Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Análisis de procesos metasomáticos relacionados a la mineralización del skarn Zn-Au en la mina Hualanyog, Casma, Ancash, Perú

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Diego Fernando LAURA PAIMA

ASESOR

Mg. José Andres YPARRAGUIRRE CALDERÓN

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Laura, D. (2025). *Análisis de procesos metasomáticos relacionados a la mineralización del skarn Zn-Au en la mina Hualanyog, Casma, Ancash, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Diego Fernando Laura Paima
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72497115
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-5659-4526
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	José Andres Yparraguirre Calderón
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10293400
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8541-790X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07197393
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Lourdes Janet Quiñones Lavado
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06798460
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Maritza Mercedes Cantorin Vilchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09216506

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.7. Mineralogía y Petrología
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Áncash Provincia: Casma Distrito: Buena Vista Alta Latitud: -9.281295 Longitud: -78.149849
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 – 2025
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Mineralogía https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04 Geociencias https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS • Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica • Escuela Profesional de Ingeniería Geológica • DIRECTOR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el lunes 24 de noviembre del año 2025 siendo las 7:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Ing. Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza	(Presidente de Jurado)
Mg. Lourdes Janet Quiñones Lavado	(Miembro de Jurado)
Mg. Maritza Mercedes Cantorin Vílchez	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **DIEGO FERNANDO LAURA PAIMA,** quien sustentará la Tesis titulada: **"ANÁLISIS DE PROCESOS METASOMÁTICOS RELACIONADOS A LA MINERALIZACIÓN DEL SKARN Zn-Au EN LA MINA HUALANYOG, CASMA, ANCASH, PERÚ";** su asesor el docente **Mg. JOSÉ ANDRES YPARRAGUIRRE CALDERÓN,** para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCION DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

DIECISIETE (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. DIEGO FERNANDO LAURA PAIMA

Siendo las 19:40 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 24 de noviembre del 2025

ING. PEDRO MIGUEL GAGLIUFFI ESPINOZA
PRESIDENTE DE JURADO

MG. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO
MIEMBRO DE JURADO

MG. MARITZA MERCEDES CANTORIN VÍLCHEZ
MIEMBRO DE JURADO

MG. JOSÉ ANDRES YPARRAGUIRRE CALDERÓN
MIEMBRO ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JOSÉ ANDRES YPARRAGUIRRE CALDERÓN** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N°000796-2025-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis cuyo título es: **"ANÁLISIS DE PROCESOS METASOMÁTICOS RELACIONADOS A LA MINERALIZACIÓN DEL SKARN Zn-Au EN LA MINA HUALANYOG, CASMA, ANCASH, PERÚ"** presentado por el bachiller **DIEGO FERNANDO LAURA PAIMA** para optar el título Profesional de **INGENIERO GEÓLOGO**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **3%** de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de **INGENIERO GEÓLOGO.**

Lima, 23 de setiembre de 2025

Firma del Asesor:

Nombres y Apellidos del asesor: José Andres Yparraguirre Calderón

DNI: 10293400

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, primero,
a mis padres, por su compañía y apoyo incondicional.
A mis hermanas, por estar siempre presentes.
A la memoria de mi abuelo Teodosio.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Alfredo Jauregui, por las facilidades otorgadas para realizar mi investigación en la Unidad Minera "Virgen del Rosario" - Mina Hualanyog (Casma, Áncash), permitiéndome el acceso al área de estudio, la toma de muestras y brindando todo el apoyo logístico durante el trabajo de campo.

Un agradecimiento especial al Ing. José Andrés Yparraguirre, por el apoyo del análisis de mis muestras en el laboratorio MINEMETALLURGY SAC y por su constante asesoramiento técnico durante el desarrollo de este estudio.

Finalmente, expreso mi sincera gratitud a todos los profesionales, técnicos y personal que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de este trabajo.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS viii

LISTA DE TABLAS xi

RESUMEN xii

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2

1.2.1. Problema General. 2

1.2.2. Problemas específicos: 3

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.3.1. Justificación práctica. 3

1.3.2. Justificación teórica. 3

1.4. Objetivos 4

1.4.1. Objetivo General 4

1.4.2. Objetivos Específicos 4

1.5. Ubicación de la zona de estudio 5

1.6. Limitaciones de las investigaciones. 5

CAPÍTULO II 7

2. MARCO TEÓRICO 7

2.1. Antecedentes De La Investigación 7

2.2. Bases Teóricas 8

2.2.1. Yacimiento tipo skarn 8
2.2.2. Skarn de Zn-Au 9
2.2.3. Alteración hidrotermal - Reacciones metasomáticas 10
2.2.4. Metalogénesis en depósitos skarn Zn-Au 12
2.2.5. Metasomatismo en depósitos skarn 13
2.2.6. Índice Granate/Piroxeno en un skarn 14
2.2.7. Zona de Cizallamiento 15
2.3. Marco Geológico 15
2.3.1. Geología Regional 15
2.3.2. Geología Local 19
2.3.3. Geomorfología 23
2.3.4. Batolito de la Costa 25
2.3.5. Contexto estructural 29
2.3.6. Contexto metalogenético 30
CAPÍTULO III 33
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES 33
3.1. Hipótesis 33
3.1.1. General 33
3.1.2. Específica 33
3.2. Identificación De Variables 33
3.2.1. Independiente: 33
3.2.2. Dependiente: 33

CAPÍTULO IV 34
4. METODOLOGÍA 34
4.1. Área De Estudio 34
4.2. Tipo Y Diseño De La Investigación 34
4.2.1. Tipo y diseño de la investigación 34
4.3. Población y Muestra 34
4.3.1. Población 34
4.3.2. Muestra 35
4.4. Instrumentos De Investigación 35
4.5. Procesos 35
4.5.1. Pre-campo 36
4.5.2. Campo 36
4.5.3. Aplicación de técnicas de descripción mineral 36
4.5.4. Cálculo del índice mineralógico 36
4.5.5. Difracción mineralógica de rayos X-DRX 37
4.5.6. Microscopia óptica 37
4.6. Convenciones Mineralógicas: Abreviaturas Y Fórmula Químicas .. 38
CAPÍTULO V 40
5. Resultados 40
5.1. Selección de muestras 40
5.2. Estudio petromineragráfico 40
5.2.1. Petrografía 41

5.3. Análisis mineralógico por difracción de rayos X 50
5.4. Paragénesis del Yacimiento 51
5.4.1. Formación del Skarn 52
5.4.2. Evento de Mineralización 53
5.5. Reacciones Metasomáticas 54
5.5.1. Metamorfismo Isoquímico (T: 400-550°C) 54
5.5.2. Procesos Metasomáticos en la Formación del Skarn 56
5.6. Análisis Estructural 66
5.7. Análisis Geoquímico de Muestras Históricas 76
5.8. Interpretación de resultados 87
5.8.1. Discusión y demostración de hipótesis 89
CAPÍTULO VI 92
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
6.1. CONCLUSIONES 92
6.2. RECOMENDACIONES 93
CAPÍTULO VII 94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94
ANEXOS 99
Resultados de Análisis Mineralógico DRX: 118
MUESTRA 303001 118
MUESTRA 305002 118
MUESTRA 900103 119

MUESTRA 1000105 119

MUESTRA 1000601 120

MUESTRA 1003001 120

..... 125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento Hualanyog. 6

Figura 2. Plano geológico regional 18

Figura 3. Plano geológico distrital de la mina Hualanyog 21

Figura 4: Granos de oro incluidos en arsenopirita en Hualanyog. 23

Figura 5. Gráfico de las unidades rocosas del Batolito de la Costa. 27

Figura 6. Resumen de los eventos mesozoicos y unidades rocosas relevantes para el centro del Perú 28

Figura 7. Plano metalogenético de la zona de Hualanyog. 32

Figura 8: Fotomicrografía de la muestra 106071 42

Figura 9: Fotomicrografía de la muestra 303001 43

Figura 10: Fotomicrografía de la muestra 303001 43

Figura 11: Fotomicrografía de la muestra 1000601 45

Figura 12: Fotomicrografía de la muestra 1000105 45

Figura 13: Fotomicrografía de la muestra 700506 46

Figura 14: Fotomicrografía de la muestra 601001 48

Figura 15: Fotomicrografía de la muestra 700308 49

Figura 16: Fotomicrografía de la muestra 700308 50

Figura 17. Zonificación potencial de las zonas prógrada y retrógrada del skarn de Hualanyog en sección 64

Figura 18. Diagrama de rosas de orientaciones de fallas superficiales y subterráneas en la mina Hualanyog 67

Figura 19. Diagrama de rosas de orientaciones de diques dioríticos en la mina Hualanyog 67

Figura 20. Diagrama de rosas de orientaciones para los diques aplíticos de la mina Hualanyog 68

Figura 21. Modelo conceptual en sección que ilustra la evolución estructural y mineralización en Hualanyog..... 72

Figura 22. Ilustración de la zona de cizallamiento de la mina Hualanyog .. 73

Figura 23. Sección longitudinal SW-NE de la mina Hualanyog 74

Figura 24. Sección transversal NW-SE de la mina Hualanyog 75

Figura 25. Distribución espacial de las concentraciones de zinc (Zn) en muestras superficiales históricas de la mina Hualanyog..... 77

Figura 26. Distribución espacial de las concentraciones de oro (Au) en muestras superficiales históricas de la mina Hualanyog..... 78

Figura 27. Distribución logarítmica de Au en muestras superficiales históricas 80

Figura 28. Distribución logarítmica de Zn en muestras superficiales históricas 80

Figura 29. Distribución conjunta de Zn y Au en muestras superficiales, mostrando la zonación preliminar de skarn 82

Figura 30. Zonificación preliminar del skarn según indice mineral 86

Figura 31. Zonificación preliminar del skarn en Hualanyog, integrando datos geoquímicos y mineralógicos..... 87

Figura 32. Distribución espacial y longitudinal de leyes de oro en Hualanyog, ... 89

Figura 33. Distribución espacial y longitudinal de leyes de zinc en Hualanyog, ... 90

Figura 34. Plano geológico de la mina Hualanyog, mostrando los cortes geológicos representados 101

Figura 35. Plano geológico mostrando la distribución de las muestras extraídas en mina 102

Figura 36. Difractograma de la Muestra 303001 121

Figura 37. Difractograma de la Muestra 305002 122

Figura 38. Difractograma de la Muestra 900103 123

Figura 39. Difractograma de la Muestra 1000105 124

Figura 40. Difractograma de la Muestra 1000601 125

Figura 41. Difractograma de la Muestra 1003001 126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Abreviaturas y fórmulas químicas de minerales……..39

Tabla 2. Resumen paragenético del yacimiento…..……..…….…….59

Tabla 3. Clasificación de las muestras analizadas de acuerdo a la zonación mineralógica del skarn de Hualanyog…….……..63

Tabla 4. Paragénesis mineral del skarn Hualanyog, mostrando la distribución de minerales en las fases prógrada y retrógrada. Fuente: Propia.…….……...…...66

Tabla 5. Codificación, nivel y coordenadas de las muestras las 30 Muestras extraídas en mina y superficie.……..….....…...103

Tabla 6. Distribución de muestras con sus coordenadas, mineral primario y secundario…….…….....…...104

Tabla 7. Datos geoquímicos y de ubicación de muestras representativas utilizadas para caracterizar la zonación mineralógica del depósito……..……..……..…...110

Tablas 8-13. Resultados de DRX (Muestras 303001 a 1003001)…..118-121

Tablas de Descripciones petrográficas ……....…….128-157

RESUMEN

El skarn Hualanyog, situado en Casma, Áncash (Perú), representa un sistema mineralizado de Zn-Au cuyo desarrollo está condicionado por procesos metasomáticos y controles estructurales. La investigación integra análisis petrográficos, difracción de rayos X (DRX) y una base de datos geoquímicos históricos, permitiendo caracterizar la zonación mineralógica y la distribución espacial de los metales. Se identificó una secuencia de facies: las facies prógradas, dominadas por granate y piroxeno, se ubican en las proximidades del intrusivo, mientras que las facies retrógradas, compuestas por epidota y clorita, predominan en sectores intermedio-distales. Las leyes altas de Zn (>10.00%) y Au (>0.70 g/t) se asocian a las áreas de mayor influencia térmica, principalmente en el skarn proximal e intermedio.

La Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW) se reconoce como el principal canal para la circulación de fluidos hidrotermales, favoreciendo la formación y enriquecimiento de la mineralización. Por su parte, las fallas y fracturas transversales (NW-SE) generan zonas de alta permeabilidad, actuando como focos de concentración metálica. La correlación entre las asociaciones mineralógicas y las leyes metálicas demuestra que las facies prógradas, ricas en granates y piroxenos, presentan los mayores contenidos de Zn y Au, mientras que las facies retrógradas muestran valores significativamente menores.

El análisis de los datos geoquímicos históricos respalda la zonación propuesta, evidenciando que las leyes altas de Zn y Au se localizan preferentemente en la zona intermedia-proximal del skarn. En contraste, las zonas distales, dominadas por minerales hidratados, registran concentraciones más bajas de metales. Además, la intersección entre la Zona de Cizalla, las fallas y las fracturas NW-SE define áreas de enriquecimiento, subrayando la importancia del control estructural en la formación y localización de la mineralización en el yacimiento.

Palabras clave: Skarn Zn-Au, metasomatismo, zonación mineral, Hualanyog, control estructural, alteración hidrotermal, difracción de rayos X, zona de cizalla,

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El depósito de skarn Zn-Au de Hualanyog, localizado en la provincia de Casma (Áncash, Perú), representa un caso de estudio relevante por la complejidad de sus procesos metasomáticos y su potencial económico. A pesar de los avances realizados en la caracterización de las asociaciones mineralógicas, aún existen interrogantes fundamentales sobre el papel de los procesos metasomáticos prógrados y retrógrados en la configuración de la zonación mineralógica y la distribución espacial de la mineralización. Estas incógnitas limitan la comprensión integral del sistema y dificultan la identificación precisa de las zonas de mayor interés económico.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los procesos metasomáticos que controlan la mineralización del skarn en Hualanyog, empleando técnicas de descripción macroscópica de muestras, microscopía óptica y difracción de rayos X, complementadas con datos geoquímicos históricos. El estudio busca establecer la secuencia de formación de los minerales, interpretar los patrones de zonación y relacionar las estructuras geológicas con la distribución de las zonas enriquecidas en Zn y Au, aportando criterios técnicos para la exploración y explotación minera.

La tesis se estructura en seis capítulos. El primero aborda el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos del estudio. El segundo desarrolla el marco teórico, integrando conceptos de metalogénesis, metasomatismo y geología regional. El tercero plantea las hipótesis y variables de investigación. El cuarto detalla la metodología, incluyendo técnicas de campo y laboratorio. El quinto expone los resultados, centrándose en las asociaciones mineralógicas, la zonación y los controles de la mineralización. Finalmente, el sexto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El depósito skarn de Zn-Au en Hualanyog, ubicado en Casma, Áncash (Perú), posee un potencial económico aún no aprovechado debido a la limitada comprensión sobre la influencia de las asociaciones mineralógicas y los controles estructurales en la concentración de metales valiosos. Si bien estudios previos, como el de Pearson (2019), han identificado asociaciones de minerales (granate, piroxeno, escapolita) en las Formaciones Santa y Carhuaz, todavía no se ha esclarecido cómo los procesos de reemplazo metasomático condicionan la distribución de Zn y Au en el depósito.

Esta falta de conocimiento detallado genera un problema práctico: la ausencia de una zonificación mineralógica definida impide orientar con precisión los trabajos mineros hacia sectores de mayor valor económico. En consecuencia, la planificación de las operaciones se ve limitada, incrementando el riesgo de destinar recursos a áreas con menor interés metalífero.

El presente estudio busca abordar esta problemática mediante la caracterización de las reacciones metasomáticas y las asociaciones mineralógicas, integrando descripciones de campo, análisis petrográficos, difracción de rayos X (DRX) y la revisión de datos geoquímicos históricos. Los resultados permitirán reconstruir la secuencia de formación mineral y establecer patrones de distribución espacial, relacionándolos con las condiciones estructurales y geoquímicas.

Este conocimiento constituirá una base técnica para identificar con mayor precisión las zonas de interés económico en Hualanyog, optimizando la toma de decisiones y la planificación de las operaciones mineras.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General.

¿Cómo los procesos metasomáticos asociados a la mineralización del skarn Zn-Au en Hualanyog determinan la secuencia paragenética y zonación mineralógica, y cómo esta relación, en conjunto con los controles estructurales, condiciona la distribución espacial y el enriquecimiento económico de Zn-Au?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cómo se define la zonación mineralógica del skarn Zn-Au en Hualanyog a partir de las asociaciones de facies prógradas (granate-piroxeno) y retrógradas (epidota-clorita), y de qué manera esta zonación se correlaciona con la distribución espacial de las leyes económicas de Zn y Au?
- ¿Cómo la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y fracturas transversales (NW-SE) determinan la localización de leyes económicas de Zn-Au, a través de su control en la zonación mineralógica?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación práctica.

Este estudio proporcionará a la empresa minera un conocimiento técnico que combina observaciones macroscópicas de campo con análisis de laboratorio (microscopía óptica y DRX) para optimizar las operaciones en Hualanyog. La descripción macroscópica de muestras servirá como base para interpretar los procesos metasomáticos y su expresión a escala del yacimiento. Este enfoque permitirá establecer correlaciones entre: las características observables en campo, las asociaciones mineralógicas identificadas en laboratorio, y los controles estructurales de la mineralización. Los resultados generarían protocolos prácticos para identificar zonas de alta ley mediante indicadores tanto macroscópicos como microscópicos,

1.3.2. Justificación teórica.

El estudio de los procesos metasomáticos es fundamental para comprender la formación y distribución de los depósitos minerales, especialmente en sistemas skarn como el de Hualanyog. Según Meinert et al. (2005), los procesos metasomáticos son el mecanismo principal que controla la zonación mineral y la distribución de metales en los depósitos skarn, generando asociaciones mineralógicas que permiten distinguir facies prógradas y retrógradas. Por su parte, Einaudi et al. (1981) demostraron que las reacciones entre fluidos y rocas durante el metasomatismo son determinantes para la precipitación de sulfuros y óxidos metálicos, creando las condiciones fisicoquímicas necesarias para la concentración de elementos como el zinc y

el oro. Estos procesos han sido corroborados en sistemas skarn asociados a intrusivos graníticos de China, como el estudio de Cai et al. (2007) sobre el depósito Tongkeng–Changpo, donde evidenciaron la interacción progresiva entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas como un factor clave en la formación mineralizada. Por lo tanto, la investigación en Hualanyog se justifica teóricamente al aplicar estos principios geológicos reconocidos—metasomatismo, zonación mineralógica y reacción fluido-roca—en un nuevo contexto geológico. Este estudio aporta al conocimiento existente al documentar cómo se manifiestan dichos procesos en el skarn de Hualanyog.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar los procesos metasomáticos asociados a la mineralización del skarn Zn-Au en Hualanyog (Casma, Áncash), mediante la integración de estudios petrográficos, difracción de rayos X (DRX) y análisis de datos geoquímicos históricos, para establecer la relación entre asociaciones mineralógicas y distribución espacial de Zn-Au, además de los controles estructurales que condicionan la localización de la mineralización económica

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la zonación mineralógica del skarn Zn-Au en Hualanyog mediante la identificación de facies prógradas (granate-piroxeno) y retrógradas (epidota-clorita), integrando análisis petrográficos, DRX y datos geoquímicos históricos, para establecer su relación con la distribución espacial de altas leyes de Zn y Au.

- Analizar cómo la Zona de Cizalla Hualanyog, las fallas y fracturas NW-SE controlan la localización de leyes económicas de Zn-Au, considerando su influencia en la zonación mineralógica y la distribución de diques asociados.

1.5. Ubicación de la zona de estudio

La mina Hualanyog se localiza en el distrito de Buena Vista Alta, provincia de Casma, departamento de Áncash, en la región central del Perú. Geográficamente, el yacimiento se ubica en las coordenadas UTM X: 813148.9 - Y: 8972791.4 (zona 17S), ocupando un área aproximada de 7,800 hectáreas dentro de un conjunto de concesiones mineras. El centro operativo del proyecto se sitúa a 28 km al noreste de la ciudad de Casma (1 hora de recorrido por carretera afirmada) y a 335 km al noroeste de Lima, en la franja occidental de la Cordillera de los Andes, a una altitud promedio de 1,800 msnm.

El acceso principal se realiza desde la ciudad de Casma, tomando la carretera a Huaraz (PE-3N) y desviándose luego por una vía afirmada de 17 km en dirección noreste que conduce directamente al área minera. La ciudad de Chimbote, importante centro industrial y portuario, se ubica a 120 km al noroeste del proyecto.

1.6. Limitaciones de las investigaciones.

El presente estudio se basó en la recolección y análisis de 30 muestras representativas del skarn Zn-Au en Hualanyog, complementadas con la caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X (DRX) en 6 muestras seleccionadas de estas mismas, priorizando aquellas procedentes de sectores con mayor mineralización o con mayor potencial de aportar información relevante. Además, se integraron datos geoquímicos históricos de 605 muestras superficiales para analizar la distribución espacial de zinc y oro en el yacimiento. Para fortalecer la representatividad espacial y mineralógica, se incorporaron 233 muestras adicionales analizadas macroscópicamente para el cálculo del índice de abundancia granate/piroxeno.

El alcance del trabajo estuvo condicionado por las zonas accesibles para muestreo. El número de muestras analizadas estuvo determinado por factores logísticos y de disponibilidad, así como por la necesidad de priorizar áreas de mayor relevancia geológica. Los datos geoquímicos históricos, aunque útiles para identificar tendencias espaciales, presentan variabilidad en los métodos analíticos utilizados a lo largo de diferentes campañas, lo que puede influir levemente en la comparación entre muestras. Adicionalmente, el índice granate/piroxeno derivado de las 233 muestras adicionales no cuenta con información geoquímica asociada.

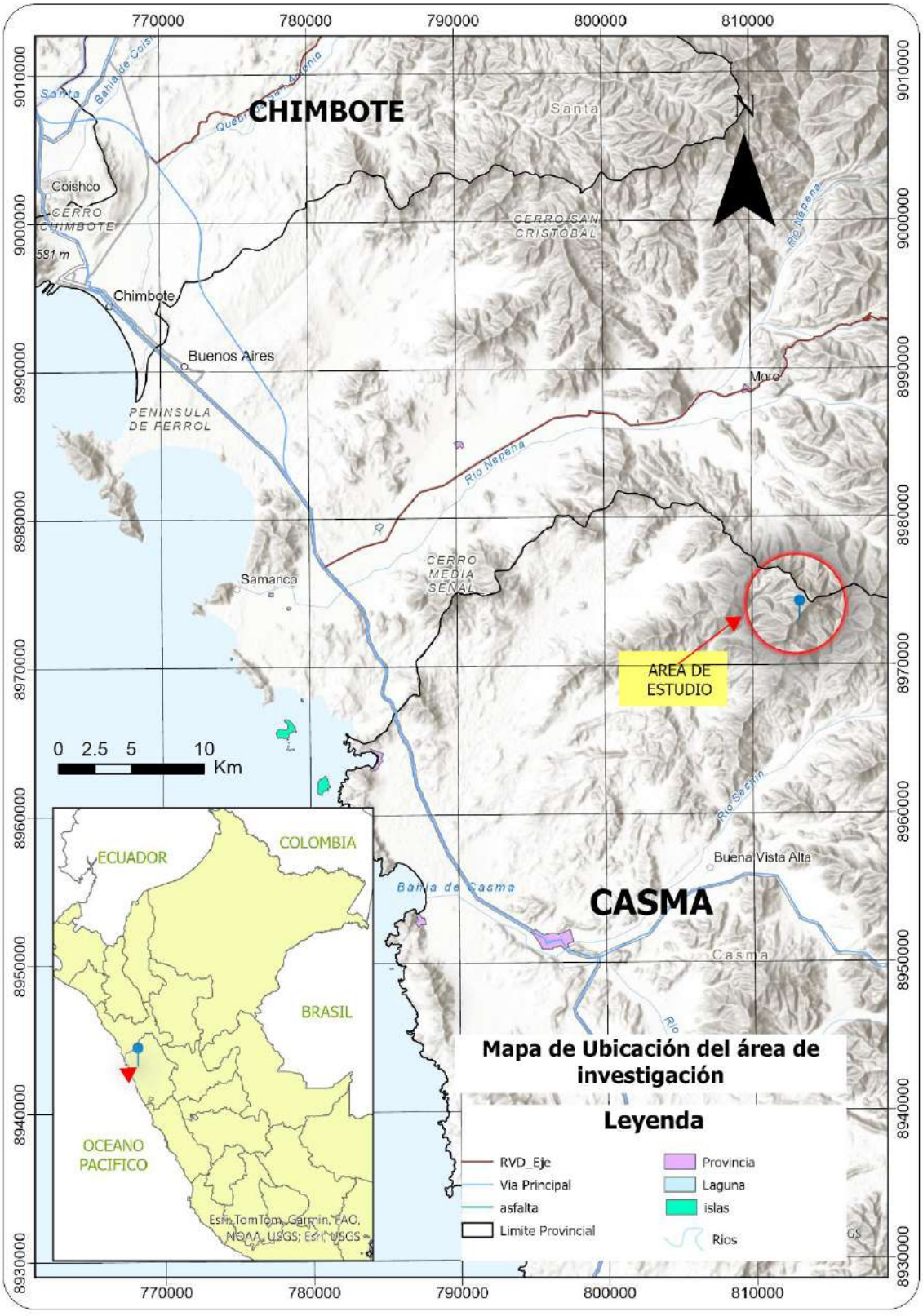


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento Hualanyog. El mapa está representado en escala 1:500,000 para el plano distrital y 1:750,000 para el plano nacional, utilizando el sistema de coordenadas UTM zona 17S, datum WGS 84. Fuente: Propia

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes De La Investigación

El estudio de Sánchez et al. (1995) sobre los cuadrángulos de Chimbote, Casma y Culebras proporcionó una descripción de las secuencias mesozoicas y cenozoicas de la región, identificando el Grupo Goyllarisquizga, Casma y Calipuy como las principales secuencias que albergan recursos minerales metálicos. Estas secuencias contienen vetas de oro, cobre, zinc, plomo y wolframio, principalmente en rocas plutónicas y sedimentos del Cretácico inferior. Este trabajo ha sido clave para la comprensión de los depósitos minerales en la región, estableciendo una base geológica fundamental para estudios más detallados.

En el estudio de Acosta & Santiesteban (2007), se abordó el control estructural de la cuenca cretácica Casma y su relación con el emplazamiento del batolito de la Costa y los yacimientos metálicos entre Mala y Trujillo. En este análisis se identificaron cinco eventos intrusivos magmáticos, de los cuales tres están asociados con la mineralización de yacimientos metálicos. Estos intrusivos han jugado un papel clave en la formación de depósitos de hierro, cobre, oro y polimetálicos, proporcionando información relevante sobre la relación entre las intrusiones y los yacimientos minerales en la región, incluyendo el skarn de Hualanyog.

El levantamiento geofísico realizado por Arce Geofísicos (2018) en el área del proyecto Hualanyog se centró en la identificación de cuerpos mineralizados mediante la técnica de Polarización Inducida (IP). Este estudio cubrió un área de aproximadamente 1 km² y permitió modelar tridimensionalmente el subsuelo hasta profundidades de 1080 metros. Los resultados indicaron zonas de baja resistividad en el sureste del área investigada, lo que sugiere la posible presencia de sulfuros metálicos, como esfalerita y pirrotita, en un ambiente skarn.

El trabajo de Pimentel (2016) en el sistema Hualanyog se enfocó en la identificación de los litotipos presentes, analizando tres pulsos intrusivos: diorítico de grano grueso a medio, diorítico de grano medio a fino y granodiorítico. Los resultados revelaron que el pulso diorítico de grano grueso a medio está estrechamente relacionado con la mineralización del skarn,

destacándose por una fuerte alteración sílico-potásica, lo que lo asocia a un sistema de pórfido con altos índices de mineralización.

Finalmente, Ranilla (2021) llevó a cabo un relevamiento cartográfico en la mina Hualanyog, abarcando 200 hectáreas con una cartografía a escala 1:5000 y 2,000 metros de galerías mineras a escala 1:500. Se recolectaron más de mil muestras de superficie e interior de mina, lo que permitió identificar intrusivos como diques dioríticos y aplíticos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Yacimiento tipo skarn

Los yacimientos de skarn se constituyen por rocas metasomáticas que se originan a partir de la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas, tales como calizas o dolomitas. De acuerdo con Einaudi y Burt (1982), los skarns se distinguen por su composición y clasificación, y suelen estar vinculados con intrusiones de origen magnético. Estos recursos minerales, compuestos por minerales calcosilicatados como el granate, piroxeno, wollastonita y vesuvianita, son esenciales para la interpretación de estos yacimientos, dado que pueden albergar metales de gran valor como cobre, hierro, plomo, zinc, oro, tungsteno y molibdeno.

Meinert (1992) conceptualiza los skarns como depósitos que se generan primordialmente de la interacción entre intrusiones ígneas y rocas sedimentarias aledañas. Se subraya la relevancia del entorno geológico en la formación de skarns, en el que la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas da lugar a una diversidad de minerales económicos. Los skarns pueden ser categorizados en exoskarns y endoskarns, según su formación en rocas sedimentarias o en el contexto de intrusiones ígneas, respectivamente (Meinert, 1992). La categorización propuesta por Meinert resulta esencial para comprender la diversidad geológica inherente a estos depósitos.

Newberry (1982) subraya que la formación de los skarns puede ser tanto por metamorfismo regional como por contacto, y que su mineralogía se caracteriza por la predominancia de minerales calcosilicatados, como el granate y el piroxeno. Adicionalmente, se subraya que tanto la composición

como la textura del protolito ejercen influencia en la formación del skarn subsiguiente. Los skarns son de relevancia económica debido a su capacidad para albergar una diversidad de metales preciosos. Su formación está intrínsecamente vinculada con la actividad magmática y metasomática hidrotermal.

En relación con las reacciones metasomáticas, Einaudi et al. (1981) conceptualizan estas reacciones como la sustitución de minerales presentes en una roca por otros minerales, resultado de la interacción con fluidos hidrotermales. Este procedimiento conlleva una transferencia de elementos y una reestructuración de la estructura mineralógica de la roca inicial, lo cual conduce a la formación de nuevas asociaciones mineralógicas. Las reacciones metasomáticas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de yacimientos de skarn, dado que los fluidos hidrotermales alteran las rocas carbonatadas y enriquecen la zona de alteración con metales preciosos.

El presente estudio se alinea con la definición propuesta por Einaudi et al. (1981), que conceptualizan los skarns como acumulaciones derivadas del metasomatismo en rocas carbonatadas, originados por fluidos hidrotermales que interactúan con elementos como el silicio, hierro y calcio, resultando en la formación de minerales calcosilicatados como el granate y el piroxeno. Esta definición resulta importante para la comprensión de los procesos metasomáticos prógrados y retrógrados que se manifiestan en skarns, particularmente en aquellos que implican la mineralización de zinc y oro.

2.2.2. Skarn de Zn-Au

Los yacimientos metasomáticos de skarn de Zn-Au se originan en regiones adyacentes a intrusiones graníticas, en las que la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas propicia la mineralización de metales preciosos. Sillitoe (2010) señala que estos depósitos frecuentemente se hallan vinculados con sistemas hidrotermales de alta temperatura y son importantes para la exploración mineral, debido a su habilidad para concentrar elementos valiosos como el oro, el zinc y otros metales relacionados.

Meinert (2000) destaca que los skarns con oro exhiben una zonificación mineralógica que incluye granate y piroxeno, y suelen estar asociados con una firma geoquímica de Au-As-Bi-Te. La zonificación y la existencia de

oro están condicionadas por factores tales como la actividad de los componentes en los fluidos hidrotermales, la composición del protolito y el estado de oxidación del sistema en cuestión. Los skarns reducidos suelen estar asociados con dioritas y granodioritas máficas portadoras de ilmenita, en contraposición a los skarns oxidados que se vinculan con plutones de mayor alcalinidad, más silíceos y ricos en magnetita.

Newberry (1982) subraya que la formación de los skarns puede ser tanto por metamorfismo regional como por contacto, y que su mineralogía se caracteriza por la predominancia de minerales calcosilicatados, como el granate y el piroxeno. Adicionalmente, se subraya que tanto la composición como la textura del protolito ejercen influencia en la formación del skarn subsiguiente. Los skarns son de relevancia económica debido a su capacidad para albergar una diversidad de metales preciosos. Su formación está intrínsecamente vinculada con la actividad magmática y el metasomatismo hidrotermal.

Dentro del marco de nuestro estudio sobre skarns de Zn-Au, la investigación se alinea con la definición de Sillitoe (2010), que caracteriza estos depósitos como estrechamente vinculados con sistemas hidrotermales de alta temperatura y frecuentemente presentes en zonas adyacentes a intrusiones de granito. Esta definición resulta importante, para comprender la formación de estos depósitos, dado que establece una conexión directa entre las características del yacimiento y la geología regional y la actividad magmática.

2.2.3. Alteración hidrotermal - Reacciones metasomáticas

La alteración hidrotermal y las reacciones metasomáticas constituyen procesos geológicos esenciales derivados de la interacción entre fluidos calientes y rocas, induciendo transformaciones químicas y mineralógicas que afectan la formación de depósitos minerales y la alteración de las propiedades físicas y químicas de las rocas. Giggenbach et al. (1984) conceptualizan la alteración hidrotermal como el proceso por el cual fluidos acuosos calientes interactúan con las rocas anfitrionas, induciendo recristalización isoquímica o modificaciones en la composición de la roca. Esto puede abarcar el reemplazo de minerales y la adición o eliminación de elementos tales como

el sodio, potasio, calcio y magnesio, en función de las condiciones químicas del fluido y de la roca adyacente.

Grant et al. (1986) subrayan que las reacciones metasomáticas conllevan un intercambio de elementos entre los fluidos y las rocas, lo que conduce a fluctuaciones en volumen y concentración de los componentes primordiales de la roca. Para el análisis de estos procesos, se destaca el diagrama isoconos como un instrumento fundamental que facilita la evaluación de las variaciones de masa y volumen durante la interacción entre fluidos y rocas. Adicionalmente, este enfoque facilita la comprensión de cómo los fluidos hidrotermales alteran la composición química de las rocas, un aspecto esencial para la formación de depósitos minerales.

Putnis y Austrheim (2010) subrayan que el metasomatismo conlleva una alteración en la composición química de la roca, frecuentemente a través de un proceso de disolución-precipitación. Este proceso implica que los minerales originales se disuelven y se generan nuevos minerales en su lugar, un fenómeno que puede ocurrir en presencia de fluidos hidrotermales. Este procedimiento es fundamental para la generación de yacimientos minerales, dado que facilita la concentración de elementos valiosos en áreas determinadas.

En lo que respecta a las reacciones metasomáticas, Einaudi et al. (1981) conceptualizan dichas reacciones como la sustitución de minerales presentes en una roca por otros minerales, resultado de la interacción con fluidos hidrotermales. Este procedimiento conlleva una transferencia de elementos y una reestructuración de la estructura mineralógica de la roca inicial, lo cual conduce a la formación de nuevas asociaciones mineralógicas. Las reacciones metasomáticas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de yacimientos de skarn, dado que los fluidos hidrotermales alteran las rocas carbonatadas y enriquecen la zona de alteración con metales preciosos. Este estudio se alinea a la definición propuesta por Einaudi et al. (1981), puesto que su descripción no solo subraya la relevancia del metasomatismo en la generación de skarns, sino que también ofrece una perspectiva holística sobre cómo los fluidos hidrotermales alteran las rocas y enriquecen las áreas de alteración con metales valiosos.

2.2.4. Metalogénesis en depósitos skarn Zn-Au

La metalogénesis en depósitos skarn de Zn-Au alude al proceso a través del cual los minerales metálicos se generan y se concentran en la corteza terrestre, basado en la interacción entre fluidos hidrotermales, intrusiones magmáticas y rocas huesped. De acuerdo con Hedenquist y Lowenstern (1994), la metalogénesis en dichos depósitos guarda una relación intrínseca con la actividad magmática y la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas. Estos investigadores subrayan que los skarns tienen la capacidad de formación en una diversidad de contextos geológicos, desde intrusiones someras hasta sistemas de subducción, y que su mineralogía refleja las condiciones químicas y físicas de los fluidos implicados.

Meinert (2000) caracteriza la metalogénesis en dichos depósitos como un fenómeno que se desarrolla primordialmente en los márgenes de plutones intrusivos someros. Indica que la interacción entre los fluidos hidrotermales y las rocas carbonatadas produce una zonación mineralógica distintiva, con minerales como el granate y el piroxeno en su centro. Adicionalmente, señala que la metalogénesis de los skarns de Zn-Au se rige por factores tales como la composición química de los fluidos hidrotermales, la temperatura y la naturaleza de las rocas circundantes, lo que resulta en la concentración de metales valiosos y una firma geoquímica distintiva de Au-As-Bi-Te.

Einaudi et al. (1981) subrayan la formación de skarns como depósitos metasomáticos a través de la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas, lo que conduce a la generación de minerales calcosilicatados como el granate y el piroxeno. Estos depósitos revisten relevancia debido a su potencial económico, dado que pueden albergar una diversidad de metales de alto valor. Su formación está intrínsecamente vinculada con la actividad magmática y la metasomática hidrotermal.

Dentro del marco de nuestro análisis de la metalogénesis en depósitos skarn de Zn-Au, nos adherimos a la definición de Meinert (2000), que detalla de manera más detallada los controles geológicos y geoquímicos en la formación de dichos depósitos, subrayando la importancia de estos elementos para la concentración de metales preciosos.

2.2.5. Metasomatismo en depósitos skarn

El metasomatismo en los depósitos skarn representa un fenómeno geológico que involucra la interacción de fluidos hidrotermales con las rocas huésped, lo que resulta en alteraciones en su composición química y mineralógica. Este proceso juega un papel crucial en la generación de depósitos minerales de importancia económica, incluyendo los de cobre, hierro y tungsteno, entre otros.

De acuerdo con Hedenquist y Lowenstern (1994), el metasomatismo en los depósitos minerales guarda una relación estrecha con la actividad magmática y la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas. Estos investigadores subrayan que los skarns tienen la capacidad de formación en una diversidad de contextos geológicos, desde intrusiones someras hasta sistemas de subducción, y que su mineralogía refleja las condiciones químicas y físicas de los fluidos implicados.

Meinert (1992) define el metasomatismo en los depósitos skarn como la alteración de rocas carbonatadas, como las calizas o las dolomitas, cuando se hallan en contacto con fluidos hidrotermales ricos en elementos magmáticos. Este fenómeno se manifiesta comúnmente en las proximidades de un intrusivo ígneo, provocando la cristalización de minerales distintivos, como los granates y piroxenos, que representan indicadores característicos de los skarn. Este autor enfatiza la relevancia del metasomatismo en el proceso de zonación mineralógica en los depósitos skarn, en los que la formación de variados minerales se establece en función de las condiciones químicas y físicas del sistema.

El metasomatismo en depósitos skarn puede ser clasificado en dos etapas principales: la fase prógrada, que se distingue por la cristalización de minerales de alta temperatura como el granate y el piroxeno, y la fase retrógrada, que se caracteriza por la formación de minerales hidratados como epidota, clorita y tremolita conforme el sistema hidrotermal se enfría. Este procedimiento de alteración mineral cumple una función esencial en la producción de depósitos de metales preciosos y básicos, dado que los fluidos en estas etapas también transportan elementos como el cobre, zinc, plomo y oro.

Giggenbach (1984) subraya que el metasomatismo conlleva una transferencia de masa entre los fluidos hidrotermales y las rocas, lo que conlleva modificaciones notables en la composición química y mineralógica de los depósitos. Este procedimiento es fundamental para la generación de yacimientos minerales, dado que facilita la concentración de elementos valiosos en áreas determinadas.

En el presente estudio, seguimos el perfil descrito por Einaudi et al. (1981), quienes subrayan el metasomatismo en depósitos skarn como un proceso bifurcado en fases prógradas y retrógradas, un aspecto crucial para comprender la generación de minerales metálicos y no metálicos en dichos depósitos.

2.2.6. Índice Granate/Piroxeno en un skarn

En sistemas de skarn, la distribución de granate (Grt) y piroxeno (Px) evidencia gradientes termoquímicos asociados al metasomatismo de contacto. Estudios caracterizan este comportamiento, destacando su relación con la distancia al plutón y las facies mineralógicas.

De acuerdo con Einaudi (1977), los skarns de contacto presentan variaciones sistemáticas donde los granates predominan en las zonas cercanas a la intrusión, mientras que los piroxenos aumentan progresivamente hacia áreas más distales. Este patrón fue reforzado por Meinert (1987), quien documentó que la razón relativa entre granate y piroxeno se modifica de forma coherente con la zonación respecto al intrusivo, constituyendo un indicador directo de gradientes mineralógicos.

Bin y Barton (1988) ampliaron esta visión al mostrar que las composiciones de granates y piroxenos (contenido de Fe, Mn, Mg) también se relacionan con su posición en la zonación, lo que refuerza la utilidad de considerar la relación Grt/Px como criterio de facies.

De forma complementaria, en Shizhuyuan (China), Lu et al. (2003) reportaron la transición de asociaciones granate → piroxeno → wollastonita, en concordancia con variaciones físico-químicas de los fluidos hidrotermales, confirmando que la abundancia relativa de estas fases refleja la evolución espacial del sistema.

2.2.7. Zona de Cizallamiento

Las zonas de cizallamiento son estructuras geológicas alargadas donde se concentra la deformación cortical debido a esfuerzos tectónicos, caracterizándose por presentar una marcada foliación y lineación mineral. Según Ramsay (1980), estas zonas pueden clasificarse en frágiles, frágil-dúctiles y dúctiles dependiendo de las condiciones de presión y temperatura durante su formación, así como de la tasa de deformación aplicada. Holyoke y Tullis (2006) profundizan en estos mecanismos, explicando cómo la deformación en estas zonas genera procesos como la reducción de tamaño de grano y la recristalización dinámica, los cuales modifican sustancialmente las propiedades mecánicas de las rocas afectadas.

Un aspecto crítico destacado por Regenauer-Lieb y Yuen (2003) es el papel de los fluidos hidrotermales en la evolución de estas estructuras, ya que facilitan procesos de debilitamiento y alteración mineralógica. Esta interacción fluido-roca adquiere especial relevancia en contextos donde las zonas de cizallamiento coexisten con sistemas hidrotermales, como en el caso de algunos depósitos de skarn, donde según Einaudi et al. (1981) pueden actuar como vías de transporte para fluidos metasomáticos. Sin embargo, es importante destacar que esta relación sigue siendo área de investigación activa y requiere más estudios para establecerse con mayor precisión.

2.3. Marco Geológico

2.3.1. Geología Regional

El área estudiada pertenece al cuadrángulo de Casma, formado fundamentalmente del Batolito de la Costa con capas volcanosedimentarias, estas últimas pertenecientes al Mesozoico - Cretáceo. Además, está compuesto por cuerpos ígneos plutónicos como granodioritas pertenecientes al mesozoico y cenozoico.

La zona de estudio está conformada por el Grupo Goyllarisquizga, que presenta las formaciones Santa, Carhuaz, Farrat y Junco; el grupo Casma, conformado por la Formación La Zorra; y el Grupo Calipuy. (INGEMMET, 2021)

2.3.1.1. Grupo Goyllarisquizga

El Grupo Goyllarisquizga está conformado por la Super Unidad Patap compuesto de gabro y diorita, y un complejo de diques cizallados. En las formaciones superiores: Farrat, presentan dioritas y la Tonalita Pacho; mientras que en Junco se encuentran granitos indiferenciados. Superficialmente se muestras facies sedimentarias, sedimentos calcáreos y clásticos.

