En el artículo titulado: «*El estudio de exploración inicial del proyecto geológico-minero en Guanajuato, México*» realizado por Marcelo, Guerrero, y Espinosa analiza la posible presencia de minerales metálicos como el oro y la plata, utilizando modelos de alteración geológica, geoquímicos y estructurales. El objetivo del estudio es definir los recursos y las reservas. Para la recopilación de datos, se utilizaron fuentes del gobierno, empresas privadas y misiones extranjeras, permitiendo a través del sistema de folios compilar, estandarizar y analizar la información, lo que respalda la primera fase de la exploración inicial del proyecto (1).

- b) En el estudio titulado: «*Estudio geológico y metalogénico de la zona de Beariz (Orense)*», realizado por Castroviejo en 1974, se parte de un análisis de la minería del estaño en España. El trabajo examina la geología, petrografía y tectónica de la zona estannífera de Beariz dentro de su contexto geológico regional, y concluye con una síntesis de la historia geológico-tectónica de la región durante la orogenia herciniana (2).

- c) En la investigación titulada: «*Estudio geológico - minero y geoeconómico preliminar de un yacimiento de sílice (cuarcita) en Candarave*», realizada por Tejada, Huisa, Sarmiento y Cerdeña en 2019, se analiza detalladamente la geología y la cubicación de las reservas de sílice (cuarcita). En el sector minero, resulta atractivo aplicar opciones reales para aprovechar las ventajas en situaciones de alta incertidumbre en la valoración de yacimientos o activos mineros, lo cual está transformando las ecuaciones de negocio (3).

- d) En el estudio titulado: «*Proyecto de exploración geológica-minera de minerales metálicos de la zona de Palca y Palquilla*», realizado en 2019 por Sarmiento, Tejada y Huisa, se

explora y evalúa la zona de Palca y Palquilla, en el departamento de Tacna, que presenta yacimientos principalmente de cobre. El interés en esta zona radica en el valor comercial del cobre disponible, tanto en superficie como en yacimiento, lo que hace muy prometedora la exploración (4).

- e) En la investigación titulada titulada: «*Juan de Sotomayor, minero del azogue en el Perú colonial*», de. Amaré y Orche (2019), se aborda cómo la llegada de los españoles al Nuevo Mundo en el siglo XVI permitió identificar y explotar importantes yacimientos de minerales metálicos. Uno de ellos fue el de azogue en Huancavelica, Perú, esencial para la extracción de plata del Cerro Rico de Potosí. Entre los mineros destacados de esta actividad estuvo Juan de Sotomayor, quien llegó de Écija, España, en 1569, y en 1571 ya trabajaba en la minería en Huancavelica (5).

2.2. Generalidades

2.2.1 Geología general

El objeto de estudio se centra en el denuncia Santo Domingo de Jinchis, este se encuentra en la parte meridional de la cordillera negra, cerca del , Jinchis, en el distrito y provincia de Recuay, departamento de Áncash, Perú. Este lugar está geográficamente localizado a 9°46' de latitud sur y 77°30' de longitud oeste, en una región de notable relevancia geológica y minera (6).

La cordillera negra, donde se sitúa el área de estudio, está mayormente cubierta por rocas volcánicas del Terciario, conocidas como formación Calipuy, compuesta por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición que varía entre intermedia y ácida. Esta formación se encuentra en una franja que sigue el eje de los Andes, en la cordillera occidental, y se extiende desde La Libertad, al norte, hasta Huancavelica, al sur, con un ancho de entre 20 y 50 km. Al este limita con una franja de rocas sedimentarias mesozoicas y al oeste con el batolito de la Costa. Regionalmente, no se puede subdividir debido a la limitada extensión de cada flujo volcánico y unidad piroclástica. En la cordillera negra hay numerosas mineralizaciones hidrotermales con plata, plomo, zinc y cobre (6).

Tabla 1. Coordenadas UTM WSG 84 del denuncia Santo Domingo de Jinchis

	Latitud sur	Longitud este
Coordenadas geográficas	9° 46' 00"	77° 30' 00"

2.2.2. Accesibilidad

La accesibilidad al área es favorable con dos rutas principales disponibles. La primera ruta conecta Recuay con Aija, desviándose hacia la izquierda en Huancapetí y ascendiendo por un carretera antes de llegar a Domingo de Jinchis. Después, la ruta es una vía pavimentada privada de la Compañía Minera Alianza, la cual inicia en Ticapampa, pasa por su planta de concentración y luego se une con la primera carretera mencionada. Ambas rutas permiten un desplazamiento en camioneta de aproximadamente una hora desde Recuay.

Además, es importante destacar que, de acuerdo con el decreto supremo, el denuncia minero Santo Domingo de Jinchis, en conjunto con otro denuncia minero denominado Improvisada, están ubicados en la cordillera negra, se anunció como territorio de derecho especial por el estado peruano. Esta designación tiene como objetivo facilitar su uso por los colegiados de Minas de Recuay para la creación de un colegio de técnicos mineros.

El denuncia tiene una configuración rectangular que abarca 400 metros con N30°E y 600 metros en dirección N120°E, con una extensión total de 24 hectáreas (6).

2.2.3. Historia geológica

Los principales acontecimientos geológicos de la zona estudiada se pueden resumir en el siguiente orden:

- **Sedimentación alternativa:** en un ambiente marino, se sedimentaron gruesas capas de material volcánico (lava y piroclásticos) intercaladas con capas finas de caliza y arcilla. Estos estratos sedimentarios marcan períodos de calma volcánica. Las erupciones posteriores destruyeron parcialmente las rocas preexistentes, formando xenolitos calcáreos en las rocas volcánicas.
- **Período de deformación:** la región luego experimentó plegamiento y fallamiento, alterando la disposición original de las capas.
- **Propilitización:** en este tiempo, se produjeron alteraciones que dieron origen a minerales como calcita, clorita y epidota.
- **Reactivación volcánica:** hubo una reactivación de algunas chimeneas volcánicas, causando fracturación intensa en el material del conducto.
- **Mineralización hidrotermal:** finalmente, el fluido hidrotermal siguió la formación de chimeneas volcánicas, mineralizando la una parte mediante metasomatismo y rellenando las

fracturas. Esta actividad hidrotermal fue la causante de una segunda etapa de alteración, que produjo silicificación y piritización de macizo encajonantes (6).

2.2.4. Estratigrafía

FORMACION	SIMBOLO	SECUENCIA ESTRATIGRAFICA	POTENCIA	DESCRIPCION
FORMACION CALIPUY	Tu rd		MIN. 20 m	Tufo riolacítico mayormente fino
	Ag v		28 m	Aglomerado volcánico con intercalaciones de tufo fino Xenolitos de caliza
	Tu rd		4 m	Tufo riolacítico
	Pi bd		0,5 m	Pizarra bandeada
	Ca		2,5 m	Caliza intercalada con tufo muy fino
	Tu rd		MIN. 30 m	Tufo riolacítico

Figura 1. Formación estratigráfica de Santo Domingo de Jinchis

En la zona de Santo Domingo de Jinchis encontramos una sucesión de rocas volcánicas y sedimentarias: la capa más antigua es un tufo riolacítico de al menos 30 metros de espesor, que aflora debajo de la caliza y se extiende hasta 80 metros de profundidad. Sobre este tufo hay una intercalación marina con tres capas de caliza oolítica separadas por capas de tufo afanítico muy fino, con un espesor total de 2.5 metros; la caliza aflora principalmente por encima del nivel 4,660 y ha sido parcialmente mineralizada con plomo y zinc.

Sobre la formación de caliza, existe una capa superior de pizarra en forma bandeada, como se distribuye de manera local y mayor afloramiento en la bocamina del nivel 4,660. Luego, una capa de tufo riolacítico fino, de aproximadamente 4 metros de espesor, se sobrepone encima de las rocas sedimentarias. Encima se encuentra un aglomerado volcánico con un grosor de 28 metros ubicado en el sureste de la concesión en general, que contiene intercalaciones de tufo

fino y varios xenolitos de caliza, variando en características desde fragmentos pequeños hasta bloques de varios metros. Finalmente, la capa más reciente es un tufo riodacítico de al menos 20 metros de espesor, que aflora en el noreste y sureste de la zona, presentando características similares al tufo riodacítico más antiguo (6).

2.2.5. Petrología y mineralogía de la zona

En el área de Santo Domingo de Jinchis, la roca que predomina es un tuforriodacítico que cubre más del 80 % del terreno. En el sureste de la concesión aflora un aglomerado volcánico, mientras que en la parte centro-este del mapa hay una intercalación de partes sedimentarias de origen marino compuestos por caliza y pizarra. También se han identificado tres brechas intrusivas, dos de ellas asociadas con mineralización (6).

• Mineralizaciones

- ✓ Mantos: parte de las zonas calcáreas ha sido reemplazada por minerales de Pb-Zn debido al metasomatismo, especialmente cerca de la brecha de denuncia minero. El manto aflora en varios niveles (4,660, 4,640 y 4,600), con un espesor máximo de 1.40 m, compuesto por hasta tres capas, donde las superior e inferior son las más gruesas.
- ✓ Principales minerales: pirita, esfalerita, galena, arsenopirita y cuarzo. La brecha fracturada de Santo Domingo actuó como camino para los flujos hidrotermales que causaron el reemplazamiento.
- ✓ Filones: varios filones de pequeña potencia, con la veta Blandina siendo la única explotada hasta la fecha. La veta Blandina es una mineralización de fractura rellena, con una potencia entre 12 y 25 cm, compuesta principalmente por esfalerita, galena, pirita, cuarzo y arsenopirita. La roca de caja adyacente a la veta contiene pirita finamente diseminada y limonita local.
- ✓ Mineralización diseminada: la brecha de rescate es la más mineralizada. Las fisuras en los fragmentos volcánicos fueron intensamente mineralizadas por cuarzo y pirita, con presencia menor de esfalerita, calcopirita, galena y bornita. Confirmación de minerales supergénicos como chalcantita y brochantita debido a la presencia de cobre.

2.2.6. Geología local

• Formación del tufo riodacítico

La formación del tufo riodacítico es una roca predominante, compuesta por cuarzo, plagioclasa y ortoclasa en proporciones similares, lo que le da su carácter riodacítico. Esta

proporción puede variar, a veces siendo más riolítica o dacítica. A simple vista, la roca presenta granos que van de gruesos a finos, con cuarzo, feldespatos y manchas verdes de epidota, y un color gris verdoso variable.

Microscópicamente, los cristales muestran signos de rotura o corrosión. El cuarzo es limpio, mientras que los feldespatos están turbios y alterados. Los granos varían desde submicroscópicos hasta 1 mm, con fragmentos de hasta 4 mm en algunas áreas. La roca puede contener fragmentos líticos y vítreos, aunque en menor proporción. La biotita, el único mineral máfico suele estar alterada a clorita.

La zona riódacítica se encuentra en diferentes grados de alteración en la concesión. Los feldespatos muestran caolinización, y la alteración más común es la propilitización, donde los minerales máficos se reemplazan por clorita y calcita. La epidota se presenta en agregados, alcanzando hasta el 10% del volumen en algunas muestras, y es reconocible por su color verde. La calcita, que puede constituir más del 50% de la roca en algunos casos, resultante de la alteración de la plagioclasa o de metasomatismo.

La abundancia de clorita, calcita y epidota no parece depender de la proximidad a las mineralizaciones, indicando una propilitización regional por la composición de aguas subterráneas ricas en CO₂, que puede ser anterior o simultánea a la mineralización. Colindantes a la zonas de mineralización, se observa pirita diseminada y rocas silicificadas, sugiriendo una relación genética con la mineralización (6).