Las partes más esenciales se hallan al Este del Cuadrángulo de Casma, en los valles de los ríos Casma, Chumbe, Loco, en el río Sechin al Este de Santa Rosa del Olivar y en el río Casma al levante del caserío de Nivín. (INGEMMET, 2021)

2.3.1.2. Grupo Casma (Ki-c)

Este grupo perteneciente al cretácico inferior presenta una secuencia combinada de material volcánico sedimentaria, en primer lugar se tiene la presencia de derrames volcánicos compuestos de andesita masiva de grano fino, que a su vez en las parte superior se encuentran capas bien estratificadas intercaladas de grauvacas, lutitas arenosas y en partes la presencia de bancos calcáreos superficiales, si nos dirigimos al Norte de dicha formación observaremos que en la parte superior existe series de material meta volcánico oscuros de naturaleza andesítica dacítica y hacia el sur surge una serie de volcánicos bien estratificados, compuesto por derrames delgados de andesita masiva intercalados con capas delgadas de sedimentos volcánicos como limoarcillitas, areniscas cuarzosas sacaroideas blancas a rojizas interestratificadas con lodolitas y limoarcillitas rojas. (INGEMMET, 2021).

Las siguientes formaciones forman parte del Grupo Casma:

a. **Formación Junco.** Esta formación litoestratigráfica está ubicada en la cima del cerro Del Nicho, en la orilla izquierda de la quebrada del río Seco, así como en el cerro Los Médanos. Formación conformada por una secuencia de coladas de lava y facies de lavas brechadas, en ciertos espacios se presentan

secuencias de tobas, lavas en forma de sacos verticales intercaladas con aglomerados, otro material lítico es la gabrodiorita, que se encuentra parcialmente oxidado, fracturado, rugoso, y en mayor cantidad, relleno de cuarzo macizo de tonos grises oscuros a verdosos negros. No presenta una estratificación clara, pero en las series esquistosas se puede notar dicha característica de capas empiladas.

b. **Formación La Zorra.** Meyers (1980) describió y afirmó que su afloramiento se prolonga de noroeste a sureste, concordante en la parte inferior a la Formación Junco. Está compuesto principalmente por material volcánicos, es decir, la presencia de flujos piroclásticos en capas agudas bien estratificadas, se puede apreciar plegamiento en su formación, producido por presión lateral que sufren las rocas de la corteza. Constituido en la parte superior por flujos de andesita, la roca se encuentra meteorizado, oxidado, rugoso, moderadamente fracturadas, relleno de cuarzo y óxidos, de color gris oscuro a negro. En el Callejón de Huaylas la Formación se estrecha de forma lenticular, ya sea vista de la dirección NE-SO ó NO-SE. (INGEMMET, 2021)

c. **Depósitos Eólicos.** Como parte de estos depósitos, tenemos a las arenas, que presentan un grano fino fáciles de ser transportados. Se extienden en zonas cercanas al mar, estas arenas vienen de las diversas playas del litoral, formando mantos, dunas y barjanes. Por lo general estas arenas cubren gran parte de las laderas occidentales de los cerros y llanuras aluviales, alcanzando mayores espesores en las depresiones en esta última geomorfología mencionada.

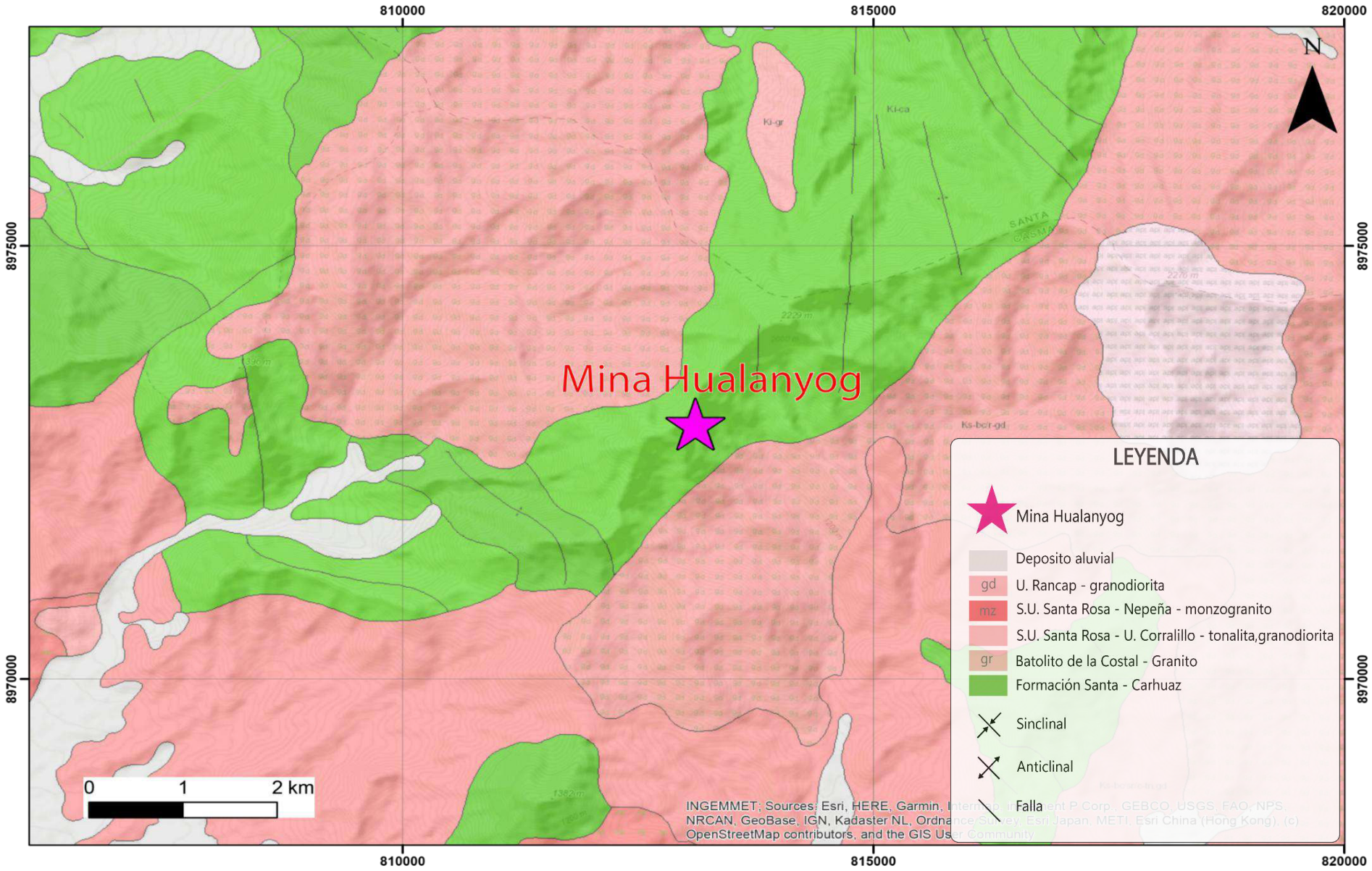


Figura 2. Plano geológico regional 1:100,000. Fuente: INGEMMET (modificado por el autor).

2.3.2. Geología Local

2.3.2.1. Litología

La región de estudio muestra una compleja asociación litológica producto de múltiples eventos magmáticos y sedimentarios del Cretácico inferior. Los afloramientos ígneos están dominados por dioritas intra-minerales y tardi-minerales del Batolito de la Costa, destacando la presencia de la Super Unidad Rancap que aflora en la base del cerro Hualanyog, representada principalmente por granodioritas con diques aplíticos calcosódicos blanquecinos. En el sector sur se identifica un stock cuarzo-diorítico piroxénico mineralizante, perteneciente a esta misma unidad (Cuadrángulo de Casma 19G, INGEMMET, 1995).

Las unidades sedimentarias comprenden una secuencia carbonatada dominada por calizas de la Formación Santa, con intercalaciones menores de areniscas de la Formación Farrat. En el área de estudio, la distinción entre las formaciones Santa y Carhuaz resulta compleja debido a las transiciones laterales de facies, observándose una zona de transición donde los términos lutíticos de la Formación Carhuaz se mezclan progresivamente con las calizas de la Formación Santa. Estas unidades, agrupadas en el Grupo Goyllarisquizga, presentan un contacto transicional y han sido afectadas por un intenso metamorfismo de contacto. Hacia el oeste de la zona minera, las secuencias lutíticas dominan el panorama litológico, marcando una transición a facies menos afectadas por los procesos hidrotermales.

Estructuralmente, se distingue un corredor principal de dirección NE-SW (paralelo al sistema de cizallamiento) caracterizado por corneanas y skarns desarrollados en los contactos intrusivo-sedimentarios. Este corredor está acompañado por dos sistemas de diques: Dioríticos y andesíticos con orientación NE-SW, pórfido-monzoníticos (en menor medida) y apliticos de dirección NW-SE. La mineralización se concentra principalmente en los skarns asociados al stock cuarzo-diorítico y en las zonas de corneanas

adyacentes, constituyendo el principal foco de interés económico del depósito.

2.3.2.2. Tectonismo

El área de Hualanyog está conformada por secuencias sedimentarias del Cretácico inferior-medio, principalmente de las formaciones Santa y Carhuaz, que han sido intensamente afectadas por eventos tectónicos compresivos en distintas direcciones. El primer régimen tectónico relevante corresponde a un evento compresivo/transpresivo con esfuerzo máximo orientado NW-SE, responsable de la generación de una zona de cizallamiento principal de rumbo NE-SW (aproximadamente 045°-065°), la cual constituye el eje estructural dominante del yacimiento. Esta zona de cizallamiento, de naturaleza dúctil-frágil, ha canalizado el emplazamiento de diques dioríticos y la migración de fluidos hidrotermales de alta temperatura, favoreciendo la formación de trampas geoquímicas y el desarrollo de sistemas metasomáticos tipo skarn en los contactos con capas carbonatadas.

La zona de cizallamiento Hualanyog se extiende por al menos dos kilómetros y separa bloques de rocas menos deformadas y alteradas, actuando como principal vía de circulación de fluidos mineralizantes y emplazamiento de diques félsicos sintectónicos. El desplazamiento relativo indica un bloque oriental en posición elevada respecto al occidental, con evidencias de deformación transpresiva y desarrollo de foliación milonítica en el núcleo de la estructura. La mineralización de mayor ley se concentra en el núcleo de la zona de cizallamiento y en las intersecciones con estructuras transversales de orientación NW-SE, que funcionaron como focos de ascenso de fluidos hidrotermales, tal como lo documentan Pearson (2019) y León Pimentel (2016).

Durante fases tardías, la reorientación del campo de esfuerzos generó sistemas de fracturas y fallas de orientación NW-SE (aproximadamente 320°-340°). Estas estrcturas sirvieron como conductos para el emplazamiento de diques aplíticos y la

circulación de fluidos mesotermales enriquecidos en oro, arsénico y antimonio, que sobreimprimieron el sistema skarn preexistente. La interacción entre la zona de cizallamiento principal y las estructuras transversales define zonas de mayor permeabilidad y concentración de mineralización, especialmente en los contactos entre facies carbonatadas y lodolíticas.

El control estructural ejercido por la zona de cizallamiento NE-SW es determinante en la distribución y geometría de los cuerpos mineralizados, canalizando la alteración hidrotermal y la precipitación de sulfuros de Au-Zn en mantos y lentes de skarn. La zonación metalífera muestra máximas concentraciones de Au-Zn en el centro de la zona de cizallamiento, con mineralización diseminada de menor ley en los bordes y enriquecimiento puntual en intersecciones estructurales. Los estudios geoquímicos y de correlación elemental confirman una fuerte asociación Au-Bi-As y una correlación variable entre Zn y Au, lo que refleja la influencia de los controles estructurales y litológicos en la distribución de la mineralización.

La geología estructural de Hualanyog, dominada por la zona de cizallamiento NE-SW y su interacción con las fallas y fracturas NW-SE, constituye el principal control en la localización, geometría y continuidad de los cuerpos mineralizados tipo skarn Au-Zn. Este marco estructural no solo ha condicionado la migración de fluidos y la formación de trampas geoquímicas, sino que también define los vectores de exploración para potenciales extensiones laterales y en profundidad del sistema mineralizado, tal como lo documentan Pearson (2019) y León Pimentel (2016)

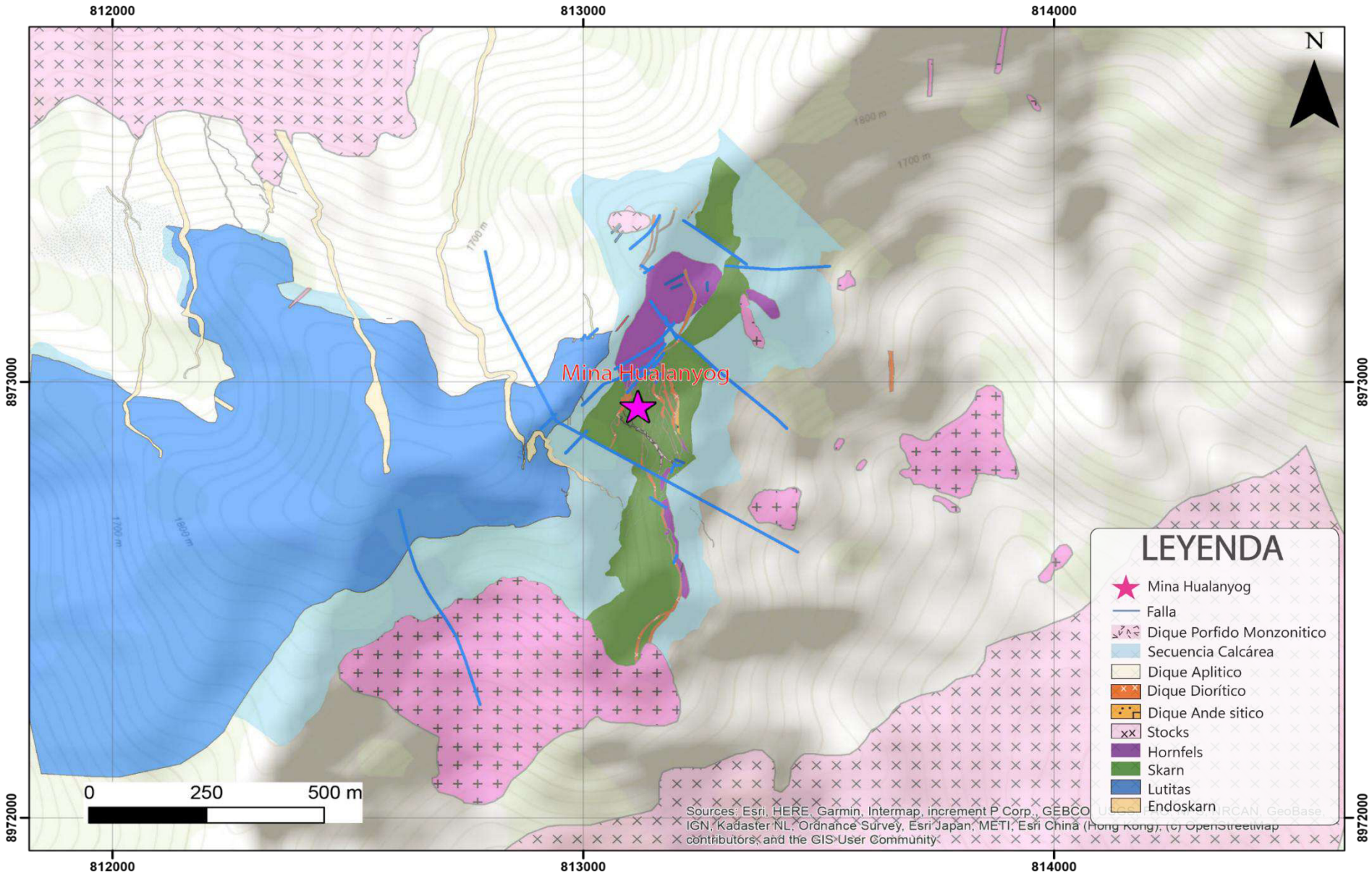


Figura 3. Plano geológico distrital de la mina Hualanyog. Escala 1:10,000. UTM zona 17S, datum WGS 84. Fuente: Área de Geología – Mina VDR

2.3.2.3. Alteración y mineralización

Los skarns pueden formarse en una amplia variedad de ambientes geológicos, que incluyen tanto el metamorfismo regional como el de contacto, así como diferentes procesos metasomáticos que involucran fluidos magmáticos, metamórficos, meteóricos o de origen marino. En este caso, el metamorfismo es de contacto, donde los fluidos hidrotermales interactúan con las rocas carbonatadas cercanas a intrusiones. El enfoque del estudio es analizar las características petrológicas y mineralógicas del yacimiento y comprender las reacciones metasomáticas involucradas, dominadas por la formación de minerales como granates y piroxenos, que han dado lugar a la mineralización en el depósito.

Estudios previos, como los realizados por Avila K. (2020) en su trabajo "Diseño de perforación y voladura para mejorar fragmentación del mineral en mina virgen del Rosario – U. P. Hualanyog", destacan que el sistema hidrotermal tipo skarn en Hualanyog presenta una superficie extensa con anomalías de color que indican la presencia de alteraciones hipógenas y supérgenas. Estas alteraciones están en parte cubiertas por material coluvial, y el relieve es el resultado de la erosión de anticlinales paralelos. El estudio de Ávila también reveló la presencia de facies prógradas y retrógradas, siendo la facie prógrada asociada a la mineralización de sulfuros y óxidos de Fe, mientras que la fase retrógrada incluye minerales como actinolita, epidota, clorita y escapolita, acompañada por venillas de calcita.

Un estudio petromineragráfico previo realizado en la zona (Exploandina S.A.C., 2017) ha revelado la presencia de granos de oro encapsulados dentro de arsenopirita, así como granos de oro asociados al bismuto, que rellenan porosidades en la arsenopirita. Estos descubrimientos son clave para entender la asociación entre la mineralización aurífera y los sulfuros presentes en el depósito, lo que sugiere que la mineralización diseminada está estrechamente

vinculada a las fases de alteración hidrotermal. Estos estudios confirman la importancia del sistema exoskarn en la generación de los depósitos de Au-Zn y la relevancia de los ensambles minerales presentes en la zona, que continúan mostrando una directa relación con la mineralización del tipo Au-Zn.

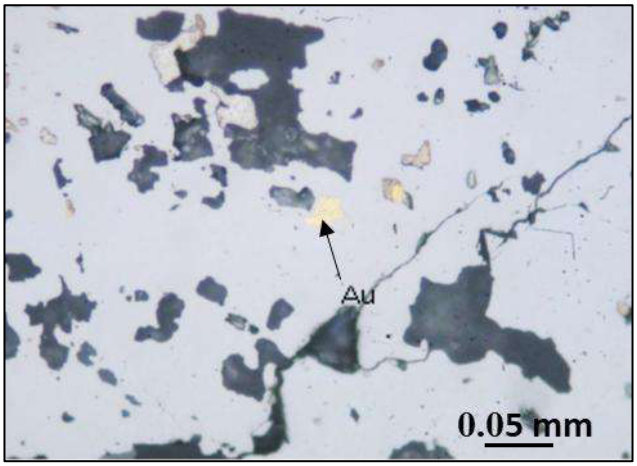


Figura 4: Granos de oro se encuentran incluidos en la arsenopirita (apy). Otros granos de oro se presentan asociados al bismuto (bi) rellenando porosidades en la arsenopirita (apy). Ampliación: 20x. Fuente: Pearson (2019).

2.3.3. Geomorfología

La faja de la Costa y las estribaciones de la Cordillera Occidental son las unidades distintivas, dentro de estas se pueden identificar unidades menores tales como:

- **Pampa Costera**:

  Hacia el occidente de la zona estudiada, se extiende en grandes áreas. Consiste en regiones de terreno llano totalmente cubiertas de arena eólica o marina, y se extiende ampliamente en la costa.

- **Cerros Costeros:**

  Forman parte de las elevaciones occidentales de la Cordillera, y es justamente donde se ubica la región de estudio, y se extienden a la parte oriental.

  Son cerros o promontorios que se encuentran más aislados, mientras más se aproximan al litoral, y más próximos a la parte occidental; quebradas, valles y zonas bajas separan estos. Sánchez (1995) menciona que son unidades rocosas resistentes a los procesos exógenos y que parecen haber formado una

cadena de elevaciones con un rumbo NO-SE, que coincide con la línea costera actual.

- **Quebradas:**

  En la zona de estudio, las quebradas están cubiertas en gran medida por depósitos de sedimentos aluviales, coluviales y eólicos. Sin embargo, es importante mencionar que algunas de estas también presentan corrientes de agua durante la temporada de lluvias. En las quebradas secas, la acumulación de sedimentos se da principalmente a través de flujos que comienzan en condiciones torrenciales esporádicas. Además, durante lluvias torrenciales es frecuente presenciar la formación de flujos de lodo que ocasionan la acumulación irregular de sedimentos en las desembocaduras de las quebradas situadas en las secciones medias a altas de los valles.

- **Valles:**

  Los valles en esta zona presentan una orientación predominante de Este a Oeste y se expanden gradualmente. Estos valles son conocidos por su actividad fluvial constante, con afluentes que solo son activos en temporadas específicas. La mayor parte del área de los valles es utilizada para la agricultura. En algunos sectores, el ancho de los valles puede llegar a 5 o 6 kilómetros. Los asentamientos humanos en esta zona se encuentran en los valles con un fondo amplio y una napa freática que se utiliza en la agricultura de riego. Sin embargo, debido a la acción de las lluvias en suelos suaves y alterados, se forman suelos inestables que se erosionan fácilmente.

- **Superficies disectadas:**

  En la parte occidental de la región estudiada, se localizan áreas de terreno con pendiente muy baja, como las llanuras o las pampas. Estas áreas son características por la existencia de afloramientos de rocas aislados de altitud moderada. Dichas zonas están compuestas por rocas plutónicas que han sido afectadas por los procesos meteóricos y erosión eólica, creando una superficie plana en su mayoría, salvo por las elevaciones rocosas que se destacan ligeramente de los terrenos circundantes.

2.3.4. Batolito de la Costa

El Batolito Costero es una gran masa de roca plutónica que se encuentra en el Perú y se extiende a lo largo de 1600 km paralelos a la costa (Atherton et al., 1983). La formación de este batolito se relaciona con el splitting/rifting de la corteza continental y un alto flujo de calor anómalo (Atherton, 1984, 1990). Además, en su investigación sobre la estructura térmica dentro del rift, Atherton (1984, 1990) presenta cómo la fusión superficial de rocas basálticas formó los magmas del batolito costero y cómo estos fueron intruidos por fracturas axiales y luego horizontalmente para formar intrusiones tabulares cerca de la superficie.

El Batolito se caracteriza por ser un conjunto de rocas intrusivas con diferentes composiciones que van desde el gabro hasta el granito potásico (Jenks, 1948; Jenks y Harris, 1953). Por otro lado, Pitcher (1978) en su estudio menciona que el Batolito de la Costa está estructuralmente compuesto por una gran cantidad de intrusiones individuales y diques relacionados, los cuales forman complejos plutónicos y que estos son cada vez más ácidos en relación con el tiempo.

Los trabajos realizados por Cobbing, Pitcher & Taylor (1977); Caldas (1978), Olchauski (1980), permitieron relacionar las rocas intrusivas del Batolito de la Costa de acuerdo con sus similitudes litológicas, geoquímicas y geocronológicas, agrupándolos en Unidades y Super Unidades estudiados a lo largo de 5 segmentos (de norte a sur): Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. El área estudiada se ubica en el tramo de Lima que posee alrededor de 400 Km. Desde Chimbote a Lima.

2.3.4.1. Unidades del Batolito de la Costa

Tanto dentro como alrededor de la región estudiada se encuentran comprendidas en un rango cronológico corto y con que van desde el Cretácico superior hasta el Paleoceno.

Afloran rocas intrusivas del Segmento de Lima constituidas por la Super Unidad Santa Rosa – Unidad Corralillo (Tonalitas y granodioritas) al sur del área de estudio, la Unidad Rancap (Granodioritas), que es donde se encuentra el área de estudio y la

Super Unidad Puscao de naturaleza Aplitica, aflorando al oriente de la zona estudiada. (ver Fig. 3)

2.3.4.2. Unidades Sedimentarias

Las zonas mineralizadas y las líneas de cumbre geológica están compuestas por facies sedimentarias clásticas: arcillosas (Formación Carhuaz), con la Formación Santa debajo y restos de las facies de areniscas continentales de la Formación Farrat. La secuencia sedimentaria muestra una transición de carbonato a clástico, lo que indica un proceso de transgresión marina progresiva. Además, las secuencias sedimentarias han sido afectadas por eventos tectónicos compresivos desde diferentes direcciones, resultando en una serie de pliegues macroscópicos ortogonales en la estratificación sedimentaria (Pimentel, 2016).

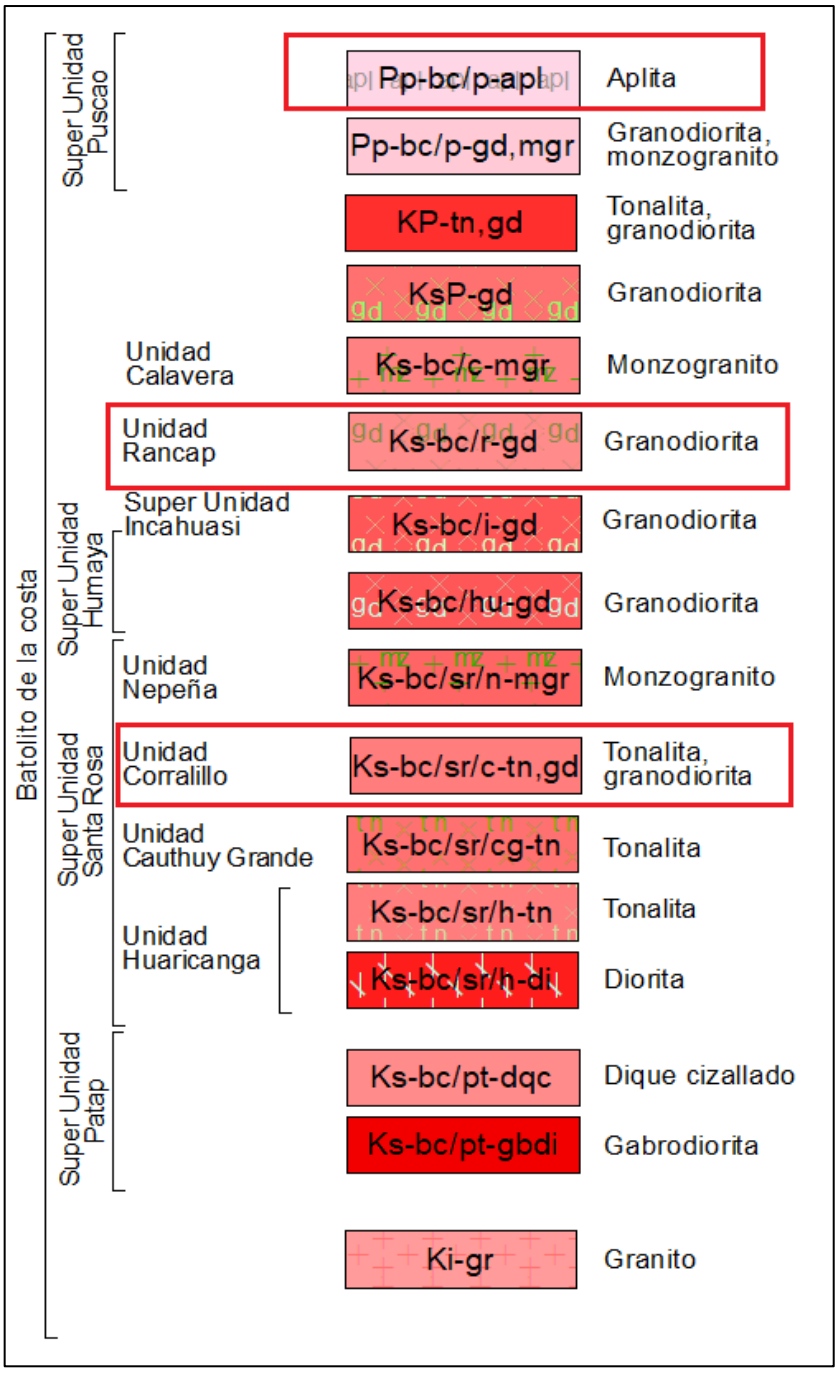


Figura 5. Gráfico de las unidades rocosas del Batolito de la Costa, destacando las presentes en la zona de estudio de la mina Hualanyog. Fuente: Propia.

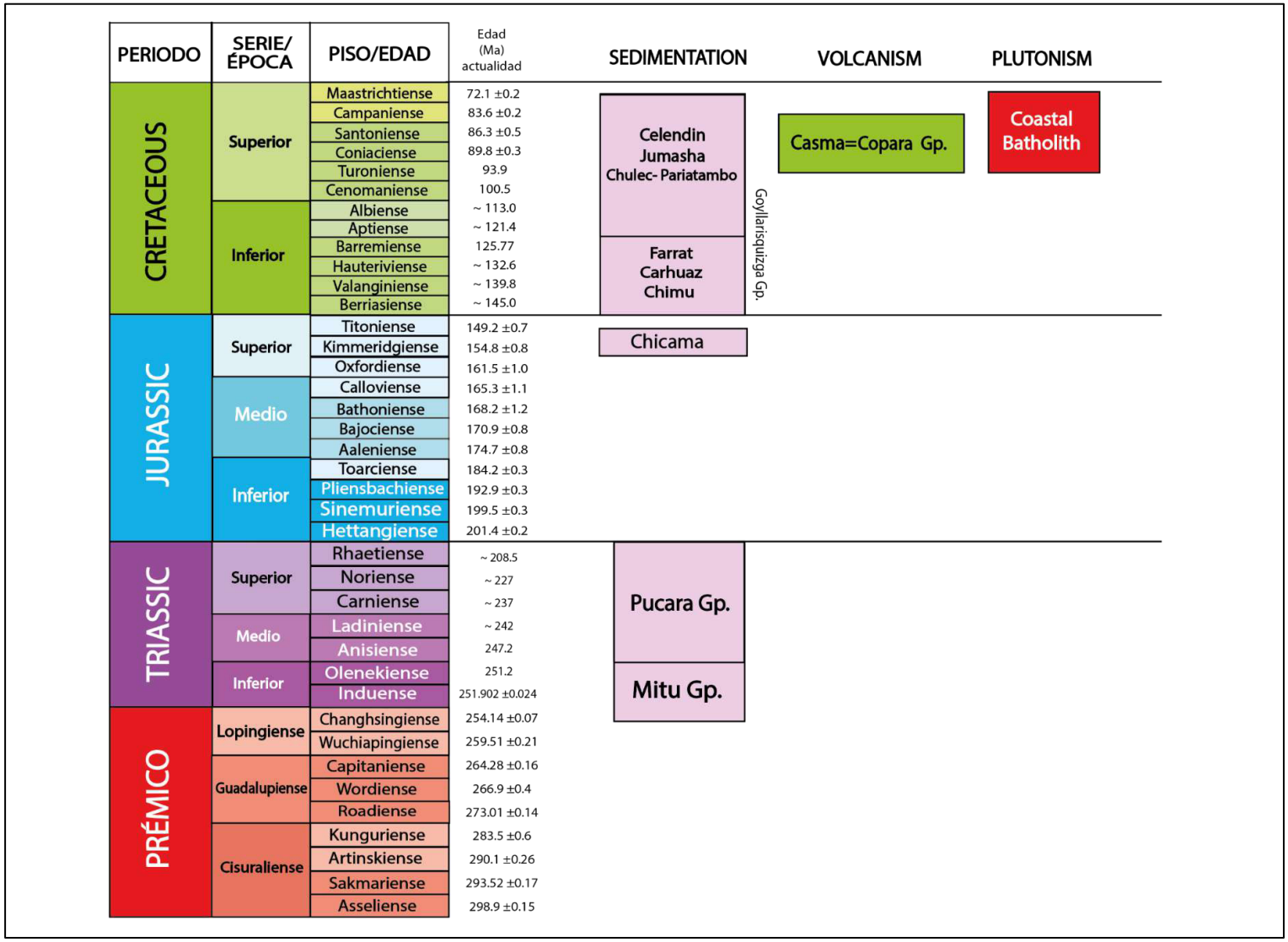


Figura 6. Resumen de los eventos mesozoicos y unidades rocosas relevantes para el centro del Perú, incluyendo las unidades presentes en la zona de estudio (mina Hualanyog). Fuente: Propia

2.3.5. Contexto estructural

El sistema Skarn Hualanyog se encuentra dentro de un amplio corredor estructural conocido como Tapacocha-Conchao-Cocachacra, orientado en dirección andina NW-SE. Este corredor es parte de una red de estructuras tectónicas que se extiende a lo largo de la Cordillera Blanca y forma una parte integral de las principales zonas de deformación asociadas con la orogenia Andina. El corredor Tapacocha-Conchao-Cocachacra está relacionado con líneas distritales NE-SW, que se originan de los esfuerzos tectónicos causados por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Estas líneas generan zonas de debilidad en la corteza, favoreciendo el emplazamiento de stocks dioríticos mineralizados.

Según Pimentel (2016), la secuencia sedimentaria de la región ha experimentado múltiples fases de compresión y extensionismo a lo largo de diversas etapas geológicas, resultando en una deformación estructural significativa. Durante la fase más intensa de la orogenia Andina (Mioceno-Plioceno, ~20-5 M.a), los esfuerzos compresivos NW-SE y WNW-ESE generaron una compleja red de pliegues y fallas, incluyendo antiformas y sinformas, que actuaron como trampas geoquímicas.

Pearson (2019) documentó la presencia de una estructura frágil-dúctil denominada "Zona de Cizalla Hualanyog" con orientación NE-SW, que atraviesa el área principal de la mina y separa dos bloques menos deformados. Esta zona de cizalla, formada durante la Fase Incaica II (43-42 Ma), se puede trazar por al menos dos kilómetros y ha localizado preferentemente la alteración hidrotermal de alta temperatura y la mineralización de sulfuros.

Las zonas de fractura y las zonas de contacto entre las unidades sedimentarias y las intrusiones dioríticas favorecieron la circulación de los fluidos hidrotermales, resultando en la formación de depósitos de skarn. La Zona de Cizalla Hualanyog ha sido fundamental en este proceso, ya que el emplazamiento de diques félsicos sin-tectónicos dentro de la zona de cizalla se considera clave en la génesis de la mineralización, facilitando el ascenso de fundidos y fluidos diferenciados.

El Batolito de la Costa, cuyo emplazamiento ocurrió durante la fase final de la orogenia Andina, contribuyó significativamente a la deformación tectónica regional. Las intrusiones dioríticas y tonalíticas del batolito produjeron un

proceso de basculamiento de los estratos sedimentarios, generando una serie de fallas inversas locales. A mayor escala, estructuras transversales con orientación NW-SE también estuvieron activas durante el emplazamiento del sistema hidrotermal, evidenciadas por la alineación de alteración de alta temperatura paralela a ellas.

La secuencia carbonatada de la Formación Santa, que se encuentra subyacente a la Formación Carhuaz, ha sido especialmente susceptible a la deformación tectónica y ha favorecido la alteración hidrotermal. La interacción entre las zonas de debilidad creadas por la deformación tectónica y las intrusiones magmáticas ha sido importante para la formación de los depósitos de skarn que caracterizan la mina Hualanyog.

2.3.6. Contexto metalogenético

La presencia de minerales en la región de investigación se vincula con fenómenos tectónicos y magmáticos, lo que sugiere la existencia de un potencial tipo de depósito mineral.

2.3.6.1. Franjas metalogenéticas

Nuestra área estudiada se localiza en la provincia de Casma, conformados por las siguientes franjas metalogenéticas

- Cretácico inferior: VIII Franja de depósitos de Cu-Fe-Au (IOCG).
- Cretácico superior: IX Franja de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusivos y X Franja de pórfidos de Cu-Mo.
- Cretácico superior- Paleoceno: XI Franja de sulfuros masivos volcanogénicos de Pb-Zn-Cu.

La principal franja metalogénica que constituye nuestra área de estudio es la franja XI. Esta franja está distribuida entre diferentes provincias, entre ellas Casma y Huarmey con la presencia diferencia secuencias volcánicas calcoalcalinas del Cretácico-Paleoceno, anteriormente llamadas como Grupo Casma, pero ahora determinada Cuenca Maastrichtiano-Daniano (Romero et al., 2008). Albergando depósitos del tipo de la Franja XI, cuyas estructuras que controlan dicha mineralización son fallas que se presentan en dirección noroeste-sureste del sistema

Tapacocha y Conchao-Cocachacra. Los yacimientos más significativos incluyen María Teresa, Aurora Augusta, Cerro Lindo y Balducho. La mineralización estudiada en esta zona tiene 68 a 62 Ma. De edad

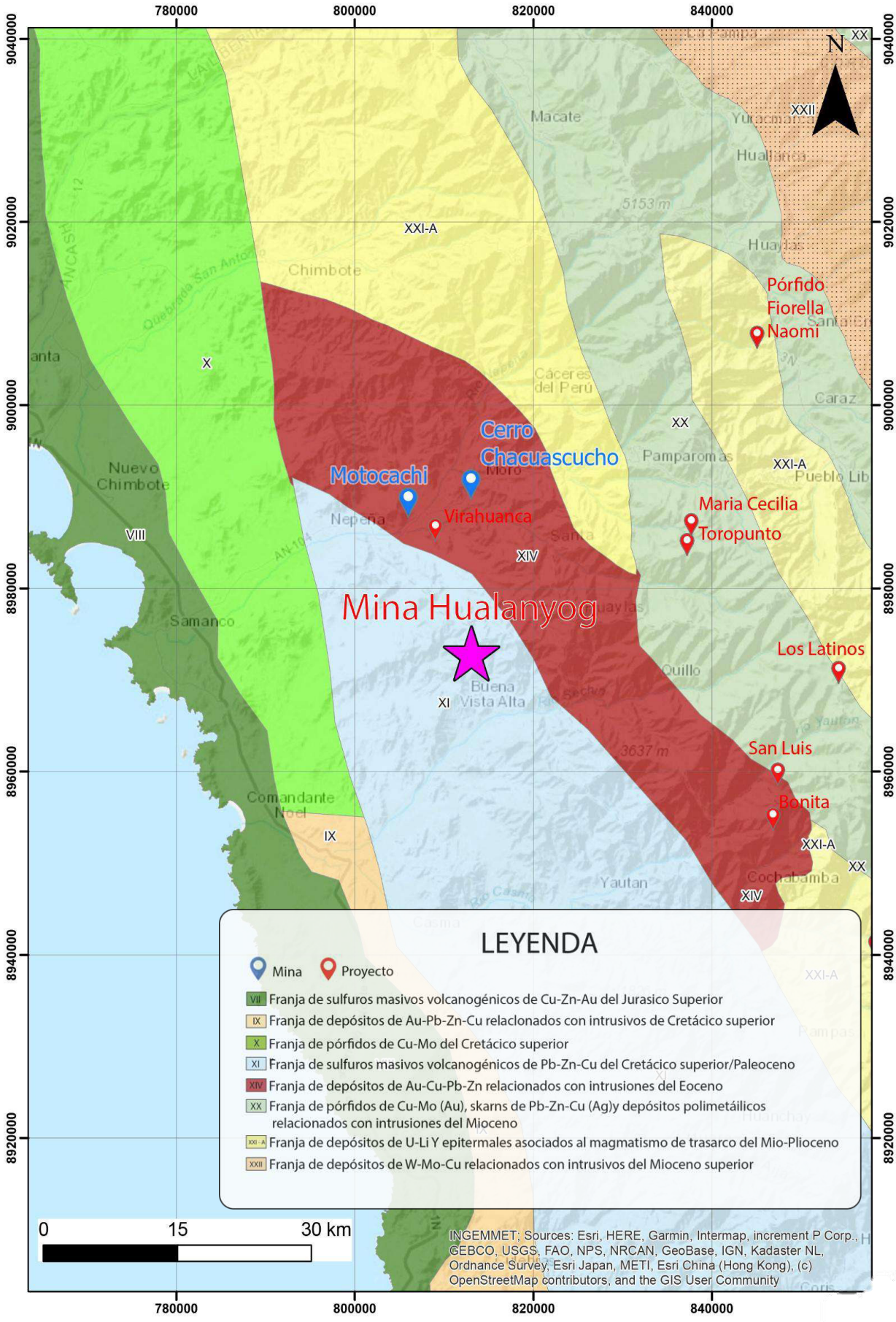


Figura 7. Plano metalogenético a escala 1:500,000. UTM zona 17S, datum WGS 84. Fuente: INGEMMET (modificado por el autor).

CAPÍTULO III

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. General

La mineralización del skarn Zn-Au en Hualanyog podría estar controlada por procesos metasomáticos que generaron facies mineralógicas zonadas (prógradas/retrógradas) y enriquecimiento en Zn-Au asociado a estructuras tectónicas, verificable mediante análisis petrográficos, DRX y correlación con leyes metálicas.

3.1.2. Específica

- La zonación mineralógica del skarn Zn-Au en Hualanyog estaría definida por facies prógradas (granate-piroxeno) y retrógradas (epidota-clorita), las cuales presentarían una relación directa con la distribución espacial de altas leyes de Zn y Au, evidenciada mediante análisis petrográficos, DRX y datos geoquímicos históricos.

- La localización de leyes económicas de Zn-Au en el depósito estaría controlada principalmente por la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y las fracturas transversales (NW-SE), las cuales habrían actuado como canales preferenciales para fluidos hidrotermales, influyendo en la zonación mineralógica y la distribución de diques asociados.

3.2. Identificación De Variables

3.2.1. Independiente:

Procesos metasomáticos

3.2.2. Dependiente:

Mineralización de Zn-Au

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA

4.1. Área De Estudio

El área de investigación comprende aproximadamente 120,000 m² (0.12 km²) donde se desarrolló yacimiento minero Hualanyog, ubicado en el distrito de Buena Vista Alta, provincia de Casma, departamento de Áncash, Perú, entre las coordenadas UTM 813000-813300 m Este y 8972000-8973200 m Norte (zona 17S, datum WGS84), a una altitud promedio de 1,800 metros sobre el nivel del mar e incluye tanto los afloramientos superficiales como las labores mineras subterráneas, donde se realizaron las actividades de muestreo y observación directa para el presente estudio.

4.2. Tipo Y Diseño De La Investigación

4.2.1. Tipo y diseño de la investigación

- Tipo de la investigación: Aplicada, aplicando el método analítico inductivo.
- Diseño de la investigación: El estudio sigue un enfoque no experimental, descriptivo-analítico, con métodos cualitativos y cuantitativos para analizar los procesos metasomáticos y controles estructurales del skarn Zn-Au en la mina Hualanyog. Se realizará una descripción macroscópica y muestreo de las unidades geológicas, complementado con análisis petrográfico mediante microscopía óptica para analizar asociaciones minerales.

4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población

En este estudio, la población está constituida por el conjunto de unidades litoestratigráficas y cuerpos mineralizados que conforman el sistema skarn Zn-Au de la mina Hualanyog (Casma, Áncash, Perú). Esta población incluye las formaciones carbonatadas encajonantes, los intrusivos ígneos asociados y las estructuras que controlan la circulación de fluidos hidrotermales, todas ellas potencialmente afectadas por los procesos metasomáticos prógrados y retrógrados.

4.3.2. Muestra

La muestra del estudio está conformada por 30 muestras de mano recolectados de manera representativa en diferentes sectores de la mina Hualanyog. La selección se realizó considerando criterios litológicos (contactos intrusivo–sedimentarios, calizas, skarns) y mineralógicos (granate, piroxeno, epidota, clorita, sulfuros), con el fin de abarcar la variabilidad espacial y paragenética del depósito.

Este muestreo busca capturar las principales asociaciones mineralógicas vinculadas a los procesos metasomáticos prógrados y retrógrados.

4.4. Instrumentos De Investigación

La investigación actual utilizó los siguientes recursos:

- Microscopio y otros instrumentos para el análisis:

  Para llevar a cabo este estudio de investigación se requiere de un microscopio especial, para analizar e identificar mediante los métodos anteriormente mencionados los minerales por su estructura cristalina, y para estimar la composición de las muestras analizadas; para realizar el análisis a través de la difracción de rayos X, se utiliza un difractómetro de rayos X que debe contar con las siguientes especificaciones: un generador de rayos X con un tubo para la detección de ángulos, un detector d1, un goniómetro con geometría adecuada, capacidad para el análisis de muestras en forma de polvo y una velocidad de barrido de 0.5 segundos por paso.