- **Formación de aglomerado volcánico**

Esta formación está compuesta por partes líticos de tamaño muy variado, entre 0.2 mm y 6 cm, y fragmentos cristalinos de 0.1 a 1 mm. Estos constituyen más de la mitad de la roca, aunque están poco calibrados. Los fragmentos de tamaño de ceniza volcánica (menos de 4 mm) y de lapilli (4 a 32 mm) son comunes en la roca.

Los fragmentos cristalinos están compuestos por ortoclasa, cuarzo y plagioclasa, en conjunto con criptocristalinas de clorita, indicando una composición riódacítica. Dentro de los fragmentos líticos se identifican diferentes tipos de roca volcánica:

- ✓ Andesita: tiene fenocristales de plagioclasa emplazadas en una matriz de microlitos de plagioclasa y manchas de clorita que indican minerales máficos reemplazados.
- ✓ Riódacita: presenta fenocristales de ortoclasa caolinizada, cuarzo y plagioclasa, con epidota y clorita, coincidiendo con el tufo riódacítico del área.

- ✓ Riolita: contiene fenocristales de ortoclasa en una matriz de cuarzo fino.

La erosión le da al afloramiento un aspecto rugoso, los fragmentos líticos son más resistentes a la meteorización que la matriz fina (6).

- **Formación de sedimentos marinos**

En las galerías de Santo Domingo en Jinchis se encuentra una sucesión de tufos de grano fino intercalados con sedimentos marinos, principalmente caliza y pizarra. La caliza es oolítica, con ooides completos y fragmentados, además de algunos fragmentos de conchas. Estos ooides varían en tamaño de 0.1 a 1 mm, mientras que los fragmentos y el cemento está conformada de micrita (menos de 10 micrones). Los ooides tienen núcleos de calcedonia, y hay pirita finalmente diseminada cerca a los granos de cuarzo detrítico.

En el caso de la pizarra es generalmente bandeada, compuesta por partículas de arcilla y limo. Originalmente fue una lutita o limolita, con illita como mineral dominante, identificada por su elongación en el microscopio. También contiene cuarzo fino, sericita y pirita de grano muy fino. La estratificación de la pizarra es muy fina con variaciones en la abundancia de sericita y pirita que da un tono opaco. Además, presenta formas irregulares de calcita. Esta pizarra es bastante endurecida pero no muestra esquistosidad (6).

- **Formación de brechas intrusivas**

La brecha de rescate ubicada en la parte más oeste del área del denuncia se caracteriza por contener fragmentos líticos del mismo tufo riódacítico que domina la región. Las fisuras en esta brecha han sido rellenadas con grandes cristales de cuarzo y pirita. En menor proporción, se encuentran minerales como calcopirita, esfalerita, galena y bornita, lo que indica una significativa actividad hidrotermal en su formación.

La brecha de Santo Domingo, situada en la sección sureste del denuncia, es parecida a la brecha de rescate, pero presenta un mayor grado de silicificación. Los fragmentos líticos de esta brecha son de tufo riódacítico de color raso y grano fino. La hendidura está rellena con cuarzo y sulfuro, principalmente pirita y esfalerita. La mineralización no se limita a la brecha, sino que se extiende en vetas y mantos, especialmente en el límite del oriente, donde se encuentran mantos con pirita, esfalerita, galena y arsenopirita. Estos mantos estructuralmente continúan las capas de caliza, manteniendo el mismo rumbo y buzamiento.

Por último, la brecha del Cerro se localiza en la partición nororiental del área, en una concavidad entre dos puntas. Es una roca altamente silicificada con grandes cristales de cuarzo

que complementan las fisuras entre los trozos. La facilidad de erosión de esta roca la convierte en una depresión topográfica. A diferencia de las otras brechas, esta no presenta mineralización de sulfuros, posiblemente debido a su posición topográfica más alta. Al este de esta área se encuentra una roca volcánica silicificada en una zona de falla, con una matriz de cuarzo y caolina, preservando la disposición primaria de la roca aunque los feldespatos han sido reemplazados (6).

2.2.7. Pliegues

Las rocas de la zona presentan una inclinación general con un rumbo de 115°E y un buzamiento de 35°S. Sin embargo, hay variaciones significativas, con rumbos que llegan hasta 135°E y buzamientos entre 28° y 50°. Esto es común en áreas de derrames y tufos volcánicos debido a las mediciones sobre superficies de erosión irregulares. Las rocas probablemente forman parte de falla anticlinal donde el otro flanco se ubica hacia el noreste. (6)

2.2.8. Diaclasas

Toda la región ha sufrido una severa fractura, resaltando las siguientes clases de diaclasas: la principal, con un rumbo medio de N77°E y un desplazamiento de 79°N hacia el este, y N90°E con un desplazamiento de 85°N hacia el oeste, y N90°E con un desplazamiento de 85°N hacia el oeste, presenta variaciones leves según la ubicación. Otras familias de diaclasas aparecen solo localmente: una casi perpendicular a la principal, con rumbo N145°E y buzamiento de 68°E, y algunas secundarias con rumbo N-S y subverticales. Además, se notan fracturas con la misma dirección que las diaclasas principales (N70°-79°E), pero con un desplazamiento contrario (78-84°S). Las diaclasas circulares, situadas alrededor de la brecha intrusiva de Rescate, probablemente se generaron a raíz de fenómenos de compresión vinculados a la actividad volcánica.(6).

2.2.9. Fallas

En el área de estudio, se identifican dos sistemas importantes de fallas.

- **El primer sistema de falla**

Indica trayectorias que oscilan entre los 90°E y los 110°E, con un desplazamiento registrado de 70°N, pese a que numerosas áreas falladas están modificadas y cobertas por material meteorológico, lo que complica la observación. Esta información se apoya en la veta Blandina, una mineralización de fractura rellena con una orientación subvertical de ~185°E.

- **El segundo sistema de fallas**

Posee direcciones entre N36° y N50°E, y también se encarga de áreas modificadas. Las principales fallas han tenido un impacto en la creación de quebradas a causa de la existencia de material fracturado.

Una falla principal se extiende desde el noreste hacia el suroeste con dirección N36°E, dividiendo el reporte en dos secciones diferentes. En la región sureste se hallan intercalaciones marinas y un aglomerado volcánico, lo que facilita la definición de una escala estratigráfica. En la región noroeste predominan los tufos riolíticos, presentando un pequeño brote de aglomerado y algunos xenolitos de caliza en la parte superior. Una capa de caliza emerge cerca de la cumbre y más allá del denuncia, aunque resulta complicado relacionarla con la intercalación marina del sureste debido a la ausencia de vínculos estratigráficos evidentes. (6)

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Conceptos básicos de paragénesis

2.3.1.1. Definición de paragénesis

La paragénesis se refiere a la asociación de minerales en una roca que se han formado simultáneamente bajo las mismas condiciones geológicas, como temperatura, presión y composición de fluidos. Estudiar la paragénesis permite comprender la secuencia de formación de los minerales y las condiciones geológicas que prevalecieron durante su formación. Esto es fundamental para la investigación de yacimientos minerales, ya que proporciona información crucial sobre la mineralogía, geoquímica y estructura del depósito, lo que a su vez influye en la evaluación del potencial económico de la explotación minera (7).

2.3.1.2. Importancia del estudio paragenético en la geología

El estudio paragenético en la geología es fundamental para comprender la formación y evolución de los depósitos minerales. Al analizar las asociaciones minerales y las condiciones geológicas bajo las cuales se formaron, los geólogos pueden reconstruir la historia térmica y química de un yacimiento. Esto es crucial para identificar los procesos geológicos que llevaron a la mineralización y para predecir la localización de recursos minerales adicionales.

- **Importancia del estudio paragenético:**

Comprensión de la génesis mineral: el análisis paragenético permite identificar la secuencia de formación de los minerales y las condiciones de temperatura y presión a las que fueron sometidos. Esto ayuda a entender los procesos geológicos que llevaron a la formación del yacimiento.

Evaluación del potencial mineral: al conocer la mineralogía y la geoquímica del depósito, se puede evaluar mejor el potencial económico de la explotación minera.

Predicción de recursos: el estudio paragenético ayuda a predecir la localización de recursos minerales adicionales, lo que es esencial para la exploración y explotación minera.

Aplicaciones en la ingeniería geológica: la información obtenida a través del análisis paragenético es valiosa para la ingeniería geológica, ya que permite diseñar estrategias de explotación más eficientes y seguras (8).

2.3.1.3. Relación entre paragénesis y génesis mineral

La relación entre paragénesis y génesis mineral es fundamental para entender cómo se forman los depósitos minerales y las condiciones geológicas que los afectan. La paragénesis se refiere a la asociación de minerales que se han formado simultáneamente bajo las mismas condiciones geológicas, mientras que la génesis mineral se refiere a los procesos que llevan a la formación de estos minerales.

Secuencia de formación: la paragénesis permite identificar la secuencia de formación de los minerales, lo que es crucial para entender la génesis mineral. Al conocer el orden en que se formaron los minerales, los geólogos pueden reconstruir la historia térmica y química del yacimiento.

Condiciones geológicas: la paragénesis proporciona información sobre las condiciones de temperatura, presión y composición de fluidos bajo las cuales se formaron los minerales. Esto es esencial para comprender los procesos geológicos que llevaron a la mineralización.

Evaluación del potencial mineral: al estudiar la paragénesis, se puede evaluar mejor el potencial económico de un yacimiento mineral. La mineralogía y la geoquímica del depósito influyen en la viabilidad de su explotación.

Predicción de recursos: la relación entre paragénesis y génesis mineral ayuda a predecir la localización de recursos minerales adicionales, lo que es esencial para la exploración y explotación minera.

Aplicaciones en la ingeniería geológica: la información obtenida a través del análisis paragenético es valiosa para la ingeniería geológica, ya que permite diseñar estrategias de explotación más eficientes y seguras. (7)

2.3.2. Formación de yacimientos polimetálicos

2.3.2.1]. Procesos geológicos en la formación de yacimientos polimetálicos

Los procesos geológicos en la formación de yacimientos polimetálicos son complejos y multifacéticos, involucrando una serie de eventos y condiciones que permiten la concentración de metales en una región específica. Estos procesos pueden incluir actividad volcánica, metamorfismo, sedimentación, y la circulación de fluidos hidrotermales.

- **Actividad volcánica:** la actividad volcánica puede generar yacimientos polimetálicos a través de la emisión de gases y fluidos ricos en metales. Estos fluidos pueden migrar a través de las rocas y precipitar metales en cavidades o fracturas.
- **Metamorfismo:** El metamorfismo puede alterar la mineralogía de las rocas y concentrar metales en ciertas áreas. La presión y temperatura elevadas durante el metamorfismo pueden causar la reequilibración de minerales y la formación de nuevos depósitos metálicos.
- **Sedimentación:** Los yacimientos polimetálicos también pueden formarse a través de procesos sedimentarios, donde los metales se concentran en sedimentos que se depositan en ambientes marinos o lacustres. La diagénesis y la diagénesis avanzada pueden concentrar metales en capas sedimentarias.
- **Circulación de fluidos hidrotermales:** los fluidos hidrotermales juegan un papel crucial en la formación de yacimientos polimetálicos. Estos fluidos, que son ricos en metales, pueden migrar a través de las rocas y precipitar metales en cavidades o fracturas. La interacción entre los fluidos hidrotermales y las rocas circundantes puede llevar a la formación de depósitos metálicos (9).

2.3.2.2. Tipos de yacimientos polimetálicos

Los tipos de yacimientos polimetálicos se clasifican según su origen geológico y los procesos que los formaron. Estos yacimientos contienen múltiples metales, lo que los hace económicamente valiosos y complejos de estudiar. Aquí te dejo una definición amplia y detallada:

- **Tipos de yacimientos polimetálicos:**

Yacimientos hidrotermales: estos yacimientos se forman a partir de la circulación de fluidos hidrotermales ricos en metales que migran a través de las rocas y precipitan metales en cavidades o fracturas. Ejemplos incluyen vetas polimetálicas y depósitos epitermales.

- ✓ Yacimientos magmáticos: formados a partir de la actividad volcánica, estos yacimientos se generan cuando los fluidos magmáticos ricos en metales se enfrían y precipitan metales en cavidades o fracturas. Ejemplos incluyen depósitos de pórfidos de cobre-oro y depósitos de molibdeno.
- ✓ Yacimientos sedimentarios: estos yacimientos se forman a partir de la deposición y compactación de sedimentos ricos en metales. La diagénesis y la diagénesis avanzada pueden concentrar metales en capas sedimentarias. Ejemplos incluyen depósitos de estaño y tungsteno.
- ✓ Yacimientos skarn: formados a partir de la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas, estos yacimientos contienen una variedad de metales, incluyendo cobre, molibdeno y plomo.
- ✓ Yacimientos volcánicos: estos yacimientos se forman a partir de la actividad volcánica y la precipitación de metales en cavidades o fracturas. Ejemplos incluyen depósitos de sulfuros masivos y lavaderos de oro.
- ✓ Yacimientos estrato ligados: formados a partir de la precipitación de metales en capas sedimentarias, estos yacimientos contienen una variedad de metales, incluyendo cobre, zinc y plomo.
- ✓ Yacimientos intrusivos: formados a partir de la intrusión de magma en rocas preexistentes, estos yacimientos contienen una variedad de metales, incluyendo cobre, oro y molibdeno.(9)

2.3.2.3. Factores que influyen en la mineralización

Los factores que influyen en la mineralización de yacimientos polimetálicos son procesos que se determinan a través de diferentes y variados procesos geológicos, aunque existen ciertos factores principales que se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla 2. Factores que determinan la mineralización de los yacimientos polimetálicos.

Factor	Descripción
Composición de la roca y los fluidos	Tipos de minerales presentes; química de los fluidos hidrotermales
Procesos geotérmicos	Temperatura y presión durante la mineralización; Influencia de fuentes de calor como el magma
Estratigrafía y estructura geológica	Disposición de las capas de roca; presencia de fallas y fracturas

Circulación de fluidos hidrotermales	Vías de migración de fluidos ricos en minerales; velocidad y volumen de la circulación de fluidos
Actividad magmática y volcánica	Intrusiones magmáticas; erupciones volcánicas que aportan metales
Metamorfismo y reacciones químicas	Transformación de minerales bajo presión y temperatura; reacciones químicas entre los fluidos y las rocas
Tectónica y dinámica de la tierra	Movimientos tectónicos que crean espacios para deposición; sismos y su papel en la redistribución de minerales

2.3.3. Técnicas de análisis paragenético

2.3.3.1. Métodos de identificación de minerales

Los métodos mostrados son los principales (Fig.2.2) en la identificación de minerales, en este estudio se utilizó exclusivamente el microscopio petrográfico para observar las secciones delgadas de las muestras. Esta herramienta permitió detallar el análisis paragenético, proporcionando una comprensión precisa de la composición mineralógica y la estructura cristalina de las rocas en estudio.

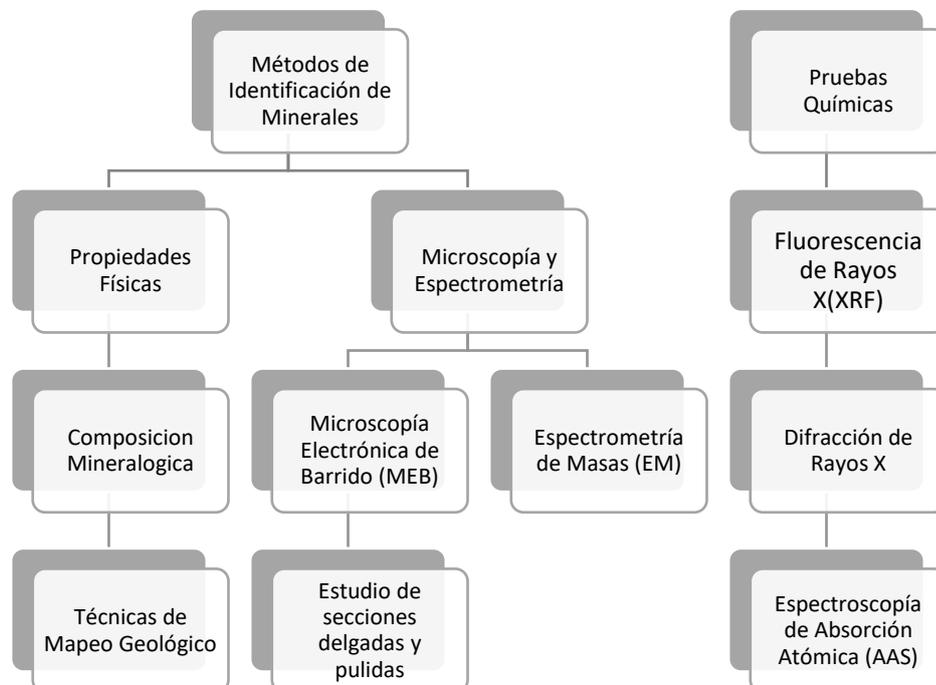


Figura 2. Diagrama de los principales métodos de identificación de minerales

2.3.3.2. Técnicas de análisis petrográfico y microscópico

El análisis petrográfico y microscópico es una técnica fundamental en la geología y la mineralogía para el estudio detallado de las rocas y minerales. Esta técnica implica la preparación de secciones delgadas y pulidas de muestras geológicas para su observación bajo un microscopio petrográfico. A continuación, se detalla cada aspecto relevante de esta técnica:

- **Preparación de secciones delgadas**

La preparación de secciones delgadas implica cortar una muestra de roca o mineral en una lámina fina, generalmente de unos 30 micras de espesor. Esta lámina se monta sobre un portaobjetos de vidrio utilizando un adhesivo adecuado. Posteriormente, se cubre con un cubreobjetos de vidrio para proteger la muestra.

- **Pulido de secciones**

El pulido de las secciones delgadas es un proceso esencial para eliminar imperfecciones y obtener una superficie lisa y transparente. Esto se logra utilizando una serie de abrasivos de grano fino, comenzando con granos gruesos y progresando hacia granos más finos.

- **Observación microscópica**

Una vez preparada y pulida la sección, se coloca bajo un microscopio petrográfico. Este microscopio está equipado con filtros polarizadores que permiten observar las propiedades ópticas de los minerales, como la birrefringencia y la pleocroísmo. La observación detallada permite identificar minerales, texturas y estructuras internas que no son visibles a simple vista.

- **Análisis paragenético**

El análisis paragenético se refiere al estudio de las relaciones y asociaciones entre diferentes minerales en una roca. Este análisis ayuda a comprender los procesos geológicos que llevaron a la formación de la roca, como la cristalización de minerales a partir de fluidos hidrotermales o la alteración de minerales preexistentes (10).

2.3.3.2. Interpretación de secuencias paragenéticas

La interpretación de secuencias paragenéticas (figura 3) es un proceso crucial en la geología y la mineralogía para entender la historia geológica y los procesos que han afectado una roca o un depósito mineral. Este análisis se centra en la identificación y estudio de las asociaciones y secuencias de formación de minerales dentro de una roca, lo que permite inferir las condiciones de formación y los eventos geológicos que ocurrieron.

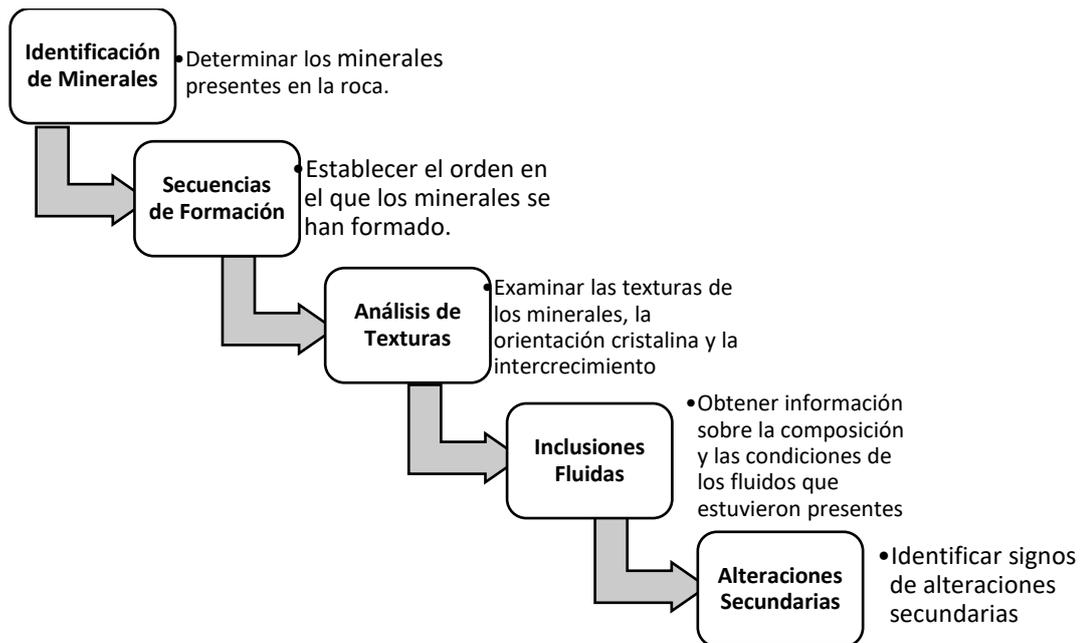


Figura 3. Aspectos clave en la interpretación de secuencias paragenéticas

2.3.4. Evaluación del potencial mineral

2.3.4.1. Métodos de estimación del potencial mineral

La estimación del potencial mineral es un proceso fundamental que involucra varios métodos para identificar y evaluar la presencia de recursos minerales en una región específica. Estos métodos incluyen la exploración geológica, mapeo geológico, análisis geoquímico, métodos geofísicos y la perforación de pozos para recolección de muestras. Además, se utilizan modelados geológicos y estadísticos para crear modelos tridimensionales de los depósitos minerales y realizar una evaluación económica que considere el costo de extracción y la viabilidad financiera del proyecto minero (11).

En este estudio específico, aunque se describen varios métodos de identificación de minerales, se utilizó exclusivamente el microscopio petrográfico para observar las secciones delgadas de las muestras y detallar el análisis paragenético. Este enfoque permitió obtener una comprensión precisa de la composición mineralógica y la estructura cristalina de las rocas, proporcionando información esencial para la evaluación del potencial mineral del yacimiento.

2.3.4.2. Evaluación económica de los recursos minerales

La evaluación económica de los recursos minerales es un proceso integral que evalúa la viabilidad financiera de la explotación de un yacimiento mineral. Este análisis considera diversos factores, como los costos de extracción, el precio del mineral en el mercado, la cantidad y calidad de los recursos disponibles, y los posibles impactos económicos y

ambientales. La evaluación económica es esencial para determinar si un proyecto minero es rentable y sostenible a largo plazo.