- Otros instrumentos para usar en el muestreo en campo:

  Bolsa de muestreo, para la correcta toma y preservación de la muestra, GPS, para realizar la obtención de información sobre el posicionamiento de la zona de muestreo, Cámara fotográfica, para obtener pruebas de la realización del estudio, entre otros instrumentos usados en el momento de realizar el proceso de muestreo en campo.

4.5. Procesos

Para la realización del estudio como primer paso se realiza la recopilación de datos de la región estudiada, sea este los depósitos tipo Skarn de Zn-Au en la mina Hualanyog, ubicado en Casma, Ancash, posteriormente se realizará un

realizara un muestro de campo de las principales unidades geológicas representativas de la zona, para luego ser analizadas con su respectivo análisis microscópico óptico y difracción de rayos X.

4.5.1. Pre-campo

Se recopiló información bibliográfica y técnica previa, incluyendo boletines, informes, artículos científicos, libros y demás documentos relevantes para la elaboración y planificación del estudio.

4.5.2. Campo

Se realizó la recolección de 30 muestras de mano en diferentes sectores de la mina Hualanyog. El muestreo consideró unidades litológicas representativas y zonas de contacto intrusivo-sedimentario con desarrollo de skarn. También se registró la ubicación de los puntos de muestreo mediante GPS y se efectuó documentación fotográfica.

4.5.3. Aplicación de técnicas de descripción mineral

Las muestras recolectadas fueron descritas macroscópicamente considerando textura, estructura, color, mineralogía y relaciones de contacto. Esta caracterización inicial permitió orientar los análisis posteriores de microscopía óptica y DRX.

4.5.4. Cálculo del índice mineralógico

Se calculó a partir de la abundancia relativa de los dos minerales predominantes en cada muestra, codificados como %Granate (Abundancia relativa del granate) y %Piroxeno (Abundancia relativa del piroxeno). La expresión utilizada fue

$$Indice = \frac{\%Granate}{\%Granate + \%Piroxeno}$$

Al estar normalizadas al 100% las abundancias de ambos minerales, el valor del índice oscila entre 0 y 1. Su interpretación depende de la identidad de los minerales presentes: cuando el granate constituye el mineral dominante (MIN1) y el piroxeno el mineral secundario (MIN2), el índice tendrá valores próximos a 1, sugiriendo una mayor cercanía al foco mineralizante; en contraste, si el piroxeno es el mineral dominante (MIN1), el índice tendrá valores cercanos a 0, que reflejaría mayor distalidad al foco. De este modo, el índice permite traducir observaciones cualitativas de abundancia mineral en una medida cuantitativa preliminar, que contribuye a establecer patrones iniciales de zonación dentro del skarn.

4.5.5. Difracción mineralógica de rayos X-DRX

Se empleó difracción de rayos X para identificar fases cristalinas, parámetros de red, texturas y tamaño de grano. La técnica se basa en la interferencia del haz de rayos X con la red cristalina de los minerales. Para la interpretación se utilizaron tablas de referencia y software especializado que permitió identificar con precisión los minerales constituyentes.

4.5.6. Microscopia óptica

Las muestras fueron analizadas mediante microscopía óptica en láminas delgadas y briquetas pulidas, utilizando luz transmitida y reflejada, respectivamente. En el caso de los minerales no metálicos en láminas delgadas, con Nicoles paralelos se observaron propiedades como el color, el pleocroísmo, la birrefringencia, el relieve óptico, el hábito cristalino, el clivaje y los signos de alteración; mientras que con Nicoles cruzados se identificaron colores de polarización, tipos y ángulos de extinción, signo óptico e interferencias. En los minerales metálicos preparados en briquetas pulidas, con luz no polarizada se evaluaron la reflectancia, el color, la dureza relativa, las texturas superficiales, el hábito cristalino y las relaciones de intercrecimiento; en tanto que con luz polarizada se reconocieron anisotropía, colores de polarización, birrefringencia de reflectancia, efectos de interferencia y características ligadas a la orientación cristalográfica.

4.6. Convenciones Mineralógicas: Abreviaturas Y Fórmula Químicas

Para la estandarización de abreviaturas y fórmulas químicas mineralógicas en este estudio, se adoptaron las convenciones establecidas en las obras: Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada (MacKenzie, Donaldson y Guilford, 1980) y Atlas de rocas metamórficas y sus texturas (MacKenzie y Guilford, 1980), como se muestra en la tabla 1.

Mineral/Compuesto	Abreviatura	Fórmula Química
Actinolita	Act	$Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Albita	Ab	$NaAlSi_3O_8$
Andalucita	And	Al_2SiO_5
Andradita	Adr	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$
Anfíbol	Am	$(Ca,Na)_{2-3}(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Biotita	Bt	$K(Mg,Fe^{2+})_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
Calcita	Cc	$CaCO_3$
Clorita	Chl	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Cuarzo	Qtz	SiO_2
Diopsido	Di	$CaMgSi_2O_6$
Dolomita	Dol	$CaMg(CO_3)_2$
Epidota	Ep	$Ca_2(Al,Fe^{3+})_3(SiO_4)_3(OH)$
Feldespato potásico	Kfs	$KAlSi_3O_8$
Hematita	Hem	Fe_2O_3
Moscovita	Ms	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Óxido de magnesio	-	MgO
Potasa (KOH)	-	KOH
Sericita	Ser	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Talco	Tlc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Wollastonita	Wo	$CaSiO_3$

Tabla 1. Abreviaturas y fórmulas químicas de minerales. Fuente: MacKenzie, Donaldson y Guilford (1980).

CAPÍTULO V

5. Resultados

5.1. Selección de muestras

El proceso de selección de muestras para esta investigación se realizó considerando un enfoque que abarcó el yacimiento principal y zonas adyacentes de interés geológico.

Las muestras fueron recolectadas en tres contextos principales: afloramientos superficiales y niveles de mina subterráneos. Esto permitió obtener una visión tridimensional del sistema mineralizado y sus variaciones espaciales. El muestreo se basó en tres parámetros: la variabilidad litológica (incluyendo skarns, diques ígneos y corneanas), las zonas de alteración hidrotermal y la distribución espacial de la mineralización.

Se recolectaron un total de 30 muestras representativas. En todas las muestras se realizó un estudio y análisis macroscópico, mientras que un subconjunto de 10 muestras particularmente relevantes fue seleccionado para estudios microscópicos. Estas muestras incluyeron ejemplos representativos de skarns (tanto en facies prógradas como retrógradas), diques mineralizados y corneanas. Los datos completos de ubicación, incluyendo coordenadas UTM (zona 17S), niveles de profundidad y códigos de identificación, se presentan de manera detallada en la Tabla 5, ubicada en el apartado de Anexos.

5.2. Estudio petromineragráfico

Se realizó la descripción petrográfica de 30 muestras utilizando microscopio. De estas, se efectuó un análisis macroscópico detallado, describiendo sus características físicas y texturales. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis microscópico en las mismas 30 muestras. Adicionalmente, se prepararon 6 briquetas pulidas a partir de estas muestras para el análisis de minerales opacos.

5.2.1. Petrografía

5.2.1.1. Descripción de las muestras

El análisis petrográfico realizado sobre las muestras representativas del skarn Zn-Au de Hualanyog ha permitido identificar una zonación mineralógica y textural, reflejo directo de los procesos metasomáticos que afectaron al yacimiento. Esta transición sistemática, desde asociaciones de granate-piroxeno y wollastonita en las zonas de mayor influencia térmica hasta minerales hidratados como epidota y clorita en sectores con menor impacto térmico, se corresponde con los dominios definidos por el índice granate/piroxeno (ver Tabla 6, Anexos) y con la zonificación espacial mostrada en el plano de zonación (Figura 31). Esta secuencia mineralógica, documentada tanto en láminas delgadas como en briquetas pulidas, evidencia la superposición de eventos térmicos e hidrotermales que han determinado la evolución del sistema skarn y que guarda relación con la distribución espacial de la mineralización de Zn y Au, así como con los patrones de alteración reconocidos en el yacimiento, además de la paragénesis del sistema.

Como se observa en la muestra 106071 (Figura 8), la corneana presenta una textura porfidoblástica bajo el microscopio, con predominio de blastos elongados de cuarzo y plagioclasa orientados en una dirección preferente dentro de una matriz de grano muy fino. Esta ligera foliación mineral y la ausencia de minerales calcosilicatados reflejan el efecto térmico inicial del intrusivo sobre las rocas sedimentarias, caracterizando una etapa temprana de metamorfismo de contacto. Aunque se encuentra relativamente próxima al cuerpo intrusivo, sus características mineralógicas indican una respuesta limitada frente al metasomatismo, posiblemente controlada por la permeabilidad local o la ausencia de interacción directa con los fluidos hidrotermales. Esta interpretación es coherente con la baja

intensidad de alteración observada y con la carencia de enriquecimiento metálico relevante en los mapas geoquímicos.

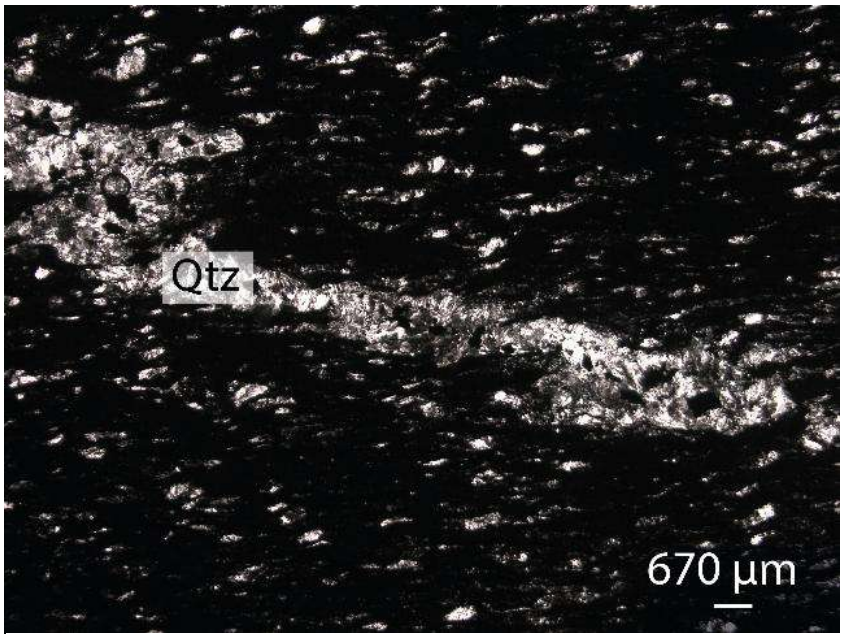


Figura 8: Fotomicrografía de la muestra 106071 (lamina delgada, nicoles cruzados, 2.5x). Fuente: Propia

A medida que se intensifican las condiciones térmicas y se establece el flujo de fluidos hidrotermales, la muestra 303001 (Figura 9 y 10) evidencia la transición hacia una fase metasomática más avanzada, representada por un skarn de granates de textura granoblástica predominante. Se observa una distribución uniforme de diópsido y calcita alterada, acompañados por plagioclasas y albita de grano fino, evidenciando la interacción química activa entre los fluidos ricos en calcio-silicio y las rocas carbonatadas originales. La presencia de grosularia como mineral de ganga, distribuida en la matriz junto con calcita, confirma las condiciones de alta temperatura características del metasomatismo prógrado. En briqueta pulida, la textura masiva y granular revela una matriz compuesta predominantemente por pirita y esfalerita, con inclusiones de calcopirita en los cristales de esfalerita, indicando que esta zona no solo experimentó intensa

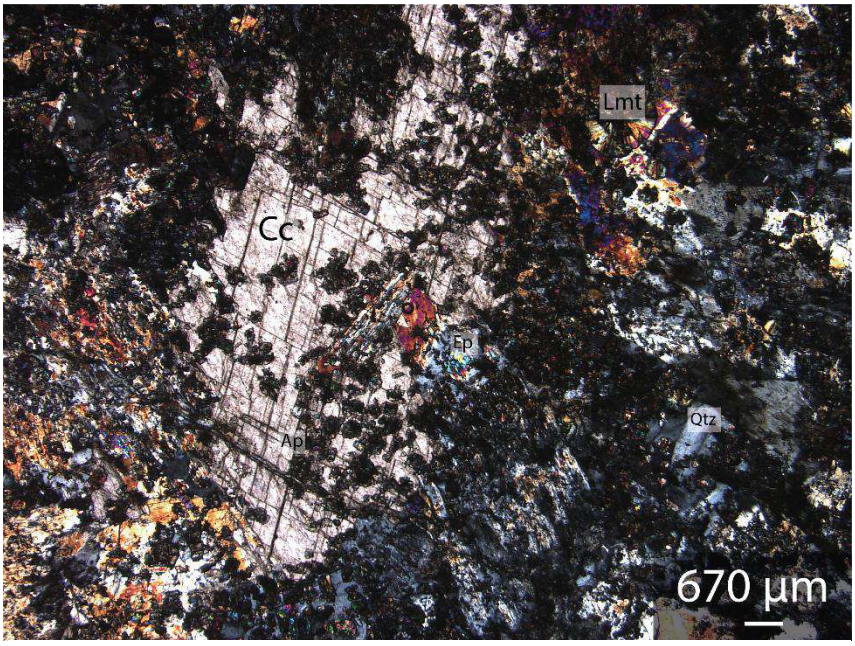


Figura 9: Fotomicrografía de la muestra 303001 (lamina delgada, nicoles cruzados, 2.5x). Fuente: Propia

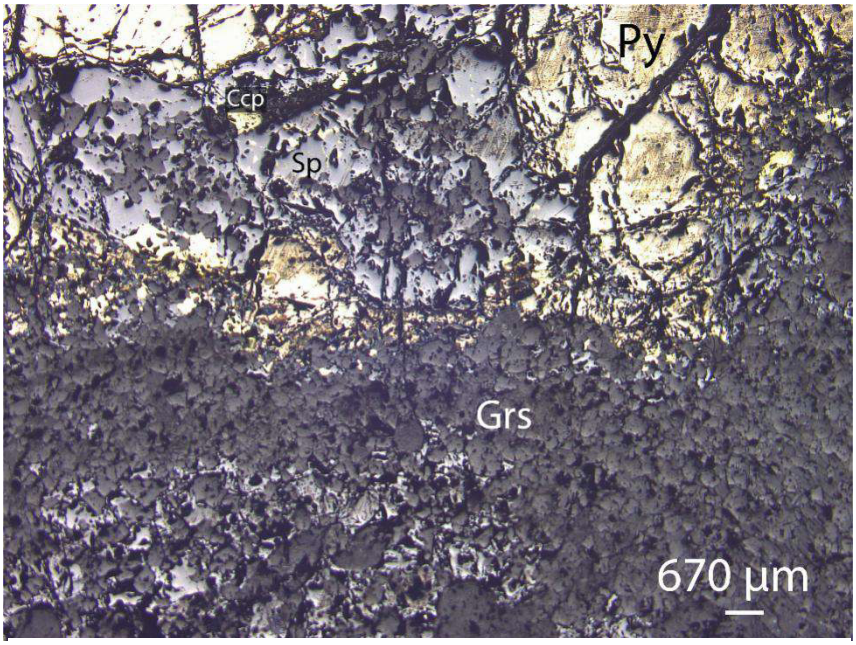


Figura 10: Fotomicrografía de la muestra 303001 (briqueta pulida, con analizador, 2.5x). Fuente: Propia

transformación metasomática sino también el inicio de los procesos de mineralización económica, en concordancia con la porción más influenciada térmicamente del sistema, próxima al intrusivo.

Conforme el sistema metasomático evolucionó lateralmente, la muestra 1000601 (Figura 11) denota el desarrollo de un skarn de wollastonita, donde en textura granoblástica bajo el microscopio se observan agregados de axinita de grano medio distribuidos junto con anfíboles de grano fino de manera uniforme en la matriz. Esta asociación mineralógica marca una transición significativa desde las condiciones de alta temperatura del skarn de granates hacia un ambiente lateralmente más alejado, donde los fluidos hidrotermales, enriquecidos en boro y con menor contenido en aluminio, favorecieron la cristalización de axinita como mineral predominante. La textura granoblástica uniforme y la distribución homogénea de los minerales indican condiciones de recristalización en equilibrio, características de zonas donde el metasomatismo prógrado alcanzó su máxima extensión lateral. La presencia de anfíboles de grano fino sugiere episodios de hidratación posteriores que modificaron parcialmente las asociaciones minerales primarias, estableciendo así las condiciones previas para los procesos retrógrados que caracterizarían las etapas evolutivas subsecuentes del sistema skarn.

En una etapa posterior de la evolución del sistema, la muestra 1000105 (Figura 12) evidencia la interacción entre los procesos metasomáticos y los eventos de mineralización. La textura granoblástica dominante

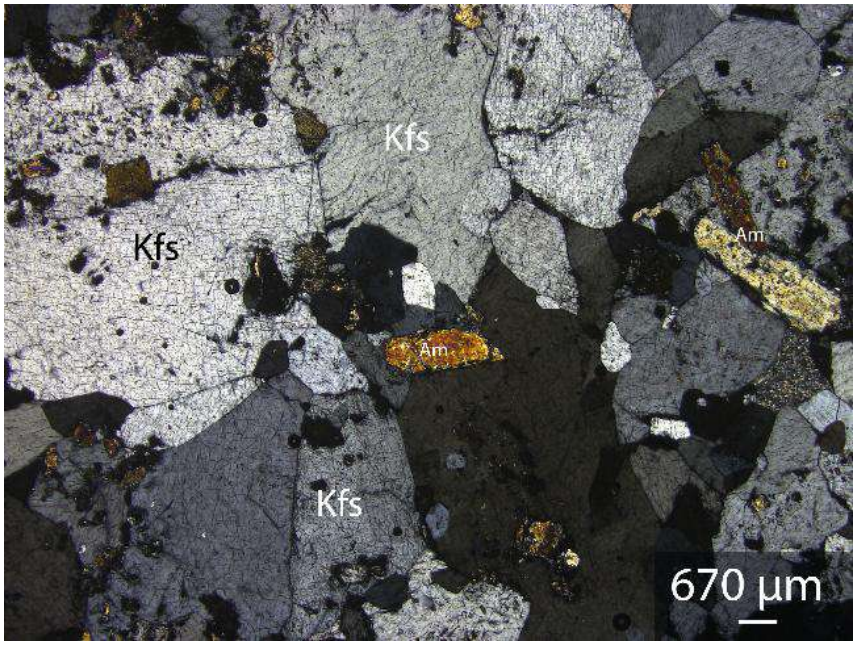


Figura 11: Fotomicrografía de la muestra 1000601 (lamina delgada, nicoles cruzados, 2.5x). Fuente: Propia

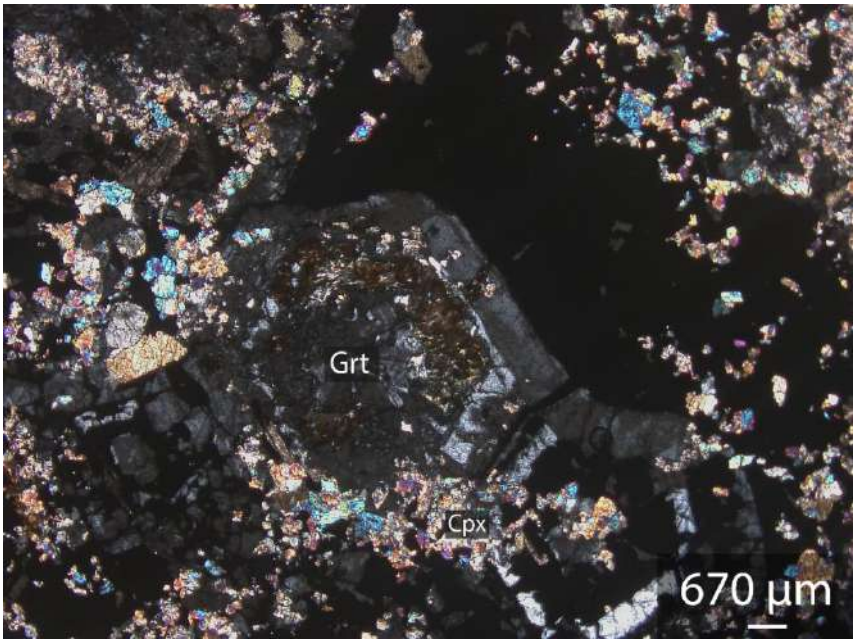


Figura 12: Fotomicrografía de la muestra 1000105 (lamina delgada, nicoles cruzados, 2.5x). Fuente: Propia

muestra granates de tipo grosularia de hábito subidiomórfico, asociados a clinopiroxenos en una matriz de carbonatos alterados. Estos granates presentan zonación óptica concéntrica bajo luz polarizada e inclusiones de calcita orientadas paralelamente a sus caras cristalinas. Estas características evidencian fluctuaciones en

las condiciones fisicoquímicas del sistema durante su crecimiento, probablemente asociadas a cambios en la temperatura y/o composición de los fluidos hidrotermales. La asociación mineralógica principal (granate-clinopiroxeno-carbonato) se ve interrumpida por venillas tardías de pirrotita y esfalerita (vista en macro), cuya distribución preferencial sugiere precipitación durante etapas de enfriamiento del sistema. La presencia de estos sulfuros, que cortan y reemplazan selectivamente a los silicatos primarios, marca el inicio de la etapa hidrotermal, donde fluidos ricos en azufre interactuaron con las asociaciones minerales preexistentes, estableciendo las condiciones para la concentración económica de metales en el yacimiento, en un ambiente geológicamente cercano al núcleo intrusivo.

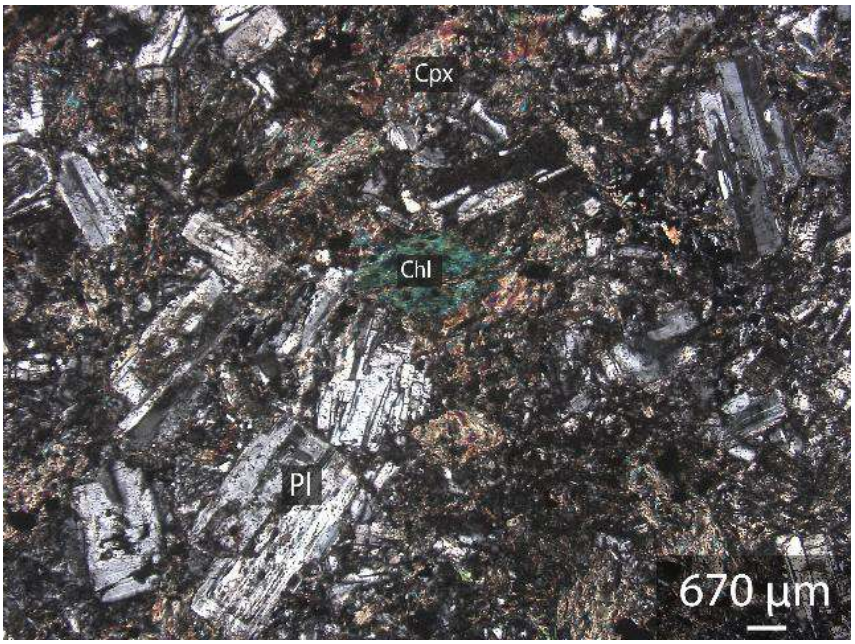


Figura 13: Fotomicrografía de la muestra 700506 (lamina delgada, nicoles cruzados, 2.5x). Fuente: Propia

La muestra 700506 (Figura 13), correspondiente a un dique porfídico diorítico, evidencia transformaciones hidrotermales que afectaron al cuerpo intrusivo en condiciones de circulación de fluidos de baja temperatura. Presenta una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa de grano medio a fino y bordes

irregulares, inmersos en una matriz de plagioclasa y cuarzo de distribución uniforme. Los clinopiroxenos subhedrales muestran alteración parcial a clorita, principalmente a lo largo de bordes y fracturas, lo que indica interacción con fluidos residuales del sistema magmático-hidrotermal. Esta alteración máfica hacia fases hidratadas, junto con la conservación de la textura original, se interpreta como parte de una evolución retrógrada desarrollada durante los pulsos finales del sistema. Las características petrográficas observadas son consistentes con un entorno de transición intermedia, donde persistía la circulación de fluidos reactivos bajo condiciones térmicas moderadas.

La última fase del sistema skarn estaría representada por la muestra 601001 (Figura 14), se destaca la presencia de esfalerita y calcopirita en relaciones de reemplazo, así como pirrotita intersticial (en muestra en macro), indicando que los procesos hidrotermales tardíos favorecieron la precipitación de sulfuros sobre las asociaciones previas. Esta etapa refleja condiciones retrógradas y la concentración final de metales en el yacimiento, consolidando la mineralización económica característica del skarn de Hualanyog. La coexistencia de minerales de alta y baja temperatura, sumada a la intensidad del reemplazo metasomático y a la abundancia de sulfuros, sugiere que esta muestra proviene de un sector con fuerte influencia térmica y química, ubicado en un entorno próximo al intrusivo, donde la circulación de fluidos hidrotermales fue persistente y altamente reactiva.

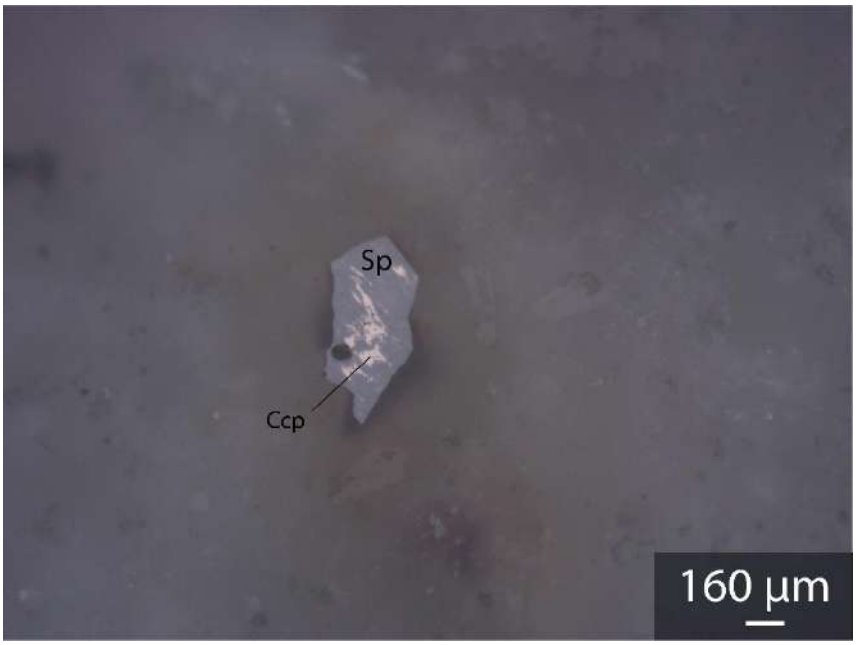


Figura 14: Fotomicrografía de la muestra 601001 (lamina delgada, nicoles cruzados, 10x). Fuente: Propia

La muestra 700308 (Figura 15 y 16) evidencia procesos de alteración superficial que modificaron las asociaciones minerales preexistentes en el skarn de Hualanyog. Se destaca la presencia de una textura de reemplazo compuesta por pirrotita, marcasita y pirita, que exhibe la característica textura de "ojo de pájaro". Esta estructura se manifiesta como núcleos residuales de pirrotita ($Fe_{1-x}S$) rodeados por coronas concéntricas de marcasita (FeS_2) de grano fino y bordes euhedrales de pirita (FeS_2), constituyendo el denominado “producto intermedio” resultante de la alteración de la pirrotita bajo condiciones oxidantes y de baja temperatura, esto vendría a ser puntual, debido a la naturalidad reductora del yacimiento. La esfalerita, presente en granos anhedrales, muestra fracturas rellenas de calcopirita y está asociada a venillas tardías de calcita que cortan la matriz. La naturaleza de esta alteración sugiere una etapa post-mineralización que afectó zonas más expuestas del sistema, sin descartar que su mineralización original corresponda a sectores más enriquecidos del skarn.

El análisis petrográfico de las muestras representativas del skarn Zn-Au de Hualanyog ha permitido caracterizar con solidez la

evolución mineralógica del sistema. No obstante, cabe precisar que no todos los minerales esperados se encuentran representados en las secciones microscópicas estudiadas. En particular, asociaciones vinculadas a wollastonita y mineralización aurífera, aunque no fueron reconocidas directamente a escala microscópica en los cortes seleccionados, han sido previamente identificadas mediante observación de campo y respaldadas por estudios microscópicos complementarios y análisis geoquímicos del yacimiento. Esta situación puede estar relacionada con la distribución localizada de dichas fases y con las restricciones inherentes a la orientación y representatividad de las secciones analizadas, sin que ello afecte la coherencia interpretativa del conjunto mineralógico definido.

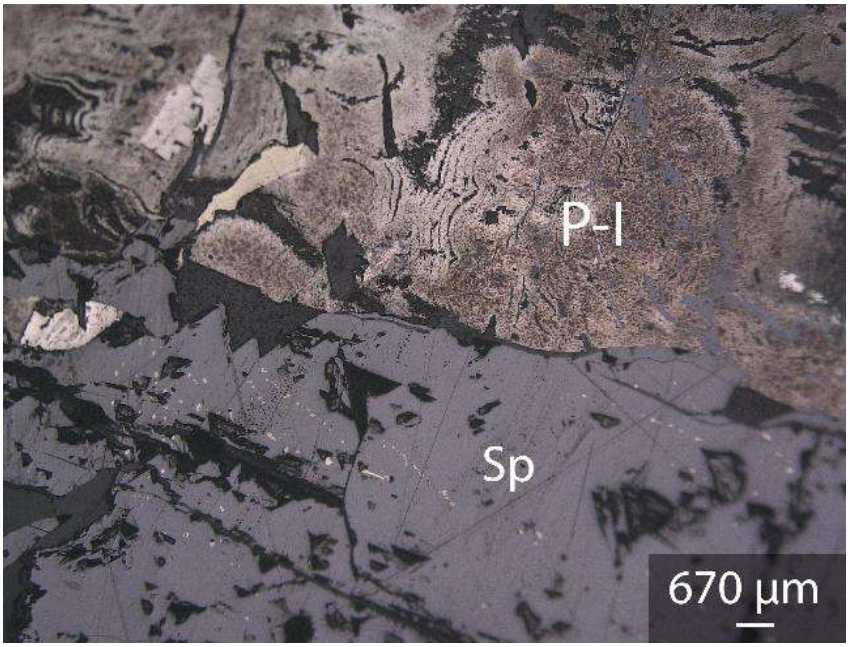


Figura 15: Fotomicrografía de la muestra 700308 (briqueta pulida, con analizador, 2.5x). Fuente: Propia

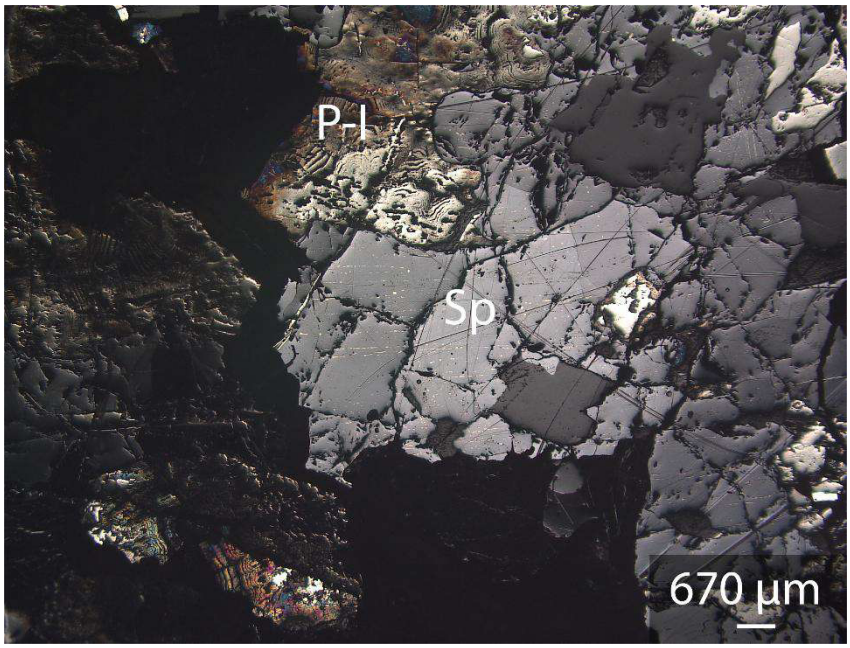


Figura 16: Fotomicrografía de la muestra 700308 (briqueta pulida, con analizador, 2.5x). Fuente: Propia

5.3. Análisis mineralógico por difracción de rayos X

En los análisis de difracción de rayos X (DRX) realizados sobre seis muestras seleccionadas de las treinta extraídas en el yacimiento Hualanyog, se identificaron asociaciones mineralógicas que reflejan la transición entre las facies prógradas y retrógradas reconocidas en el sistema skarn. La muestra 303001 contiene clinopiroxenos tipo diópsido y granates andradíticos, minerales típicos de la etapa prógrada temprana-media. Estos resultados corresponden a condiciones de alta temperatura durante el metasomatismo inicial, característico de la interacción entre fluidos hidrotermales ricos en calcio y hierro con las calizas circundantes, en concordancia con las texturas y asociaciones observadas en el análisis petrográfico de este sector.

En la muestra 305002 se observa una asociación mineral dominada por granates de la serie andradita-grossularia, lo que sugiere procesos metasomáticos cálcicos de alta temperatura en un exoskarn proximal. Este tipo de alteración está vinculado a reacciones de decarbonatación, donde el dióxido de carbono es liberado como producto secundario, y se relaciona con la presencia de granates y silicatos identificados ópticamente en la misma zona.

La muestra 900103 presenta wollastonita, vesuvianita y escapolita, minerales representativos del exoskarn distal. Estas fases se forman en ambientes más alejados del intrusivo y bajo temperaturas moderadas, donde predominan reacciones metasomáticas que involucran la interacción entre calcita y sílice, en línea con la zonación mineralógica descrita en las observaciones petrográficas para los sectores distales.

Por otro lado, la muestra 1000105 muestra una mineralogía compuesta por epidota, clorita y actinolita, asociada a la facie retrógrada del skarn. Estos minerales hidratados indican un descenso térmico y una mayor actividad acuosa durante esta etapa, donde los silicatos anhidros formados previamente son reemplazados por fases hidratadas, lo que también se refleja en las texturas de reemplazo observadas en lámina delgada.

En cuanto a las fases de mineralización, la muestra 1000601 está caracterizada por magnetita y hematita, lo que corresponde a la etapa principal de mineralización potásica asociada al evento intrusivo monzonítico. Esta mineralogía es típica de la fase tardía de mineralización potásica enriquecida en metales como Fe, Zn, As y Cu, y coincide con los sectores de mayor enriquecimiento metálico identificados en los mapas geoquímicos y en las asociaciones mineralógicas observadas en las muestras de mano y secciones pulidas.

5.4. Paragénesis del Yacimiento

El análisis de las muestras obtenidas del skarn de Hualanyog ha permitido establecer una secuencia de eventos geológicos que explican la formación y mineralización del sistema. La paragénesis refleja un ambiente reducido, característico de las rocas margosas y calizas ricas en materia orgánica que actuaron como protolito, lo que explica la predominancia de pirrotita sobre calcopirita y la distribución específica de minerales como marmatita (esfalerita), granates, clinopiroxenos, y la formación de oro en etapas tardías. El sistema ha experimentado tres eventos metasomáticos seguidos de dos eventos de mineralización económica (ver Tabla 2 y 4).

5.4.1. Formación del Skarn

El sistema skarn de Hualanyog muestra una secuencia paragenética clara que comienza con el metamorfismo isoquímico, donde el calor del intrusivo transforma las rocas encajonantes sin que ocurran cambios composicionales importantes. Este proceso, que se desarrolla entre 400 y 550 °C, genera texturas granoblásticas características, como se observa en la muestra 1000401, donde los piroxenos presentan orientación preferencial en una matriz de plagioclasas, lo que indica recristalización bajo condiciones térmicas. De igual manera, la muestra 106071 muestra una textura porfidoblástica con cristales idiomorfos de cuarzo y plagioclasa en una matriz de grano más fino, típica de corneanas formadas por metamorfismo de contacto. En ambas muestras, tanto la observación petrográfica como los resultados de DRX confirman la ausencia de minerales metasomáticos, lo que es consistente con una etapa previa al metasomatismo activo.

5.4.1.1. Fase Prógrada

Durante la fase prógrada, el metasomatismo se activa cuando los fluidos magmáticos comienzan a interactuar con las rocas carbonatadas a temperaturas entre 500 y 700 °C. En las zonas más cercanas al contacto, la muestra 303001 presenta clinopiroxenos tipo diópsido y granates andradíticos, identificados tanto en DRX como en lámina delgada, minerales que son típicos de la etapa prógrada temprana-media y que reflejan condiciones de alta temperatura y una fuerte interacción entre fluidos ricos en calcio y hierro con las calizas anfitrionas. Asimismo, la muestra 900103 contiene wollastonita, vesuvianita y escapolita, además muestra granates euhedrales en matriz de clinopiroxeno, lo que indica el reemplazo completo de la calcita original y la formación de un exoskarn proximal. Estas asociaciones reflejan el gradiente térmico y químico conforme el sistema evoluciona desde el núcleo hacia la periferia.

A medida que se incrementa la distancia al intrusivo, la disminución gradual de temperatura se traduce en cambios en las asociaciones minerales. La muestra 1000105, por ejemplo,

contiene epidota, clorita y actinolita según DRX, mientras que en la observación petrográfica se identifica esfalerita junto a clinopiroxenos, lo que indica condiciones de formación más moderadas y el inicio de procesos retrógrados. Esta transición desde asociaciones de alta temperatura a otras de menor temperatura queda reflejada en la secuencia mineralógica observada en las muestras y corresponde a la zonación espacial propuesta en el plano de zonación mineralógica.

5.4.1.2. Fase Retrógrada

Con el enfriamiento progresivo del sistema por debajo de 350 °C, se inicia la fase retrógrada, donde los fluidos hidrotermales ricos en volátiles favorecen la formación de asociaciones minerales hidratadas. La muestra 305002 muestra venillas de epidota y clorita que cortan las texturas originales, mientras que en DRX se confirma la presencia de estos minerales hidratados. Este tipo de alteración hidrotermal es aún más notorio en la muestra 700309, donde los piroxenos elongados están rodeados por epidotas, lo que demuestra cómo los minerales formados en condiciones de alta temperatura son reemplazados a medida que el sistema se enfría. Estas transformaciones retrógradas modifican las propiedades físicas y químicas de las rocas y preparan el terreno para los eventos de mineralización económica.

5.4.2. Evento de Mineralización

La etapa de mineralización económica muestra una evolución desde sulfuros masivos hasta una posible mineralización aurífera epitermal. En la muestra 300303 se observa cómo la pirrotita forma agregados masivos que reemplazan a los óxidos de hierro primarios, lo que indica condiciones reducidas durante la sulfuración principal. Este evento es seguido por una mineralización más tardía, representada en la muestra 601001 por esfalerita con inclusiones de calcopirita (“enfermedad de la esfalerita”), lo que señala la llegada de fluidos ricos en cobre en una etapa más fría del sistema. La secuencia completa, desde los primeros sulfuros hasta las últimas fases

mineralizadoras, queda documentada en estas muestras, que actúan como registros geológicos de la evolución del yacimiento, respaldados por la integración de los análisis DRX y petrográficos realizados en este estudio.

5.5. Reacciones Metasomáticas

En el depósito de skarn Zn-Au de la mina Hualanyog, la evolución mineralógica está determinada por una serie de reacciones metasomáticas que, tanto en la etapa prógrada como en la retrógrada, definen la zonación y la distribución de los minerales económicos y accesorios. La interacción entre fluidos hidrotermales y rocas carbonatadas, favorecida por la intrusión ígnea, impulsa una modificación progresiva de las asociaciones minerales, generando fases características como granates, piroxenos, wollastonita, epidota y clorita. Estas transformaciones, condicionadas por parámetros específicos de temperatura, presión y composición de los fluidos, se reflejan en la diferenciación de las zonas de endoskarn y exoskarn, y han sido modeladas siguiendo los principios de la petrogénesis metamórfica propuestos por Winkler (1979).

5.5.1. Metamorfismo Isoquímico (T: 400-550°C)

La interacción entre fluidos hidrotermales ricos en sílice y las calizas silíceas produce wollastonita, marcando el inicio de la zonación del skarn:

- **Decarbonatización de Calcita (exoskarn distal):**

  La secuencia inicia con el metamorfismo isoquímico, donde la infiltración de fluidos ricos en sílice en las calizas silíceas induce la formación de wollastonita, marcando el primer estadio de zonación del skarn. En esta etapa, la reacción de decarbonatización de la calcita puede representarse como:

$$CaCO_3(Calcita) + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2\uparrow$$

  Esta reacción, característica de baja presión parcial de CO_2, genera las primeras bandas de exoskarn ricas en wollastonita en las áreas distales (Winkler, 1979).

- **Formación de Corneanas de Biotita Secundaria en Lutitas:**
  Simultáneamente, en las pelitas magnesianas adyacentes, la estabilidad de clorita y moscovita se ve alterada bajo el efecto térmico del intrusivo, promoviendo la formación de biotita y andalucita según la reacción:

$$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2 + 3Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 2KAlSi_3O_8 \rightarrow$$
$$3KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + Al_2SiO_5 + 5SiO_2 + 6H_2O$$

  Este proceso, típico de condiciones de grado medio y presiones intermedias, marca la aparición de biotita como mineral indicativo del desarrollo de la aureola térmica (Winkler, 1979).

- **Formación de Corneanas de Piroxenos en Rocas Carbonatadas:**
  A medida que progresa la descarbonatización en las calizas dolomíticas, la interacción con sílice favorece la génesis de diópsido, un piroxeno cálcico-magnésico que caracteriza las zonas proximales al intrusivo. La reacción fundamental es:

$$CaMg(CO_3)_2(dolomita) + 2SiO_2 \rightarrow CaMgSi_2O_6$$
$$(diopsido) + 2CO_2\uparrow$$

- **Formación de Corneanas de Biotita Secundaria, KFeld, Calcita:**
  En paralelo, en las corneanas metapelíticas, la biotita secundaria se desarrolla a expensas de clorita y feldespato potásico, mediante la reacción:

$$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8 + 2KAlSi_3O_8 + MgO + SiO_2 \rightarrow$$
$$2KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + Al_2SiO_5 + 3SiO_2 + 4H_2O$$

  Este proceso, común en sedimentos pelíticos ricos en glauconita, cuarzo y feldespato, ocurre bajo condiciones de bajo grado térmico y contribuye a la diversificación mineralógica en el halo de contacto (Winkler, 1979, p. 212).

5.5.2. Procesos Metasomáticos en la Formación del Skarn

Con el establecimiento de las condiciones óptimas para el metasomatismo, se inicia la fase prógrada de formación del skarn.

- **Fase Prógrada (T: 550-700 °C)**

  La infiltración sostenida de fluidos cálcicos y silíceos promueve la nucleación de granates andradíticos en las zonas más cercanas al intrusivo:

  - **Formación de Granates Andradíticos en Exoskarn Proximal:**

    En las zonas más cercanas al intrusivo, la hematita reacciona con calcita y sílice para formar granates andradíticos:

$$3CaCO_3+Fe_2O3+3SiO_2 \rightarrow Ca_3Fe_2(SiO_4)_3\ (andradita)+3CO_2\uparrow$$

    Estos granates, ricos en Fe^{3+}, son típicos de skarns oxidados y marcan el núcleo de mayor temperatura del sistema (600–800 °C) (Winkler, 1979).

  - **Formación de Piroxenos Diópsidos:**

    De forma complementaria, la persistencia de la descarbonatización en rocas dolomíticas silíceas refuerza la formación de diópsido, consolidando la zonación interna del skarn:

$$CaMg(CO_3)_2 + 2SiO_2 \rightarrow CaMgSi_2O_6 + 2CO_2\uparrow$$

  - **Formación de Wollastonita en Exoskarn Distal:**

    En las áreas distales del exoskarn, donde la actividad de sílice permanece elevada, la calcita reacciona con sílice para generar wollastonita, según:

$$CaCO_3+SiO_2 \rightarrow CaSiO_3+CO_2\uparrow$$

- **Fase Retrógrada (T: 200-450°C)**

  Con el enfriamiento progresivo y el aumento de la actividad de H_2O, se inicia la fase retrógrada, donde los minerales anhidros formados previamente sufren

hidratación y alteración. En este contexto, la epidota se forma por la alteración de piroxenos cálcicos en presencia de fluidos hidrotermales ricos en Fe^{3+} y Al^{3+}:

- **Formación de Epidota en Exoskarn Retrógrado:**
  Durante la fase retrógrada del skarn, los fluidos hidrotermales ricos en H_2O y Fe^{3+} alteran minerales anhidros como piroxenos cálcicos, formando epidota. Una reacción representativa puede expresarse como:

$$4CaMgSi_2O_6\ (diópsido) + Fe_2O_3 + Al_2O_3 + 2H_2O \rightarrow Ca_2FeAl_2(SiO_4)_3(OH)\ (epidota) + 4MgO + 6SiO2 + CaO$$

  La aparición de epidota rica en Fe señala condiciones de aproximadamente de 300-400°C y presiones cercanas a 1 kbar (Winkler, 1979, p. 72).

- **Formación de Actinolita:**
  En ambientes aún más hidratados y de menor temperatura, el diópsido reacciona con MgO, sílice y agua para formar actinolita, un anfíbol típico de las facies de esquisto verde:

$$2CaMgSi_2O_6\ (diópsido) + 3MgO+4SiO2+H2O \rightarrow Ca2Mg5Si8O22(OH)2(actinolita)$$

  La presencia de actinolita indica el cierre del ciclo metamórfico de bajo grado y la transición a condiciones más oxidantes y húmedas (Winkler, 1979, p. 175).

- **Formación de Talco:**
  En las zonas distales, la interacción de dolomita, sílice y agua favorece la formación de talco, según la reacción:

$$3CaMg(CO_3)_2(dolomita)+4SiO_2+H_2O \rightarrow Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2\ (talco)+3CaCO_3+3CO_2\uparrow$$

Esta transformación es característica del metamorfismo de contacto en dolomías silíceas bajo condiciones de temperatura moderada y baja presión parcial de CO_2 (Winkler, 1979, p. 114).

- **Formación de Clorita**

  Por último, la hidratación de piroxenos en presencia de Al_2O_3 y agua conduce a la formación de clorita, mineral típico de facies de esquisto verde, siguiendo la reacción:

$$5CaMgSi_2O_6\ (diópsido) + Al_2O_3 + 3H2O \rightarrow Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_6\ (clorita) + 5CaO + 7SiO_2$$

  La clorita aparece asociada a epidota, actinolita y albita, reflejando un descenso térmico y un ambiente redox neutro a ligeramente reductor (Winkler, 1979, p. 175).

- **Formación de Sericita**

  Finalmente, durante la fase retrógrada, la alteración de feldespatos potásicos en presencia de fluidos ácidos y acuosos promueve la formación de sericita, liberando sílice:

$$3KAlSi3O_8 + 2H_2O \rightarrow KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2(sericita) + 6SiO_2\ (cuarzo) + 2KOH$$

  La sericita es estable en rocas pelíticas hidratadas y suele observarse junto a cuarzo, clorita y epidota en ambientes de bajo grado térmico (Winkler, 1979, p. 207).

  A continuación, se presenta un cuadro que resume la paragénesis del yacimiento, donde se describen las principales fases de alteración hidrotermal, los ensambles mineralógicos formados durante cada evento, los volátiles implicados y los principales metales presentes en el sistema. Este cuadro permite visualizar de manera organizada los diferentes estadios de

alteración y mineralización asociados a los eventos intrusivos en el Skarn de Hualanyog:

N°	Ensamble	Alteración	Evento	Metales	Volátiles	Evento Intrusivo
1	Biotita secundaria, Feldespato potásico, Paglioclasa	Potásica	Prógrada	–	CO_2	Stock
2	Granates (andradita-grosularia), Clinopiroxenos	Skarn	Prógrada	–	CO_2	Diorítico
3	Wollastonita, Vesuvianita, Escapolita	Skarn	Prógrada	–	CO_2	Diorítico
4	Epidota, Clorita, Actinolita	Skarn	Retrógrada	–	H_2O	Diorítico
5	Magnetita, Hematita	Potásica	Mineralización	Fe	Cl	Diorítico
6	Pirrotita, Marmatita, Arsenopirita, Calcopirita	Potásica	Mineralización	Fe, Zn, As, Cu	S	Diorítico
7	Oro nativo, electrum, bismutinita, telururos de Au	Sílica	Mineralización	Au, Bi	Cl, S	Diorítico
8	Cuarzo, feldespato, moscovita, minerales accesorios	Silícea	Post-mineralización	–	–	Aplítico - Monzonítico

Tabla 2. La tabla muestra un resumen paragenético del yacimiento Hualanyog, destacando los ensambles minerales, alteraciones hidrotermales, eventos de mineralización, volátiles y los intrusivos asociados en cada fase. Fuente: Propia

La síntesis paragenética del evento de mineralización en el skarn Zn-Au de Hualanyog mediante el resultado de la integración de los análisis petrográficos, DRX y la descripcion de las reacciones metasomáticas que definen la evolución mineralógica del sistema permiten comprender cómo la interacción entre fluidos hidrotermales y las rocas encajonantes, bajo condiciones térmicas y químicas variables, ha dado lugar a la secuencia de asociaciones minerales y a la distribución de los metales económicos en el yacimiento.

La tabla 2 resume esta evolución, mostrando cómo el proceso inicia con un metamorfismo isoquímico, donde la formación de biotita secundaria, feldespato potásico y plagioclasa bajo alteración potásica marca la primera interacción del stock diorítico principal con las rocas encajonantes. Esta etapa establece el marco térmico y químico para el desarrollo posterior del sistema metasomático.

A medida que el sistema evoluciona hacia la fase prógrada, se desarrollan ensambles mineralógicos típicos del skarn proximal, dominados por granates

(andradita-grosularia) y clinopiroxenos (diópsido-hedenbergita). Estos minerales se forman en presencia de fluidos ricos en CO_2 y hierro, y están directamente vinculados al evento intrusivo diorítico, que aporta el calor y los componentes químicos necesarios para la formación de estos calcosilicatos de alta temperatura.

En zonas más distales del skarn prógrado, el ensamble mineralógico se enriquece en calcio, con la aparición de wollastonita, vesuvianita y escapolita. Estas asociaciones reflejan condiciones de alta temperatura, pero con una mayor influencia de la composición de las rocas encajonantes y la interacción con diques dioríticos. La presencia de estos minerales indica una transición hacia ambientes metasomáticos más alejados del núcleo intrusivo, donde la disponibilidad de calcio y sílice es determinante.

Como muestra la Figura 17, que ilustra la distribución espacial de las facies minerales, la fase prógrada se caracteriza por ensambles de granates (andradita-grosularia) y clinopiroxenos (diópsido-hedenbergita) que se desarrollan proximalmente al intrusivo. Estos minerales, formados en presencia de fluidos ricos en CO_2 y hierro, reflejan las altas temperaturas (550-700°C) asociadas a la intrusión diorítica principal.

Con el enfriamiento progresivo del sistema, se desarrolla la fase retrógrada, en la que la hidratación adquiere un papel fundamental. Los minerales anhidros formados previamente son transformados en epidota, clorita y actinolita, bajo la influencia de fluidos hidrotermales dominados por H_2O. Esta etapa sigue estando asociada a la influencia de los diques dioríticos, pero refleja condiciones de menor temperatura y mayor actividad acuosa, típicas de la evolución tardía de los sistemas skarn.

La mineralización principal se manifiesta con la precipitación de óxidos como magnetita y hematita en condiciones de alteración potásica, incorporando hierro y volátiles ricos en cloro. Esta etapa está asociada a los eventos dioríticos, que continúan aportando los elementos necesarios para la formación de minerales metálicos. Posteriormente, se produce la formación de sulfuros como pirrotita, marmatita (esfalerita rica en hierro), arsenopirita y calcopirita, que aportan metales económicos como zinc, hierro, arsénico y cobre en un ambiente rico en azufre

La mineralización aurífera, representada por oro nativo, electrum, bismutinita y telururos de oro, se asocia a la alteración silícea y ocurre durante los eventos dioríticos, en condiciones de mayor actividad de cloro y azufre. Según Pearson (2019) y León Pimentel (2016), la presencia de oro en el sistema está vinculada a la interacción de fluidos hidrotermales con los ensambles de sulfuros y silicatos formados en las etapas previas, y no a eventos intrusivos posteriores.

Finalmente, el evento aplítico y monzonítico, caracterizados por la presencia de cuarzo, feldespato, moscovita y minerales accesorios bajo alteración silícea, corresponde a una etapa post-mineralización y marca el cierre del sistema hidrotermal, sin contribuir a la mineralización de metales económicos

La tabla 4 muestra la potencial paragénesis propuesta del skarn Zn-Au de la mina Hualanyog. El proceso inicia con el metamorfismo isoquímico, donde predominan cuarzo, plagioclasa y biotita secundaria en la matriz de los hornfels, minerales que son característicos de la recristalización térmica inicial (muestra 1000401). En este estadio, se observan venillas de cuarzo cortando la matriz y una foliación suave, además de restos orgánicos que indican el protolito sedimentario original.

Durante la fase prógrada, el metasomatismo introduce granates (grosularia/andradita), clinopiroxeno (diópsido), wollastonita y calcita, que forman asociaciones típicas de alta temperatura en los skarns. Estos minerales aparecen en texturas granoblásticas y masivas, y es frecuente encontrar relictos de piroxenos y zonas con mineralización de granate y epidota, lo que confirma la superposición de procesos y la transición entre fases (muestra 1000601). En esta muestra, la wollastonita y axinita intercrecen y se observan costras blancas asociadas a alteración hidrotermal, junto con relictos de piroxenos y zonas con granate y epidota. Los granates de grano fino, dispuestos en bandas delgadas y acompañados de anfíboles y venillas de calcita, también son evidentes en la matriz de skarns (muestra 110102).

Con el enfriamiento y la entrada de fluidos acuosos, la fase retrógrada se manifiesta por la transformación de minerales anhidros en epidota, clorita y actinolita. Estos minerales de alteración se desarrollan sobre plagioclasas y piroxenos previos, generando texturas hipidiomórficas y evidenciando la hidratación progresiva de la roca. La presencia de venillas de epidota y clorita

en rocas dioríticas y skárnicas respalda esta interpretación (muestra 305002), donde las plagioclasas aparecen parcialmente alteradas a epidota y clorita, acompañadas de anfíboles bien definidos.

La mineralización principal está marcada por la precipitación de óxidos y sulfuros de hierro, zinc y cobre, como magnetita, pirrotita, esfalerita (marmatita), calcopirita y pirita. Estos minerales se encuentran en la matriz de los skarns, asociados a granates y silicatos, y presentan texturas masivas y grano grueso. La esfalerita con inclusiones de calcopirita y la asociación con pirrotita y marmatita se observan en la matriz de skarns (muestra 303001), junto con granates y cuarzo. En otro ejemplo, la mineralogía está dominada por pirrotita y marmatita, con costras blancas sobre la pirrotita y venillas de cuarzo cortando la matriz (muestra 300303).

La mineralización tardía en el skarn Zn-Au de Hualanyog se interpreta como resultado de los últimos pulsos hidrotermales, donde los fluidos residuales, enriquecidos en elementos como oro, bismuto y telurio, precipitan metales preciosos y semimetales en ambientes de menor temperatura y condiciones físico-químicas reductoras. Esta interpretación se fundamenta en la observación de asociaciones minerales típicas de etapas finales en sistemas skarn, la evidencia geoquímica y los estudios microscópicos y de mena realizados en el depósito.

La mineralización tardía se caracteriza por la aparición de oro nativo, electrum, telururos de Au y bismutinita, generalmente en inclusiones finas dentro de la ganga de granates y sulfuros, así como en asociaciones con esfalerita, arsenopirita y pirrotita. La presencia de oro nativo ha sido documentada tanto en inclusiones microscópicas observadas en estudios de mena como en muestras de mano provenientes de mantos de marmatita masiva y exoskarn de granates y piroxenos. Esta mineralización se encuentra principalmente asociada a los mantos principales y secundarios, donde el oro aparece como inclusiones en sulfuros y en los intersticios de los calcosilicatos, respaldado por análisis geoquímicos y observaciones microscópicas detalladas en informes internos y campañas de muestreo sistemático (León Pimentel, 2016)

Como complemento a esta descripción, la Tabla 3 presenta la clasificación completa de las 30 muestras según su fase correspondiente (metamorfismo isoquímico, prógrado o retrógrado), permitiendo ubicar cada unidad en el contexto paragenético descrito.

Número de Orden	Código de Muestra	Tipo de Roca	Zona (Fase)
1	1000401	Corneana de Piroxenos	Met. Isoquímico
2	1000601	Skarn	Retrógrado
3	1000303	Dique Pórfido Monzonítico	
4	1000507	Dique Pórfido Diorítico	
5	110102	Skarn de Granates	Prógrado
6	305002	Dique Pórfido Diorítico	
7	303001	Skarn de Granates	Prógrado
8	305003	Dique Pórfido Diorítico	
9	300303	Skarn de Granates	Prógrado
10	300509	Dique Pórfido Monzonítico	
11	400603	Dique Aplítico	
12	400501	Dique Pórfido Diorítico	
13	400307	Skarn de Granates	Prógrado
14	400504	Dique Pórfido Monzonítico	
15	601001	Skarn de Granates	Prógrado
16	600308	Skarn de Granates	Prógrado
17	700308	Skarn de Granates	Prógrado
18	700309	Skarn de Piroxenos	Retrógrado
19	700506	Dique Pórfido Diorítico	
20	750909	Skarn de Piroxenos	Retrógrado
21	900103	Skarn de Granates	Prógrado
22	90507	Dique Pórfido Diorítico	
23	1003001	Skarn de Granates-Piroxenos	Retrógrado
24	1000310	Skarn de Piroxenos	Retrógrado
25	1000105	Skarn de Granates	Prógrado
26	1010809	Corneana	Met. Isoquímico
27	1010902	Dique Pórfido Diorítico	
28	1010702	Stock Cuarzo Diorítico	
29	106071	Corneana	Met. Isoquímico
30	10501	Dique Andesítico	

Tabla 3. Clasificación de las muestras analizadas de acuerdo a la zonación mineralógica del skarn de Hualanyog, Fuente: Propia

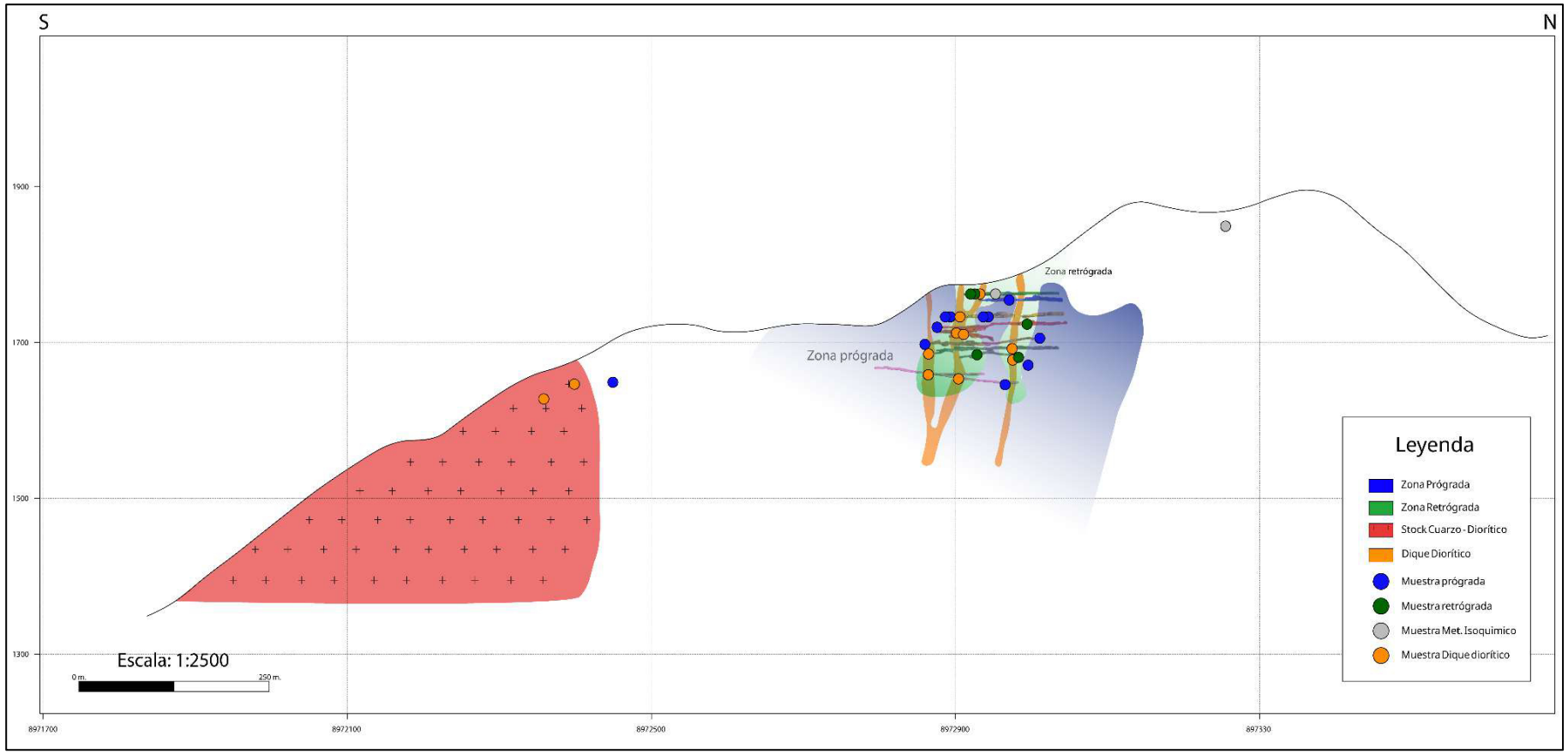


Figura 17. Zonificación potencial de las zonas prógrada y retrógrada del skarn de Hualanyog en sección, mostrando la distribución espacial relativa de los dominios mineralógicos respecto al perfil topográfico y los principales cuerpos intrusivos. Escala 1:2500. Fuente: Propia.

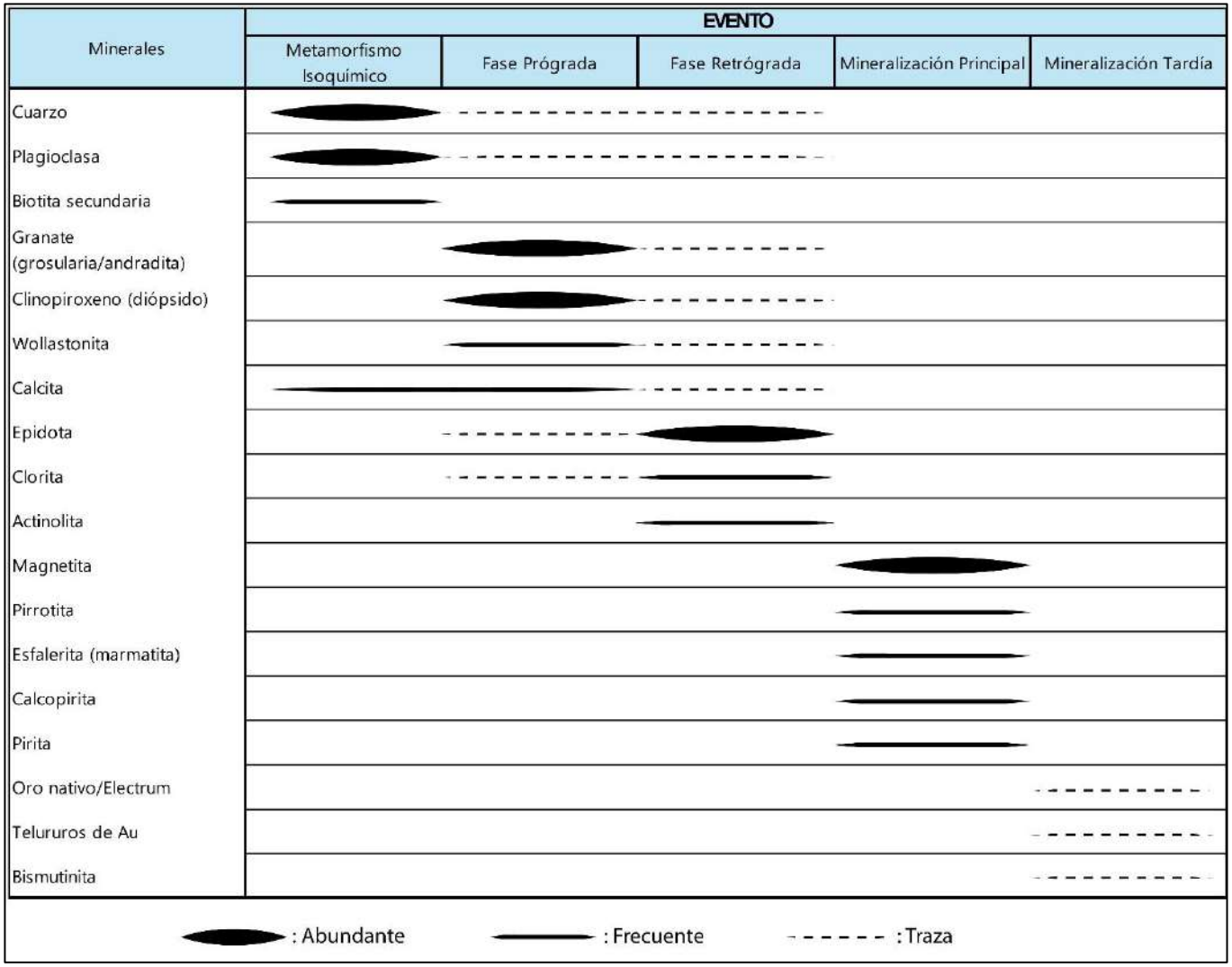


Tabla 4. Paragénesis mineral del skarn Hualanyog, mostrando la distribución de minerales en las fases prógrada y retrógrada. Fuente: Propia

5.6. Análisis Estructural

El yacimiento Hualanyog corresponde a un sistema de skarn con mineralización de zinc y oro, en el que las estructuras geológicas influyeron significativamente en la localización, distribución y enriquecimiento del mineral. El análisis estructural aportó al entendimiento de la evolución de este sistema hidrotermal.

Primeramente, se realizó un análisis de diagramas de rosas de las principales estructuras mapeadas tanto de datos superficiales como subterráneos, esta información conjunta se utilizó para generar los diagramas de rosas en 3 principales estructuras relevantes en la mina: Fallas, diques dioríticos y diques aplíticos (y monzoníticos).

En el caso de fallas, el diagrama muestra una familia predominante de orientación NE-SW, aunque también se observan familias secundarias con orientación hacia el eje NW-SE. Para los diques dioríticos, la familia predominante sigue también una dirección NE-SW, paralela a la zona de cizallamiento más relevante del yacimiento, pero cerca de una cuarta parte de los datos presenta rumbo NW-SE, lo cual evidencia la presencia de direcciones secundarias. En contraste, los diques aplíticos presentan un patrón más disperso, aunque existe una tendencia principal NW-SE, acompañada de otras direcciones menores; esto es coherente con el comportamiento observado en campo, donde estos cuerpos suelen mostrar un emplazamiento más disperso dentro de la mina.

En líneas generales, el análisis de los diagramas, muestran la existencia de dos orientaciones preferentes principales en el sistema estructural: por un lado, la dirección NE-SW, que predomina tanto en las familias de fallas como en los diques dioríticos y coincide con la orientación de la zona de cizalla; y por otro, la presencia de familias secundarias hacia el eje NW-SE. Esta dualidad sugiere que muchos de estos elementos estructurales pudieron haber experimentado reactivaciones o estar asociados a distintos eventos tectónicos superpuestos a lo largo de la evolución del yacimiento. Con esto, resulta importante comprender cómo la zona de cizalla Hualanyog, alineada en sentido NE-SW, ha condicionado el desarrollo estructural y la mineralización en el depósito

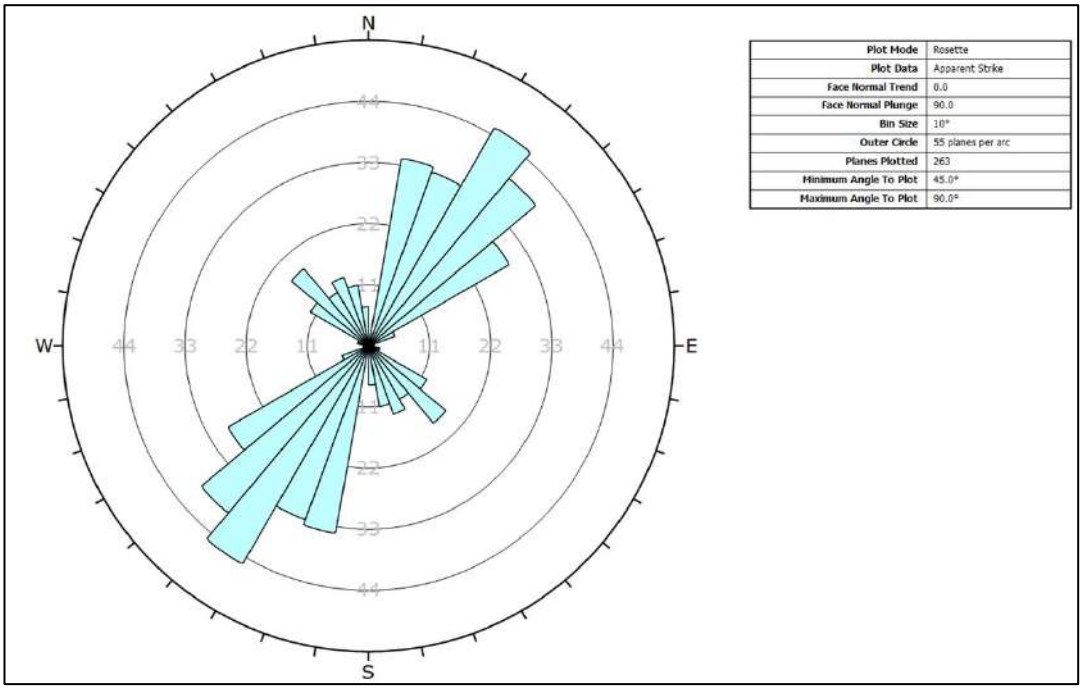


Figura 18. Diagrama de rosas de orientaciones de fallas superficiales y subterráneas en la mina Hualanyog. Se observa una predominancia en la dirección NE-SW, con familias secundarias NW-SE. Fuente: Propia

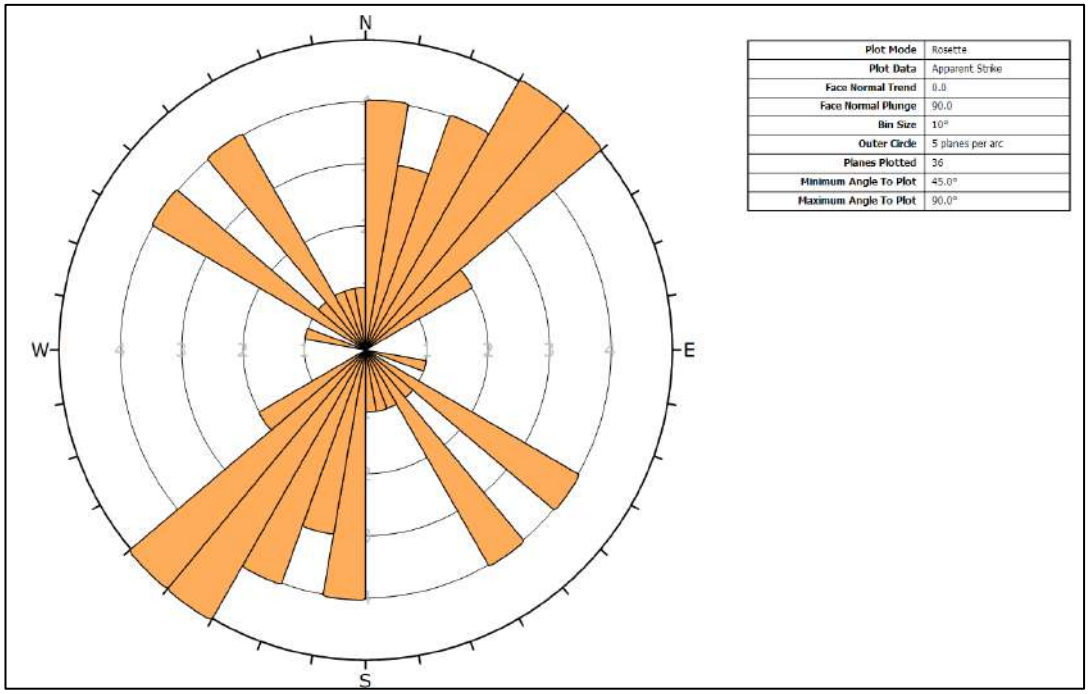


Figura 19. Diagrama de rosas de orientaciones de diques dioríticos en la mina Hualanyog. Se observa una predominancia en la dirección NE-SW, con familias secundarias NW-SE de mediana relevancia. Fuente: Propia

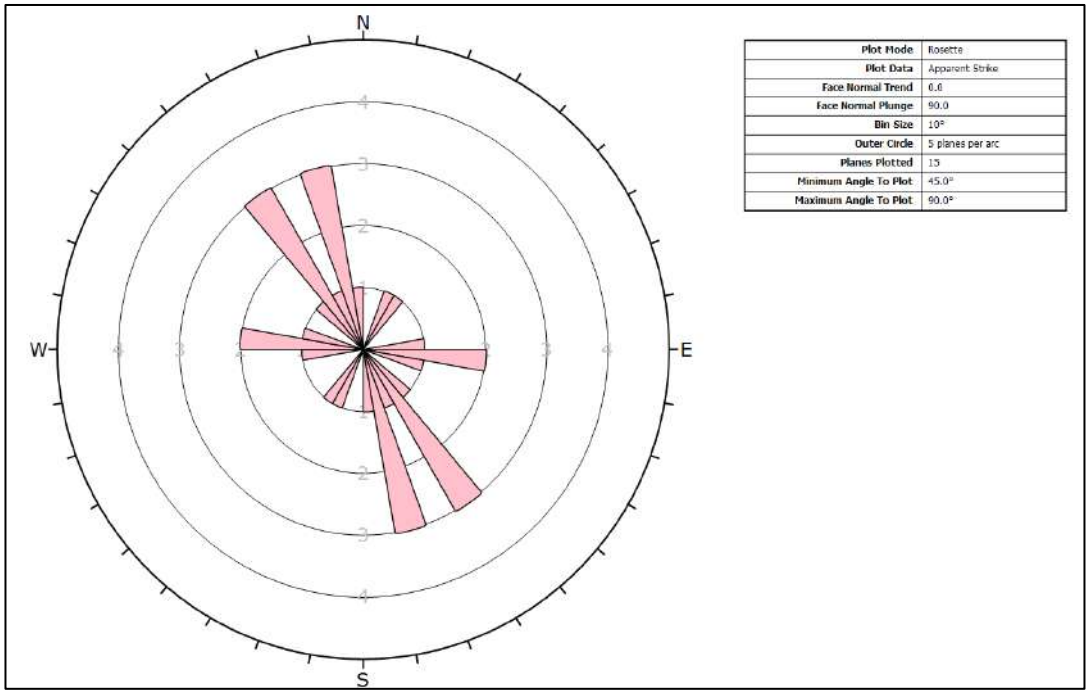


Figura 20. Diagrama de rosas de orientaciones para los diques aplíticos de la mina Hualanyog, Se observa un patrón disperso con tendencia principal NW-SE, acompañado de familias menores NWW SEE. Fuente: Propia

La Zona de Cizalla Hualanyog constituye el principal control estructural del sistema mineralizado, presentando una orientación regional NE-SW que puede ser trazada por al menos dos kilómetros de longitud continua. Esta estructura de naturaleza frágil-dúctil separa bloques de rocas menos deformadas y alteradas, actuando como el principal canal para la circulación de fluidos hidrotermales de alta temperatura.

Las evidencias del control ejercido por la Zona de Cizalla Hualanyog sobre la mineralización evidencian tanto en aspectos observables en superficie como en las labores subterráneas. Los análisis de campo muestran gran parte del desarrollo del skarn en Hualanyog se concentra dentro del corredor estructural NE-SW definido por la zona de cizalla. Esta correlación espacial entre la estructura tectónica y la alteración metasomática evidencia la función canalizadora de la zona de cizalla para los fluidos hidrotermales responsables de la transformación de las rocas carbonatadas. Los estudios geoquímicos históricos muestran que las leyes económicas se distribuyen preferencialmente a lo largo del corredor NE-SW, coincidiendo espacialmente con las zonas de mayor

desarrollo de skarn (Figura 23 y Figura 24). Esta distribución demuestra que la zona de cizalla no solo controló la alteración, sino también la precipitación de los metales económicos. Esta correlación espacial entre la estructura NE-SW y la mineralización coincide con los resultados del análisis de diagramas de rosas, donde la familia principal fallas y diques dioríticos presentan una orientación NE-SW, reforzando el papel de la zona de cizalla como corredor dominante para fluidos y mineralización. El análisis de 263 muestras mediante el índice granate/piroxeno revela una zonación mineralógica concéntrica que sigue la geometría de la zona de cizalla, con facies prógradas (granate-piroxeno) concentradas en el núcleo de la estructura y facies retrógradas (epidota-clorita) en los bordes y sectores distales.

La secuencia temporal de emplazamiento de diques proporciona evidencias sobre la evolución estructural del sistema. Los diques dioríticos presentes en Hualanyog exhiben una orientación preferencial NE-SW, paralela a la zona de cizalla principal. Sin embargo, es importante mencionar que estos diques dioríticos se emplazaron después de la formación de la zona de cizalla, aprovechando las fallas, fracturas y planos de debilidad ya establecidos por la deformación dúctil-frágil, ya que estos diques dioríticos no presentan evidencia de movimiento tectónico, lo que demostraría que su intrusión ocurrió cuando la zona de cizalla ya había completado su actividad principal de deformación. El predominio de orientaciones NE-SW de los diques dioríticos confirma su emplazamiento paralelo a la zona de cizalla ya establecida, mientras que la dispersión NW-SE en diques aplíticos refleja una fase tectónica posterior con rotación de esfuerzos. Además, el análisis petrográfico de estos diques muestra texturas porfídicas con evidencias de alteración hidrotermal, donde los fenocristales de plagioclasa muestran bordes de reacción y los minerales máficos han sido parcialmente alterados a clorita y epidota. Estas características indican también que los diques dioríticos no solo aprovecharon la zona de cizalla como canal de emplazamiento, sino que también participaron activamente en los procesos de alteración hidrotermal, aportando fluidos y calor al sistema metasomático.

En marcado contraste, los diques aplíticos presentan una orientación predominante NW-SE, perpendicular a la zona de cizalla principal. Esta diferencia orientacional constituye una evidencia clara de que su emplazamiento

ocurrió durante una fase tectónica posterior, cuando el campo de esfuerzos había rotado y se habían desarrollado fracturas tensionales transversales a la estructura principal. Los diques aplíticos muestran características texturales y mineralógicas distintivas que los diferencian claramente de los diques dioríticos: composición leucocrática, grano fino, ausencia de minerales máficos y escasa alteración hidrotermal. Estas características evidencian su naturaleza tardía y su emplazamiento en condiciones de menor temperatura, cuando el sistema hidrotermal principal ya había cesado su actividad.

La integración de datos geoquímicos históricos con el mapeo estructural revela una correlación espacial entre la Zona de Cizalla Hualanyog y las leyes económicas. Las muestras con concentraciones altas, tanto de Zn y Au se distribuyen siguiendo un patrón lineal NE-SW que coincide con la traza de la zona de cizalla. Esta correlación se mantiene tanto en el análisis de muestras superficiales como en las muestras de interior de mina, evidenciando que el control estructural se extiende desde la superficie hasta el laboreo en interior mina actualmente explorados.

La Zona de Cizalla Hualanyog funcionó como un sistema de alta permeabilidad que canalizó los fluidos hidrotermales desde su fuente magmática hasta las rocas carbonatadas encajonantes. La deformación dúctil-frágil generó una red de fracturas interconectadas y planos de foliación que proporcionaron los caminos preferenciales para la migración de fluidos (Figura 22). La efectividad de este sistema de canalización se evidencia en la intensidad y extensión de la alteración metasomática, que transformó completamente las calizas y lutitas originales en un corredor de skarn de varios cientos de metros de longitud.

Las intersecciones entre la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y las fracturas transversales (NW-SE) constituyeron focos hidrotermales activos del sistema. En estos nodos estructurales, la convergencia de flujos de fluidos hidrotermales generó condiciones de sobrepresión y sobresaturación que favorecieron la precipitación masiva de sulfuros y óxidos metálicos. La evidencia de esta focalización se observa en la distribución de las zonas de ley economica, que coinciden sistemáticamente con las intersecciones estructurales mapeadas. Además, también, esto se refuerza por la presencia de familias secundarias NW-SE en los diagramas de rosas (familias secundarias de diques dioríticos y predominante en aplíticos) explica la formación de estos nodos

estructurales, donde la intersección con fracturas transversales favoreció la sobrepresión de fluidos y la precipitación de sulfuros.

La evolución estructural y temporal del yacimiento Hualanyog puede resumirse en una secuencia de eventos tectónicos bien definida (Figura 21), que explica la superposición de procesos deformacionales, magmáticos e hidrotermales responsables de la arquitectura actual del sistema mineralizado. Esta secuencia, fundamentada en la bibliografía y en los estudios de campo realizados, se detalla a continuación:

1. **Plegamiento Inicial (F1)**
   - Deformación compresiva regional NW-SE.
   - Formación de pliegues anticlinales y sinclinales.
   - Edad: Cretácico Medio (Formaciones Santa y Carhuaz del Grupo Goyllarisquisga, descrito en León Pimentel, 2016).

2. **Desarrollo de Zona de Cizallamiento**
   - Activación de la zona de cizallamiento NE-SW.
   - Deformación frágil-dúctil.
   - Generación de foliación milonítica (León Pimentel, 2016; Pearson, 2019).

3. **Intrusión Sin-Tectónica**
   - Emplazamiento de diques dioríticos en la zona de cizallamiento.
   - Alteración hidrotermal sílico-potásica.
   - Edad: Oligoceno (33.85 ± 0.03 Ma) (datación Ar-Ar en biotita alterada de diorita, en informe técnico de Pearson, 2019).

4. **Mineralización Hidrotermal**
   - Precipitación de sulfuros Au-Zn en zonas de mayor permeabilidad estructural.
   - Alteración de skarn y endoskarn.