- **Aspectos clave en la evaluación económica**

- ✓ Estimación de reservas: determinar la cantidad y calidad de los recursos minerales presentes en el yacimiento.
- ✓ Análisis de costos: evaluar todos los costos asociados con la extracción y procesamiento del mineral, incluyendo costos de capital, operativos y de cierre.
- ✓ Proyecciones financieras: realizar proyecciones de ingresos y gastos a lo largo del tiempo para evaluar la rentabilidad del proyecto.
- ✓ Análisis de riesgos: identificar y evaluar los riesgos potenciales que puedan afectar la viabilidad económica del proyecto, como fluctuaciones en los precios del mineral y cambios regulatorios.
- ✓ Impacto ambiental y social: considerar los posibles impactos ambientales y sociales del proyecto y evaluar los costos asociados con la mitigación de estos impactos (12).

2.3.4.3. Aplicación de análisis paragenético en la evaluación de yacimientos

La aplicación de análisis paragenético en la evaluación de yacimientos es fundamental para comprender la historia geológica y los procesos que han afectado un depósito mineral. Este análisis se centra en la identificación y estudio de las asociaciones y secuencias de formación de minerales dentro de una roca, lo que permite inferir las condiciones de formación y los eventos geológicos que ocurrieron. La información obtenida a través del análisis paragenético es crucial para la caracterización de yacimientos, ya que ayuda a determinar la composición mineralógica, la textura y la estructura interna de las rocas, proporcionando datos esenciales para la evaluación del potencial mineral (13).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

Este estudio se clasifica como una investigación cualitativa con un enfoque exploratorio. Nos centramos en la caracterización paragenética de las muestras extraídas del yacimiento de Santo Domingo de Jinchis, en Recuay. La metodología se basa en la recolección y análisis de datos cualitativos que nos permitan identificar el potencial mineralógico y económico del yacimiento. Aspectos clave como la composición mineralógica, las asociaciones minerales y el grado de alteración son explorados a profundidad para obtener una comprensión detallada.

Dado que es una investigación preliminar donde los datos existentes son limitados o están incompletamente caracterizados, el enfoque exploratorio es el más adecuado. A través del análisis minucioso de las muestras y la observación de su paragénesis, buscamos generar hipótesis nuevas que puedan guiar futuras investigaciones y aportar a un entendimiento más profundo del potencial del yacimiento.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación es de nivel exploratorio, enfocándose en describir y analizar la información obtenida de las muestras recolectadas. Este enfoque analítico-descriptivo nos permite establecer una base sólida para estudios posteriores.

3.2. Diseño de la investigación

- **No experimental - longitudinal**

El diseño de esta investigación es no experimental y longitudinal. Se basa en la observación y el análisis de muestras recolectadas del yacimiento en Santo Domingo de Jinchis, sin

manipular intencionalmente las variables geológicas. A lo largo del estudio, utilizamos técnicas como la microscopía óptica en secciones delgadas y pulidas, y la identificación de la mineralogía de las rocas.

Este diseño longitudinal permite llevar a cabo un análisis continuo de las características de las muestras recolectadas a través del tiempo, obteniendo así información detallada sobre la paragénesis mineral y la evolución del depósito. Mediante la observación de las variables geológicas y su relación con la formación de depósitos minerales, se podrán establecer correlaciones significativas que nos ayuden a entender los procesos geológicos en el yacimiento y por consecuencia su determinar su potencial mineral.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio incluye todos los yacimientos minerales presentes en la zona geográfica de Santo Domingo de Jinchis, Recuay. Esto abarca tanto los depósitos minerales conocidos como los potenciales dentro de esa área específica. La delimitación geográfica se enfoca exclusivamente en esta región y las características geológicas asociadas a ella.

3.3.2. Muestra

La muestra se compone de la selección representativa de rocas superficiales que componen los principales minerales en Santo Domingo de Jinchis. Estas muestras se eligen con cuidado para reflejar la diversidad geológica de la región, capturando diferentes tipos de depósitos minerales presentes en el área.

3.4. Métodos e instrumentos de recolección de datos

Para el estudio geológico minero y evaluación preliminar de un yacimiento se utilizarán varias técnicas e instrumentos para la recolección de datos:

Se realizarán un estudio previo de la geología regional y local para continuar con la visita de campo y obtener las muestras más representativas que presenten los minerales característicos de la zona, de esa manera se podrá determinar la concentración de minerales y el análisis paragenético de interés.

Las técnicas de microscopía óptica e instrumentos para la obtención de muestras como para la fabricación de secciones delgadas y pulidas permitirá una análisis de datos exhaustiva y precisa, lo cual es fundamental para una evaluación detallada del yacimiento y su potencial

económico, de esta forma se logrará una comprensión más completa de la distribución y concentración de los minerales.

3.4.1. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Para la recolección de datos en el yacimiento se emplearán los siguientes instrumentos:

- ✓ GPS (sistema de posicionamiento global)
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Bloc de notas y lápiz
- ✓ Brújula
- ✓ Palas y picos
- ✓ Recipientes de muestras
- ✓ Bolsas de plástico
- ✓ Dispositivos de almacenamiento digital
- ✓ Instrumentos para hacer secciones delgadas
- ✓ Microscopio polarizante
- ✓ Lupa de campo

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis paragenético de las muestras

4.1.1. Muestra 1



Figura 4. Fotografía de la muestra 1 - clasificación: dacita porfirítica metasomatizada

- **Descripción macroscópica**

El primer ejemplar es una roca ígnea, hipocristalina, que exhibe una textura porfirítica en una matriz afanítica. Los fenocristales de feldespatos plagioclasa, completamente sustituidos por la sílice, (alrededor de 2 mm de longitud), se ubican en una matriz de grano muy fino ($<0,05$

mm); la muestra clastos de brecha fuertemente silicificadas, esto sucede en ciertos segmentos, mientras que en otros, la región de la matriz presenta un proceso de lixiviación con superficies porosas; al contacto con el HCl no se produce ninguna reacción y tampoco presenta magnetismo.

- **Composición mineral y porcentajes**

En la sección delgada la muestra: I, está compuesto por:

Tabla 3. Distribución del mineral en porcentajes de la muestra 1

Mineral	Porcentaje (%)	Origen	Observación
Cuarzo I	90	Magmático	Fenocristales corroídos, textura porfirítica
Sericita	5	Hidrotermal	Asociado a illita, en estelas de flujo
Illita	2	Hidrotermal	Agregados microfibrosos con flujo
Limonita	3	Hidrotermal/Meteorizado	Microvenillas y coloración de la roca

- **Fases de fenocristales**

Los fenocristales o cuarzos de origen magmático se presentan fuertemente corroídos y asimilados por la matriz, lo que en algunas áreas se presentan como residuos esqueléticos. Se refiere al cuarzo de primer nivel (cz I).

- **Análisis de la matriz**

La matriz, de grano extremadamente fino a microcristalino (< de 0,100 mm), está principalmente compuesta por cuarzo de segunda generación (cz II); otro mineral que forma parte de la matriz es la sericita (ser), presente en forma de agregados microlaminares, en ciertos casos se muestran como estelas de flujo, limitando las zonas de brecha, donde rodean a algunos clastos; asociado a la sericita están las illitas, las que se manifiestan como agregados microfibrosos, acompañan a la dirección de flujo que exhiben las sericitas. Coloreando a las sericitas e illitas, están las limonitas, las que también están como microvenillas que atraviesan a la roca en diferentes direcciones.

- **Otros componentes importantes**

En este contexto, tomamos en cuenta a los clastos de brecha, que se componen de granoblastos de cuarzo, expresándose en forma de playas irregulares y en forma de venillas. Los minerales oscuros, vinculados a las limonitas.

- **Orden de cristalización**

Cada fase de mineralización está representada en secuencia, desde el cuarzo magmático inicial hasta los minerales hidrotermales como la sericita, illita, y finalmente la limonita, que resulta de la oxidación.

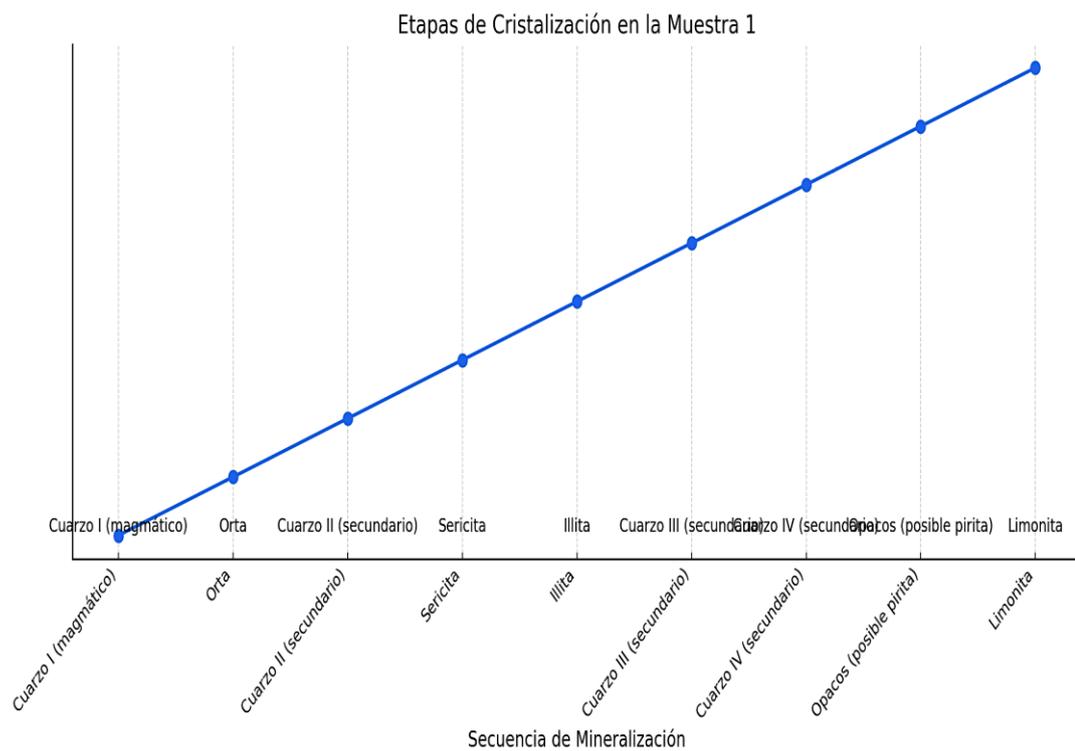


Figura 5. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 1

Este gráfico ilustra cómo los eventos hidrotermales y de alteración han afectado a la muestra, sugiriendo un proceso de enriquecimiento mineral en múltiples etapas:

Cuarzo magmático (cuarzo i): la primera etapa muestra el cuarzo primario, indicativo de origen ígneo y del enfriamiento inicial de la dacita.

Hidrotermalismo: las etapas sucesivas de cuarzo secundario (II a IV) y la presencia de sericita e illita señalan eventos de alteración hidrotermal que enriquecieron la roca en minerales de interés.

Oxidación y limonita: las venillas de limonita son productos finales de alteración, asociados con la circulación de aguas ricas en óxidos de hierro.

Este patrón de mineralización y las múltiples generaciones de cuarzo son favorables para el potencial de metales valiosos, ya que indican una actividad hidrotermal compleja, típica en depósitos de cobre y oro.

- **Alteración de la roca**

La muestra se distingue por la intensa alteración de silicificación, sumada a la modificación mecánica. En algunas zonas de la roca se pueden apreciar rasgos de textura cataclástica, con la trituración de sus componentes y donde los cuarzos exhiben una extinción ondulante y una textura plumosa.

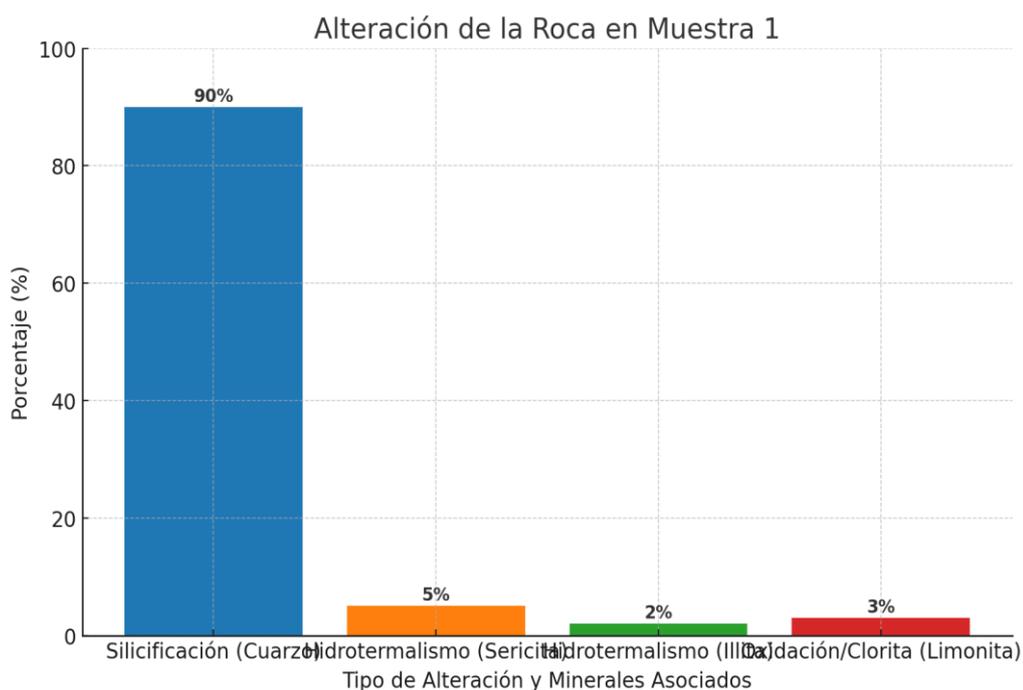


Figura 6. Diagrama de barras – Alteración de la muestra 1 compuesta en su mayoría por silicificación

- **Observaciones**

El proceso de silicificación intenso de la roca está desplazado por el proceso de brechamiento, lo que provoca la presencia de clastos y sectores cataclásticos.

- **Interpretación y análisis**

La textura porfirítica, caracterizada por una matriz de grano muy fino a microcristalino, demuestra que la roca en su primera generación, o sea, magmática, experimentó o atravesó dos fases de refrigeración. La presencia de fenocristales de plagioclasa se manifiesta, los cuales en la actualidad se componen de algunas sombras añadidas por las sericitas vinculadas a las illitas. El fenocristal de cuarzo (cz I) es otro mineral que nos brinda la información necesaria para clasificar como dacita porfirítica. Este mineral está fuertemente corroído y absorbido por la

matriz, mostrando una extinción ondulante, lo que señala que la roca ha sufrido esfuerzos mecánicos, correspondiendo a la primera fase de enfriamiento. A continuación, se presentan los minerales que señalan la segunda fase de refrigeración durante el proceso de formación de la roca. Estos son los elementos de la matriz, que actualmente está conformada por el cuarzo II (secundario, cz II, no magmático), que han sustituido a los feldespatos de la matriz. Por esta intervención, tenemos el origen de los cuarzos, los cuales abarcan varias etapas de cristalización, observándose hasta cinco etapas de depositación, uno de ellos son los que fueron cambiados por plagioclasa cristalinas se su matriz, otro cuarzo de la siguiente etapa de depositación es el que se manifiesta como microvenillas que tienen espesores de escasa micras de dimensión y que traspasan la parte silicificada con orientación casi paralelas, otros manifestados en microvenillas que forman una matriz cristalina; hay cuarzos de mayor tamaño, lo que en algunos casos parten de clatos brechosos, los cuarzos de penúltima etapa de depositación, ya que los de la última etapa son las microvenillas que atraviesan a éstos.

Por otra parte las sericitas que se han derivado de la alteración de las plagioclasas preexistentes, en algunos sectores aún conservan las sombras de los moldes de los fenocristales de las plagioclasas, mayormente se manifiestan como flujos y microvenillas, los cuales están asociados a las illitas. En algunas zonas se observan agregados microlaminares de cloritas, las que se han derivado de la alteración de las biotitas preexistentes, están coloreados por las limonitas.

Producto de la circulación de las aguas descendentes, están las limonitas, las que se depositaron de la concentración de los óxidos de hierro que fueron transportados por esas aguas, esto es proceso de la meteorización que ha afectado a la roca.

- **Fotomicrografías**

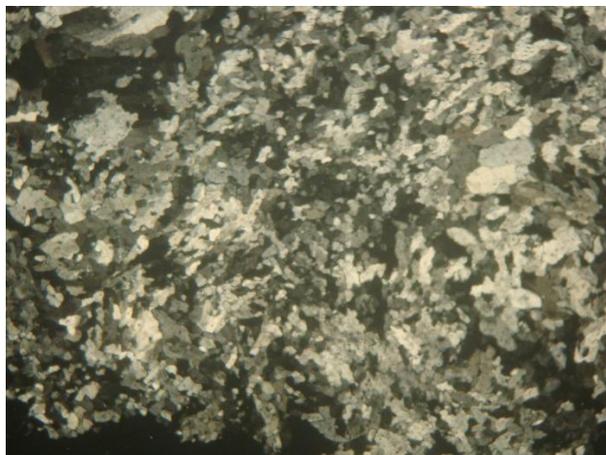


Figura 7. Agregados microgranoblásticos de cuarzo (cz) de grano fino. 50X

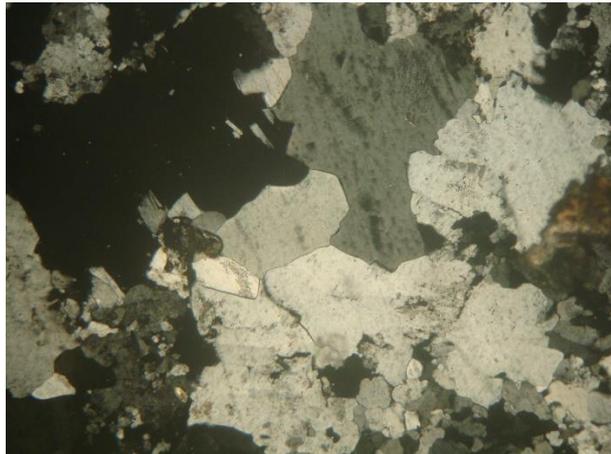


Figura 8. Agregados granoblásticos de cuarzo (cz) de grano grueso, a los cuales están asociados las adularias (ad). 50X.

4.1.2. Muestra 2



Figura 9. Fotografía de la muestra 2 - clasificación: dacita porfirítica metasomatizada

- **Descripción macroscópica**

El segundo ejemplar es una roca ígnea, hipocristalina, que exhibe una textura porfirítica en una matriz afanítica. Los fenocristales de cuarzo, que pueden llegar a tener hasta 2 mm de longitud, se ubican en una matriz de grano muy fino (<0,05 mm); la muestra señala clastos de brecha fuertemente silicificados, situados en ciertos segmentos de la matriz; no se registra ninguna reacción al contacto con el HCl, y no muestra susceptibilidad magnética bajo la

presencia del imán de mano; la muestra está atravesada por microvenillas llenas de limonitas, resultado de la Se pueden apreciar costras superficiales de óxidos de manganeso.

- **Composición mineral y porcentajes**

La muestra 2 está compuesta por: 86 % de cuarzo; 4 % de sericita, 3 % de illita, 4 % de minerales oscuros (incluido limonita) y 3 % de carbonatos (en su mayoría siderita).

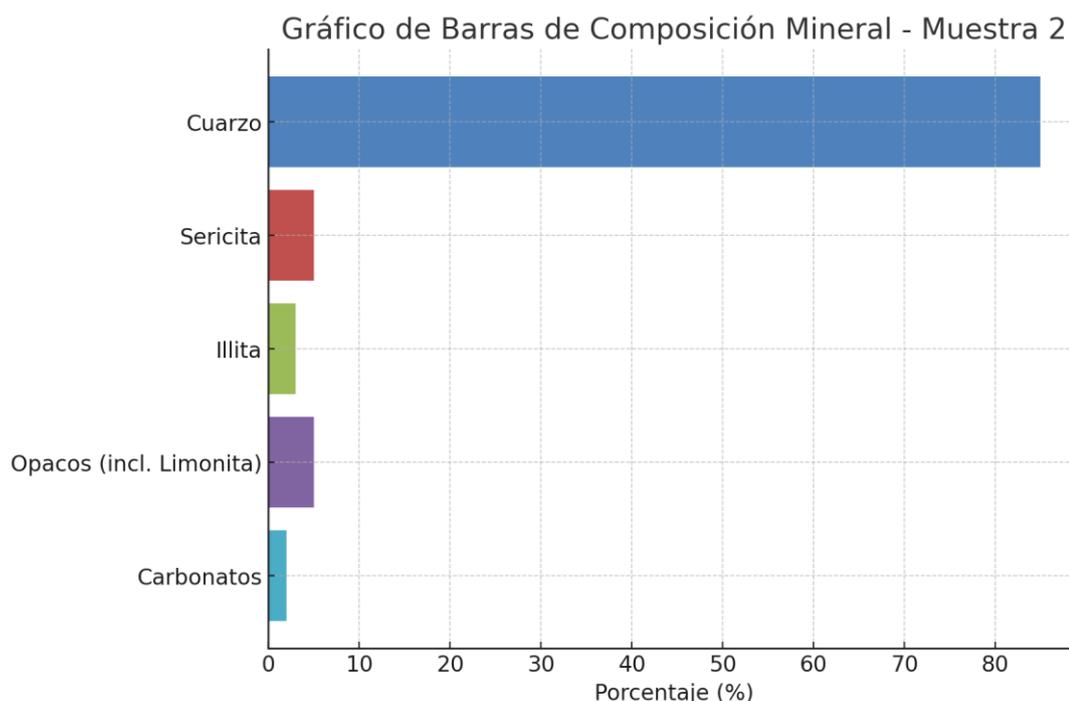


Figura 10. Diagrama de barras – composición mineral de la muestra 2

- **Fases de fenocristales**

El único mineral que se presenta en forma de fenocristal es el cuarzo de procedencia magmática, que se presentan fuertemente corroídos y asimilados por la matriz, lo que en algunas áreas se percibe como residuos esqueléticos. Se refiere al cuarzo inicial (cz I).

- **Análisis de la matriz**

La matriz presenta un grano que varía de fino a microcristalino (menos de 0,300 mm) y está compuesta principalmente de cuarzo de segunda generación (cz II). Otro mineral presente en la matriz es la sericita, que aparece en forma de agregados microlaminares, situados entre los espacios de los cristales de cuarzo (cz II). En algunas zonas, la sericita se asocia con illita, formando lo que parecen ser restos de antiguos fenocristales de plagioclasas, los cuales están intensamente teñidos por limonita. Los carbonatos, generalmente en forma de pequeñas venillas, también están presentes en la matriz y, en ciertos casos, se superponen a la sericita.