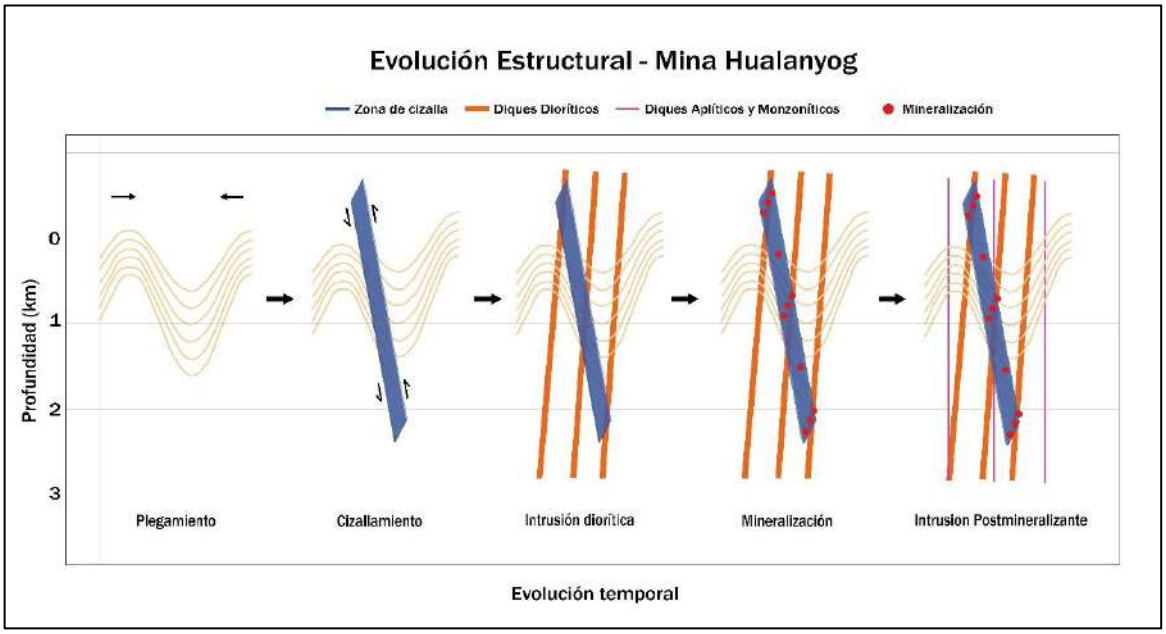


Figura 21. Modelo conceptual en sección que ilustra la evolución estructural y mineralización en Hualanyog, mostrando el desarrollo de la zona de cizallamiento (shear zone), la intrusión de diques y la secuencia de eventos mineralizantes. Fuente: Propia

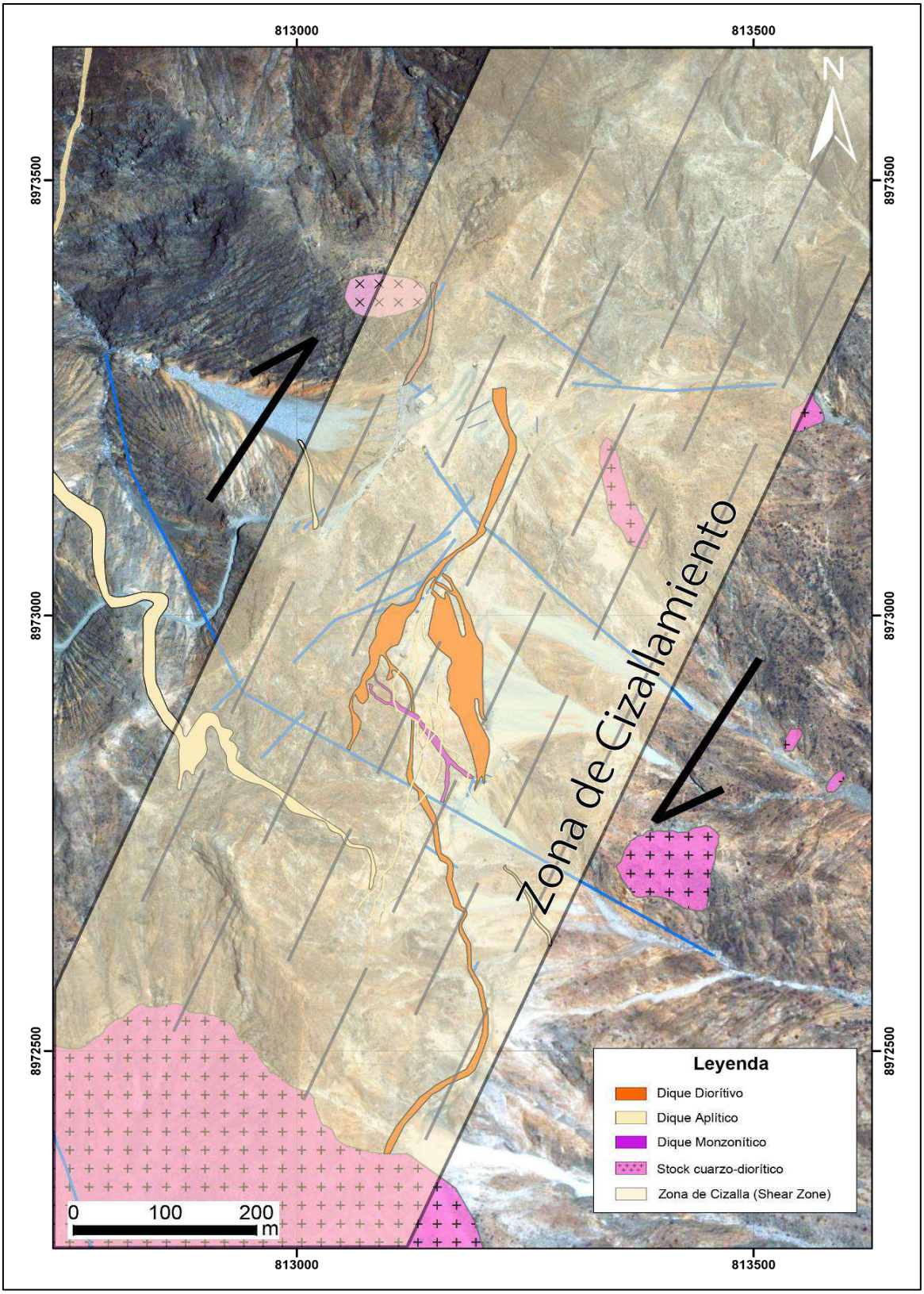


Figura 22. Ilustración de la zona de cizallamiento de la mina Hualanyog, mostrando el desarrollo la intrusión de diques dioríticos, monzoníticos, apliticos y stocks. Fuente: Propia

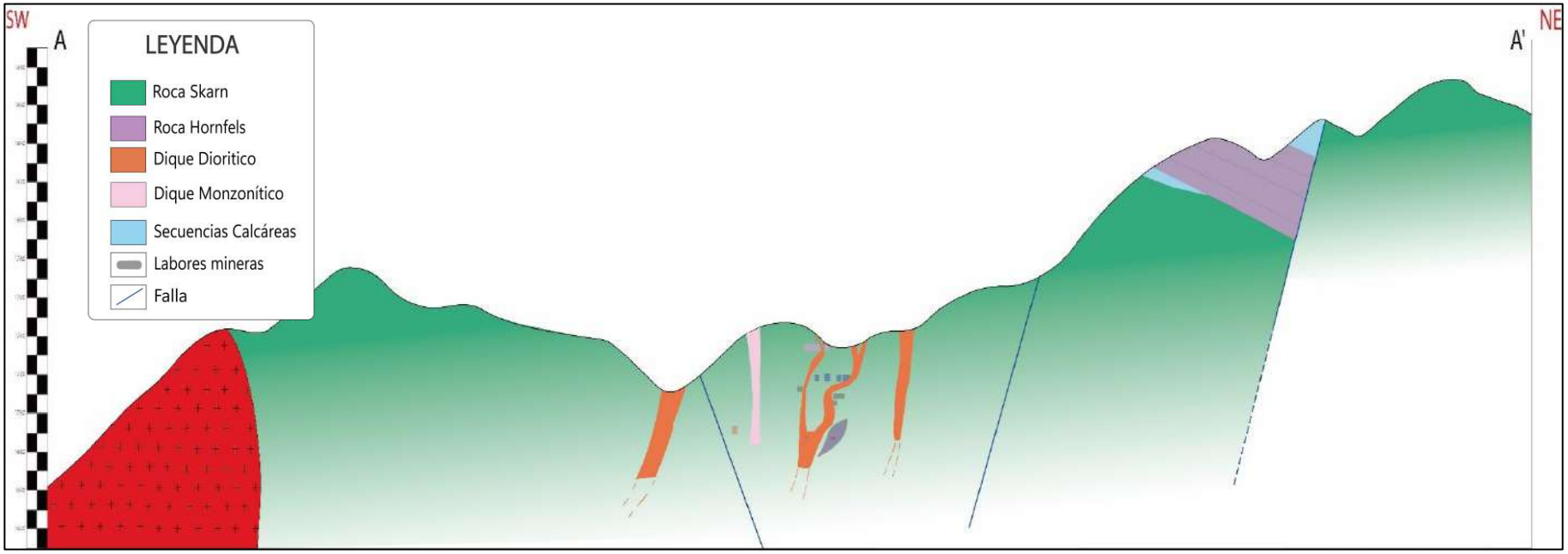


Figura 23. Sección longitudinal SW-NE de la mina Hualanyog a escala 1:1200 horizontal y 1:1000 vertical. Muestra la intrusión del stock de cuarzo diorita piroxénica, generando un skarn extenso rodeado de lutitas al NE a lo largo de la zona de cizallamiento. Los diques dioríticos y monzoníticos cortan las secuencias litológicas y están controlados por fallas locales y la ubicación de la mina en el centro. Fuente: Propia

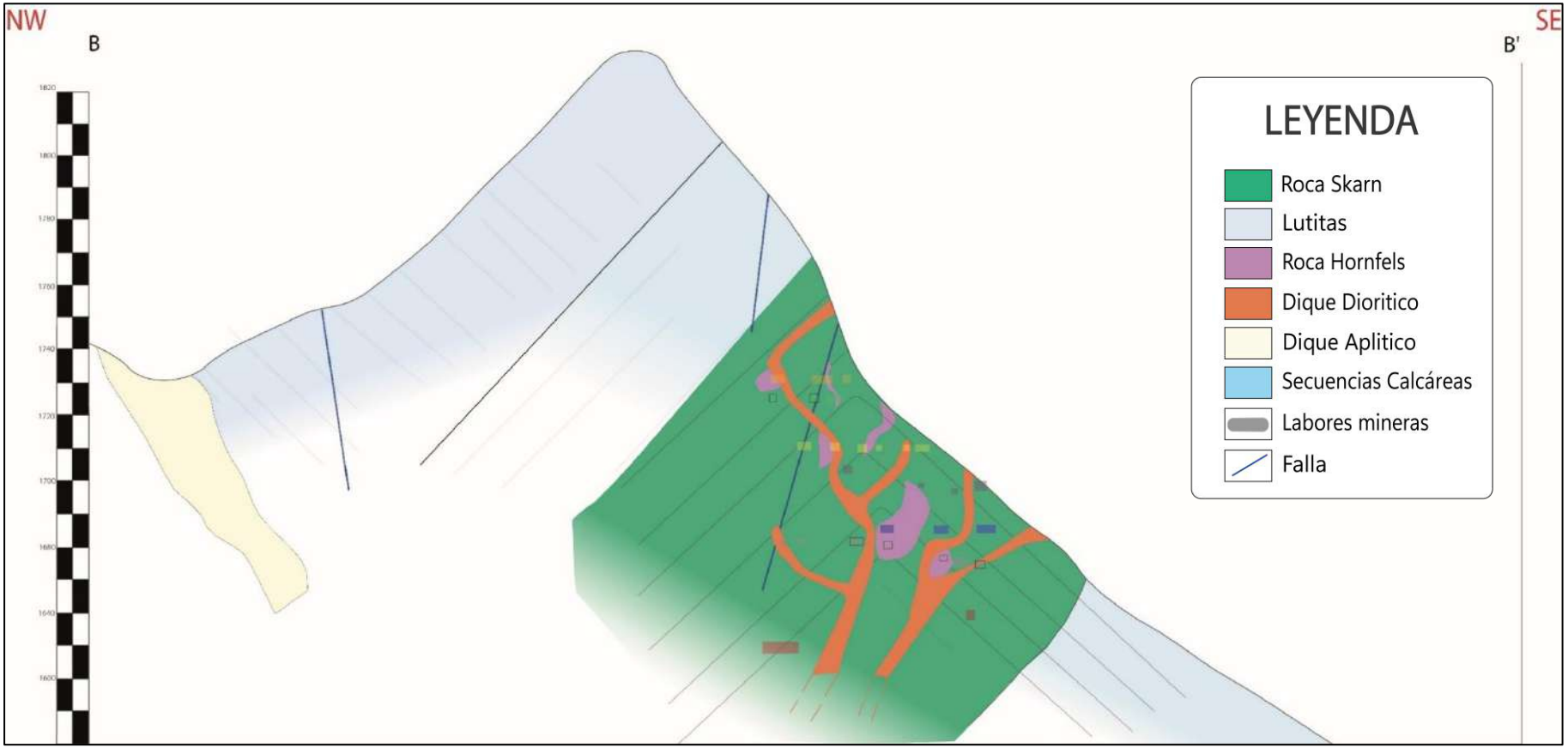


Figura 24. Sección transversal NW-SE de la mina Hualanyog a escala 1:1500 horizontal y 1:1000 vertical. Muestra la distribución del skarn en el flanco SE del anticlinorio a lo largo de la zona de cizallamaineto, asociado con la intrusión de diques dioríticos. Se observa la disposición de los niveles de las labores mineras. Fuente: Propia

5.7. Análisis Geoquímico de Muestras Históricas

La mina Hualanyog cuenta con una base de datos geoquímicos históricos de muestras superficiales, provenientes de campañas de muestreo previas realizadas en diferentes sectores del yacimiento. Estas muestras, georreferenciadas y analizadas para diversos elementos, constituyen una herramienta fundamental para el análisis exploratorio de la distribución de metales como zinc (Zn) y oro (Au) en el área de estudio. El conjunto de datos analizado comprende un total de 605 muestras (ver detalle en Anexos, Tabla 7), distribuidas a lo largo de la concesión, lo que permite una cobertura espacial amplia y representativa de las diferentes unidades geológicas presentes en el yacimiento.

El procesamiento de los datos geoquímicos históricos incluyó la verificación, limpieza y normalización de la información, asegurando la consistencia y calidad de los registros. Se realizó un análisis exploratorio de datos (EDA) para identificar patrones de distribución, tendencias espaciales y posibles anomalías en las leyes de Au y Zn. Este análisis permitió establecer umbrales geoquímicos y detectar valores atípicos que podrían indicar zonas de mayor interés económico o sectores con procesos mineralizadores diferenciados.

Ahora, para la visualización de los resultados de las muestras geoquimicas, se elaboraron mapas en planta de las leyes de Au y Zn, utilizando las coordenadas UTM de cada muestra (Figura 25 y 26). Estos mapas permiten identificar de manera clara la distribución espacial de los metales de interés y la presencia de anomalías geoquímicas en el área de estudio. Adicionalmente, se generaron histogramas y gráficos de dispersión para analizar la relación entre los elementos de interés y definir umbrales relevantes.

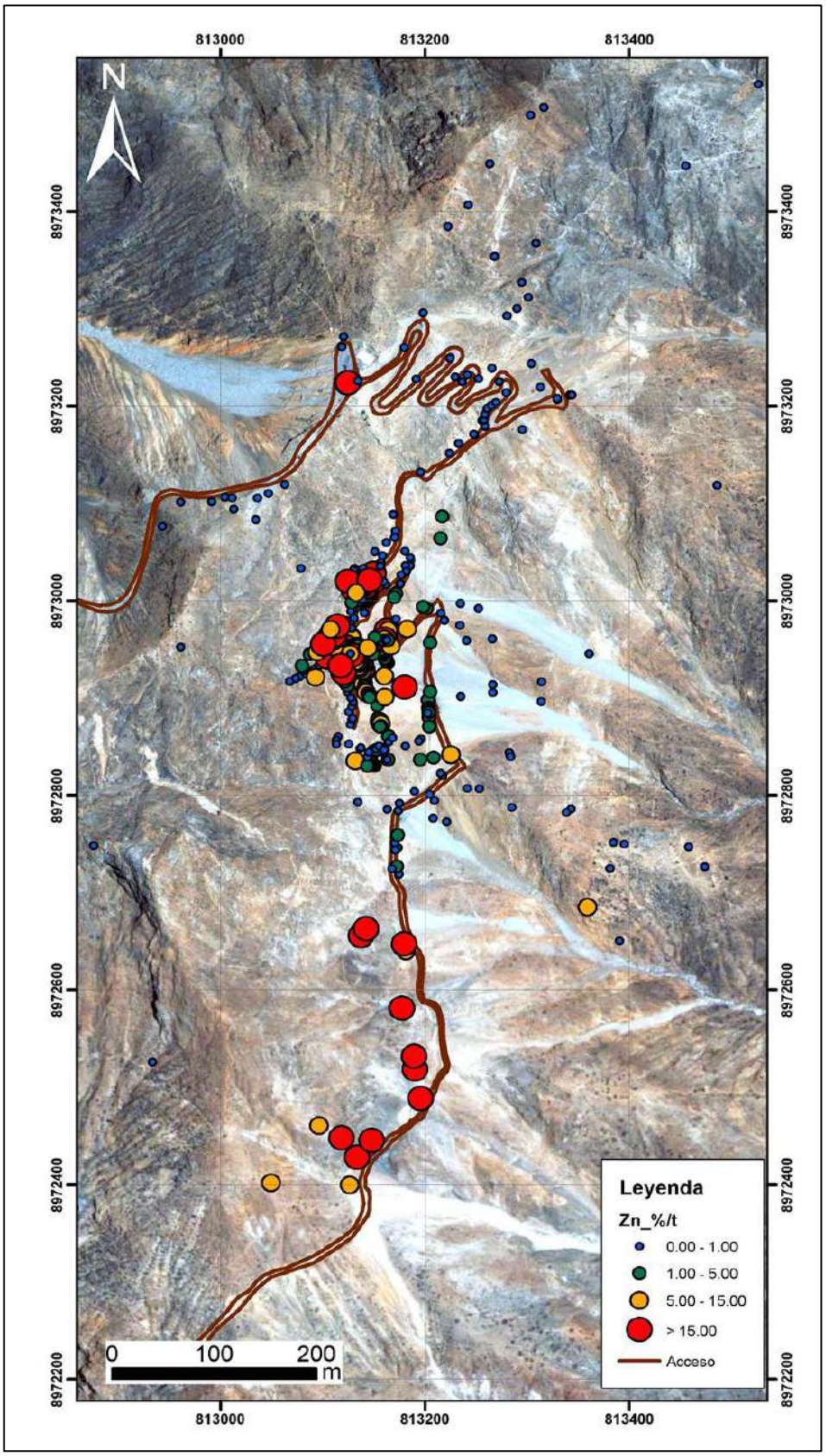


Figura 25. Distribución espacial de las concentraciones de zinc (Zn) en muestras superficiales históricas de la mina Hualanyog (vista satelital), representadas por intervalos de ley y tamaño de símbolo. Fuente: Propia

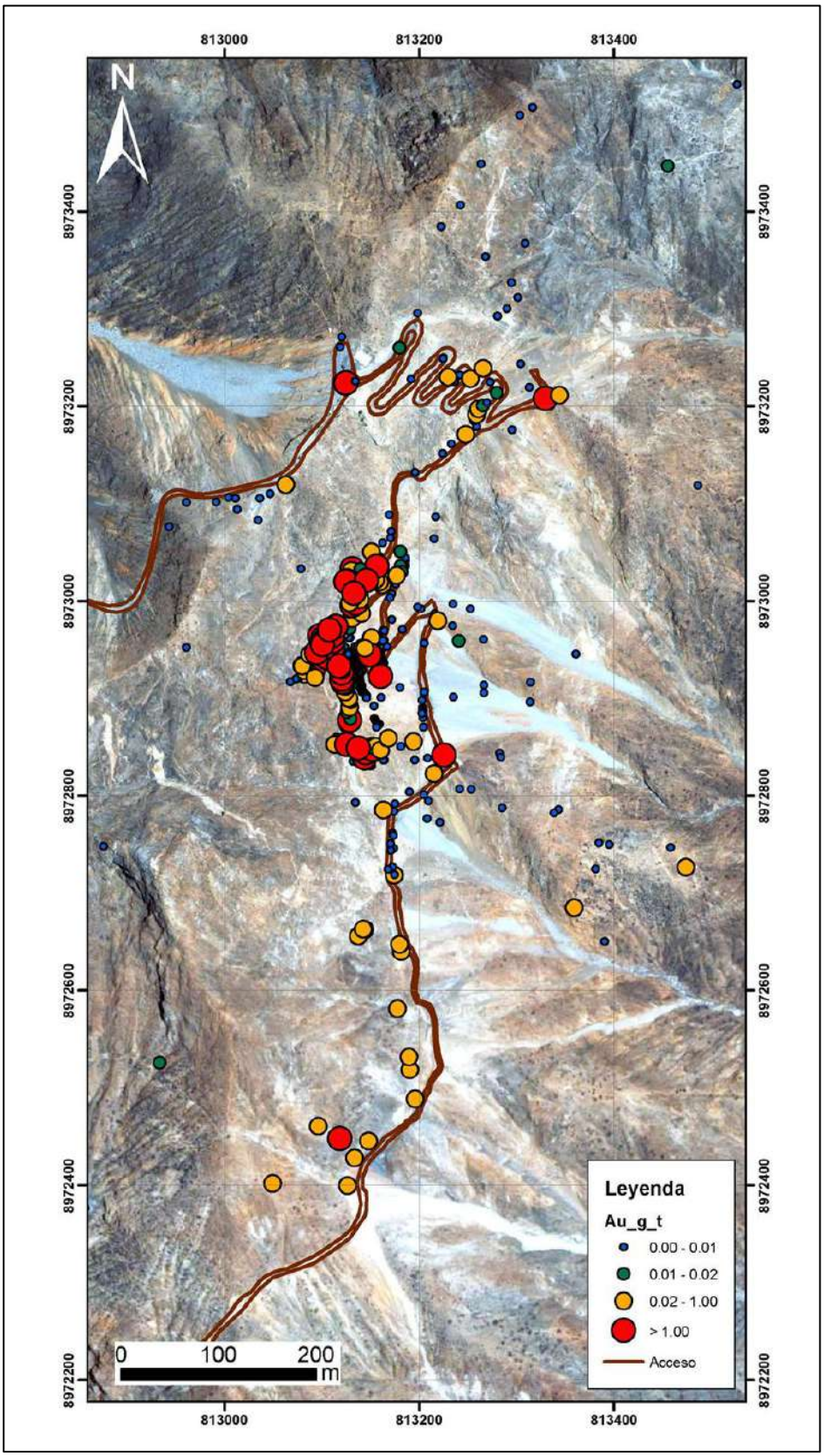


Figura 26. Distribución espacial de las concentraciones de oro (Au) en muestras superficiales históricas de la mina Hualanyog (vista satelital), representadas por intervalos de ley y tamaño de símbolo. Fuente: Propia

Tras la elaboración de los mapas en planta y el procesamiento estadístico de los datos ajustados, los histogramas logarítmicos obtenidos (Histograma 1 para Zn e Histograma 2 para Au) revelan patrones de distribución claramente diferenciados que confirman las características geoquímicas esperadas para un sistema de skarn. El análisis de estos histogramas permite establecer umbrales objetivos cuantitativos y validar la zonación metasomática presente en Hualanyog.

El Histograma 1 (Zn) exhibe una distribución bimodal característica, con un pico pronunciado en valores de fondo geoquímico (P10 = 0.01%) y una distribución gradual hacia concentraciones anómalas. La mediana de 1.00% (P50) establece el umbral entre el fondo geoquímico regional y las zonas con influencia hidrotermal, mientras que el percentil 90 de 10.00% delimita claramente las zonas de skarn proximal con enriquecimiento significativo de zinc. La presencia de una cola extendida hacia valores superiores a 15% confirma la existencia de sectores con concentraciones excepcionales, típicas de zonas de reemplazo metasomático intenso donde predominan las asociaciones granate-piroxeno-esfalerita.

Por su parte, el Histograma 2 (Au) muestra una distribución extremadamente concentrada en el límite de detección analítica, con P10 y P50 coincidentes en 0.01 g/t, indicando que el 50% de las muestras se mantienen en el fondo geoquímico regional. Sin embargo, el percentil 90 de 0.70 g/t evidencia la presencia de anomalías auríferas discretas pero significativas. Esta distribución sugiere que el oro presenta un comportamiento geoquímico más selectivo que el zinc, concentrándose preferentemente en estructuras específicas o zonas de intersección favorable, probablemente asociadas a la fase retrógrada del metasomatismo o a eventos hidrotermales tardíos relacionados con reactivaciones tectónicas

La importancia de estos resultados radica en que proporcionan criterios cuantitativos para proponer una zonación preliminar del sistema de skarn en Hualanyog. Las muestras con Au >0.70 g/t y Zn >10.00% (percentil 90) se concentran en sectores que coinciden espacialmente con el skarn proximal, caracterizado por la asociación granate-piroxeno-esfalerita y temperaturas de formación superiores a 400°C. Por otro lado, los valores de Zn entre 1.0% (P50) y 10.00% (P90) delimitan zonas de transición hacia el skarn distal, dominado

por wollastonita-epidota-pirita, donde los fluidos hidrotermales alcanzaron temperaturas menores a 300°C durante etapas retrógradas. Esta relación cuantitativa entre leyes metálicas y facies mineralógicas sugiere que los percentiles obtenidos podrían servir como indicadores geoquímicos clave para mapear la arquitectura del skarn, vinculando anomalías específicas a procesos metasomáticos diferenciados en el espacio y el tiempo.

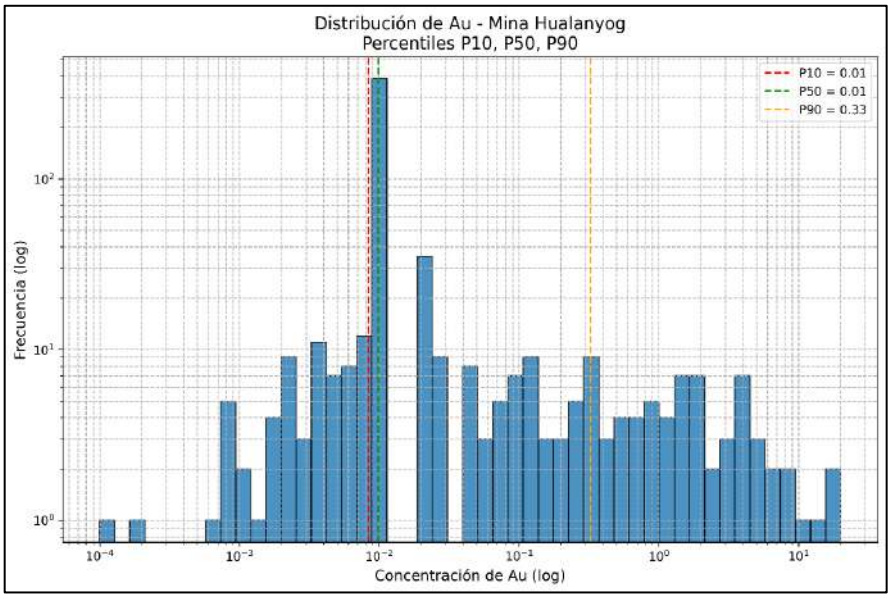


Figura 27. Distribución logarítmica de Au en muestras superficiales históricas, con percentiles P10, P50 y P90 indicados. Fuente: Propia

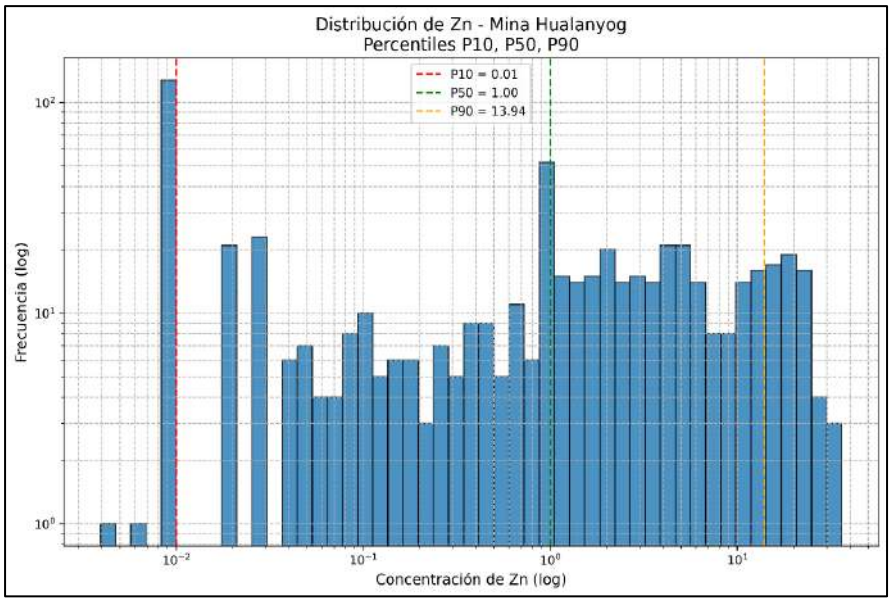


Figura 28. Distribución logarítmica de Zn en muestras superficiales históricas, mostrando los percentiles P10, P50 y P90. Fuente: Propia

La imagen correspondiente al histograma 3 muestra la distribución conjunta de las leyes de zinc y oro en las muestras superficiales del yacimiento Hualanyog, utilizando escalas logarítmicas para ambos ejes. En este gráfico, cada punto representa una muestra y los colores diferencian los dominios geoquímicos definidos a partir de los percentiles 90 de Zn (10.00%) y Au (0.70 g/t). Se observa que las muestras clasificadas como skarn proximal (en rojo) se agrupan en el cuadrante superior derecho, presentando simultáneamente altos valores de zinc y oro. Este agrupamiento refleja la coexistencia de ambos metales en sectores asociados a facies de granate-piroxeno, próximos al contacto intrusivo y sometidos a temperaturas elevadas, lo que es coherente con la zonación metalogénica documentada por Meinert (1987) y Einaudi y Burt (1982). Las muestras de skarn distal (en naranja) se ubican principalmente en el cuadrante inferior derecho, caracterizándose por altas concentraciones de zinc, pero bajos valores de oro, lo que corresponde a zonas más alejadas del intrusivo y dominadas por asociaciones mineralógicas como esfalerita y wollastonita (Meinert, 1987; USGS, 1995). El dominio intermedio o fondo geoquímico (en celeste) abarca la mayor parte de las muestras, distribuyéndose en el resto del diagrama y reflejando valores de Zn y Au inferiores a los umbrales definidos, lo que indica sectores con menor influencia de los fluidos mineralizantes o áreas donde la mineralización es más difusa.

El uso de los percentiles 90 como umbrales para esta clasificación se fundamenta en la propuesta de Einaudi y Burt (1982), quienes destacan que este criterio estadístico permite discriminar de manera objetiva entre el fondo geoquímico regional y las verdaderas anomalías asociadas a procesos mineralizadores en sistemas skarn. Meinert (1987) demostró que la zonación metalogénica en depósitos skarn, como el Groundhog Mine, puede delimitarse mediante la distribución de metales en función de su distancia al intrusivo y su temperatura de formación, mientras que el USGS (1995) menciona que el uso de umbral geoquímico es una herramienta eficaz para la clasificación de zonas mineralizadas, facilitando la interpretación de la arquitectura de los yacimientos polimetálicos y contribuyendo a la identificación de zonas de interés económico. Además, el uso de umbrales de percentiles ha sido ampliamente respaldado en estudios y proyectos recientes de exploración minera. En estos proyectos, los percentiles elevados, como el percentil 90, se han utilizado para identificar

anomalías geoquímicas significativas, discriminando zonas con alto potencial mineralógico. Un ejemplo de esto es el proyecto de Vulcan Minerals Inc. (2023), en el cual se utilizaron umbrales de percentiles para identificar importantes anomalías geoquímicas en zinc y plomo en el proyecto Carbonear. De manera similar, en el proyecto de Minera Fortuna SCM (2021), se aplicaron percentiles elevados para clasificar muestras geoquímicas, ayudando a identificar zonas de interés mineralógico y facilitando la interpretación de los datos geoquímicos.

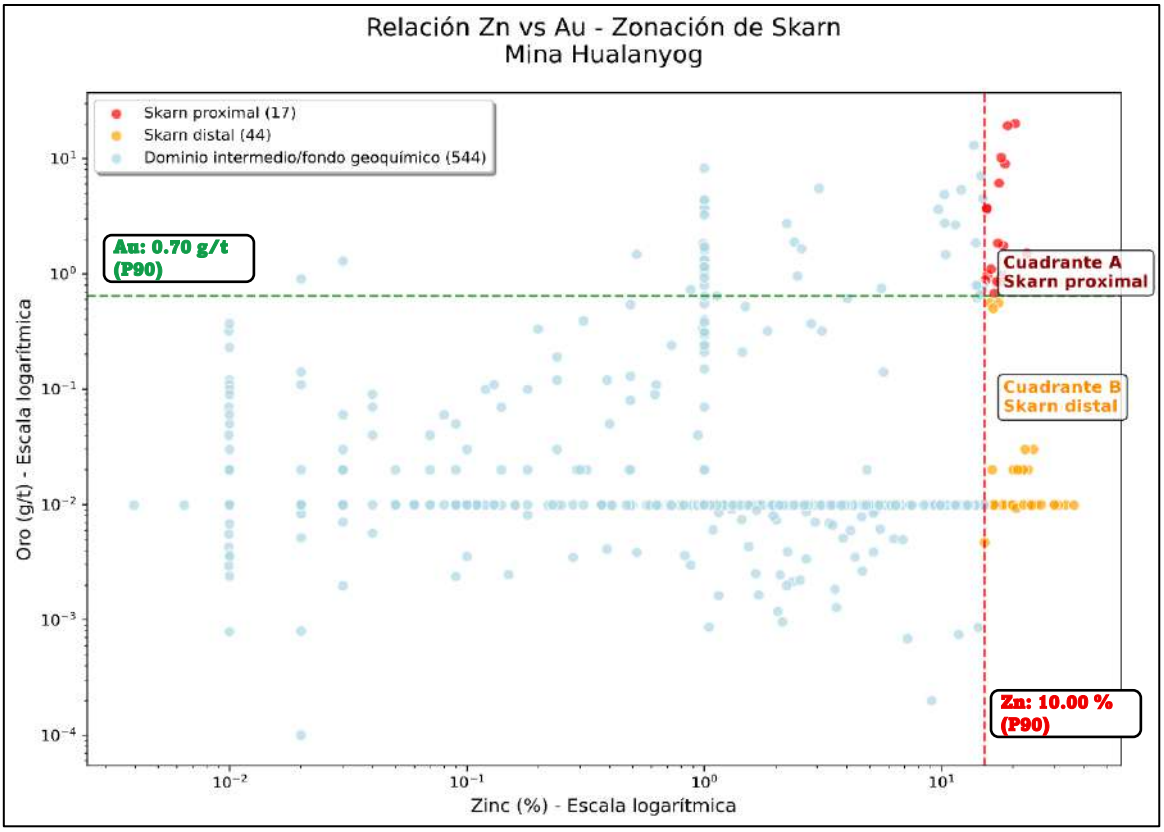


Figura 29. Distribución conjunta de Zn y Au en muestras superficiales, mostrando la zonación preliminar de skarn proximal, distal e intermedio/fondo geoquímico en Hualanyog según percentiles 90 de ambos elementos. Fuente: Propia

La zonificación geoquímica propuesta fue complementada mediante un análisis mineralógico detallado de 263 muestras provenientes de diferentes sectores y niveles del yacimiento Hualanyog (ver detalle en Anexos, Tabla 6). En este análisis se evaluó la abundancia relativa de granates y piroxenos como indicadores de proximidad a la fuente de los fluidos metasomáticos. De estas muestras, 30 corresponden al presente estudio, en el que se realizaron análisis macroscópicos, microscópicos y, en seis casos seleccionados, análisis de

difracción de rayos X (DRX), que proporcionaron datos cuantitativos sobre la abundancia mineral.

Para integrar la información mineralógica cualitativa (257 muestras) y cuantitativa (6 muestras), se desarrolló un índice basado en la relación de abundancia entre el mineral principal (MIN1) y el secundario (MIN2), enfocado en la proporción granate/piroxeno. Este índice asigna valores cercanos a 1 cuando predomina el granate, típico de skarn proximal, y valores cercanos a 0 cuando predomina el piroxeno, propio de zonas distales. La distribución espacial de estos valores permitió establecer una zonación mineralógica que muestra un notable paralelismo con la zonación geoquímica previamente definida mediante los percentiles de Zn y Au (Figura 30).

La zonación resultante, representada en la Figura 31, identifica tres dominios principales: skarn proximal, skarn intermedio y skarn distal. Esta configuración sigue un patrón concéntrico coherente con el modelo clásico de zonación de skarns descrito por Einaudi et al. (1981) y Meinert (1992), en el que las asociaciones minerales evolucionan desde facies ricas en granate en el núcleo proximal hasta facies dominadas por piroxeno en los bordes más alejados.

El skarn proximal, correspondiente a índices granate/piroxeno superiores a 0.75, presenta un predominio de granates de la serie grosularia-andradita, que reflejan condiciones de formación a temperaturas entre 400-600 °C, con fuerte interacción con fluidos ricos en Fe y Ca, como documentan Lajoinie et al. (2013) en sistemas similares. Esta zona coincide espacialmente con las principales anomalías geoquímicas de Zn >10.00% y Au >0.70 g/t, lo que refuerza la correlación entre mineralogía y geoquímica como base de la zonificación.

La zona intermedia (índices entre 0.25 y 0.75) representa un dominio de transición donde se observa una coexistencia variable entre granates y piroxenos, indicando una disminución progresiva de la temperatura e intensidad metasomática. La representación fotográfica incluida en la Figura 13 refuerza esta interpretación: en ella se aprecia una muestra característica de esta zona donde se identifican cristales de granate verde y pardo coexistiendo en una misma matriz, lo que evidencia una distribución equitativa de ambos tipos de granates y respalda su clasificación como un entorno intermedio.

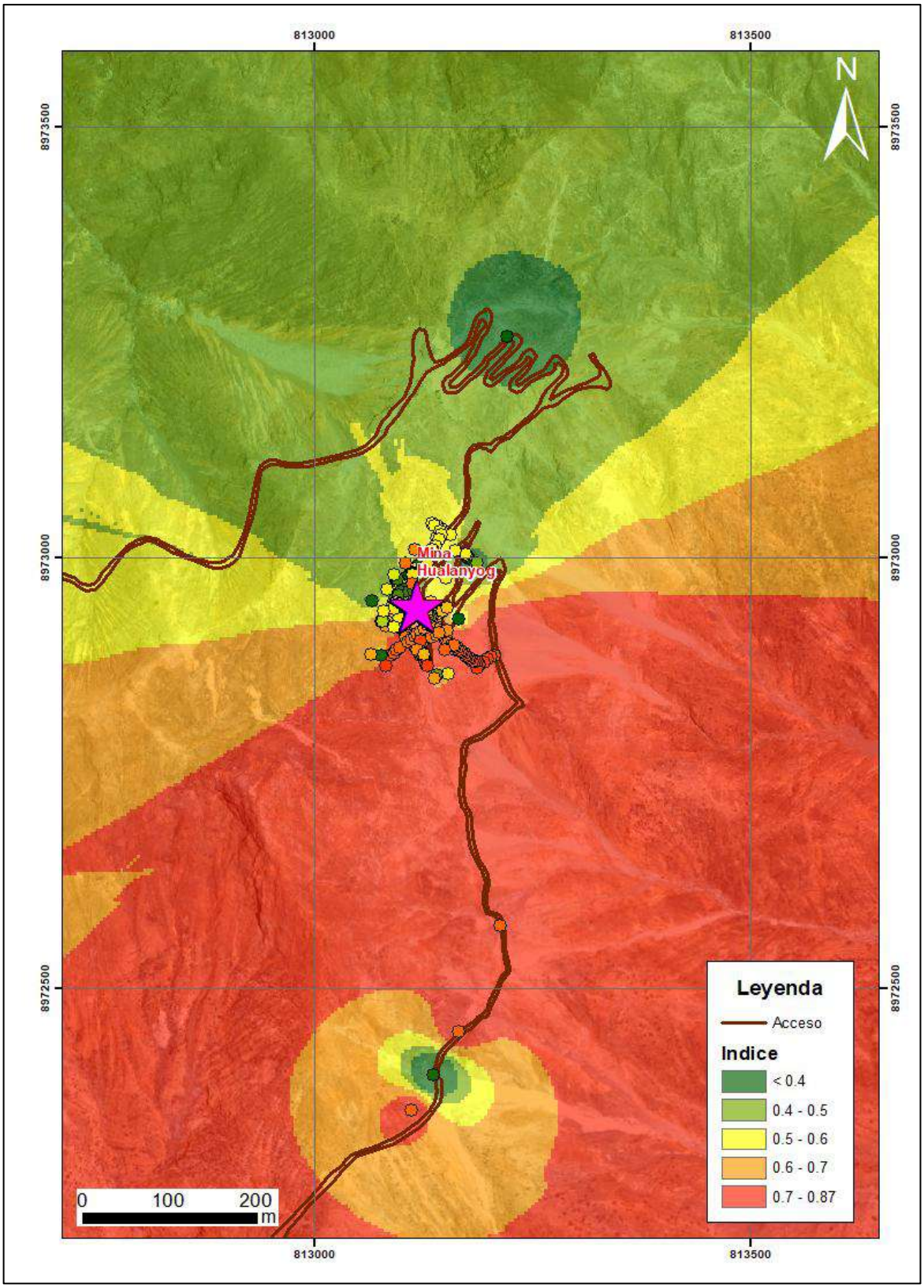


Figura 30. Mapa de zonación preliminar del índice mineralógico, donde los valores más altos (zonas en rojo) indican mayor proximidad al foco mineralizante, mientras que los valores más bajos (zonas en verde) representan posiciones más distales. Fuente: Propia

Finalmente, el skarn distal, asociado a índices menores a 0.25, muestra un claro predominio de piroxenos sobre granates y asociaciones con minerales retrógrados como epidota, clorita y wollastonita, típicos de ambientes más alejados de la influencia térmica directa del intrusivo. Estas condiciones se asocian con temperaturas más bajas (<300 °C) y menor intensidad de interacción hidrotermal, como lo indican Pérez-Segura y González-Partida (2010) en contextos comparables.

En la Figura 13, además de las 263 muestras analizadas para la elaboración del índice mineralógico, se han ploteado tres muestras representativas de las 30 analizadas durante el presente estudio, señaladas con puntos de color magenta: la muestra 1010809 (zona distal), la 601001 (zona proximal) y la 700309 (zona intermedia). Su inclusión visual refuerza la interpretación espacial y estratigráfica de la zonificación propuesta. Asimismo, se han incorporado imágenes fotográficas de campo que ilustran las características litológicas y mineralógicas propias de cada zona, permitiendo contextualizar visualmente el modelo interpretativo y ofrecer un respaldo adicional a la delimitación de los dominios proximales, intermedios y distales del sistema skarn de Hualanyog.

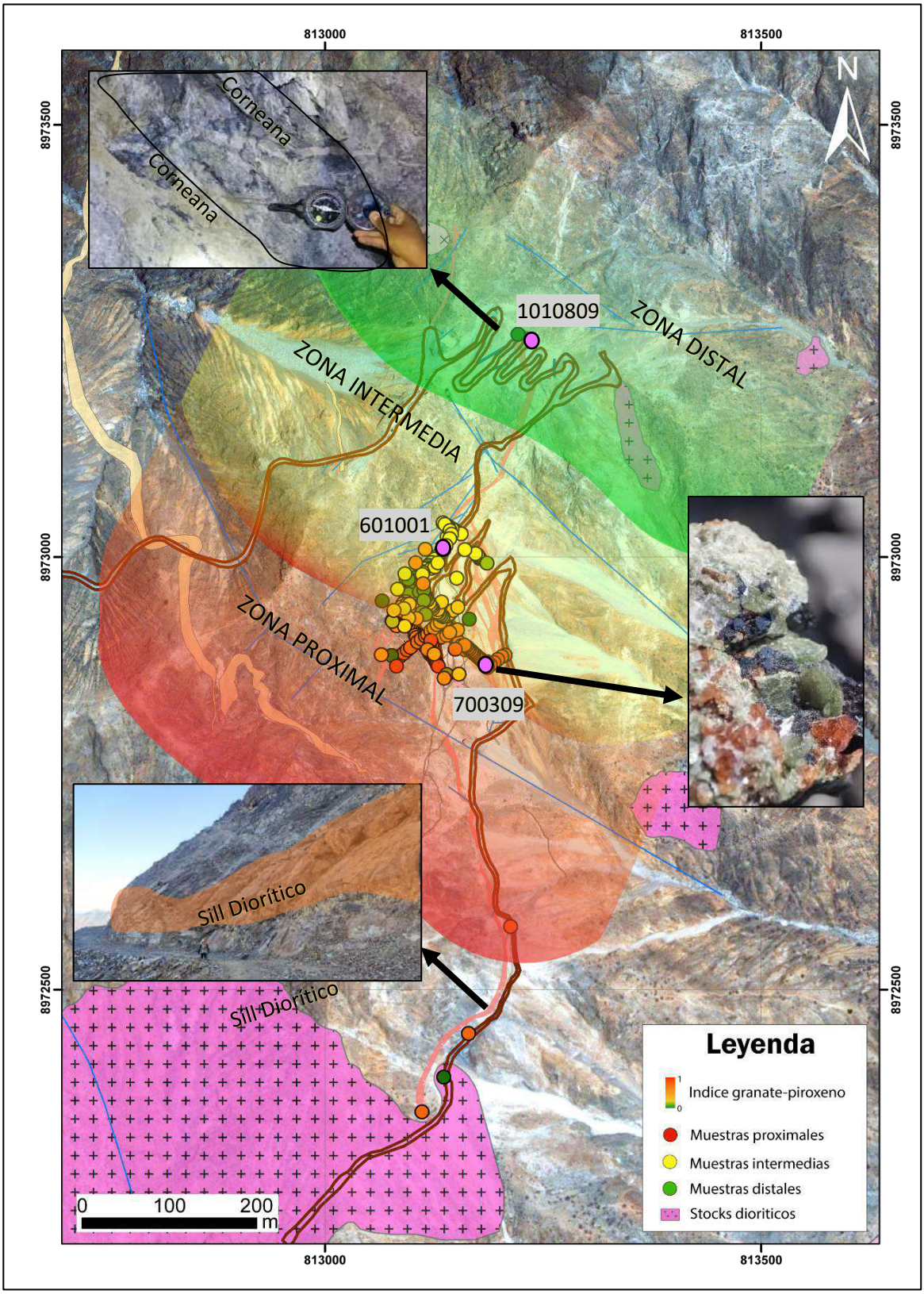


Figura 31. Zonificación preliminar del skarn en Hualanyog, integrando datos geoquímicos y mineralógicos, donde se distinguen los dominios distales, intermedio y proximal en función de la abundancia relativa de granate y piroxeno y la distribución de Zn y Au. Fuente: Propia

5.8. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la presencia de un sistema skarn zonado en Hualanyog, donde los procesos metasomáticos han generado una distribución sistemática de minerales y metales que responde tanto a gradientes térmicos como a controles estructurales. El análisis petrográfico y de DRX evidencia una secuencia paragenética preliminar, desde el metamorfismo isoquímico inicial hasta las fases de mineralización tardía, estableciendo una cronología relativa de eventos que explica la distribución actual del yacimiento. Esta secuencia incluye la formación de corneanas (muestras 106071), seguida por el desarrollo de skarns prógrados con granates andradíticos y piroxenos diopsídicos (muestras 303001, 900103), la posterior alteración retrógrada con epidota y clorita (muestra 305002), y finalmente los eventos de mineralización con sulfuros de Zn-Fe y mineralización aurífera tardía.

La integración de datos mineralógicos cualitativos y cuantitativos mediante el desarrollo de un índice granate/piroxeno permitió establecer una zonación espacial coherente con los modelos clásicos de sistemas skarn. Los resultados muestran un patrón concéntrico donde las facies proximales, caracterizadas por granates de la serie grosularia-andradita e índices superiores a 0.75, coinciden espacialmente con las zonas de mayor enriquecimiento en Zn (>10.00%) y Au (>0.70 g/t).

El análisis estructural revela que la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y las fracturas transversales (NW-SE) ejercieron un control importante en la distribución de la mineralización. Las intersecciones entre estas estructuras crearon puntos de alta permeabilidad que canalizaron los fluidos hidrotermales, generando las zonas de mayor concentración metálica observadas en los mapas de distribución de Au y Zn (Figura 25 y 26). Este control estructural explica tanto la forma elongada de los cuerpos mineralizados como la presencia de enriquecimientos locales que no siguen estrictamente el patrón concéntrico de la zonación térmica, evidenciando la superposición de controles litológicos, térmicos y estructurales en el sistema.

Los datos geoquímicos históricos de 605 muestras superficiales validaron estadísticamente la zonación propuesta, donde los percentiles P90 para Zn (10.00%) y Au (0.70 g/t) funcionan como umbrales efectivos para discriminar

entre dominios proximales y distales del skarn. La distribución bimodal del zinc, con un pico en el fondo geoquímico (0.01%) y una cola extendida hacia valores anómalos, contrasta con la distribución más concentrada del oro en el límite de detección, sugiriendo comportamientos geoquímicos diferenciados donde el Zn actúa como un indicador regional del metasomatismo, mientras que el Au se concentra selectivamente en estructuras específicas y eventos hidrotermales tardíos.

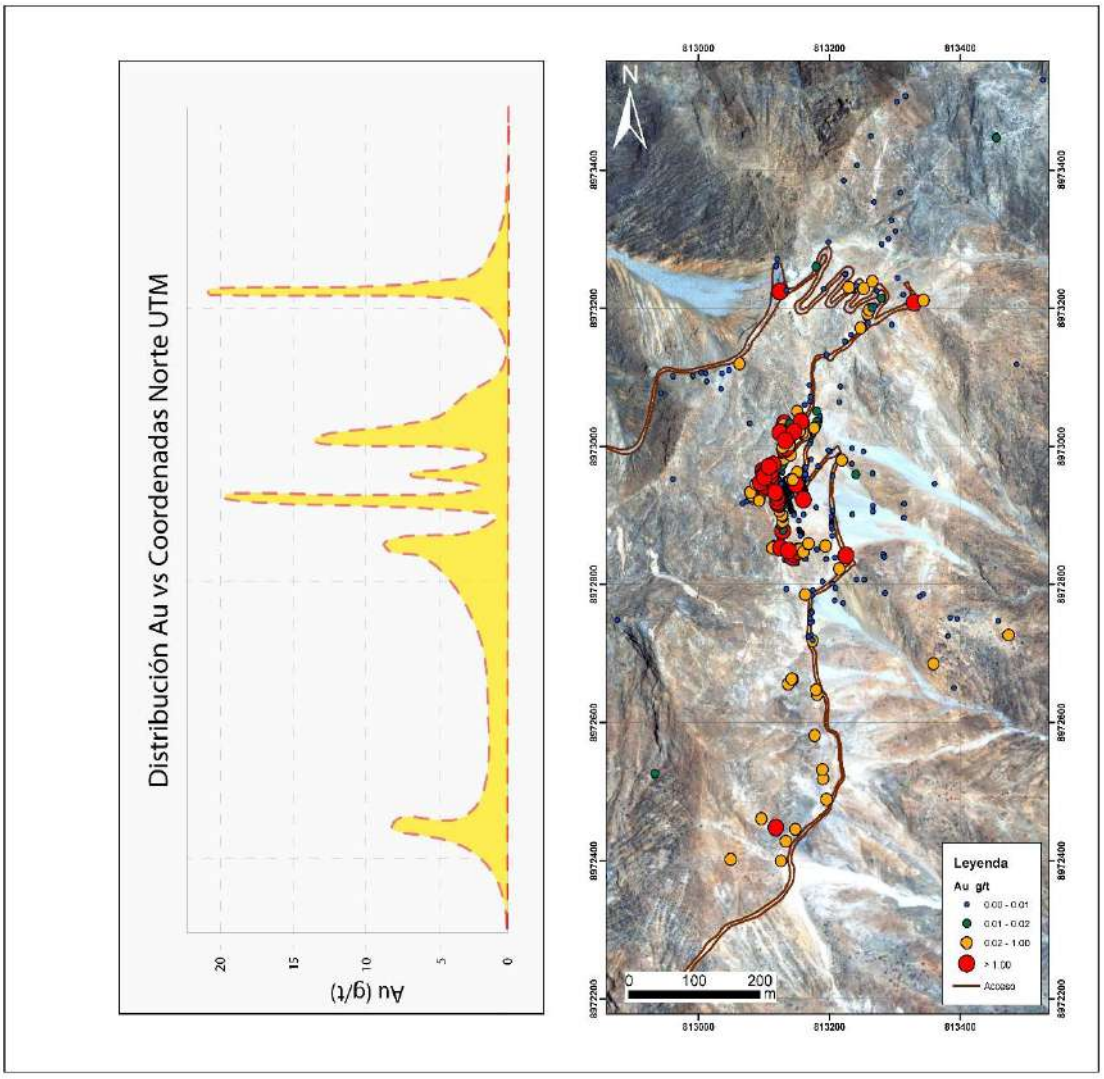


Figura 32. Distribución espacial y longitudinal del oro (Au) en Hualanyog, mostrando la concentración de anomalías auríferas en el sector central y norte del yacimiento, en estrecha relación con los máximos del histograma de frecuencias espaciales que evidencia la mayor densidad de muestras anómalas en dichos sectores. Fuente: Propia

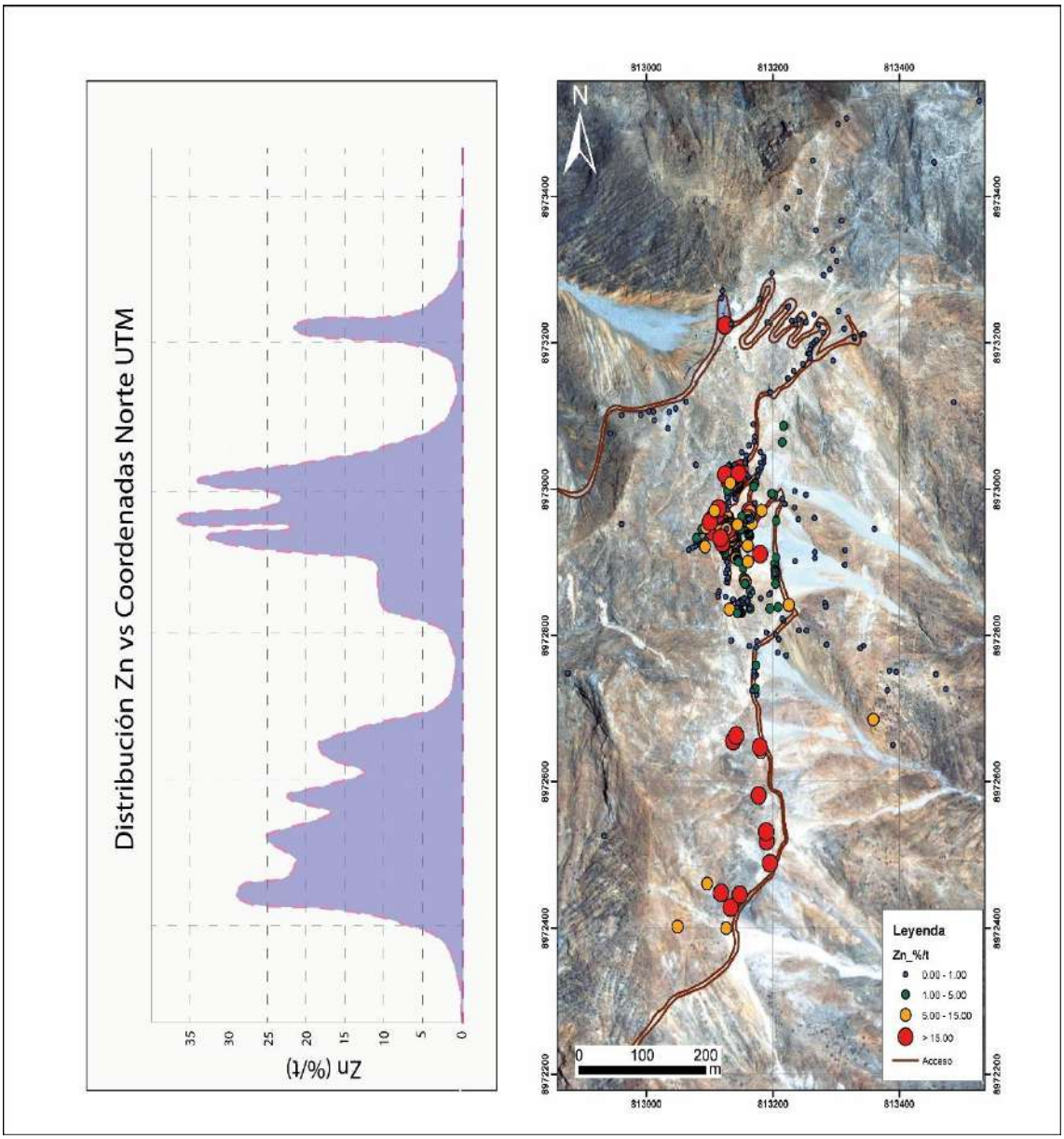


Figura 33. Distribución espacial y longitudinal del zinc (Zn) en Hualanyog, evidenciando la acumulación de valores elevados en el sector central-sur y la correspondencia entre los picos del histograma de frecuencias espaciales y las zonas de mayor concentración de muestras con leyes significativas de zinc. Fuente: Propia

5.8.1. Discusión y demostración de hipótesis

La hipótesis general propone que "la mineralización del skarn Zn-Au en Hualanyog está controlada por procesos metasomáticos que generaron facies mineralógicas zonadas (prógradas/retrógradas) y enriquecimiento en Zn-Au asociado a estructuras tectónicas, verificable mediante análisis petrográficos, DRX y correlación con leyes metálicas". Los resultados obtenidos confirman esta proposición.

Los análisis petrográficos evidencian la presencia de facies metasomáticas zonadas, con una transición desde skarns prógrados dominados por granates andradíticos y piroxenos diopsídicos (muestras 303001, 900103, 1000105) hacia facies retrógradas compuestas por epidota, clorita y actinolita (muestra 305002). Esta zonación se correlaciona espacialmente con la distribución de las leyes metálicas, donde las mayores concentraciones de Zn (>10.00%) y Au (>0.70 g/t) coinciden con las asociaciones mineralógicas prógradas de alta temperatura. Por ejemplo, las muestras 303001 y 900103, ubicadas en el sector central del yacimiento —área de anomalías geoquímicas máximas— presentan texturas granoblásticas con granates euhedrales y piroxenos, confirmando su relación con el skarn proximal de mayor interés económico.

La zonación térmica propuesta se valida mediante DRX, que identifica minerales diagnósticos como diópsido y andradita-grosularia en las facies proximales, frente a wollastonita, vesuvianita y escapolita en las distales. Estas asociaciones prógradas no solo reflejan condiciones de alta temperatura (500-700°C), sino que también generaron una matriz reactiva rica en Fe^{3+}/Ca^{2+} y microporosidad residual, la cual actuó como trampa química y física para los fluidos mineralizantes tardíos. Este proceso explica la mayor retención de sulfuros (esfalerita, pirrotita) observada en muestras como la 303001, donde la esfalerita rellena fracturas en granates. El control estructural refuerza este mecanismo, ya que la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW) canalizó los fluidos hacia estas facies competentes y fracturables, mientras que las zonas retrógradas, dominadas por minerales hidratados, presentaban menor permeabilidad.

La primera hipótesis específica plantea que la zonación mineralógica del skarn Zn-Au en Hualanyog está definida por facies prógradas (granate-piroxeno) y retrógradas (epidota-clorita), las cuales presentan una relación directa con la distribución espacial de altas leyes de Zn y Au, verificable mediante análisis petrográficos, DRX y datos geoquímicos históricos. Los resultados obtenidos confirman esta proposición, ya que la evidencia integrada petrográfica, mineralógica y geoquímica demuestra una secuencia paragenética clara: las facies prógradas, dominadas por granate y piroxeno (muestras 303001, 900103, 1000105), se localizan en áreas con las mayores concentraciones metálicas (Zn: 15-20%; Au: 0.5-1.0 g/t), donde la textura

granoblástica y la composición mineralógica generan microambientes favorables para la precipitación de sulfuros. Por el contrario, las facies retrógradas, representadas por asociaciones de epidota y clorita (muestras 700309 y 1003001), se asocian a zonas de menor permeabilidad y muestran leyes significativamente inferiores (Zn: 2-8%; Au: 0.1-0.3 g/t), lo que confirma la relación directa entre la zonación mineralógica y el enriquecimiento metálico en el depósito.

La segunda hipótesis específica propone que la distribución espacial y el enriquecimiento de Zn-Au en el depósito están controlados por un sistema de estructuras tectónicas (fallas, fracturas o zonas de cizalla) que funcionaron como conductos preferenciales para la migración de fluidos hidrotermales mineralizantes. Los análisis estructurales y geoquímicos sustentan esta afirmación.

La Zona de Cizalla Hualanyog (orientación NE-SW) controla el emplazamiento del stock diorítico y la circulación de fluidos, como lo indica la alineación NE-SW de las anomalías geoquímicas de Au y Zn. Las intersecciones entre esta estructura y fracturas transversales NW-SE generaron nodos de alta permeabilidad, donde se concentra la mineralización. Las muestras 601001 y 700308, recolectadas en dichas intersecciones, presentan texturas de reemplazo tardío (esfalerita, calcopirita, pirrotita) que rellenan fracturas, evidenciando la circulación de fluidos a través de estructuras abiertas. Además, la orientación de las venillas de sulfuros coincide con las direcciones estructurales identificadas. La distribución no aleatoria de las leyes metálicas, concentradas en corredores definidos, refuerza el modelo de control estructural propuesto.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se estableció una zonación mineralógica definida por facies prógradas (granate-piroxeno) y retrógradas (epidota-clorita), las cuales presentaron una relación directa con la distribución espacial de leyes económicas de Zn y Au. Además, se identificó que los controles estructurales, en particular la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y las fracturas transversales (NW-SE), condicionaron la localización y enriquecimiento de la mineralización, actuando como vías preferenciales para la circulación de fluidos hidrotermales.

- La zonación mineralógica del skarn Zn-Au en Hualanyog fue determinada mediante la caracterización de facies prógradas y retrógradas. Las facies prógradas, dominadas por granates y piroxenos, se asociaron a las zonas con mayores leyes económica, mientras que las facies retrógradas, compuestas por epidota y clorita, se encontraron en sectores con menores concentraciones metálicas. Esta distribución reflejó un patrón concéntrico desde el contacto intrusivo hacia las zonas más distales, evidenciando la influencia de los procesos metasomáticos en la formación del yacimiento.

- El análisis estructural demostró que la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y las fracturas NW-SE controlaron la distribución de las leyes económicas de Zn y Au. La zona de cizalla funcionó como el principal conducto para los fluidos hidrotermales, mientras que las fracturas transversales generaron zonas de mayor permeabilidad, favoreciendo la precipitación de sulfuros y óxidos metálicos. La interacción entre estas estructuras definió áreas de enriquecimiento mineral, destacando la importancia del control estructural en la formación y localización de la mineralización en el depósito.

6.2. RECOMENDACIONES

- A la empresa operadora de la mina Hualanyog se recomienda priorizar la exploración en las intersecciones entre la Zona de Cizalla Hualanyog (NE-SW), las fallas y fracturas transversales (NW-SE), identificadas como áreas potenciales para la concentración de Zn-Au. Estas zonas actuaron como conductos principales para fluidos hidrotermales durante las fases prógrada y retrógrada, favoreciendo la formación de skarn mineralizado. Métodos como sondeos dirigidos, geofísica de polarización inducida (IP) y mapeo geoquímico multielemental (Zn-As-Bi) permitirán identificar nuevos cuerpos mineralizados y validar el modelo de zonación proximal-distal propuesto.

- A la empresa operadora de la mina Hualanyog se recomienda realizar estudios estructurales más detallados para verificar la distribución de los minerales en el yacimiento. Se sugiere integrar técnicas como microtermometría de inclusiones fluidas y geoquímica multielemental para comprender mejor las relaciones entre control estructural y zonación mineralógica. Estos estudios permitirán identificar con mayor precisión las zonas de concentración mineral y optimizar las estrategias de exploración y extracción.

- A la empresa operadora de la mina Hualanyog, se le propone profundizar en el estudio sobre el origen del oro en el yacimiento, considerando como hipótesis principal su vinculación a fluidos hidrotermales tardíos asociados a diques aplíticos, tal como se sugiere en este estudio. No obstante, no se descarta la posibilidad de que otros procesos (como mezcla con fluidos meteóricos o removilización desde fuentes preexistentes) hayan contribuido a su distribución final. Para validar estos modelos, se sugiere aplicar técnicas como microscopía electrónica (SEM-EDS) para identificar oro submicroscópico en sulfuros y análisis isotópicos de S-Pb en esfalerita y pirita, lo que permitiría discriminar entre fuentes magmáticas, sedimentarias o meteóricas.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. G., & Santisteban, A. (2007). *Control estructural de la Cuenca Cretácica Casma y su relación con el emplazamiento del Batolito de la Costa y los yacimientos metálicos entre Mala y Trujillo.*

- Arce Geofísicos. (2018). *Levantamiento geofísico de polarización inducida de señal completa y en configuración distribuida (AG-DAS) en el proyecto Hualanyog (Estudio No. 1279-18)* [Reporte técnico].

- Atherton, M. P. (1984). *The Coastal Batholith of Peru.* En R. S. Harmon & B. A. Barreiro (Eds.), *Andean Magmatism Chemical and Isotopic Constraints* (pp. 168–179). Shiva Publishing, Cheshire. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7335-3_12.

- Atherton, M. P. (1990). *The Coastal Batholith of Peru: the product of rapid recycling of new crust formed within rifted continental margin. Geological Journal, 25,* 335–349. https://doi.org/10.1002/GJ.3350250316.

- Atherton, M. P., Pitcher, W. S., & Warden, V. (1983). *The Mesozoic marginal basin of Central Peru. Nature, 305,* 303–306. https://doi.org/10.1038/305303A0.

- Avila, K. (2020). *Diseño de perforación y voladura para mejorar fragmentación del mineral en mina virgen del Rosario – U. P. Hualanyog.*

- Bin, Z., & Barton, M. (1988). Compositional characteristics of garnets and pyroxenes in contact-metasomatic skarn deposits and their relationship with metallization. Chinese Journal of Geochemistry, *7*, 329-335. https://doi.org/10.1007/BF02842337

- Bucher, K., & Frey, M. (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks (6.ª ed.).* Springer-Verlag.

- Cai, M., Mao, J., Liang, T., Pirajno, F., & Huang, H. (2007). *The origin of the Tongkeng–Changpo tin deposit, Dachang metal district, Guangxi, China: clues from fluid inclusions and He isotope systematics. Mineralium Deposita, 42,* 613–626. https://doi.org/10.1007/S00126-007-0127-5.

- Caldas, J. (1978). *Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. Boletín. Serie A. Carta Geológica Nacional* (INGEMMET, Ed.). Lima, Perú.

- Cobbing, E., Pitcher, W., & Taylor, W. (1977). *Segments and super-units in the coastal batholith of Peru. Journal of Geology.* https://doi.org/10.1086/628342.

- Einaudi, M. (1977). Petrogenesis of the copper-bearing skarn at the Mason Valley Mine, Yerington District, Nevada. Economic Geology, *72*, 769-795. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.72.5.769

- Einaudi, M. T., & Burt, D. M. (1982). *Introduction: Terminology, classification, and composition of skarn deposits. Economic Geology, 77*(4), 745–754. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.77.4.745.

- Einaudi, M. T., Meinert, L. D., & Newberry, R. J. (1981). *Skarn deposits.* En S. R. Titley (Ed.), *Economic Geology 75th Anniversary Volume* (pp. 317–391). Society of Economic Geologists.

- Giggenbach, W. F. (1984). *Mass transfer in hydrothermal alteration systems. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48*(12), 2693-2711. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90317-X.

- Grant, J. A. (1986). *The isocon diagram—a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. Economic Geology, 81*(8), 1976-1982. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.81.8.1976.

- Hedenquist, J. W., & Lowenstern, J. B. (1994). *The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, 370*(6485), 519-527. https://doi.org/10.1038/370519A0.

- Holyoke, C. W., & Tullis, J. (2006). Formation and maintenance of shear zones. Geology, 34(2), 105-108. https://doi.org/10.1130/G22116.1

- Jenks, W. F. (1948). *Geología de la Hoja de Arequipa al 200,000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Geológica Nacional del Perú.* Instituto Geológico del Perú. Lima, Bol.9.

- Jenks, W. F., & Harris, E. G. (1953*). Plutonics near Arequipa as a Petrologic Sample of the Coastal Batholith in Perú. Bol. Sociedad Geológica del Perú, Vol.26.*

- Lajoinie, M. F., Pereyra, F. X., & Zappettini, E. O. (2013). *Zonación mineral vinculada a procesos geoquímicos en el skarn San Miguel, Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 70*(3), 402–412.

- León Pimentel, J. (2016). *Informe geológico: Sistema hidrotermal tipo skarn Au-Zn y mantos Au-Zn, Hualanyog.* ExploAndina S.A.C. (Informe interno). Lima, Perú.

- Lu, H., Liu, Y., Wang, C., Xu, Y., & Li, H. (2003). Mineralization and Fluid Inclusion Study of the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F Skarn Deposit, Hunan Province, China. Economic Geology, *98*, 955-974. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.5.955

- MacKenzie, W. S., & Guilford, C. (1980). *Atlas de rocas metamórficas y sus texturas.* Longman.

- MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H., & Guilford, C. (1980). *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada.* Longman.

- Meinert, L. D. (1987). *Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog Mine, Central Mining District, New Mexico. Economic Geology, 82*(3), 523-545. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.82.3.523.

- Meinert, L. D. (1992). *Skarns and skarn deposits. Geoscience Canada, 19*(4), 145–162.

- Meinert, L. D. (2000). *Gold in skarns related to epizonal intrusions. Reviews in Economic Geology, 13,* 347-375.

- Newberry, R. J. (1982). *Tungsten-bearing skarns of the Sierra Nevada, California. Economic Geology, 77*(5), 1222–1249. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.77.4.823.

- Olchauski, E. (1980). *Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Chaparra.* Lima: INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional.

- Pérez-Segura, E., & González-Partida, E. (2010). *Skarn deposits in Mexico: Characteristics, distribution, and genesis. Geofísica Internacional, 49*(3), 181–198.

- Pitcher, W. (1978). *The Anatomy of a Batholith. Journal of the Geological Society, Vol.135.* https://doi.org/10.1144/gsjgs.135.2.0157.

- Putnis, A., & Austrheim, H. (2010). *Fluid-induced processes: metasomatism and metamorphism. Geofluids, 10*(3), 254-269. https://doi.org/10.1111/J.1468-8123.2010.00285.X.

- Ramsay, J. (1980). Shear zone geometry: A review. Journal of Structural Geology, 2(1-2), 83-99. https://doi.org/10.1016/0191-8141(80)90038-3

- Romero, D., Carlotto, V., Tassinari, C., & Quispe, J. (2008). *Los depósitos de la cuenca Maastrichtiano-Daniano: relación con los yacimientos tipo sulfuros masivos volcanogénicos de Pb-Zn-Cu; Perú central.* Resúmenes extendidos XIV Congreso Peruano de Geología.

- Regenauer-Lieb, K., & Yuen, D. A. (2003). Modeling shear zones in geological and planetary sciences: Solid- and fluid-thermal-mechanical approaches. *Earth-Science Reviews, 63*(3-4), 295-349. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00038-2

- Sánchez, A., Molina, O., & Gutiérrez, R. (1995*). Geología de los cuadrángulos de Chimbote, Casma y Culebras. Boletín A 59, Serie A: Carta Geológica Nacional.*

- Sillitoe, R. H. (2010). *Porphyry copper systems. Economic Geology, 105*(1), 3-41. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.105.1.3.

- USGS (1995). *Cu, Au, and Zn-Pb skarn deposits. Open File Report 95-831, Chapter 12.*

- Winkler, H. G. F. (1979). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks (5ª ed.).* Springer.

ANEXOS

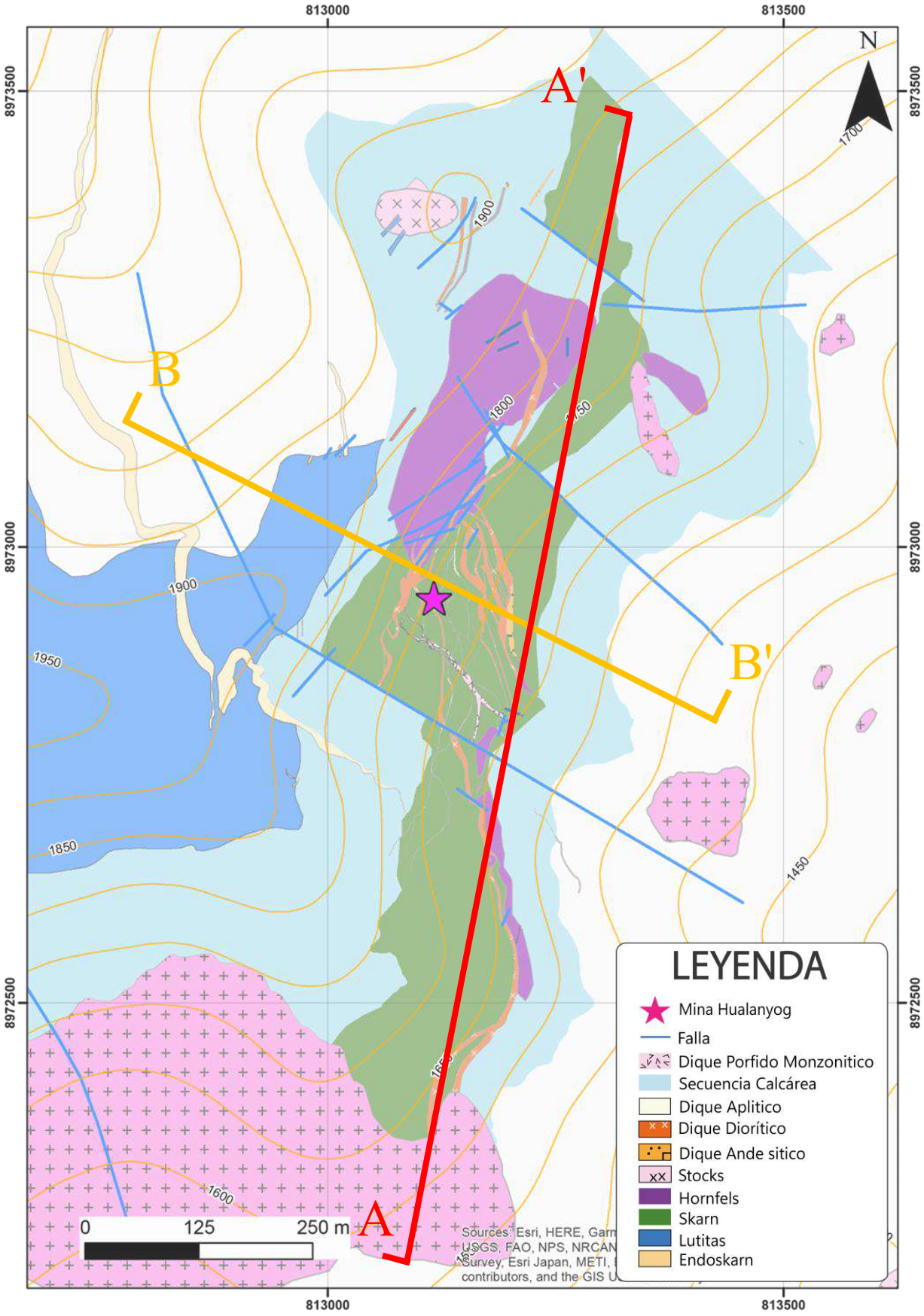


Figura 34. Plano geológico de la mina Hualanyog a escala 1:5000, mostrando los cortes geológicos representados: sección longitudinal A-A' (corte en color rojo) y sección transversal B-B' (corte en color mostaza), todo en el sistema de coordenadas UTM zona 17S, datum WGS 84.Fuente: Propia.

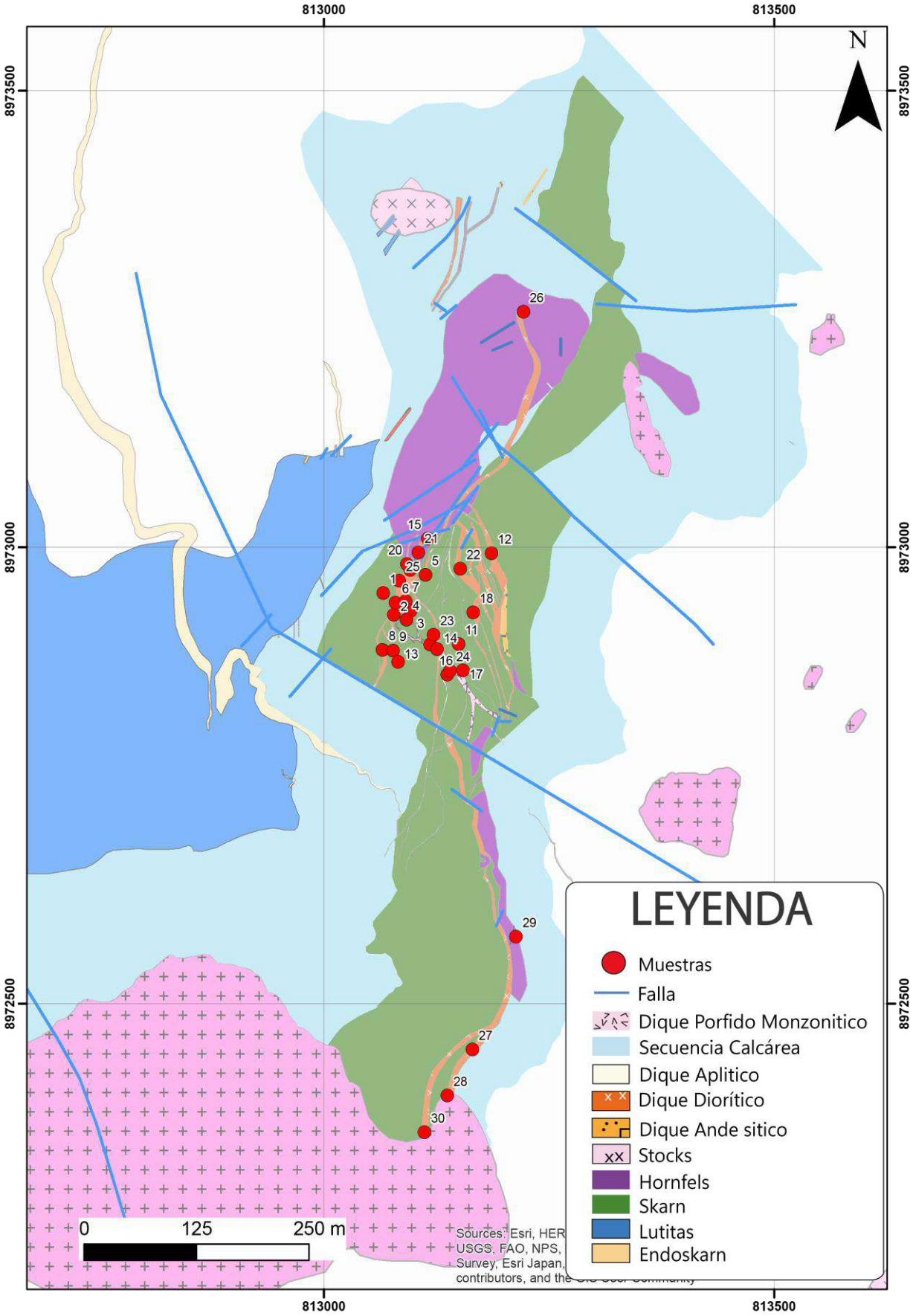


Figura 35. Plano geológico de la mina Hualanyog a escala 1:5000 mostrando la distribución de las muestras extraídas en mina, tanto subterráneas como superficiales, en el sistema de coordenadas UTM zona 17S, datum WGS 84. Fuente Propia

ID	Número de muestra	Roca	Nivel	Norte (Y)	ESTE (X)	COTA (Z)
1	1000401	Corneana de Piroxenos	Nv-0	8972949.45	813065.48	1762
2	1000601	Skarn de wollastonita	Nv-0	8972925.69	813077.56	1762
3	1000303	Dique Porfido Monzonitico	Nv-0	8972929.61	813096.17	1762
4	1000507	Dique Porfido Dioritico	Nv-0	8972920.06	813091.29	1762
5	110102	Skarn de Granates	Nv-11	8972969.16	813112.59	1755
6	305002	Dique Porfido Dioritico	Nv-30	8972938.51	813079.32	1732
7	303001	Skarn de Granates	Nv-30	8972940.58	813090.69	1732
8	305003	Dique Porfido Dioritico	Nv-30	8972887.25	813064.60	1732
9	300303	Skarn de Granates	Nv-30	8972886.25	813076.55	1732
10	300509	Dique Porfido Monzonitico	Nv-30	8972893.04	813117.73	1732
11	400603	Dique Aplitico	Nv-40	8972893.50	813149.39	1715
12	400501	Dique Porfido Dioritico	Nv-40	8972993.03	813185.77	1721
13	400307	Skarn de Granates	Nv-40	8972874.07	813082.12	1719
14	400504	Dique Porfido Monzonitico	Nv-40	8972887.89	813125.32	1715
15	601001	Skarn de Granates	Nv-60	8973009.21	813115.00	1705
16	600308	Skarn de Granates	Nv-60	8972860.03	813136.83	1697
17	700308	Skarn de Granates	Nv-70	8972864.75	813153.92	1685
18	700309	Skarn de Piroxenos	Nv-70	8972928.19	813165.43	1685
19	700506	Dique Porfido Dioritico	Nv-70	8972974.60	813095.61	1691
20	750909	Skarn de Piroxenos	Nv-75	8972980.86	813091.70	1680
21	900103	Skarn de Granates	Nv-90	8972993.58	813104.38	1670
22	90507	Dique Porfido Dioritico	Nv-90	8972975.84	813151.00	1678
23	1003001	Skarn de Granates - Clinopiroxenos	Nv-100	8972903.71	813121.55	1653
24	1000310	Skarn de Piroxenos	Nv-100	8972864.29	813139.64	1658
25	1000105	Skarn de Granates	Nv-100	8972962.77	813083.43	1645
26	1010809	Corneana	Superficie	8973257.61	813221.30	1851
27	1010902	Dique Porfido Dioritico	Superficie	8972449.37	813164.69	1649
28	1010702	Stock Cuarzo dioritico - Piroxenico	Superficie	8972398.73	813136.55	1647
29	106071	Corneana	Superficie	8972572.85	813213.12	1628
30	10501	Dique andesitico	Superficie	8972358.48	813111.36	1628

Tabla 5. Codificación, nivel y coordenadas de las muestras las 30 muestras extraídas en mina y superficie. Fuente: Propia

LEVEL	SAMPLE ID	NORTHING	EASTING	Elevation	MIN1	MIN2	INDICE
Nv-0	MUESTRA 1000401	8972949.45	813065.48	1762.00	piroxeno	granate	0.12
Nv-0	16119.00	8972972.98	813093.69	1762.63	piroxeno	granate	0.13
Nv-0	16117.00	8972965.88	813096.08	1762.63	piroxeno	granate	0.15
Nv-0	16114.00	8972960.98	813095.53	1762.63	piroxeno	granate	0.18
Nv-0	16108.00	8972959.71	813098.29	1762.63	piroxeno	granate	0.20
Nv-0	16112.00	8972953.52	813092.69	1762.63	piroxeno	granate	0.21
Nv-0	MUESTRA 1000601	8972925.69	813077.56	1762.00	piroxeno	granate	0.39
Nv-0	MUESTRA 10000507	8972920.06	813091.29	1762.00	granate	piroxeno	0.52
Nv-0	MUESTRA 10000303	8972929.61	813096.17	1762.00	granate	piroxeno	0.56
Nv-0	16120.00	8972975.24	813093.28	1762.63	granate	piroxeno	0.57
Nv-0	16118.00	8972969.32	813094.41	1762.63	granate	piroxeno	0.58
Nv-0	16121.00	8972962.68	813106.50	1762.63	granate	piroxeno	0.59
Nv-0	16122.00	8972967.10	813104.34	1762.63	granate	piroxeno	0.59
Nv-0	16101.00	8972940.80	813109.24	1762.63	granate	piroxeno	0.64
Nv-0	16104.00	8972939.10	813102.22	1762.63	granate	piroxeno	0.65
Nv-0	16102.00	8972937.90	813103.90	1762.63	granate	piroxeno	0.66
Nv-0	16001.00	8972926.34	813077.07	1762.63	granate	piroxeno	0.69
Nv-0	16002.00	8972924.76	813079.23	1762.63	granate	piroxeno	0.69
Nv-0	16004.00	8972922.97	813080.70	1762.63	granate	piroxeno	0.70
Nv-0	16005.00	8972920.56	813082.28	1762.63	granate	piroxeno	0.71
Nv-11	35401.00	8972966.08	813110.04	1752.97	piroxeno	granate	0.15
Nv-11	35402.00	8972963.11	813103.40	1752.97	piroxeno	granate	0.16
Nv-11	35406.00	8972962.27	813113.35	1752.97	piroxeno	granate	0.17
Nv-11	35403.00	8972961.13	813099.21	1752.97	piroxeno	granate	0.18
Nv-11	35405.00	8972960.00	813108.24	1752.97	piroxeno	granate	0.19
Nv-11	35404.00	8972956.96	813096.27	1752.97	piroxeno	granate	0.21
Nv-11	35407.00	8972949.73	813113.39	1752.97	piroxeno	granate	0.23
Nv-11	35408.00	8972935.84	813111.50	1752.97	piroxeno	granate	0.24
Nv-11	15918.00	8973031.10	813148.54	1752.97	granate	piroxeno	0.52
Nv-11	15917.00	8973023.11	813140.05	1753.88	granate	piroxeno	0.53
Nv-11	15919.00	8973026.84	813156.39	1752.97	granate	piroxeno	0.53
Nv-11	16123.00	8972968.27	813111.92	1762.63	granate	piroxeno	0.58
Nv-11	MUESTRA 110102	8972969.16	813112.59	1755.00	granate	piroxeno	0.80
Nv-30	MUESTRA 300303	8972886.25	813076.55	1732.00	piroxeno	granate	0.12
Nv-30	16157.00	8972950.87	813117.86	1732.00	piroxeno	granate	0.22
Nv-30	16147.00	8972934.08	813131.10	1732.00	piroxeno	granate	0.25
Nv-30	35409.00	8972933.68	813115.47	1752.97	piroxeno	granate	0.25
Nv-30	16146.00	8972932.31	813133.28	1732.00	piroxeno	granate	0.26
Nv-30	MUESTRA 303001	8972940.58	813090.69	1732.00	piroxeno	granate	0.45
Nv-30	35419.00	8973009.16	813134.50	1732.00	granate	piroxeno	0.54
Nv-30	MUESTRA 305002	8972938.51	813079.32	1732.00	granate	piroxeno	0.55
Nv-30	35417.00	8972987.19	813122.39	1732.00	granate	piroxeno	0.56
Nv-30	35418.00	8972988.79	813126.36	1732.00	granate	piroxeno	0.56
Nv-30	35420.00	8972993.67	813129.45	1732.00	granate	piroxeno	0.56
Nv-30	16169.00	8972970.82	813097.80	1732.00	granate	piroxeno	0.57
Nv-30	16167.00	8972967.69	813101.50	1732.00	granate	piroxeno	0.58
Nv-30	16168.00	8972969.12	813099.82	1732.00	granate	piroxeno	0.58
Nv-30	16164.00	8972962.50	813107.30	1732.00	granate	piroxeno	0.59
Nv-30	16165.00	8972964.04	813105.43	1732.00	granate	piroxeno	0.59

Nv-30	16166.00	8972965.93	813103.41	1732.00	granate	piroxeno	0.59
Nv-30	16158.00	8972954.35	813116.03	1732.00	granate	piroxeno	0.60
Nv-30	16159.00	8972955.85	813114.50	1732.00	granate	piroxeno	0.60
Nv-30	16160.00	8972957.04	813112.77	1732.00	granate	piroxeno	0.60
Nv-30	16162.00	8972958.44	813110.36	1732.00	granate	piroxeno	0.60
Nv-30	16163.00	8972961.27	813108.43	1732.00	granate	piroxeno	0.60
Nv-30	16151.00	8972948.26	813133.78	1732.00	granate	piroxeno	0.61
Nv-30	16156.00	8972946.74	813119.95	1732.00	granate	piroxeno	0.61
Nv-30	35410.00	8972948.70	813093.20	1732.00	granate	piroxeno	0.61
Nv-30	35411.00	8972945.86	813089.57	1732.00	granate	piroxeno	0.61
Nv-30	16055.00	8972943.21	813102.27	1732.00	granate	piroxeno	0.62
Nv-30	16155.00	8972944.38	813121.33	1732.00	granate	piroxeno	0.62
Nv-30	35414.00	8972943.39	813093.50	1732.00	granate	piroxeno	0.62
Nv-30	35415.00	8972945.85	813094.42	1732.00	granate	piroxeno	0.62
Nv-30	35416.00	8972945.76	813097.18	1732.00	granate	piroxeno	0.62
Nv-30	15945.00	8972941.61	813093.00	1732.00	granate	piroxeno	0.63
Nv-30	15946.00	8972942.35	813097.84	1732.00	granate	piroxeno	0.63
Nv-30	16144.00	8972942.31	813152.55	1732.00	granate	piroxeno	0.63
Nv-30	16154.00	8972942.48	813122.46	1732.00	granate	piroxeno	0.63
Nv-30	35412.00	8972942.50	813088.00	1732.00	granate	piroxeno	0.63
Nv-30	15944.00	8972940.68	813088.42	1732.00	granate	piroxeno	0.64
Nv-30	16052.00	8972939.73	813123.32	1732.00	granate	piroxeno	0.64
Nv-30	16152.00	8972940.59	813123.59	1732.00	granate	piroxeno	0.64
Nv-30	16054.00	8972939.27	813115.37	1732.00	granate	piroxeno	0.65
Nv-30	16143.00	8972938.41	813147.08	1732.00	granate	piroxeno	0.65
Nv-30	16150.00	8972939.30	813129.52	1732.00	granate	piroxeno	0.65
Nv-30	35413.00	8972938.20	813087.81	1732.00	granate	piroxeno	0.65
Nv-30	15939.00	8972936.01	813083.11	1732.00	granate	piroxeno	0.66
Nv-30	16141.00	8972934.71	813143.31	1732.00	granate	piroxeno	0.66
Nv-30	16148.00	8972936.10	813129.26	1732.00	granate	piroxeno	0.66
Nv-30	15937.00	8972931.54	813088.86	1732.00	granate	piroxeno	0.67
Nv-30	15938.00	8972932.88	813085.79	1732.00	granate	piroxeno	0.67
Nv-30	15943.00	8972933.03	813087.43	1732.00	granate	piroxeno	0.67
Nv-30	16140.00	8972931.56	813139.75	1732.00	granate	piroxeno	0.67
Nv-30	16145.00	8972931.22	813135.34	1732.00	granate	piroxeno	0.67
Nv-30	15933.00	8972927.85	813089.55	1732.00	granate	piroxeno	0.68
Nv-30	15935.00	8972929.15	813090.49	1732.00	granate	piroxeno	0.68
Nv-30	15936.00	8972929.89	813089.63	1732.00	granate	piroxeno	0.68
Nv-30	15941.00	8972929.63	813087.12	1732.00	granate	piroxeno	0.68
Nv-30	MUESTRA 305003	8972887.25	813064.60	1732.00	granate	piroxeno	0.68
Nv-30	15932.00	8972925.94	813091.63	1732.00	granate	piroxeno	0.69
Nv-30	15999.00	8972926.17	813137.40	1732.00	granate	piroxeno	0.69
Nv-30	15929.00	8972922.25	813095.66	1732.00	granate	piroxeno	0.70
Nv-30	15930.00	8972924.19	813093.54	1732.00	granate	piroxeno	0.70
Nv-30	16019.00	8972923.62	813137.99	1732.00	granate	piroxeno	0.70
Nv-30	16139.00	8972924.73	813132.43	1732.00	granate	piroxeno	0.70
Nv-30	15928.00	8972920.43	813097.65	1732.00	granate	piroxeno	0.71
Nv-30	16020.00	8972921.15	813138.90	1732.00	granate	piroxeno	0.71
Nv-30	16021.00	8972918.85	813140.17	1732.00	granate	piroxeno	0.71
Nv-30	16138.00	8972921.86	813128.94	1732.00	granate	piroxeno	0.71