- **Otros componentes importantes**

Al igual que en la muestra anterior, se identificaron clastos de brecha compuestos por granoblastos de cuarzo, que aparecen como áreas irregulares y también en forma de pequeñas venas. Los minerales opacos se encuentran asociados con limonita y posiblemente con óxidos de manganeso.

- **Orden de cristalización**

El diagrama de las etapas de cristalización de la muestra 2. Se presenta en forma de barras y representa una etapa cronológica en el proceso de formación y alteración de la roca, desde el cuarzo primario hasta las fases finales de oxidación (opacos y limonita).

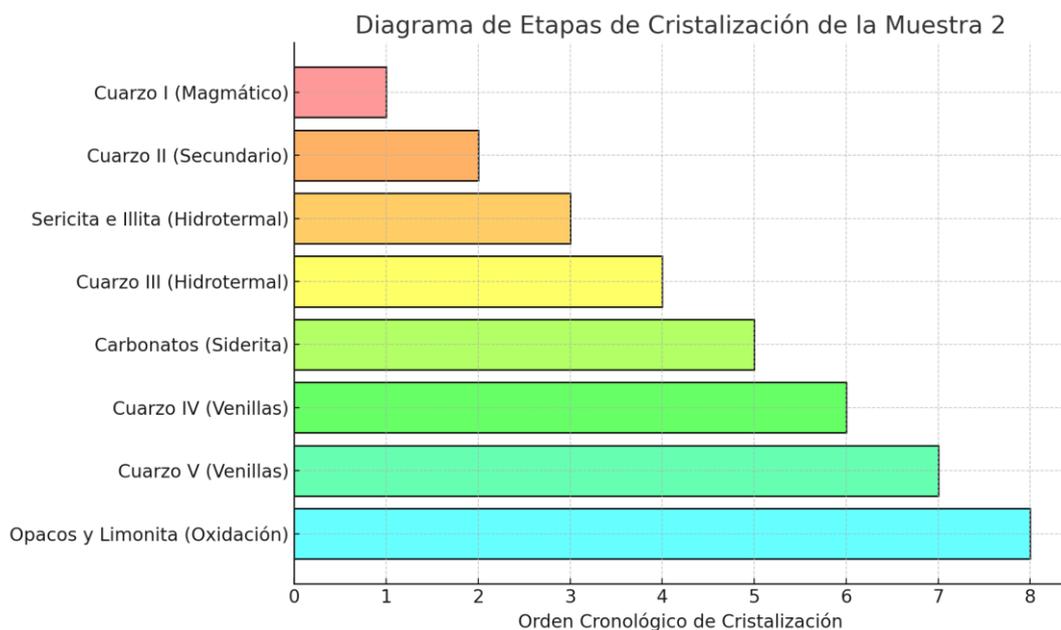


Figura 11. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 1

Cuarzo I (magmático): la presencia inicial de cuarzo magmático indica una etapa temprana de cristalización. Su textura porfirítica y su extinción ondulante sugieren que la roca estuvo sometida a esfuerzos mecánicos.

Cuarzo II y III (hidrotermal): estas fases muestran los efectos de la actividad hidrotermal, que reemplazaron a minerales primarios como los feldespatos. La incorporación de sericita e illita también indica alteraciones significativas debido a procesos hidrotermales.

Etapas finales (cuarzo IV y V, opacos y limonita): las venillas de cuarzo y la presencia de óxidos de hierro y manganeso, junto con la limonita, reflejan un ambiente de alteración

posterior. Este patrón es típico en zonas donde las aguas meteóricas interactúan con la roca, provocando la oxidación de minerales primarios y secundarios.

- **Alteración de la roca**

La tabla 4 indica que la muestra 2 ha sido intensamente afectada por procesos hidrotermales, evidenciados por la presencia de múltiples etapas de cuarzo y otros minerales secundarios como sericita, illita y carbonatos. La oxidación de minerales opacos, reflejada en la formación de limonita, sugiere exposición a condiciones oxidadas posiblemente en etapas tardías. Estos procesos indican un entorno geológico activo que pudo haber facilitado la formación de concentraciones minerales potencialmente explotables.

Tabla 4. Tabla de alteraciones y procesos secundarios para la muestra 2

Proceso de alteración	Minerales asociados	Descripción de la alteración
Silicificación	Cuarzo (cz II, cz III, cz IV, cz V)	La muestra presenta cuarzos de varias generaciones, reemplazando a feldespatos primarios y formando venillas en la matriz. Indica un proceso hidrotermal significativo que afectó la roca.
Sericitización	Sericita	Producto de la alteración de plagioclasas, formando agregados microlaminares. La sericita está en sectores donde reemplaza y delimita sombras de fenocristales de plagioclasa.
Illitización	Illita	Asociada a la sericita y presente en zonas donde se manifiestan sombras de plagioclasa. Indica condiciones hidrotermales de baja temperatura.
Oxidación (Limonita)	Limonita, Minerales opacos (posiblemente pirita)	La oxidación de minerales opacos como pirita ha originado venillas de limonita. Este proceso indica circulación de aguas meteóricas.
Carbonatización	Carbonatos (posiblemente siderita)	Presentes en forma de microvenillas que atraviesan la matriz. Indica un proceso hidrotermal con incorporación de CO ₂ .

- **Observaciones**

La roca muestra un intenso proceso de silicificación que se superpone al brechamiento, lo cual resulta en la aparición de clastos y áreas con características cataclásticas.

- **Interpretación y análisis**

La muestra corresponde a una dacita, con una textura porfírica y una matriz de grano fino a microcristalino, lo que sugiere que la roca pasó por dos fases de enfriamiento en su origen magmático. Estas fases se manifiestan mediante sombras de fenocristales de plagioclasa, ahora compuestos por agregados microlaminares de sericita y asociados a illitas. Otro indicio que apoya su clasificación como dacita porfírica es la presencia de fenocristales de cuarzo (cz I), que están notablemente corroídos e integrados en la matriz y presentan extinción ondulante, señal de que la roca fue sometida a esfuerzos mecánicos, marcando la primera fase de enfriamiento. Luego, en la segunda fase de enfriamiento, durante la formación de la roca, los minerales que componen la matriz, principalmente cuarzo II de grano fino, se combinan con un cuarzo III secundario (no magmático), que ha sustituido a los feldespatos primarios en la matriz. Como resultado de la actividad hidrotermal, se encuentran cuarzos de diversas etapas de deposición, observándose hasta cinco fases. En una de estas etapas, el cuarzo ha reemplazado las plagioclasas microcristalinas en la matriz. En otra etapa, el cuarzo aparece en microvenillas que atraviesan la matriz silicificada, mientras que en una fase posterior, se presentan microvenillas de mayor grosor que también atraviesan la matriz microcristalina, formando un patrón entrecruzado. Los cuarzos de mayor tamaño, en forma de granoblastos, se encuentran en los clastos de brecha y parecen corresponder a una generación anterior a la última etapa. En esta última fase, las microvenillas atraviesan los clastos.

Otros componentes hidrotermales incluyen sericita, resultado de la alteración de plagioclasas, junto con illitas y carbonatos. Los minerales opacos, posiblemente pirita, están dispersos y forman microvenillas; muchos de ellos, tras alterarse, han dado lugar a la formación de limonitas.

- **Fotomicrografías**

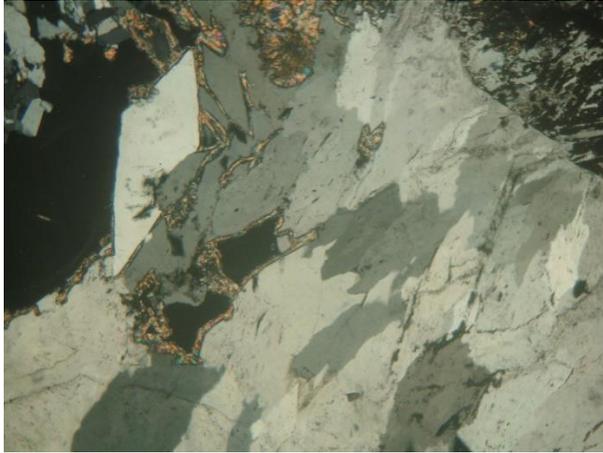


Figura 12. Agregados de cuarzos (cz) con hábito plumosos, con extinción ondulante. 50X

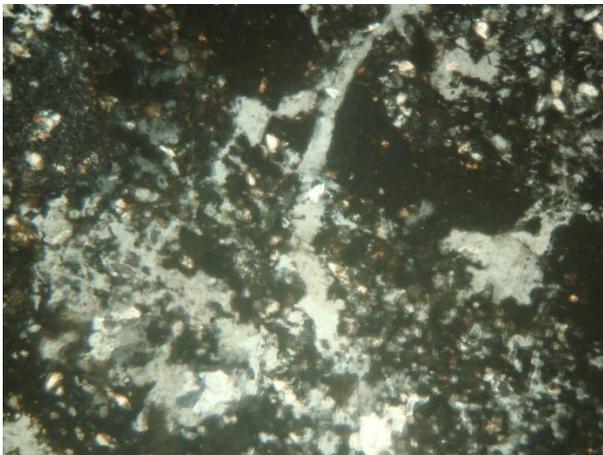


Figura 13. Venilla de cuarzo (cz) que atraviesa al agregado microgranoblástico de cuarzo (cz). 50X

4.1.3. Muestra 3



Figura 14. Fotografía de la muestra 3 - clasificación: dacita porfírica parcialmente piroclástica

- **Descripción macroscópica**

La muestra de roca N°3 es una roca ígnea de tipo hipocristalino, con una textura porfírica en una matriz afanítica y una estructura compacta. Presenta fenocristales de cuarzo de menos de 0,5 mm de longitud, intensamente alterados. Al exponerse al ácido clorhídrico (HCl), no muestra signos de efervescencia, y tampoco evidencia susceptibilidad magnética cuando se prueba con un imán de mano. La superficie de la roca está recubierta por costras de limonita y óxidos de manganeso.

- **Composición mineral y porcentajes**

La roca N°3 se compone de plagioclasa 40 %, cuarzo 20 %, sericita 25 %, piroclastos 5 %, arcilla 2 %, y minerales opacos (incluido limonitas) 8%.

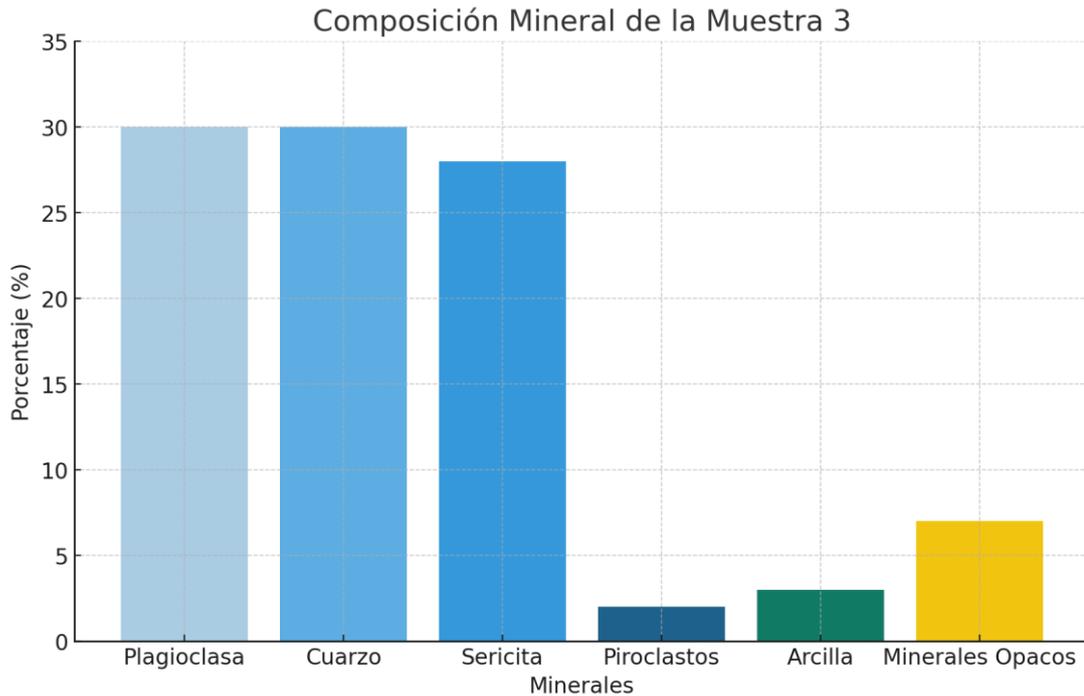


Figura 15. Diagrama de barras – composición mineral de la muestra 3

- **Fases de fenocristales**

El cuarzo aparece en forma de fenocristales subhedrales, con dimensiones menores a 2,72 mm de largo. Estos cristales están altamente erosionados e integrados en la matriz microcristalina, lo que ocasiona que varios presenten bordes con una apariencia de engolfamiento.

- **Análisis de la matriz**

La matriz está compuesta por minerales de grano extremadamente fino a microcristalino (menores de 0,060 mm de longitud), predominando feldespatos plagioclasa, que han sufrido una intensa alteración a sericita, acompañada por arcillas. Otro componente es el cuarzo, que se presenta en diversas fases de cristalización. Gran parte de la matriz tiene un tinte debido a la presencia de limonitas. Además, los minerales opacos se encuentran dispersos y formando pequeñas venillas.

- **Otros componentes importantes**

Al igual que en la muestra anterior, se identifican clastos de brecha compuestos por granoblastos de cuarzo, que aparecen en áreas irregulares y como pequeñas venas. Los minerales opacos están presentes junto con limonitas y posiblemente con óxidos de manganeso.

- **Orden de cristalización**

Las diferentes fases de enfriamiento y alteración se muestran con los minerales presentes en cada una:

Primera etapa de enfriamiento: cristalización de los fenocristales de plagioclasa, cuarzo y piroclastos.

Segunda etapa de enfriamiento: formación de la matriz con microcristales de plagioclasa, cuarzo en varias etapas de cristalización y minerales opacos.

Hidrotermalismo: alteración hidrotermal con la presencia de sericita, arcilla, limonita y cuarzo en microvenillas.

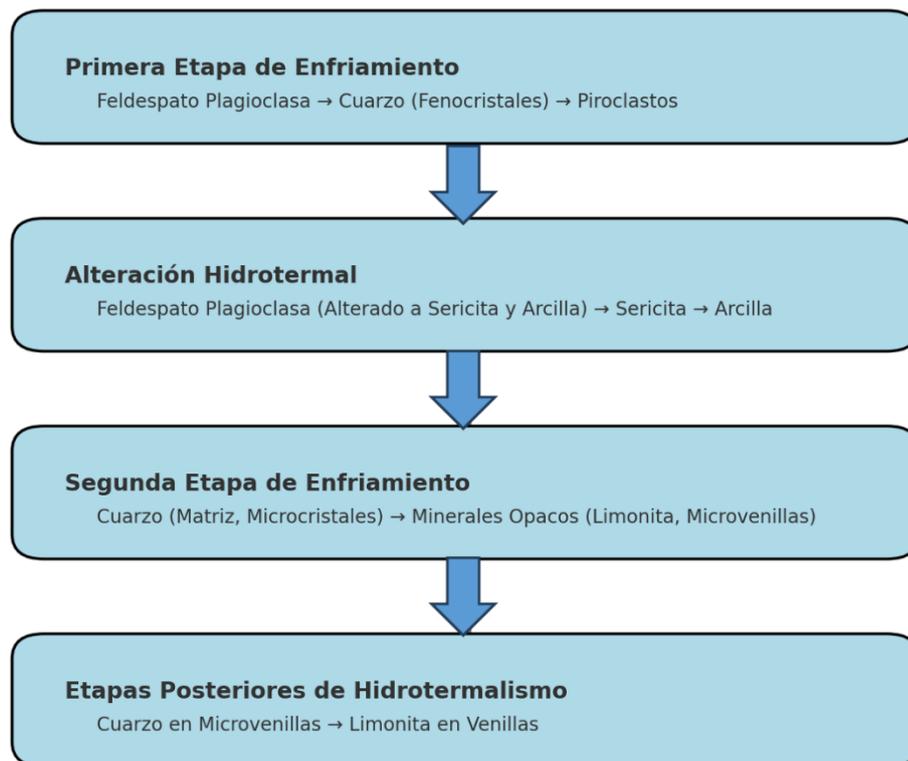


Figura 16. Secuencia paragenética de mineralización de la muestra 3

- **Alteración de la roca**

La muestra presenta una intensa alteración de tipo cuarzo-sericítica (alteración filica), acompañada de efectos mecánicos, lo que genera en algunas zonas de la roca rasgos de microbrechamiento y fragmentación de sus componentes. En estas áreas, los cristales de cuarzo exhiben extinción en forma ondulante.

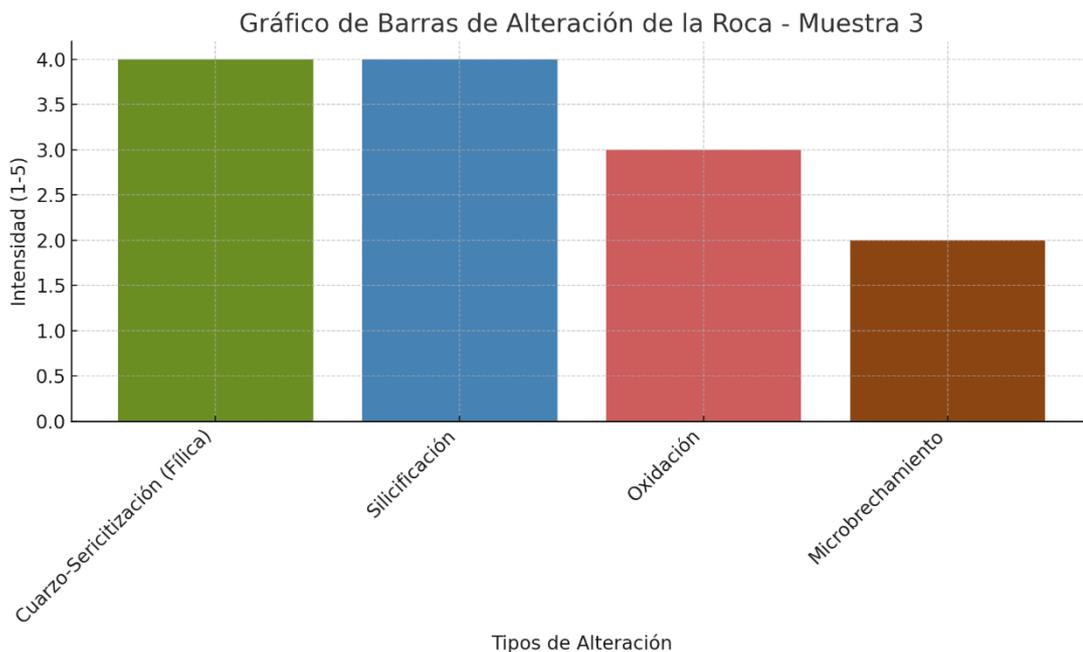


Fig. 17. Gráfico de barras de alteración de la roca en la muestra 3

- **Observaciones**

En algunas áreas de la muestra se pueden identificar piroclastos que presentan una fuerte silicificación.

- **Interpretación y análisis**

La muestra 3 corresponde a un piroclasto dacítico con textura porfiroclástica y estructura amigdaloides, evidenciando dos fases de enfriamiento. La primera fase incluye los fenocristales de feldespatos plagioclasas, que se encuentran intensamente alterados, mostrando moldes ocupados por sericitas y superpuestos por arcillas. También se observa el cuarzo como un fenocristal de esta primera etapa de enfriamiento, el cual presenta una fuerte corrosión y está absorbido por la matriz, con formas que varían entre subhedral y anhedral, con bordes redondeados. Además, se identifican piroclastos que indican un proceso de contaminación, los cuales son de diversas naturalezas, incluidos andesitas y hipoabisales alterados (probablemente pórfidos tonalíticos). Se aprecian escasos microfenocristales de biotitas blanquecinas dispersos en la matriz, de origen magmático.

Los componentes de la segunda fase de enfriamiento son los que constituyen la matriz, es decir, las plagioclasas microcristalinas y los cuarzitos; las plagioclasas están fuertemente alteradas a sericitas y arcillas.

Como resultado del hidrotermalismo que ha impactado la roca, se observa la presencia de cuarzo proveniente de diversas etapas de cristalización. La primera etapa corresponde a la

silicificación de numerosos microclastos, seguida por cuarzos que se manifiestan en forma de microvenillas y que corresponden a diferentes fases de cristalización. En términos generales, estos cuarzos presentan extinción ondulante.

El hidrotermalismo también ha dado lugar a la formación de sericitas, resultantes de la alteración de los fenocristales de plagioclasa y de las plagioclasas microcristalinas en la matriz, así como de arcillas.

Los minerales opacos están dispersos, y algunos forman parte de las microvenillas. Estos minerales, afectados por las aguas descendentes, han originado limonitas.

- **Fotomicrografías**

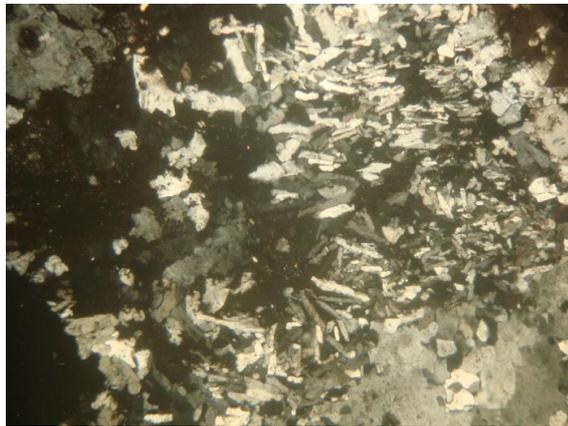


Figura 18. Agregados de microlitos de plagioclasa (pl) fuertemente reemplazados por el cuarzo (cz), están en contacto de los cuarzos (cz) recristalizados. 50X

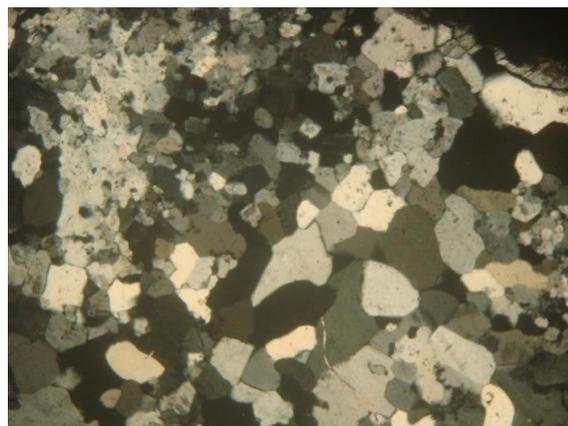


Figura19. Agregados microgranoblásticos de cuarzo (cz) de granulometría media. 50X

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El análisis petrográfico y mineralógico de las muestras del yacimiento sugiere la existencia de múltiples eventos geológicos significativos, que incluyen procesos de cristalización, alteración hidrotermal y brechamiento. La presencia de minerales como cuarzo, plagioclasa, sericita y minerales opacos, junto con texturas indicativas de silicificación y sericitización intensa indica que el yacimiento ha sido afectado por procesos hidrotermales a baja temperatura, típicos de ambientes de mineralización epitermal. Las alteraciones observadas, especialmente las de tipo cuarzo-sericitización, junto con la presencia de venillas de cuarzo y minerales opacos, son características que suelen encontrarse en yacimientos ricos en metales preciosos y metales base, como oro, plata y cobre.