Nv-30	15926.00	8972917.11	813101.27	1732.00	granate	piroxeno	0.72
Nv-30	15927.00	8972918.76	813099.47	1732.00	granate	piroxeno	0.72
Nv-30	16023.00	8972917.26	813141.37	1732.00	granate	piroxeno	0.72
Nv-30	16137.00	8972918.18	813124.89	1732.00	granate	piroxeno	0.72
Nv-30	15923.00	8972913.17	813105.57	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	15924.00	8972915.34	813103.13	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	16036.00	8972914.77	813146.86	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	16037.00	8972915.90	813151.83	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	16136.00	8972914.77	813121.64	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	MUESTRA 300509	8972893.04	813117.73	1732.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-30	15921.00	8972910.12	813108.78	1732.00	granate	piroxeno	0.74
Nv-30	15922.00	8972911.68	813107.20	1732.00	granate	piroxeno	0.74
Nv-30	16046.00	8972913.14	813143.16	1732.00	granate	piroxeno	0.74
Nv-30	16135.00	8972910.88	813117.91	1732.00	granate	piroxeno	0.74
Nv-30	15920.00	8972908.83	813110.38	1732.00	granate	piroxeno	0.75
Nv-30	16026.00	8972909.27	813147.44	1732.00	granate	piroxeno	0.75
Nv-30	16045.00	8972909.76	813139.63	1732.00	granate	piroxeno	0.75
Nv-30	16133.00	8972908.90	813115.05	1732.00	granate	piroxeno	0.75
Nv-30	16027.00	8972906.72	813149.16	1732.00	granate	piroxeno	0.76
Nv-30	16040.00	8972907.02	813117.19	1732.00	granate	piroxeno	0.76
Nv-30	16043.00	8972906.60	813127.66	1732.00	granate	piroxeno	0.76
Nv-30	16044.00	8972907.63	813133.27	1732.00	granate	piroxeno	0.76
Nv-30	16028.00	8972903.97	813151.41	1732.00	granate	piroxeno	0.77
Nv-30	16038.00	8972904.40	813112.95	1732.00	granate	piroxeno	0.77
Nv-30	16041.00	8972906.37	813122.12	1732.00	granate	piroxeno	0.77
Nv-30	16132.00	8972905.35	813110.40	1732.00	granate	piroxeno	0.77
Nv-30	16029.00	8972901.49	813153.85	1732.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-30	16039.00	8972902.21	813113.29	1732.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-30	16047.00	8972900.10	813117.80	1732.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-30	16050.00	8972899.25	813113.88	1732.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-30	16130.00	8972902.15	813106.34	1732.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-30	16030.00	8972897.89	813156.80	1732.00	granate	piroxeno	0.79
Nv-30	16048.00	8972899.18	813122.68	1732.00	granate	piroxeno	0.79
Nv-30	16051.00	8972896.77	813114.63	1732.00	granate	piroxeno	0.79
Nv-30	16032.00	8972895.93	813158.30	1732.00	granate	piroxeno	0.80
Nv-30	16056.00	8972895.78	813119.61	1732.00	granate	piroxeno	0.80
Nv-30	16128.00	8972895.78	813098.16	1732.00	granate	piroxeno	0.80
Nv-30	16033.00	8972894.27	813159.59	1732.00	granate	piroxeno	0.81
Nv-30	16035.00	8972892.85	813161.15	1732.00	granate	piroxeno	0.81
Nv-30	16081.00	8972893.50	813120.35	1732.00	granate	piroxeno	0.81
Nv-30	16127.00	8972892.50	813094.23	1732.00	granate	piroxeno	0.81
Nv-30	15989.00	8972888.42	813120.17	1732.00	granate	piroxeno	0.82
Nv-30	16126.00	8972889.07	813090.56	1732.00	granate	piroxeno	0.82
Nv-30	15990.00	8972886.55	813121.92	1732.00	granate	piroxeno	0.83
Nv-30	16124.00	8972885.91	813086.74	1732.00	granate	piroxeno	0.83
Nv-30	15991.00	8972885.08	813123.76	1732.00	granate	piroxeno	0.84
Nv-30	15992.00	8972882.78	813125.21	1732.00	granate	piroxeno	0.84
Nv-30	15993.00	8972880.64	813126.35	1732.00	granate	piroxeno	0.85
Nv-30	15995.00	8972878.72	813127.38	1732.00	granate	piroxeno	0.86
Nv-30	15996.00	8972876.40	813128.62	1732.00	granate	piroxeno	0.86

Nv-30	15997.00	8972874.12	813129.84	1732.00	granate	piroxeno	0.87
Nv-40	15951.00	8973000.66	813176.13	1723.29	piroxeno	granate	0.10
Nv-40	15950.00	8972998.40	813177.24	1723.29	piroxeno	granate	0.11
Nv-40	15982.00	8972990.40	813118.95	1723.29	piroxeno	granate	0.12
Nv-40	15987.00	8972976.33	813104.66	1723.29	piroxeno	granate	0.12
Nv-40	15988.00	8972972.86	813101.06	1723.29	piroxeno	granate	0.14
Nv-40	MUESTRA 400501	8972993.03	813185.77	1721.00	piroxeno	granate	0.30
Nv-40	15963.00	8973036.83	813139.82	1723.29	granate	piroxeno	0.51
Nv-40	15964.00	8973039.67	813135.36	1723.29	granate	piroxeno	0.51
Nv-40	15966.00	8973037.97	813137.44	1723.29	granate	piroxeno	0.51
Nv-40	15959.00	8973032.88	813145.83	1723.29	granate	piroxeno	0.52
Nv-40	15962.00	8973035.65	813141.66	1723.29	granate	piroxeno	0.52
Nv-40	15967.00	8973030.83	813143.50	1723.29	granate	piroxeno	0.52
Nv-40	15968.00	8973026.29	813145.14	1723.29	granate	piroxeno	0.53
Nv-40	15970.00	8973021.38	813143.25	1723.29	granate	piroxeno	0.53
Nv-40	15974.00	8973013.29	813138.98	1723.29	granate	piroxeno	0.53
Nv-40	15954.00	8973004.04	813172.74	1723.29	granate	piroxeno	0.54
Nv-40	15955.00	8973008.87	813160.65	1723.29	granate	piroxeno	0.54
Nv-40	15975.00	8973008.49	813136.26	1723.29	granate	piroxeno	0.54
Nv-40	15977.00	8973004.89	813132.55	1723.29	granate	piroxeno	0.54
Nv-40	15952.00	8973002.61	813174.70	1723.29	granate	piroxeno	0.55
Nv-40	15978.00	8973001.13	813129.36	1723.29	granate	piroxeno	0.55
Nv-40	15979.00	8972997.62	813125.83	1723.29	granate	piroxeno	0.55
Nv-40	15981.00	8972994.00	813122.29	1723.29	granate	piroxeno	0.55
Nv-40	15983.00	8972986.86	813115.30	1723.29	granate	piroxeno	0.56
Nv-40	15985.00	8972983.31	813111.78	1723.29	granate	piroxeno	0.56
Nv-40	15986.00	8972979.69	813108.37	1723.29	granate	piroxeno	0.57
Nv-40	35421.00	8972982.23	813112.84	1723.29	granate	piroxeno	0.57
Nv-40	35422.00	8972980.08	813111.90	1723.29	granate	piroxeno	0.57
Nv-40	MUESTRA 400504	8972887.89	813125.32	1715.00	granate	piroxeno	0.66
Nv-40	35423.00	8972929.24	813105.09	1719.10	granate	piroxeno	0.68
Nv-40	MUESTRA 400603	8972893.50	813149.39	1715.00	granate	piroxeno	0.81
Nv-40	MUESTRA 400307	8972874.07	813082.12	1719.00	granate	piroxeno	0.88
Nv-60	MUESTRA 600308	8972860.03	813136.83	1697.00	granate	piroxeno	0.71
Nv-60	MUESTRA 601001	8973009.21	813115.00	1705.00	granate	piroxeno	0.73
Nv-70	MUESTRA 700309	8972928.19	813165.43	1685.00	piroxeno	granate	0.10
Nv-70	MUESTRA 700506	8972974.60	813095.61	1691.00	piroxeno	granate	0.18
Nv-70	MUESTRA 700308	8972864.75	813153.92	1685.00	granate	piroxeno	0.58
Nv-70	16082.00	8972909.81	813103.85	1690.90	granate	piroxeno	0.74
Nv-70	16083.00	8972907.15	813104.95	1690.90	granate	piroxeno	0.76
Nv-70	16078.00	8972896.70	813161.83	1690.90	granate	piroxeno	0.79
Nv-70	16079.00	8972898.16	813160.12	1690.90	granate	piroxeno	0.79
Nv-70	16077.00	8972895.00	813163.83	1690.90	granate	piroxeno	0.80
Nv-70	16075.00	8972893.35	813165.73	1690.90	granate	piroxeno	0.81
Nv-70	16072.00	8972888.38	813171.22	1690.90	granate	piroxeno	0.82
Nv-70	16073.00	8972890.04	813169.34	1690.90	granate	piroxeno	0.82
Nv-70	16074.00	8972891.69	813167.51	1690.90	granate	piroxeno	0.82
Nv-70	16057.00	8972886.75	813206.86	1690.90	granate	piroxeno	0.83
Nv-70	16070.00	8972886.77	813173.08	1690.90	granate	piroxeno	0.83
Nv-70	16058.00	8972884.88	813202.88	1690.90	granate	piroxeno	0.84

Nv-70	16068.00	8972883.45	813176.89	1690.90	granate	piroxeno	0.84
Nv-70	16069.00	8972884.97	813175.09	1690.90	granate	piroxeno	0.84
Nv-70	16059.00	8972881.86	813198.33	1690.90	granate	piroxeno	0.85
Nv-70	16065.00	8972879.42	813183.53	1690.90	granate	piroxeno	0.85
Nv-70	16066.00	8972880.13	813180.94	1690.90	granate	piroxeno	0.85
Nv-70	16067.00	8972881.80	813178.84	1690.90	granate	piroxeno	0.85
Nv-70	16060.00	8972878.37	813193.88	1690.90	granate	piroxeno	0.86
Nv-70	16064.00	8972879.10	813185.79	1690.90	granate	piroxeno	0.86
Nv-70	16062.00	8972875.43	813189.55	1690.90	granate	piroxeno	0.87
Nv-70	16063.00	8972872.29	813186.54	1690.90	granate	piroxeno	0.87
Nv-75	MUESTRA 750909	8972980.86	813091.70	1680.00	piroxeno	granate	0.44
Nv-90	MUESTRA 90507	8972975.84	813151.00	1678.00	granate	piroxeno	0.54
Nv-90	MUESTRA 900103	8972993.58	813104.38	1670.00	granate	piroxeno	0.78
Nv-100	MUESTRA 1000310	8972864.29	813139.64	1658.00	piroxeno	granate	0.27
Nv-100	MUESTRA 1000105	8972962.77	813083.43	1645.00	piroxeno	granate	0.46
Nv-100	MUESTRA 1003001	8972903.71	813121.55	1732.00	granate	piroxeno	0.85
Superficie	MUESTRA 1010702	8972398.73	813136.55	1647.00	piroxeno	granate	0.13
Superficie	MUESTRA 1010809	8973257.61	813221.30	1851.00	piroxeno	granate	0.45
Superficie	MUESTRA 1010902	8972449.37	813164.69	1649.00	granate	piroxeno	0.59
Superficie	MUESTRA 10501	8972358.48	813111.36	1628.00	granate	piroxeno	0.75
Superficie	MUESTRA 106071	8972572.85	813213.12	1628.00	granate	piroxeno	0.75
Superficie	16088.00	813458.00	8972746.00	1523.00	piroxeno	granate	0.27
Superficie	16187.00	813342.00	8973211.00	1776.00	piroxeno	granate	0.28
Superficie	16193.00	813316.00	8973506.00	1855.00	piroxeno	granate	0.28
Superficie	16096.00	813313.00	8973219.00	1794.00	piroxeno	granate	0.29
Superficie	16097.00	813304.00	8973243.00	1798.00	piroxeno	granate	0.30
Superficie	16186.00	813248.00	8973170.00	1814.00	piroxeno	granate	0.31
Superficie	16196.00	813272.00	8973224.00	1829.00	piroxeno	granate	0.31
Superficie	16191.00	813242.00	8973406.00	1901.00	piroxeno	granate	0.32
Superficie	16252.00	813226.00	8972845.00	1684.00	piroxeno	granate	0.33
Superficie	16251.00	813225.00	8972841.00	1685.00	piroxeno	granate	0.34
Superficie	16256.00	813205.00	8972956.00	1710.00	piroxeno	granate	0.34
Superficie	16254.00	813204.00	8972870.00	1699.00	piroxeno	granate	0.35
Superficie	16257.00	813198.00	8972993.00	1730.00	piroxeno	granate	0.36
Superficie	16197.00	813195.00	8973132.00	1814.00	piroxeno	granate	0.37
Superficie	16185.00	813189.00	8972803.00	1683.00	piroxeno	granate	0.38
Superficie	16258.00	813182.00	8972970.00	1731.00	piroxeno	granate	0.38
Superficie	16264.00	813176.00	8973017.00	1755.00	piroxeno	granate	0.39
Superficie	16260.00	813166.00	8972952.00	1734.00	piroxeno	granate	0.40
Superficie	16262.00	813163.00	8972959.00	1739.00	piroxeno	granate	0.41
Superficie	16263.00	813163.00	8972959.00	1739.00	piroxeno	granate	0.41
Superficie	16261.00	813159.00	8972958.00	1740.00	piroxeno	granate	0.42
Superficie	16013.00	813133.49	8973001.64	1780.00	piroxeno	granate	0.43
Superficie	16012.00	813130.61	8972993.68	1780.00	piroxeno	granate	0.44
Superficie	16014.00	813133.36	8973004.16	1781.00	piroxeno	granate	0.44
Superficie	16015.00	813127.60	8973005.29	1786.00	piroxeno	granate	0.45
Superficie	16011.00	813124.45	8972975.88	1779.00	piroxeno	granate	0.46
Superficie	16008.00	813119.82	8972971.83	1782.00	piroxeno	granate	0.47
Superficie	16010.00	813120.75	8972973.92	1782.00	piroxeno	granate	0.47
Superficie	16007.00	813118.31	8972969.84	1783.00	piroxeno	granate	0.48

Superficie	16087.00	813359.00	8972684.00	1548.00	granate	piroxeno	0.87
Superficie	16093.00	813764.00	8972892.00	1452.00	granate	piroxeno	0.87
Superficie	16085.00	813343.00	8972785.00	1610.00	granate	piroxeno	0.88
Superficie	16182.00	813173.00	8972758.00	1672.00	granate	piroxeno	0.88
Superficie	16189.00	813268.00	8973353.00	1891.00	granate	piroxeno	0.88
Superficie	16190.00	813301.00	8973311.00	1818.00	granate	piroxeno	0.88
Superficie	16255.00	813205.00	8972906.00	1696.00	granate	piroxeno	0.88
Superficie	16018.00	813143.77	8973024.90	1779.00	granate	piroxeno	0.89
Superficie	16175.00	813144.00	8972662.00	1694.00	granate	piroxeno	0.89
Superficie	16181.00	813172.00	8972792.00	1679.00	granate	piroxeno	0.89
Superficie	16183.00	813170.00	8972743.00	1675.00	granate	piroxeno	0.89
Superficie	16006.00	813116.57	8972968.33	1785.00	granate	piroxeno	0.90
Superficie	16017.00	813130.20	8973010.56	1786.00	granate	piroxeno	0.90
Superficie	16177.00	813137.00	8972655.00	1698.00	granate	piroxeno	0.90

Tabla 6. Distribución de muestras con sus coordenadas, mineral primario y secundario, y el índice cuantitativo utilizado para determinar la zonación mineralógica en el depósito. Fuente: EXPLOANDINA S.A.C.

NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA	LOCALIDAD	ZONA	ESTE (X)	NORTE (Y)	ELEVACIÓN	Au_g/t	Ag_g/t	Cu_%	Mo_%	Pb_%	Zn_%
1	1305	Casma	17	814002.37	8972528.25	1286.12	0.01	0.25	43.3	1.66	15.2	0.0099
2	1306	Casma	17	814002.49	8972528.36	1286.23	0.0099	0.23	45.1	0.64	16.8	0.0099
3	1307	Casma	17	813987.15	8972557.28	1287.34	0.0099	0.06	27.2	0.6	3.4	0.0099
4	1308	Casma	17	813992.27	8972588.19	1287.45	0.0099	0.07	46	2.09	6.5	0.01
5	1309	Casma	17	813944.38	8972654.56	1298.67	0.0099	0.06	42.6	0.88	6.4	0.01
6	1310	Casma	17	813930.42	8972661.73	1314.78	0.0099	0.05	26.9	0.52	4.3	0.01
7	1311	Casma	17	813911.53	8972701.64	1322.89	0.0099	0.02	23.5	0.73	6.4	0.0099
8	1312	Casma	17	813874.61	8972773.72	1337.91	0.0099	0.05	22.4	0.66	7.6	0.01
9	1313	Casma	17	813874.79	8972789.83	1340.02	0.01	0.14	98	1.05	11.7	0.0099
10	1314	Casma	17	813873.86	8972833.94	1369.13	0.01	0.15	46.8	0.89	16.1	0.0099
11	1315	Casma	17	813857.97	8972864.05	1381.24	0.07	0.3	415	0.22	9.3	0.0099
12	1316	Casma	17	813849.18	8973000.16	1422.35	0.0099	0.09	41.3	1.08	6.5	0.01
13	1317	Casma	17	813838.29	8973077.27	1450.46	0.02	0.08	30.6	1.41	9.6	0.01
14	1318	Casma	17	813283.31	8972842.38	1648.57	0.0099	0.07	21.6	5.06	5.4	0.69
15	1319	Casma	17	813266.42	8972960.49	1667.68	0.0099	0.04	262	32.7	3.1	0.02
16	1320	Casma	17	813234.53	8972974.51	1694.79	0.0099	0.23	133.5	2.07	14.1	0.07
17	1321	Casma	17	813215.64	8972986.62	1712.81	0.0099	0.27	116.5	1.11	15.8	0.24
18	1321	Casma	17	813215.75	8972986.73	1712.92	0.0099	0.5	113	1	20	0.25
19	1322	Casma	17	813147.86	8973019.84	1773.03	0.000868817	0.11	63.7	1.51	7.2	1.05
20	1323	Casma	17	813148.97	8973019.95	1773.14	0.001286036	0.41	229	2.73	3.9	3.61
21	1324	Casma	17	813149.08	8973019.06	1773.25	0.03	3.17	471	2.89	6.7	24.5
22	1325	Casma	17	813285.19	8972787.17	1638.36	0.0099	0.1	73.1	23.6	3.9	0.03
23	1326	Casma	17	813221.21	8972772.28	1643.47	0.01	0.17	123	5.02	9	0.06
24	1326	Casma	17	813221.32	8972772.39	1641.58	0.005664344	0.0198	115	5	11	0.04
25	1327	Casma	17	813174.43	8972718.41	1673.69	0.04	0.15	122	3.44	11.8	0.07
26	1327	Casma	17	813174.54	8972718.52	1661.71	0.0099	0.0198	112	3	13	0.03
27	1328	Casma	17	812749.65	8972496.63	1715.82	0.007045636	0.06	23.1	17.15	8.1	0.03
28	1329	Casma	17	812691.76	8972495.74	1717.93	0.002465647	0.24	141.5	272	3.2	0.15
29	1330	Casma	17	812416.87	8972367.85	1755.04	0.0099	0.09	8.1	1.42	14.4	0.01
30	1331	Casma	17	813668.98	8972565.96	1370.15	0.02	0.33	62.8	0.55	18.8	0.0099
31	1332	Casma	17	813604.09	8972562.07	1395.26	0.0099	0.13	24.5	1	38.7	0.01
32	1333	Casma	17	813565.11	8972572.18	1412.37	0.0099	0.03	6.8	0.53	7.6	0.01
33	1334	Casma	17	813884.12	8972644.29	1304.48	0.002402581	0.5	345	20.6	162	0.01
34	1335	Casma	17	813884.23	8972644.31	1304.59	0.0099	0.04	35.4	2.45	1.1	0.0099
35	1336	Casma	17	813840.34	8972686.42	1323.61	0.0099	0.13	41.6	0.63	6.5	0.01
36	1337	Casma	17	813823.45	8972691.53	1330.72	0.004248325	0.08	31.2	0.55	12.9	0.0099
37	1338	Casma	17	813711.56	8972743.64	1370.83	0.01	0.07	67.9	1.32	11.2	0.0099
38	1339	Casma	17	813711.67	8972743.75	1370.94	0.0099	0.04	28.6	1.06	4.7	0.0099
39	1340	Casma	17	813711.78	8972743.86	1370.05	0.0099	0.28	54.6	13.5	19	0.02
40	1341	Casma	17	813664.89	8972776.97	1394.16	0.01	0.11	65.3	1.04	17.3	0.0099
41	1342	Casma	17	813636.91	8972780.08	1396.27	0.0099	0.06	13.5	2.01	5.6	0.01
42	1343	Casma	17	813163.02	8972969.19	1731.38	0.01	1.57	440	0.13	5.5	30
43	1344	Casma	17	813164.13	8972969.21	1731.49	0.0099	0.71	115.5	5.47	4.2	7.31
44	1345	Casma	17	813119.24	8972960.32	1775.51	0.01	0.93	342	0.45	10.6	17.2
45	1346	Casma	17	813500.35	8972326.43	1399.62	0.01	0.08	31.1	0.54	11.2	0.09
46	1347	Casma	17	813620.46	8972379.54	1353.73	0.01	0.02	23.7	0.46	4.7	0.05
47	1360	Casma	17	813395.57	8972749.65	1558.84	0.0099	0.05	17.7	0.32	3.8	0.003953
48	1361	Casma	17	813282.68	8972843.76	1648.95	0.0099	0.04	7	2.58	3.8	0.01
49	1362	Casma	17	813252.79	8972991.87	1674.06	0.005159024	0.2	155	0.9	8.8	0.02
50	1363	Casma	17	813329.81	8973205.98	1787.17	0.0099	0.18	397	34.3	2.4	0.006435
51	1364	Casma	17	813881.92	8972777.09	1340.28	0.003673301	0.04	28.4	0.7	6.4	0.01
52	1365	Casma	17	813907.03	8972785.11	1360.39	0.0099	0.04	22.8	0.57	7.4	0.01
53	1366	Casma	17	813840.14	8973076.22	1450.41	0.01	0.07	37.8	1.1	6	0.01
54	1367	Casma	17	813800.25	8973162.33	1485.52	0.000788825	0.04	46.5	0.87	7.2	0.01
55	1368	Casma	17	813729.36	8972799.44	1405.63	0.002937605	0.07	33.9	1.14	6.7	0.0099
56	1369	Casma	17	813266.47	8972905.55	1646.74	0.0099	0.27	127.5	20.8	17.5	0.14
57	1370	Casma	17	813266.58	8972913.66	1643.85	0.0099	0.32	250	0.99	3.3	0.22
58	1398	Casma	17	813241.69	8972806.77	1664.96	0.0099	0.12	65.8	2.06	7.6	0.01
59	1399	Casma	17	813217.71	8972819.88	1684.07	0.0099	0.03	140.5	0.22	2.6	0.01
60	1400	Casma	17	813203.82	8972879.99	1700.18	0.0099	0.16	66.2	15.35	7	1.66
61	1401	Casma	17	813202.93	8972898.01	1700.29	0.002148096	0.33	79.1	5.2	14.2	2.36
62	1402	Casma	17	813180.04	8972911.12	1715.31	0.0099	0.65	214	63.8	8.7	18.55
63	1403	Casma	17	813132.15	8972835.23	1728.42	0.0099	0.29	48.3	3.61	4.3	5.32
64	1404	Casma	17	813159.26	8972873.34	1733.53	0.0099	0.14	45.1	2.57	3.1	2.89
65	1405	Casma	17	813195.37	8972836.45	1703.64	0.0099	0.33	283	16.45	10.5	1.9
66	1406	Casma	17	813158.48	8972846.56	1723.75	0.001187904	0.11	18.4	4.78	3.3	2.05
67	1407	Casma	17	813153.59	8972891.67	1741.86	0.0099	0.03	18.9	1.6	2	3.05
68	1408	Casma	17	813160.61	8972900.78	1737.97	0.01	0.34	34.8	2.28	6	7.45
69	1409	Casma	17	813135.72	8972913.89	1754.08	0.01	0.4	69.9	1.82	3.8	4.06
70	1410	Casma	17	813234.83	8972996.91	1707.19	0.0099	0.97	370	160.5	29.4	0.09

71	1411	Casma	17	813171.94	8973007.02	1751.21	0.0099	0.25	222	66.7	3.8	1.99
72	1412	Casma	17	813133.05	8972928.13	1754.32	0.0099	0.82	305	3.66	12.1	18
73	1413	Casma	17	813284.16	8972839.24	1648.43	0.0099	0.07	13.4	12.35	4.2	0.94
74	1414	Casma	17	813235.27	8972901.35	1670.54	0.0099	0.09	62.4	115.5	3.5	0.4
75	1415	Casma	17	813314.38	8972916.46	1632.65	0.008130884	0.33	967	20.1	5.5	0.18
76	1416	Casma	17	813280.49	8973292.57	1829.76	0.0099	1.59	71.8	30.1	25	0.01
77	1417	Casma	17	813215.51	8973063.68	1752.87	0.0099	0.17	55.5	167.5	5.7	4.02
78	1418	Casma	17	813295.62	8973175.79	1792.98	0.0099	0.41	467	144	4.6	0.01
79	1419	Casma	17	813173.73	8972745.81	1672.09	0.0099	0.09	29.7	18.1	3.1	0.94
80	1420	Casma	17	813390.84	8972649.92	1515.11	0.01	0.18	21.9	2.07	31.2	0.01
81	1421	Casma	17	813142.95	8973002.03	1773.22	0.0099	1	610	0.00099	1.089	4.91
82	1422	Casma	17	813142.06	8973003.14	1773.33	0.01	0.0198	680	0.00099	1.089	6.61
83	1423	Casma	17	813142.17	8973004.25	1773.44	0.01	1	850	0.00099	1.089	12.85
84	1424	Casma	17	813141.28	8973005.36	1774.55	0.02	2	660	0.00099	1.089	20.6
85	1425	Casma	17	813141.39	8973006.47	1774.66	0.01	1	280	0.00099	1.089	20.5
86	1426	Casma	17	813141.41	8973007.58	1774.77	0.01	1	560	0.00099	1.089	23.1
87	1427	Casma	17	813140.52	8973008.69	1774.88	0.004662295	0.0198	360	0.00099	1.089	15.25
88	1428	Casma	17	813140.63	8973010.71	1775.99	0.01	0.0198	390	0.00099	1.089	20.4
89	1429	Casma	17	813140.74	8973011.82	1775.01	0.01	1	260	0.00099	1.089	33.3
90	1430	Casma	17	813140.85	8973012.93	1775.12	0.01	0.0198	360	0.00099	1.089	23.7
91	1431	Casma	17	813140.96	8973013.04	1775.23	0.01	0.0198	330	0.00099	1.089	9.23
92	1432	Casma	17	813141.07	8973014.15	1775.34	0.01	1	320	0.00099	1.089	11.75
93	1433	Casma	17	813141.18	8973015.26	1775.45	0.01	1	340	0.00099	1.089	9.43
94	1434	Casma	17	813139.29	8973016.37	1780.56	0.02	3	620	0.00099	1.089	21.5
95	1435	Casma	17	813139.31	8973017.48	1780.67	0.03	2	480	0.00099	1.089	22.5
96	1436	Casma	17	813140.42	8973018.59	1780.78	0.02	4	670	0.00099	1.089	23.2
97	1437	Casma	17	813140.53	8973019.61	1780.89	0.01	2	720	0.00099	1.089	14.05
98	1438	Casma	17	813140.64	8973020.72	1780.91	0.02	2	1300	0.00099	1.089	4.86
99	1439	Casma	17	813141.75	8973020.83	1780.02	0.01	2	640	0.00099	1.089	18.85
100	1440	Casma	17	813141.86	8973021.94	1780.13	0.01	2	730	0.001	1.089	11.35
101	1441	Casma	17	813142.97	8973022.05	1778.24	0.003866645	0.0198	230	0.00099	1.089	5.17
102	1442	Casma	17	813143.08	8973023.16	1777.35	0.0099	0.0198	290	0.00099	1.089	4.55
103	1443	Casma	17	813143.19	8973023.27	1777.46	0.01	2	460	0.00099	1.089	14.7
104	1444	Casma	17	813144.21	8973024.38	1777.57	0.01	0.0198	370	0.00099	1.089	13.7
105	1445	Casma	17	813145.32	8973025.49	1777.68	0.02	2	490	0.00099	1.089	21.9
106	1446	Casma	17	813145.43	8973025.51	1777.79	0.02	2	400	0.00099	1.089	22.1
107	1447	Casma	17	813146.54	8973026.62	1777.81	0.01	1	300	0.00099	1.089	14.75
108	1448	Casma	17	813147.65	8973026.73	1776.92	0.02	2	270	0.00099	1.089	16.35
109	1449	Casma	17	813148.76	8973027.84	1776.03	0.0099	0.0198	220	0.00099	1.089	5.66
110	1450	Casma	17	813149.87	8973027.95	1776.14	0.02	0.0198	550	0.00099	1.089	20.1
111	1451	Casma	17	813115.98	8972965.06	1786.25	0.0099	0.0198	290	0.00099	1.089	4.63
112	1452	Casma	17	813115.09	8972966.17	1786.36	0.0099	0.0198	190	0.00099	1.089	6.17
113	1453	Casma	17	813129.11	8972962.28	1763.47	0.0099	0.0198	180	0.00099	1.089	8.77
114	1454	Casma	17	813128.22	8972962.39	1763.58	0.0099	0.0198	270	0.00099	1.089	11.05
115	1455	Casma	17	813125.33	8972946.41	1762.69	0.0099	1	250	0.00099	1.089	24.6
116	1456	Casma	17	813124.44	8972948.52	1762.71	0.0099	0.0198	230	0.00099	1.089	15.15
117	1457	Casma	17	813124.55	8972949.63	1762.82	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	2.72
118	1458	Casma	17	813123.66	8972950.74	1764.93	0.0099	0.0198	130	0.00099	1.089	3.57
119	1459	Casma	17	813123.77	8972950.85	1764.04	0.000199579	0.0198	260	0.00099	1.089	9.11
120	1460	Casma	17	813122.88	8972951.96	1764.15	0.0099	1	740	0.00099	1.089	15.1
121	1461	Casma	17	813122.99	8972952.07	1764.26	0.0099	1	110	0.00099	1.089	3.34
122	1462	Casma	17	813134.01	8972943.18	1754.37	0.01	0.0198	260	0.00099	1.089	18.1
123	1463	Casma	17	813133.12	8972943.29	1754.48	0.01	1	400	0.00099	1.089	16.8
124	1464	Casma	17	813132.23	8972944.31	1754.59	0.01	2	340	0.00099	1.089	19.85
125	1465	Casma	17	813131.34	8972944.42	1754.61	0.01	1	380	0.00099	1.089	16.55
126	1466	Casma	17	813130.45	8972944.53	1756.72	0.0099	1	170	0.00099	1.089	9.24
127	1467	Casma	17	813130.56	8972946.64	1756.83	0.0099	0.0198	110	0.00099	1.089	3.55
128	1468	Casma	17	813130.67	8972945.75	1756.94	0.01	2	220	0.00099	1.089	13.5
129	1469	Casma	17	813129.78	8972944.86	1756.05	0.01	1	260	0.00099	1.089	11.75
130	1470	Casma	17	813129.89	8972944.97	1756.16	0.01	1	320	0.00099	1.089	15.6
131	1471	Casma	17	813129.91	8972944.08	1756.27	0.00074431	1	270	0.00099	1.089	11.85
132	1472	Casma	17	813127.13	8972945.21	1758.49	0.01	0.0198	310	0.00099	1.089	13.6
133	1473	Casma	17	813127.24	8972945.32	1758.51	0.0099	0.0198	320	0.00099	1.089	10.45
134	1474	Casma	17	813136.35	8972943.43	1751.62	0.01	1	460	0.00099	1.089	25.2
135	1475	Casma	17	813138.46	8972927.54	1750.73	0.0099	1	240	0.00099	1.089	17.05
136	1476	Casma	17	813138.57	8972928.65	1750.84	0.02	2	990	0.00099	1.089	21
137	1477	Casma	17	813138.68	8972928.76	1750.95	0.01	1	150	0.003	1.089	12
138	1478	Casma	17	813138.79	8972929.87	1750.06	0.01	0.0198	170	0.00099	1.089	6.69
139	1479	Casma	17	813138.81	8972930.98	1750.17	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	3.45
140	1480	Casma	17	813138.92	8972930.09	1750.28	0.0099	1	120	0.00099	1.089	2.89

141	1481	Casma	17	813137.03	8972931.11	1750.39	0.008668013	0.0198	11	0.00099	1.089	2.69
142	1482	Casma	17	813137.14	8972931.22	1750.41	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.91
143	1483	Casma	17	813137.25	8972932.33	1750.52	0.0099	2	240	0.00099	1.089	13.9
144	1484	Casma	17	813137.36	8972932.44	1750.63	0.0099	0.0198	70	0.00099	1.089	4.05
145	1485	Casma	17	813137.47	8972933.55	1750.74	0.0099	0.0198	0.005	0.002	1.089	0.82
146	1486	Casma	17	813137.58	8972933.66	1750.85	0.0099	1	360	0.00099	1.089	23.4
147	1487	Casma	17	813136.69	8972933.77	1751.96	0.0099	0.0198	360	0.00099	1.089	31
148	1488	Casma	17	813136.71	8972934.88	1751.07	0.0099	1	180	0.00099	1.089	13.85
149	1489	Casma	17	813136.82	8972935.99	1751.18	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	3.14
150	1490	Casma	17	813136.93	8972935.01	1751.29	0.0099	1	180	0.00099	1.089	12.1
151	1491	Casma	17	813136.04	8972936.12	1751.31	0.0099	0.0198	150	0.00099	1.089	13.1
152	1492	Casma	17	813137.15	8972936.23	1750.42	0.002216275	0.0198	0.005	0.00099	1.089	2.54
153	1493	Casma	17	813137.26	8972937.34	1750.53	0.0099	0.0198	80	0.00099	1.089	4.01
154	1494	Casma	17	813137.37	8972938.45	1750.64	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	1.01
155	1495	Casma	17	813137.48	8972939.56	1750.75	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.41
156	1496	Casma	17	813137.59	8972939.67	1750.86	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.2
157	1497	Casma	17	813137.61	8972940.78	1750.97	0.002449952	0.0198	0.005	0.00099	1.089	2.09
158	1498	Casma	17	813137.72	8972941.89	1750.08	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.12
159	1499	Casma	17	813136.83	8972941.91	1751.19	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	5.24
160	1500	Casma	17	813136.94	8972942.02	1751.21	0.008780932	1	80	0.00099	1.089	5.29
161	3101	Casma	17	813136.05	8972943.13	1751.32	0.0099	0.7	100	2	10	4.98
162	3102	Casma	17	813127.16	8972946.24	1758.43	0.0099	0.0198	15	0.00099	6	0.65
163	3103	Casma	17	813126.27	8972947.35	1758.54	0.0099	0.0198	9	1	11	0.5
164	3104	Casma	17	813126.38	8972948.46	1758.65	0.0099	1.3	185	0.00099	16	10.5
165	3105	Casma	17	813125.49	8972948.57	1762.76	0.0099	0.0198	30	2	6	2
166	3106	Casma	17	813124.51	8972949.68	1762.87	0.0099	0.0198	95	1	15	9.4
167	3107	Casma	17	813124.62	8972950.79	1762.98	0.000858941	0.8	241	1	25	14.35
168	3108	Casma	17	813123.73	8972951.81	1764.09	0.0099	0.0198	11	2	7	1.21
169	3109	Casma	17	813146.84	8972842.92	1725.11	0.0099	0.0198	13	2	5	0.65
170	3110	Casma	17	813147.95	8972842.03	1725.22	0.0099	0.0198	12	3	6	1.67
171	3111	Casma	17	813150.06	8972845.14	1726.33	0.0099	0.0198	12	3	5	1.92
172	3112	Casma	17	813152.17	8972846.25	1726.44	0.0099	0.0198	36	2	6	1.68
173	3113	Casma	17	813164.28	8972836.36	1715.55	0.0099	0.0198	15	1	6	2.23
174	3114	Casma	17	813163.39	8972836.47	1716.66	0.004094744	0.0198	7	1	4	0.39
175	3115	Casma	17	813164.41	8972860.58	1728.77	0.0099	0.0198	16	0.00099	8	1.04
176	3116	Casma	17	813196.52	8972857.69	1706.88	0.0099	0.0198	47	3	6	0.05
177	3117	Casma	17	813208.63	8972838.71	1696.99	0.0099	0.9	40	118	16	1.27
178	3118	Casma	17	813201.74	8972991.82	1726.01	0.007025664	0.5	24	65	9	2.93
179	3119	Casma	17	813171.85	8972980.93	1738.12	0.0099	0.0198	37	2	1.089	0.72
180	3120	Casma	17	813152.96	8972950.04	1741.23	0.002519896	0.8	114	2	6	1.65
181	3121	Casma	17	813152.07	8972951.15	1741.34	0.0099	0.7	117	2	8	1.65
182	3122	Casma	17	813152.18	8972952.26	1742.45	0.0099	0.6	129	2	8	0.49
183	3123	Casma	17	813152.29	8972953.37	1742.56	0.005933479	0.9	148	81	5	4.14
184	3124	Casma	17	813153.31	8972954.48	1743.67	0.0099	0.0198	43	0.00099	12	6.28
185	3125	Casma	17	813123.42	8972951.59	1764.78	0.0099	0.0198	133	1	14	6.79
186	3126	Casma	17	813123.53	8972952.61	1764.89	0.0099	0.6	38	5	1.089	3.16
187	3127	Casma	17	813163.64	8972935.72	1730.91	0.001848505	0.8	98	5	4	3.56
188	3128	Casma	17	813162.75	8972936.83	1732.02	0.0099	0.6	51	6	8	4.23
189	3129	Casma	17	813162.86	8972937.94	1732.13	0.005109925	0.7	83	7	4	3.85
190	3130	Casma	17	813162.97	8972937.05	1732.24	0.0099	0.7	43	48	2	3.38
191	3131	Casma	17	813162.08	8972938.16	1732.35	0.006880369	0.7	38	6	7	3.38
192	3132	Casma	17	813161.19	8972939.27	1733.46	0.0099	0.5	20	5	7	1.13
193	3133	Casma	17	813161.21	8972940.38	1733.57	0.009135721	0.5	22	5	5	1.31
194	3134	Casma	17	813160.32	8972941.49	1733.68	0.0099	0.9	19	10	6	0.65
195	3135	Casma	17	813160.43	8972942.51	1733.79	0.0099	0.7	19	4	3	0.79
196	3136	Casma	17	813160.54	8972943.62	1733.81	0.003597456	0.0198	19	1	5	0.83
197	3137	Casma	17	813159.65	8972944.73	1734.92	0.0099	0.7	28	2	7	1.34
198	3138	Casma	17	813159.76	8972945.84	1734.03	0.0099	0.8	33	3	4	1.35
199	3139	Casma	17	813159.87	8972946.95	1735.14	0.01	0.8	27	1	4	1.12
200	3140	Casma	17	813158.09	8972948.17	1737.36	0.00164226	0.6	32	81	7	1.7
201	3141	Casma	17	813158.11	8972949.28	1737.47	0.0099	0.9	58	25	6	4.08
202	3142	Casma	17	813208.22	8972776.39	1650.58	0.0099	0.6	61	65	33	0.11
203	3143	Casma	17	813175.33	8972791.41	1677.69	0.0099	0.8	10	3	3	0.03
204	3144	Casma	17	813172.44	8972761.52	1673.71	0.003552155	0.5	12	2	1.089	0.1
205	3145	Casma	17	813170.55	8972750.63	1675.82	0.002985263	0.6	31	2	2	0.88
206	3146	Casma	17	813172.66	8972726.74	1674.93	0.0099	0.5	12	1	7	1.19
207	3147	Casma	17	813204.77	8972800.85	1673.04	0.0099	0.0198	59	2	4	0.01
208	3148	Casma	17	813173.88	8972783.96	1676.15	0.0099	0.0198	12	1	3	0.06
209	3149	Casma	17	813216.99	8973086.07	1758.26	0.0099	0.5	23	95	5	1.03
210	3150	Casma	17	813170.01	8973003.18	1747.37	0.0099	1	292	173	4	2.75