La zonación mineralógica y la presencia de clastos piroclásticos en algunas muestras reflejan un ambiente geológico activo, con eventos de fracturamiento y transporte de material que podrían haber facilitado la circulación de fluidos mineralizantes. Estos procesos tectónicos y la formación de venillas de cuarzo y microbrechas son indicativos de un sistema hidrotermal donde las condiciones son favorables para la precipitación de minerales valiosos en zonas de fracturamiento.

La evidencia de alteración fílica (cuarzo-sericitización) y la intensa silicificación, junto con la presencia de minerales opacos, respaldan la hipótesis de que el yacimiento podría contener concentraciones económicas de metales, ya que este tipo de alteraciones son comunes en depósitos epitermales que albergan mineralizaciones de oro, plata y cobre.

El estudio paragénico, efectivamente, permite evaluar de manera preliminar si un yacimiento tiene potencial económico para la extracción de minerales en yacimientos

polimetálicos. Este tipo de análisis ofrece información clave sobre la historia geológica de un yacimiento, incluidas las etapas de cristalización y las alteraciones que los minerales han experimentado. Esto, a su vez, ayuda a determinar si las condiciones han sido favorables para la concentración de minerales valiosos, lo cual es crucial en la toma de decisiones para la exploración y explotación minera.

En conclusión, el yacimiento evaluado presenta un alto potencial mineralógico, indicado por sus características paragénicas y su complejo historial de alteraciones. Esto sugiere que el yacimiento podría ser económicamente viable para la extracción de metales preciosos y metales base, especialmente en un contexto polimetálico. Por lo tanto, el estudio paragénico actúa como una herramienta eficaz para identificar y valorar el potencial de un yacimiento en fases tempranas de exploración. Esto lo convierte en un enfoque útil, especialmente en yacimientos con múltiples metales, permitiendo ahorrar tiempo y recursos al enfocarse en los sitios más prometedores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LLERENA Marcelo, GUERRERO, Byron, & ESPINOSA, Denisse. (2017). Estudio de exploración inicial: Proyecto geológico - minero Guanajuato México. *FIGEMPA: Investigación y desarrollo*, 2(2), 7–12.
2. CASTROVIEJO, Ricardo. Estudio geológico y metalogénico de la zona de Beariz (Orense). Tesis (Título de Doctor Ingeniero de Minas). España: Escuela Técnica Superior de Minas de Madrid, 1974.
3. TEJADA, Guadalberto, HUISA, Carlos, SARMIENTO, Zenon y CERDEÑA, Rómulo. (2019). Estudio geológico - minero y geoeconómico preliminar de un yacimiento de sílice (cuarcita) en Candarave. *Ciencia & Desarrollo*, 83 -86
4. SARMIENTO, Zenon ,TEJADA, Guadalberto y HUISA, Carlos. Proyecto de exploración geológicas minera de minerales metálicos de la zona de Palca y Palquilla. *Ciencia & Desarrollo*, 97 – 100.
5. AMARÉ, M. P. y ORCHE, E. (2019). Juan de Sotomayor, minero del azogue en el Perú colonial. *Instituto Geológico y Minero de España, Madrid*, 2019, 29, 307 – 326.
6. DE VOS, U. y LANCKNEUS, J. *Informe final del estudio geológico y evaluación de la mina escuela "Santo Domingo de Jinchis"*. Recua: Proyecto O.I.T. - INGEMMET, 1981, pp. 3-9.
7. SAMPIERI, R. H., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, M. P. (2014). *Metodología de la investigación - Sexta Edición*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V
8. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. [En línea] 2018 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2024] Disponible en [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf](https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf)
9. TUMIALÁN, P. H. (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú - [Boletín B 10]*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. Serie: INGEMMET. Boletín, Serie B: Geología Económica; n° 10.
10. PÉREZ, E. M. (s.f.). *Técnicas de Caracterización Petrográfica*. Instituto de Geociencias (CSIC-UCM).
11. VALENZUELA, Greyss y BUENDÍA, César. *Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma*. Tesis (Título Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020, 111 pp.
12. ALFARO, M. (2007). *Evaluación de Recursos Mineros*. Escuela de Minas de París.
13. ZÚÑIGA, Rodrigo. (2022). *Evaluación de yacimientos en depósito tipo veta*. Tesis (Grado de Magister en Minería). Chile: Universidad de Chile, 2022, 138 pp.

ANEXOS

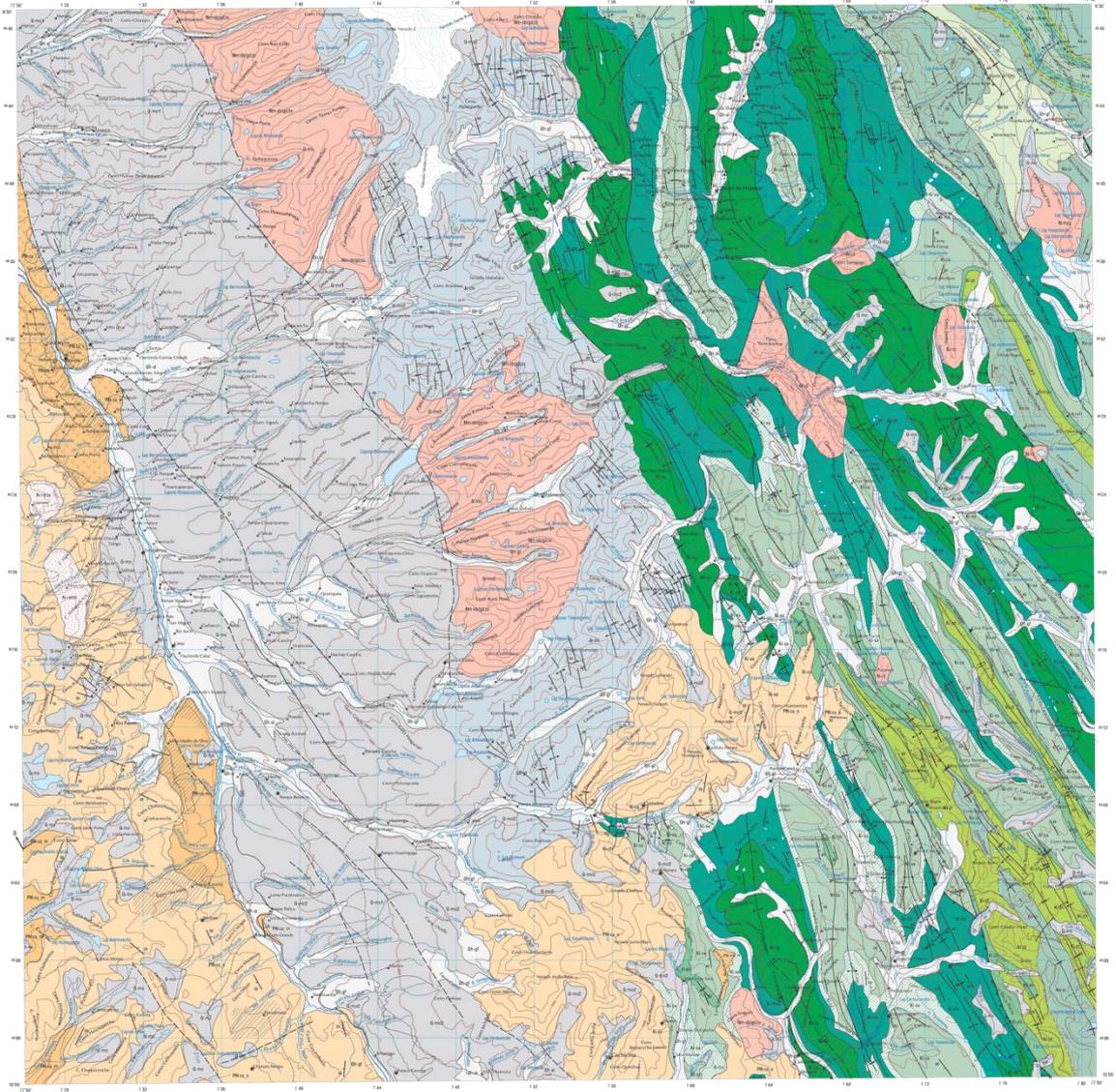
Anexo 1

Mapa geológico de Área de Recuay

CARTA GEOLOGICA DEL PERU

MAPA GEOLOGICO DEL CUADRANGULO DE RECUAY

HOJA 20-I



LEYENDA

UNIDAD	SISTEMA	ERA	UNIDADES LITOLÓGICAS	RESOLUCIÓN
C E N T R O	CONTINENTAL	MESOZOICA	Deposito Aluvial	1000
			Deposito Glacial	1000
			Deposito Melancólico	1000
			Deposito Coluvial	1000
			Deposito Arenoso	1000
			Deposito Arcilloso	1000
			Deposito Arenoso Arcilloso	1000
			Deposito Arcilloso Arenoso	1000
			Deposito Arcilloso	1000
			Deposito Arenoso	1000
SUR	OCEANICA	MESOZOICA	Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
N O R	OCEANICA	MESOZOICA	Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
S O R	OCEANICA	MESOZOICA	Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000
			Formacion Paleoceno	1000
			Formacion Paleogeno	1000
			Formacion Cretacea	1000
			Formacion Jurásica	1000

REPUBLICA DEL PERU
 MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
 MAPA GEOLOGICO DEL CUADRANGULO DE RECUAY
 DEPARTAMENTO DE RECUAY
 Geólogo por J. Cobos y A. W. Echeverri F.
 ESCALA 1 : 100 000
 VERSIONAL 1998 ACTUALIZADA A 1998

- SIMBOLOS**
- Contacto Concordo
 - Contacto Inconformidad
 - Rumbo y Ruamiento de Estratos
 - Eje de Simulador
 - Eje de Simulador
 - Lineamiento
 - Lineamiento normal
 - Falla normal
 - Falla Inversa
 - Eje de Simulador Echado o Turbado
 - Rumbo y Ruamiento de Estratos Invertidos
 - Pliegues Verticales
 - Conos Aluviales
 - Zona de Alteracion
 - Linea de Perfil - Seccion Geologica
 - Mina en Actividad
 - Mina Abandonada
 - Centro Poblado
 - Rios y Cuadrantes

Anexo 2

Marcara Pampa - entrada al denuncia minero Santo Domingo



Anexo 3

Equipo fundamental de microscopía óptica para el análisis de secciones delgadas y pulidas