211	3401	Casma	17	813136.12	8972943.29	1751.48	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.3
212	3402	Casma	17	813135.23	8972943.31	1752.59	0.0099	0.0198	90	0.00099	1.089	1.37
213	3403	Casma	17	813135.34	8972944.42	1752.61	0.0099	0.0198	90	0.00099	1.089	1.82
214	3404	Casma	17	813134.45	8972944.53	1754.72	0.0099	1	430	0.00099	1.089	12.65
215	3405	Casma	17	813134.56	8972944.64	1754.83	0.01	3	630	0.00099	1.089	23.4
216	3406	Casma	17	813133.67	8972945.75	1754.94	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.23
217	3407	Casma	17	813133.78	8972945.86	1754.05	0.003906321	1	90	0.00099	1.089	2.25
218	3408	Casma	17	813133.89	8972945.97	1754.16	0.0099	0.0198	150	0.00099	1.089	4.72
219	3409	Casma	17	813133.91	8972946.08	1754.27	0.01	2	740	0.00099	1.089	16.6
220	3410	Casma	17	813133.02	8972947.19	1754.38	0.006132617	1	160	0.00099	1.089	5.52
221	3411	Casma	17	813133.13	8972947.21	1754.49	0.0099	1	270	0.00099	1.089	7.35
222	3412	Casma	17	813133.24	8972948.32	1754.51	0.0099	3	830	0.00099	1.089	19.95
223	3413	Casma	17	813133.35	8972948.43	1754.62	0.008450804	1	330	0.00099	1.089	5.15
224	3414	Casma	17	813133.46	8972949.54	1754.73	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	1.05
225	3415	Casma	17	813133.57	8972949.65	1754.84	0.01	1	730	0.00099	1.089	15.3
226	3416	Casma	17	813134.68	8972950.76	1754.95	0.0099	1	210	0.00099	1.089	4.01
227	3417	Casma	17	813133.79	8972950.87	1754.06	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.89
228	3418	Casma	17	813134.81	8972951.98	1754.17	0.0099	0.0198	80	0.00099	1.089	1.75
229	3419	Casma	17	813134.92	8972951.09	1754.28	0.0099	1	0.005	0.00099	1.089	1.88
230	3420	Casma	17	813134.03	8972952.11	1754.39	0.009714789	1	150	0.00099	1.089	5.93
231	3421	Casma	17	813134.14	8972953.22	1754.41	0.007322466	0.0198	0.005	0.00099	1.089	2.02
232	3422	Casma	17	813134.25	8972953.33	1754.52	0.008536965	0.0198	50	0.00099	1.089	1.15
233	3423	Casma	17	813138.36	8972926.44	1750.63	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.59
234	3424	Casma	17	813138.47	8972925.55	1750.74	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.91
235	3425	Casma	17	813138.58	8972924.66	1750.85	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.07
236	3426	Casma	17	813138.69	8972924.77	1750.96	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.21
237	3427	Casma	17	813138.71	8972923.88	1750.07	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.63
238	3428	Casma	17	813138.82	8972922.99	1750.18	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.64
239	3429	Casma	17	813138.93	8972920.01	1751.29	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.68
240	3430	Casma	17	813138.04	8972919.12	1751.31	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.64
241	3431	Casma	17	813139.15	8972918.23	1751.42	0.01	0.0198	130	0.00099	1.089	6.47
242	3432	Casma	17	813139.26	8972918.34	1751.53	0.01	1	50	0.00099	1.089	5.31
243	3433	Casma	17	813139.37	8972916.45	1751.64	0.0099	0.0198	90	0.00099	1.089	5.59
244	3434	Casma	17	813139.48	8972915.56	1751.75	0.007832776	0.0198	50	0.00099	1.089	4.62
245	3435	Casma	17	813139.59	8972914.67	1751.86	0.005019359	1	50	0.00099	1.089	6.32
246	3436	Casma	17	813139.61	8972913.78	1751.97	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	8.44
247	3437	Casma	17	813140.72	8972912.89	1751.08	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	3.09
248	3438	Casma	17	813140.83	8972911.91	1751.19	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	4.05
249	3439	Casma	17	813140.94	8972910.02	1751.21	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.93
250	3440	Casma	17	813140.05	8972909.13	1751.32	0.0099	1	0.005	0.00099	1.089	1.97
251	3441	Casma	17	813141.16	8972908.24	1751.43	0.008003632	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.95
252	3442	Casma	17	813141.27	8972907.35	1751.54	0.001991623	1	0.005	0.00099	1.089	2.23
253	3443	Casma	17	813141.38	8972906.46	1751.65	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	4.74
254	3444	Casma	17	813142.49	8972905.57	1749.76	0.0099	1	50	0.00099	1.089	6.03
255	3445	Casma	17	813143.51	8972905.68	1749.87	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.37
256	3446	Casma	17	813143.62	8972904.79	1749.98	0.01	0.0198	60	0.001	1.089	4.06
257	3447	Casma	17	813144.73	8972903.81	1746.09	0.00348775	0.0198	0.005	0.001	1.089	4.32
258	3448	Casma	17	813145.84	8972902.92	1746.11	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.36
259	3449	Casma	17	813145.95	8972901.03	1746.22	0.0099	0.0198	70	0.001	1.089	4.68
260	3450	Casma	17	813146.06	8972900.14	1746.33	0.01	0.0198	110	0.001	1.089	4.99
261	3451	Casma	17	813154.17	8972879.25	1737.44	0.007409222	1	0.005	0.00099	1.089	1.44
262	3452	Casma	17	813154.28	8972878.36	1737.55	0.0099	0.0198	0.005	0.001	1.089	2.08
263	3453	Casma	17	813155.39	8972877.47	1736.66	0.0099	1	0.005	0.00099	1.089	2.44
264	3454	Casma	17	813155.41	8972876.58	1736.77	0.00431989	1	0.005	0.00099	1.089	1.54
265	3455	Casma	17	813155.52	8972875.69	1736.88	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	9.88
266	3456	Casma	17	813156.63	8972874.71	1736.99	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.74
267	3457	Casma	17	813156.74	8972873.82	1736.01	0.0099	0.0198	110	0.00099	1.089	5.5
268	3458	Casma	17	813156.85	8972872.93	1736.12	0.0099	1	140	0.001	1.089	5.74
269	3459	Casma	17	813156.96	8972871.04	1736.23	0.002650017	2	0.005	0.004	1.089	4.65
270	3460	Casma	17	813156.07	8972870.15	1735.34	0.006621754	0.0198	120	0.001	1.089	3.49
271	3461	Casma	17	813151.18	8972830.26	1715.45	0.0099	0.0198	60	0.00099	1.089	1.95
272	3462	Casma	17	813150.29	8972830.37	1715.56	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.41
273	3463	Casma	17	813149.31	8972830.48	1715.67	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	0.57
274	3464	Casma	17	813148.42	8972830.59	1715.78	0.0099	0.0198	60	0.00099	1.089	2.22
275	3465	Casma	17	813147.53	8972830.61	1716.89	0.0099	0.0198	50	0.001	1.089	1.52
276	3466	Casma	17	813146.64	8972830.72	1716.91	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.42
277	3467	Casma	17	813145.75	8972830.83	1716.02	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	3.5
278	3468	Casma	17	813144.86	8972830.94	1716.13	0.0099	1	0.005	0.00099	1.089	1.91
279	3469	Casma	17	813143.97	8972830.05	1716.24	0.0099	0.0198	0.005	0.001	1.089	2.38
280	3470	Casma	17	813161.08	8972958.16	1738.35	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	2.66

281	3471	Casma	17	813160.19	8972959.27	1741.46	0.009336246	1	360	0.00099	1.089	20.7
282	3472	Casma	17	813160.21	8972960.38	1741.57	0.0099	1	480	0.00099	1.089	36.2
283	3473	Casma	17	813160.32	8972960.49	1741.68	0.0099	1	110	0.005	1.089	12.9
284	3474	Casma	17	813203.43	8972890.51	1700.79	0.0099	1	0.005	0.00099	1.089	0.37
285	3475	Casma	17	813203.54	8972889.62	1700.81	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.32
286	3476	Casma	17	813203.65	8972888.73	1700.92	0.000956174	0.0198	50	0.001	1.089	2.14
287	3477	Casma	17	813203.76	8972887.84	1700.03	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.59
288	3478	Casma	17	813203.87	8972886.95	1700.14	0.001624465	0.0198	0.005	0.00099	1.089	1.15
289	3479	Casma	17	813203.98	8972885.06	1700.25	0.0099	0.0198	0.005	0.00099	1.089	2.12
290	3480	Casma	17	813203.09	8972884.17	1700.36	0.0099	0.0198	50	0.00099	1.089	0.11
291	3481	Casma	17	813138.11	8972927.28	1750.47	0.0099	0.0198	46	56	12	6.43
292	3482	Casma	17	813136.22	8972929.39	1751.58	0.004948256	0.5	68	4	11	6.89
293	3483	Casma	17	813136.33	8972930.41	1751.69	0.0099	0.0198	35	2	9	4.2
294	3484	Casma	17	813135.44	8972931.52	1752.71	0.0099	0.5	42	1	11	6.14
295	3485	Casma	17	813135.55	8972932.63	1752.82	0.0099	0.0198	12	8	9	1.54
296	3486	Casma	17	813134.66	8972933.74	1754.93	0.0099	0.0198	44	13	7	4.25
297	3487	Casma	17	813134.77	8972934.85	1754.04	0.0099	0.5	200	1	17	9.91
298	3488	Casma	17	813133.88	8972935.96	1754.15	0.0099	0.0198	67	10	14	6.41
299	3489	Casma	17	813133.99	8972936.07	1754.26	0.0099	0.0198	161	8	21	11.35
300	3490	Casma	17	813132.01	8972937.18	1754.37	0.0099	0.5	36	6	7	2.16
301	3491	Casma	17	813132.12	8972937.29	1754.48	0.0006883	0.0198	98	21	24	7.22
302	3492	Casma	17	813131.23	8972938.31	1751.59	0.0099	0.0198	77	9	13	4.98
303	3493	Casma	17	813131.34	8972939.42	1751.61	0.0099	0.0198	10	4	7	1.03
304	3494	Casma	17	813130.45	8972940.53	1756.72	0.0099	0.0198	58	10	9	4.03
305	3495	Casma	17	813130.56	8972941.64	1756.83	0.008961131	0.0198	25	1	7	1.66
306	3496	Casma	17	813129.67	8972942.75	1756.94	0.0099	0.0198	46	2	8	1.95
307	3497	Casma	17	813129.78	8972943.86	1756.05	0.0099	0.0198	27	1	3	2.08
308	3498	Casma	17	813128.89	8972943.97	1756.16	0.01	1	258	0.00099	18	22.2
309	3499	Casma	17	813128.91	8972944.08	1756.27	0.01	1.6	444	0.00099	26	26.3
310	3500	Casma	17	813127.02	8972945.19	1758.38	0.0099	1	156	0.00099	10	11.5
311	16006	Casma	17	813127.11	8972945.21	1758.49	0.003833859	0.0198	107	7	6	0.52
312	16007	Casma	17	813117.24	8972968.32	1785.51	0.0099	0.0198	52	4	7	0.59
313	16008	Casma	17	813118.35	8972970.43	1783.62	0.0099	0.0198	51	6	4	0.47
314	16010	Casma	17	813120.46	8972972.54	1783.73	0.0099	0.3	201	3	8	3.43
315	16011	Casma	17	813121.57	8972974.65	1783.84	0.0099	0.0198	22	2	7	0.63
316	16012	Casma	17	813124.68	8972976.76	1778.95	0.0099	0.5	229	4	6	4.7
317	16013	Casma	17	813131.79	8972994.87	1782.06	0.003379485	0.0198	53	4	4	2.69
318	16014	Casma	17	813133.81	8973002.98	1782.17	0.0099	0.3	136	5	6	3.85
319	16015	Casma	17	813133.92	8973004.09	1783.28	0.0099	0.0198	56	3	6	0.82
320	16017	Casma	17	813128.03	8973005.11	1786.39	0.0099	0.5	264	16	6	2.74
321	16018	Casma	17	813130.14	8973011.22	1786.41	0.01	2.3	436	2	9	30
322	16085	Casma	17	813144.25	8973025.33	1777.52	0.001972956	0.2	116	2	11	0.03
323	16086	Casma	17	813343.36	8972785.44	1610.63	0.01	0.0198	27	1	15	0.01
324	16087	Casma	17	813381.47	8972724.55	1563.74	0.0099	0.0198	198	0.9	14	0.01
325	16088	Casma	17	813359.58	8972684.66	1547.85	0.8	0.0198	44	2	7	14.97
326	16089	Casma	17	813458.69	8972746.77	1519.96	0.0099	0.0198	23	1	4	0.03
327	16090	Casma	17	813686.71	8972661.88	1416.07	0.01	0.0198	100	4	12	0.01
328	16091	Casma	17	813874.82	8972785.99	1330.18	0.0099	0.2	62	8	23	0.03
329	16092	Casma	17	813003.93	8973106.01	1856.29	0.01	0.0198	36	9	7	0.01
330	16093	Casma	17	812943.04	8973076.12	1845.31	0.0099	0.0198	13	0.9	11	0.01
331	16095	Casma	17	813764.15	8972892.23	1435.42	0.006773674	0.2	37	0.9	40	0.01
332	16096	Casma	17	813560.26	8973095.34	1609.53	0.0099	0.0198	1	23	2	0.01
333	16097	Casma	17	813313.37	8973219.45	1794.64	0.0001	1.3	129	230	94	0.02
334	16099	Casma	17	813304.48	8973243.56	1797.75	0.005529677	0.0198	7	21	5	0.0099
335	16100	Casma	17	812436.59	8973380.67	1725.86	0.0099	0.4	74	6	15	0.01
336	16170	Casma	17	812368.61	8973437.78	1725.97	0.003472936	1.3	117	111	27	0.28
337	16172	Casma	17	813034.72	8973082.89	1885.08	0.0099	0.2	25	17	10	0.12
338	16173	Casma	17	812802.83	8972837.91	1947.19	0.002375753	0.0198	31	29	4	0.09
339	16174	Casma	17	812875.94	8972748.02	1930.21	0.0099	2	365	122	175	0.1
340	16175	Casma	17	812546.05	8972769.13	1946.32	0.0099	3	958	35	124	24
341	16177	Casma	17	813144.16	8972662.24	1694.43	0.62	0.6	195	221	29	14.1
342	16178	Casma	17	813137.27	8972655.35	1695.54	0.98	0.7	214	18	20	17.94
343	16179	Casma	17	813096.38	8972460.46	1709.65	0.77	0.5	127	1	7	14.32
344	16181	Casma	17	812856.49	8972376.57	1625.76	0.0099	0.0198	44	6	12	0.1
345	16182	Casma	17	813134.51	8972792.68	1678.87	0.0099	0.0198	23	1	9	0.0099
346	16183	Casma	17	813173.62	8972758.79	1672.98	0.006046062	0.0198	59	5	5	1.09
347	16185	Casma	17	813170.73	8972743.81	1675.09	0.0099	0.0198	34	1	3	0.01
348	16186	Casma	17	813189.84	8972803.92	1683.11	0.0099	0.0198	31	0.9	5	0.16
349	16187	Casma	17	813248.95	8973170.03	1815.22	0.0099	0.4	389	95	6	0.0099
350	16188	Casma	17	813342.06	8973211.14	1775.33	0.0099	0.2	128	4	22	0.73

351	16189	Casma	17	813290.17	8973300.25	1806.44	0.0099	0.0198	136	33	5	0.03
352	16190	Casma	17	813268.28	8973353.36	1833.55	0.0099	0.0198	73	6	9	0.03
353	16191	Casma	17	813301.39	8973311.47	1806.66	0.0099	0.0198	65	0.9	13	0.01
354	16192	Casma	17	813242.41	8973406.58	1838.77	0.0099	0.0198	72	3	7	0.0099
355	16193	Casma	17	813263.52	8973448.69	1827.88	0.003545765	0.0198	42	91	11	0.01
356	16195	Casma	17	813316.63	8973506.71	1796.99	0.0099	1.2	960	4	25	0.01
357	16196	Casma	17	813236.74	8973224.82	1855.01	0.000801377	0.5	100	2	26	0.02
358	16197	Casma	17	813272.85	8973224.93	1830.12	0.0099	0.5	420	130	11	0.16
359	16251	Casma	17	813195.96	8973132.04	1812.23	0.0099	0.2	213	7	8	0.05
360	16252	Casma	17	813225.07	8972841.15	1686.34	0.0099	0.2	229	3	10	0.01
361	16254	Casma	17	813226.18	8972845.26	1684.45	0.0099	0.5	285	13	27	0.01
362	16255	Casma	17	813204.29	8972870.37	1700.56	0.0099	0.0198	78	4	14	1.13
363	16256	Casma	17	813205.31	8972906.48	1696.67	0.0099	0.0198	36	54	14	1.06
364	16257	Casma	17	813205.42	8972956.59	1694.78	0.0099	0.3	64	74	31	3.93
365	16258	Casma	17	813198.53	8972993.61	1706.89	0.0099	0.3	151	115	20	2.64
366	16260	Casma	17	813182.64	8972970.72	1714.91	0.0099	0.9	45	61	85	5.47
367	16261	Casma	17	813166.75	8972952.83	1715.02	0.0099	0.4	152	28	9	7.52
368	16262	Casma	17	813159.86	8972958.94	1728.13	0.0099	0.2	50	72	5	3.78
369	16263	Casma	17	813163.97	8972959.05	1728.24	0.0099	0.2	160	108	5	4.82
370	16264	Casma	17	813163.08	8972959.16	1728.35	0.0099	0.2	316	69	7	0.94
371	16265	Casma	17	813176.19	8973017.27	1756.46	0.0099	0.3	22	0.9	23	0.03
372	16267	Casma	17	812073.21	8973532.38	1730.57	0.008305798	0.3	26	12	8	0.02
373	16268	Casma	17	812160.32	8973508.49	1725.68	0.0099	0.3	33	14	17	0.01
374	404803	Casma	17	813225.43	8972841.51	1686.79	2.75	0.6	190	1	14	10.32
375	404804	Casma	17	813124.54	8973223.62	1873.81	3.62	0.9	331	1	14	15.55
376	404805	Casma	17	813124.65	8973223.73	1873.92	2.64	0.6	225	1	16	11.46
377	404806	Casma	17	813124.76	8973223.84	1873.03	0.02	0.2	37.3	1	10	0.29
378	404807	Casma	17	813124.87	8973223.95	1873.14	20.11	2.6	355	4	4	20.43
379	404808	Casma	17	813130.98	8973033.06	1797.25	1.83	0.2	103	52	6	0.99
380	404809	Casma	17	813130.09	8973031.17	1798.36	0.1	0.2	12.5	7	6	0.12
381	404810	Casma	17	813125.11	8973020.28	1797.47	0.32	0.2	158	92	10	1.85
382	404811	Casma	17	813125.22	8973020.39	1798.58	0.03	0.2	10.3	1	7	0.24
383	404812	Casma	17	813125.33	8973020.41	1797.69	0.61	0.2	103	4	8	4.01
384	404813	Casma	17	813125.44	8973020.52	1797.71	2.72	0.3	87	3	5	2.23
385	404822	Casma	17	813129.55	8973015.63	1789.82	0.01	0.4	119	95	33	0.23
386	404823	Casma	17	813185.66	8973043.74	1768.93	0.01	0.7	196	146	34	1
387	404824	Casma	17	813185.77	8973035.85	1763.04	0.01	0.4	115	121	27	0.98
388	404825	Casma	17	813180.88	8973035.96	1766.15	0.02	0.4	108	100	30	1
389	404826	Casma	17	813181.99	8973030.07	1762.26	0.02	0.6	146	91	33	1
390	404827	Casma	17	813177.01	8973026.18	1762.37	1	0.2	109	2	18	1
391	404828	Casma	17	813109.12	8972961.29	1798.48	0.24	0.2	94.2	3	11	1
392	404829	Casma	17	813117.23	8972967.31	1783.59	0.02	0.3	84.6	5	12	0.32
393	404830	Casma	17	813115.34	8972963.42	1785.61	0.05	0.2	23.5	5	6	0.4
394	404831	Casma	17	813120.45	8972969.53	1780.72	0.08	0.2	17.5	2	5	0.49
395	404832	Casma	17	813128.56	8972971.64	1767.83	0.02	0.2	57.9	2	6	0.48
396	404833	Casma	17	813141.67	8972951.75	1748.94	0.07	0.2	81	2	7	1
397	404834	Casma	17	813130.78	8972981.86	1775.05	0.21	0.2	75.7	3	7	1
398	404835	Casma	17	813127.89	8972988.97	1782.16	0.02	0.4	91.6	3	18	0.3
399	404836	Casma	17	813140.91	8972987.08	1766.27	0.33	0.3	120	2	16	0.98
400	404837	Casma	17	813131.02	8972995.19	1782.38	1.34	0.2	54.5	3	11	1
401	404838	Casma	17	813135.13	8972997.21	1777.49	1.69	0.4	142	6	16	1
402	404839	Casma	17	813139.24	8973001.32	1775.51	0.11	0.2	89.3	32	11	0.13
403	404840	Casma	17	813127.35	8972872.43	1755.62	0.1	0.2	40.3	19	11	0.18
404	404841	Casma	17	813128.46	8972877.54	1755.73	1.6	0.2	91.2	4	17	1
405	404842	Casma	17	813109.57	8972956.65	1797.84	0.29	0.2	176	6	7	1
406	404843	Casma	17	813104.68	8972953.76	1807.95	0.4	0.5	216	3	10	1
407	404844	Casma	17	813101.79	8972950.87	1812.06	0.13	0.2	65.6	4	8	0.49
408	404845	Casma	17	813096.81	8972947.98	1819.17	1.32	0.4	220	12	13	1
409	404846	Casma	17	813092.92	8972945.09	1824.28	0.03	0.2	30.9	3	8	0.1
410	404847	Casma	17	813101.03	8972968.11	1815.39	0.79	0.3	120	3	12	1
411	404848	Casma	17	813098.14	8972964.22	1820.41	1.05	0.4	146	4	14	1
412	404849	Casma	17	813101.25	8972961.33	1815.52	3.51	0.5	210	16	19	1
413	404850	Casma	17	813102.36	8972958.44	1813.63	4.44	0.4	252	5	25	1
414	404851	Casma	17	813108.47	8972953.55	1797.74	0.24	0.3	209	1	20	0.73
415	404852	Casma	17	813134.58	8973225.66	1881.85	0.01	0.2	50.4	17	21	0.02
416	404853	Casma	17	813118.69	8973260.77	1872.96	0.01	0.2	80.6	1	19	0.03
417	404854	Casma	17	813120.71	8973270.88	1877.07	0.01	0.2	92.3	2	20	0.02
418	404855	Casma	17	813012.82	8973093.99	1870.18	0.01	0.2	23.7	2	11	0.02
419	404856	Casma	17	812960.93	8973101.01	1845.29	0.01	0.9	82.7	52	38	0.28
420	404857	Casma	17	812797.04	8973010.12	1837.31	0.01	0.2	10.6	1	19	0.01

421	404858	Casma	17	812704.15	8972977.23	1860.42	0.01	0.9	54.4	64	32	0.1
422	404859	Casma	17	812671.26	8973079.34	1855.53	0.01	0.4	60	30	37	0.01
423	404860	Casma	17	812555.37	8973148.45	1820.64	0.01	0.7	41	3	129	0.02
424	404861	Casma	17	813129.48	8972878.56	1755.75	0.02	0.2	73.9	12	8	0.05
425	404862	Casma	17	813125.59	8972885.67	1760.86	0.02	0.2	95.3	11	13	0.14
426	404863	Casma	17	813128.61	8972890.78	1755.97	0.05	0.2	118	35	10	0.09
427	404864	Casma	17	813129.72	8972895.89	1755.08	0.02	0.3	120	38	11	0.07
428	404865	Casma	17	813127.83	8972899.91	1760.19	0.09	0.2	222	24	6	0.04
429	404866	Casma	17	813143.94	8972839.02	1725.21	3.7	0.2	19.6	3	11	1
430	404867	Casma	17	813145.05	8972844.13	1727.32	1.16	0.2	23.7	3	12	1
431	404868	Casma	17	813152.16	8972847.24	1726.43	1.71	0.2	15.2	4	5	1
432	404869	Casma	17	813155.27	8972850.35	1727.54	0.39	0.2	9.7	2	3	0.31
433	404870	Casma	17	813160.38	8972846.46	1723.65	0.07	0.2	6.8	1	2	0.04
434	404871	Casma	17	813164.49	8972854.57	1726.76	0.01	0.2	1.7	2	7	0.02
435	404872	Casma	17	813168.51	8972858.68	1725.87	0.09	0.2	9.5	2	4	0.62
436	404873	Casma	17	813111.62	8972943.79	1786.98	1.15	0.2	128	5	18	1
437	404874	Casma	17	813108.73	8972939.81	1793.09	0.32	0.3	16.3	2	2	1
438	404875	Casma	17	813103.84	8972937.92	1804.11	0.24	0.2	35.8	1	6	1
439	404876	Casma	17	813098.95	8972935.03	1804.22	0.12	0.4	113	14	2	0.24
440	404877	Casma	17	813095.06	8972932.14	1804.33	0.12	0.4	104	48	11	0.39
441	404878	Casma	17	813091.17	8972929.25	1823.44	3.24	0.5	129	42	14	1
442	404879	Casma	17	813086.28	8972926.36	1827.55	0.54	0.2	56.7	20	11	0.49
443	404880	Casma	17	813082.39	8972924.47	1830.66	0.07	0.2	32	30	16	0.14
444	404881	Casma	17	813077.41	8972921.58	1834.77	0.01	0.2	32.2	37	7	0.05
445	404882	Casma	17	813073.52	8972919.69	1837.88	0.01	0.2	60.3	57	10	0.08
446	404883	Casma	17	813067.63	8972916.71	1843.99	0.01	0.2	43.5	2	16	0.02
447	404884	Casma	17	813112.74	8972945.82	1785.01	0.55	0.2	186	1	14	1
448	404885	Casma	17	813107.85	8972947.93	1797.12	0.31	0.2	37.8	1	6	1
449	404886	Casma	17	813092.96	8972923.04	1817.23	0.01	0.2	56.6	14	11	0.11
450	404887	Casma	17	813092.07	8972919.15	1816.34	0.01	0.2	315	54	13	0.05
451	404888	Casma	17	813082.18	8972928.26	1834.45	0.64	0.2	51	35	7	1
452	404889	Casma	17	813079.29	8972933.37	1838.56	0.73	0.2	19.5	14	6	0.88
453	404890	Casma	17	812100.31	8973356.48	1855.67	0.01	2.3	350	142	63	0.11
454	404891	Casma	17	813198.42	8973295.59	1922.78	0.01	0.3	149	49	52	0.03
455	404892	Casma	17	813191.53	8973227.61	1890.89	0.01	0.2	26.4	16	10	0.01
456	404893	Casma	17	813224.64	8973248.72	1878.91	0.01	0.2	54	6	14	0.01
457	404894	Casma	17	813241.75	8973231.83	1855.02	0.01	0.3	315	3	19	0.01
458	404895	Casma	17	813252.86	8973227.94	1846.13	0.9	1.1	8.1	1	4	0.02
459	404896	Casma	17	813258.97	8973179.05	1815.24	0.01	0.9	457	127	17	0.03
460	404897	Casma	17	813248.08	8973171.16	1815.35	0.06	0.4	191	1	20	0.03
461	404898	Casma	17	813233.19	8973161.27	1815.46	0.01	0.2	41.6	3	13	0.07
462	404899	Casma	17	813224.21	8973151.38	1812.57	0.01	0.4	101	2	11	0.02
463	404900	Casma	17	813169.32	8973088.49	1807.68	0.01	0.2	39.3	19	15	0.01
464	404901	Casma	17	813171.43	8973071.51	1795.79	0.01	0.2	330	10	13	0.01
465	404902	Casma	17	813170.54	8973064.62	1792.81	0.01	0.4	159	17	18	0.06
466	404903	Casma	17	813162.65	8973059.73	1793.92	0.01	0.2	85.1	21	16	0.01
467	404904	Casma	17	813158.76	8973045.84	1785.03	0.01	0.2	49.2	30	21	0.01
468	404905	Casma	17	813156.87	8973038.95	1780.14	0.12	0.3	39.1	53	4	0.01
469	404906	Casma	17	813150.98	8973050.06	1794.25	0.11	0.2	121	55	9	0.63
470	404907	Casma	17	813181.09	8972850.17	1716.36	0.01	0.2	24.1	11	9	0.13
471	404908	Casma	17	813194.11	8972855.28	1707.47	0.33	0.2	50.7	1	10	0.2
472	404909	Casma	17	813215.22	8972822.39	1687.58	0.11	0.2	131	1	4	0.01
473	404910	Casma	17	813253.33	8972806.41	1660.69	0.01	0.9	136	96	59	0.03
474	404911	Casma	17	813222.44	8973384.52	1909.71	0.01	0.2	31.8	31	32	0.01
475	404912	Casma	17	813303.55	8973498.63	1853.82	0.01	0.2	91.4	30	11	0.01
476	404913	Casma	17	813478.66	8973716.74	1820.93	0.01	0.2	19.8	7	22	0.01
477	404914	Casma	17	813645.77	8973814.85	1750.04	0.01	0.5	11.9	1	6	0.01
478	404915	Casma	17	812544.88	8972767.96	1946.15	0.01	1	227	73	129	0.09
479	404916	Casma	17	812801.99	8972840.07	1943.26	0.01	0.5	31.6	22	14	0.13
480	404917	Casma	17	812961.01	8972952.18	1904.37	0.01	0.2	29.4	2	7	0.01
481	404918	Casma	17	813115.12	8972860.29	1766.48	0.01	0.2	105	9	9	0.01
482	404919	Casma	17	813113.23	8972856.31	1766.59	0.01	0.2	51	20	8	0.01
483	404920	Casma	17	813113.34	8972852.42	1764.61	0.1	0.2	114	14	25	0.01
484	404921	Casma	17	813125.45	8972852.53	1750.72	8.22	0.2	57.4	9	4	1
485	404922	Casma	17	813136.56	8972847.64	1736.83	0.92	0.2	10.6	2	3	1
486	404923	Casma	17	813137.67	8972848.75	1736.94	1.48	0.2	34.3	4	2	0.52
487	404924	Casma	17	813078.78	8973032.86	1880.27	0.01	0.2	5	1	4	0.0099
488	404925	Casma	17	814026.89	8973280.97	1607.16	0.01	0.3	8.3	1	6	0.1
489	404926	Casma	17	813976.91	8973498.08	1736.27	0.01	0.2	63.1	2	20	0.0099
490	404927	Casma	17	813883.02	8973681.19	1735.38	0.01	0.2	11.8	16	3	0.01

491	404928	Casma	17	814175.13	8972835.21	1525.49	0.01	0.4	2.7	2	2	0.0099
492	404929	Casma	17	813162.24	8973016.32	1763.51	0.04	0.2	247	213	5	0.94
493	404930	Casma	17	813159.35	8973019.43	1766.62	0.15	0.4	393	162	8	1
494	404931	Casma	17	813155.46	8973021.54	1770.73	0.38	0.3	93.7	72	12	1
495	404932	Casma	17	813156.57	8973035.65	1777.84	4.37	2	1021	5	2	1
496	404936	Casma	17	813142.68	8973027.76	1783.95	0.02	0.2	113	33	2	0.01
497	404937	Casma	17	813139.79	8973032.87	1787.06	0.02	0.4	306	25	12	0.09
498	404938	Casma	17	813338.81	8972781.98	1614.17	0.01	0.2	119	2	16	0.01
499	404939	Casma	17	813384.92	8972751.09	1563.28	0.01	0.2	39.2	1	4	0.0099
500	404940	Casma	17	813587.03	8972680.11	1475.39	0.01	0.2	57.5	1	270	0.01
501	404941	Casma	17	813912.14	8972635.22	1305.41	0.06	0.2	109	1	6	0.01
502	404942	Casma	17	813978.25	8972597.33	1291.52	0.01	0.2	38.6	8	37	0.0099
503	404943	Casma	17	813985.36	8972587.44	1287.63	0.02	0.2	61.1	1	20	0.01
504	404944	Casma	17	813991.47	8972523.55	1270.74	0.01	0.2	93.2	41	11	0.0099
505	404945	Casma	17	811539.58	8973181.66	1643.85	0.01	0.2	95.3	35	7	0.02
506	406701	Casma	17	813110.69	8972945.77	1789.96	1.47	0.3	232	4	28	10.41
507	406702	Casma	17	813079.71	8972932.88	1838.07	0.32	0.2	66.3	96	17	3.14
508	406703	Casma	17	813092.82	8972920.99	1817.18	0.14	1.2	1201	37	22	5.7
509	406704	Casma	17	813104.93	8972942.01	1803.29	1.75	0.7	320	5	19	18.2
510	406705	Casma	17	813111.04	8972952.12	1789.31	7.05	0.9	625	1	18	14.71
511	406706	Casma	17	813110.15	8972961.23	1796.42	3.62	0.4	381	4	21	9.72
512	406707	Casma	17	813111.26	8972958.34	1793.53	5.37	0.5	310	1	10	12.15
513	406708	Casma	17	813111.37	8972964.45	1794.64	3.71	0.9	614	2	9	15.58
514	406709	Casma	17	813114.48	8972973.56	1791.75	1.5	0.9	1164	1	15	22.91
515	406710	Casma	17	813128.59	8972997.67	1784.86	0.37	0.2	44.4	2	11	2.83
516	406711	Casma	17	813087.61	8972944.78	1832.97	0.21	0.3	213	4	11	1.45
517	406712	Casma	17	813094.72	8972946.89	1822.08	4.88	0.9	693	2	19	10.28
518	406713	Casma	17	813100.83	8972954.91	1815.19	6.11	0.6	537	25	11	17.51
519	406714	Casma	17	813107.94	8972970.02	1805.21	1.85	0.4	298	6	13	13.96
520	406715	Casma	17	813124.05	8972906.13	1765.32	0.19	0.3	58.6	7	10	0.24
521	406716	Casma	17	813124.16	8972912.24	1765.43	0.64	0.2	25.1	3	7	1.13
522	406717	Casma	17	813121.27	8972916.35	1767.54	5.5	0.2	33.1	3	9	3.05
523	406718	Casma	17	813120.38	8972919.46	1767.65	1.88	0.2	18.2	2	10	2.4
524	406719	Casma	17	813120.49	8972925.57	1767.76	19.21	1.1	369	37	13	19.06
525	406720	Casma	17	813120.51	8972928.68	1767.87	0.52	0.2	6.9	2	10	1.49
526	406721	Casma	17	813117.62	8972932.79	1774.98	1.84	0.2	403	3	24	17.32
527	406722	Casma	17	813124.73	8973019.81	1797.09	9.01	0.7	330	6	13	18.53
528	406723	Casma	17	813145.84	8973020.92	1776.11	10.15	1.4	648	7	10	17.86
529	406724	Casma	17	813132.95	8973008.03	1784.22	12.99	1.6	574	5	6	13.73
530	406725	Casma	17	813151.06	8972962.14	1746.33	0.96	0.2	83.1	3	9	2.48
531	406726	Casma	17	813149.17	8972944.25	1741.44	1.65	1.1	44.3	9	9	2.58
532	406727	Casma	17	813144.28	8972951.36	1746.55	0.75	0.2	137	29	3	5.58
533	406728	Casma	17	813160.39	8972922.47	1733.66	4.5	0.7	313	19	8	14.95
534	406729	Casma	17	813219.41	8972979.58	1711.77	0.11	0.2	160	59	15	0.02
535	406730	Casma	17	813142.52	8972662.69	1695.88	0.85	2.7	1057	64	123	17.72
536	406731	Casma	17	813180.63	8973050.71	1775.99	0.02	0.2	146	27	12	0.49
537	406732	Casma	17	813240.74	8972958.82	1667.01	0.02	0.2	374	81	4	0.03
538	406733	Casma	17	813329.85	8973207.93	1787.12	1.29	0.8	504	62	2	0.03
539	406734	Casma	17	813313.96	8972896.04	1615.23	0.01	0.2	49.9	5	12	0.02
540	406735	Casma	17	813344.07	8973211.15	1776.34	0.04	0.3	406	117	2	0.0099
541	406736	Casma	17	813361.18	8972945.26	1603.45	0.01	0.2	44.6	1	9	0.0099
542	406737	Casma	17	813486.29	8973118.37	1680.56	0.01	0.4	59.4	1	8	0.0099
543	406738	Casma	17	813589.31	8972806.48	1440.67	0.01	0.2	24.6	1	7	0.01
544	406739	Casma	17	813678.42	8973008.59	1537.78	0.02	0.2	109	1	16	0.0099
545	406740	Casma	17	813721.53	8972716.61	1375.89	0.01	0.3	35.2	1	13	0.01
546	406741	Casma	17	813705.64	8972769.72	1382.91	0.01	0.3	43.8	1	17	0.0099
547	406742	Casma	17	812477.75	8972397.83	1782.02	0.01	0.2	56.4	62	17	0.01
548	406743	Casma	17	813684.86	8972669.94	1423.13	0.01	0.2	11.6	1	10	0.01
549	406744	Casma	17	812553.97	8972444.05	1766.24	0.01	0.2	44.6	1	16	0.01
550	406745	Casma	17	813632.08	8972692.16	1446.35	0.23	0.4	98.4	1	5	0.01
551	406746	Casma	17	812737.19	8972488.27	1710.46	0.01	0.2	88.2	13	24	0.03
552	406747	Casma	17	813474.21	8972726.38	1525.57	0.32	0.3	97	1	13	0.0099
553	406748	Casma	17	812933.32	8972525.49	1730.68	0.02	0.2	26.5	34	14	0.18
554	406749	Casma	17	813126.43	8972399.51	1663.79	0.72	0.9	183	28	2	14.87
555	406750	Casma	17	813049.54	8972401.62	1725.81	0.66	0.2	138	20	17	14.52
556	406751	Casma	17	813133.65	8972427.73	1670.92	0.98	0.9	140	91	29	15.66
557	406752	Casma	17	813177.76	8972580.84	1678.03	0.68	0.4	389	81	24	16.72
558	406753	Casma	17	813147.87	8972444.95	1672.14	0.86	0.3	294	64	17	17.15
559	406754	Casma	17	813167.98	8972724.06	1678.25	0.01	0.2	27.5	2	3	1
560	406755	Casma	17	813196.09	8972488.17	1670.36	0.56	0.5	483	6	46	16.06

561	406756	Casma	17	813163.11	8972785.28	1682.47	0.06	0.2	18.6	1	7	0.08
562	406757	Casma	17	813190.22	8972518.39	1686.58	0.56	1.7	423	145	115	17.45
563	406758	Casma	17	813209.33	8972794.41	1665.69	0.01	0.2	171	57	8	0.02
564	406759	Casma	17	813189.44	8972531.52	1690.71	0.88	0.2	28.7	2	21	15.35
565	406760	Casma	17	813911.55	8973773.63	1722.82	0.01	0.2	46.9	1	46	0.01
566	406761	Casma	17	813181.66	8972639.74	1664.93	0.8	0.6	170	53	196	14.08
567	406762	Casma	17	813892.77	8973773.85	1722.04	0.03	0.2	302	2	24	0.03
568	406763	Casma	17	813179.88	8972646.96	1664.15	0.5	0.2	7.6	4	14	16.54
569	406764	Casma	17	813872.99	8973770.07	1722.26	0.02	0.7	277	184	12	0.01
570	406765	Casma	17	813844.01	8973756.18	1722.37	0.01	0.2	62.6	56	20	0.01
571	406766	Casma	17	813836.12	8973749.29	1722.48	0.04	1.5	865	118	70	0.04
572	406767	Casma	17	813757.23	8973709.31	1735.59	0.01	0.2	130	120	11	0.01
573	406768	Casma	17	813664.34	8973674.42	1742.61	0.01	0.2	191	38	22	0.01
574	406769	Casma	17	813560.45	8973560.53	1795.72	0.01	0.2	67	2	16	0.0099
575	406770	Casma	17	813526.56	8973530.64	1783.83	0.01	0.2	85.3	5	15	0.01
576	406771	Casma	17	813455.67	8973446.75	1795.94	0.02	0.2	55	37	58	0.02
577	406772	Casma	17	813308.78	8973366.86	1815.05	0.01	0.2	18.6	3	18	0.0099
578	406773	Casma	17	813294.89	8973326.97	1825.16	0.01	0.2	90.5	1	16	0.01
579	406774	Casma	17	813255.91	8973185.08	1820.27	0.01	0.4	285	122	3	0.06
580	406775	Casma	17	813258.02	8973185.19	1820.38	0.01	0.2	25.7	2	2	0.01
581	406776	Casma	17	813259.13	8973191.21	1822.49	0.09	0.2	12.3	16	5	0.01
582	406777	Casma	17	813261.24	8973197.32	1823.51	0.05	0.2	16.7	19	14	0.01
583	406778	Casma	17	813265.35	8973200.43	1823.62	0.02	0.2	24.4	61	24	0.03
584	406779	Casma	17	813269.46	8973203.54	1823.73	0.01	0.2	10.8	31	15	0.01
585	406780	Casma	17	813279.57	8973213.65	1820.84	0.02	0.2	19.9	32	12	0.01
586	406781	Casma	17	813265.68	8973238.76	1842.95	0.14	0.2	331	12	16	0.02
587	406782	Casma	17	813229.79	8973229.87	1863.06	0.37	0.2	437	18	12	0.01
588	406783	Casma	17	813179.81	8973259.98	1912.17	0.02	0.2	53.1	33	21	0.03
589	406784	Casma	17	813062.92	8973119.09	1862.28	0.03	0.2	97.4	59	19	0.01
590	406785	Casma	17	813047.03	8973110.11	1865.39	0.01	0.2	54.2	23	26	0.03
591	406786	Casma	17	813036.14	8973105.22	1865.41	0.01	0.2	63.4	21	31	0.03
592	406787	Casma	17	813011.25	8973105.33	1860.52	0.01	0.2	79.7	26	24	0.04
593	406788	Casma	17	812991.36	8973101.44	1856.63	0.01	0.2	76.7	66	27	0.18
594	406789	Casma	17	812667.47	8973070.55	1860.74	0.01	0.2	66.6	55	21	0.37
595	406790	Casma	17	812509.58	8973181.66	1820.85	0.01	0.2	7.2	2	6	0.01
596	406791	Casma	17	812422.69	8973208.77	1820.96	0.01	0.2	23.8	3	10	0.01
597	406800	Casma	17	812528.71	8972694.88	1940.07	0.01	0.2	71.1	16	24	0.05
598	406802	Casma	17	812523.82	8972562.99	1870.18	0.01	0.2	30.8	13	8	0.31
599	406804	Casma	17	812261.93	8971987.01	1638.29	0.01	0.2	29.8	8	16	0.01
600	406806	Casma	17	812201.04	8971922.12	1605.31	0.01	0.2	62.2	42	9	0.01
601	406808	Casma	17	812144.15	8971899.23	1564.42	0.01	0.6	137	19	17	0.01
602	406810	Casma	17	812094.26	8971944.34	1523.53	0.01	0.2	15.9	9	13	0.01
603	406828	Casma	17	813118.37	8972447.45	1686.64	1.1	1.3	98	165	45	16.2
604	Z4A-6 (M4)	Casma	17	814017.48	8972455.56	1265.75	0.0099	0.068	48.5	1.92	9.43	0.01
605	Z4A-7 (M5)	Casma	17	813986.59	8972577.67	1316.86	0.01	0.091	55.5	1.59	2.72	0.01

Tabla 7. Tabla de datos de muestras representativas con coordenadas, elevación y concentraciones de metales principales, utilizada para el análisis geoquímico y la delimitación de zonas mineralógicas en el depósito.. Fuente: EXPLOANDINA S.A.C.

Resultados de Análisis Mineralógico DRX:

MUESTRA 303001

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Zeolita (Laumontita)	CaAl2Si4O12•4(H2O)	34.8
Clinopiroxeno (Diópsido)	CaMgSi2O6	19.5
Carbonatos (Calcita)	CaCO3	18.0
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	15.7
Plagioclasas (Albita)	NaAlSi3O8	3.3
Marialita	Na4Al3Si9O24Cl	3.1
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe+2)5Al(Si3Al)O10(OH)8	2.5
Wollastonita	CaSiO3	1.4
Rutilo	TiO2	< L.D.
Esfalerita	(Zn,Fe)S	< L.D.
Cuarzo	SiO2	< L.D.

Tabla 8. Resultados de DRX de la muestra 303001. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

MUESTRA 305002

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Plagioclasas (Andesina)	(Na,Ca)(Si,Al)4O8	52.8
Anfíbol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe2+)5Si8O22(OH)2	17.7
Cuarzo	SiO2	11.6
Plagioclasas (Albita)	NaAlSi3O8	7.9
Biotita	K(Mg,Fe+2)3[AlSi3O10(OH.F)2	5.7
Feldespato K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	3.7
Wustita	FeO	< L.D.
Tetraedrita	(Cu,Fe)12Sb4S13	< L.D.
Magnetita	Fe3+2Fe2+O4	< L.D.
Serpentina (Cronstedtita)	Fe2+2Fe3+(SiFe3+)O5(OH)4	< L.D.

Tabla 9. Resultados de DRX de la muestra 305002. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

MUESTRA 900103

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Granate (Grosularia)	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	67.5
Clinopiroxeno (Diópsido)	$CaMgSi_2O_6$	19.3
Esfalerita	(Zn,Fe)S	3.7
Zeolita (Laumontita)	$CaAl_2Si_4O_{12}•4(H_2O)$	3.5
Carbonatos (Calcita)	$CaCO_3$	3.3
Clorita (Clinocloro)	$(Mg,Fe^{+2})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	2.1
Fluorapatito	$Ca_5(PO_4)3F$	< L.D.
Calcopirita	$CuFeS_2$	< L.D.

Tabla 10. Resultados de DRX de la muestra 900103. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

MUESTRA 1000105

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Esfalerita	(Zn,Fe)S	30.8
Clinopiroxeno (Diópsido)	CaMgSi2O6	26.4
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	22.9
Pirrotita	Fe(1-X)S (X=0 – 0.17)	14.0
Carbonatos (Calcita)	CaCO3	3.1
Wollastonita	CaSiO3	1.8
Lepidocrocita	FeO(OH)	1.1

Tabla 11. Resultados de DRX de la muestra 1000105. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

MUESTRA 1000601

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Axinita-Fe	Ca2Fe2+Al2(BO3)Si4O12(OH)	69.4
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	12.4
Feldespato K (Microclina)	KAlSi3O8	11.5
Esmectita (Montmorillonita)	(Na,Ca)0.3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2•n(H2O)	3.7
Carbonatos (Calcita)	CaCO3	2.1
Calcopirita	CuFeS2	< L.D.

Tabla 12. Resultados de DRX de la muestra 1000601. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

MUESTRA 1003001

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	73.8
Clinopiroxeno (Diópsido)	CaMgSi2O6	13.2
Esfalerita	(Zn,Fe)S	7.1
Pirrotita	Fe(1-X)S (X=0 – 0.17)	3.6
Wollastonita	CaSiO3	1.3
Talco	Mg3Si4O10(OH)2	1.0

Tabla 13. Resultados de DRX de la muestra 1003001. L.D.: Límite de Detección. Fuente: MINE METALLURGY.

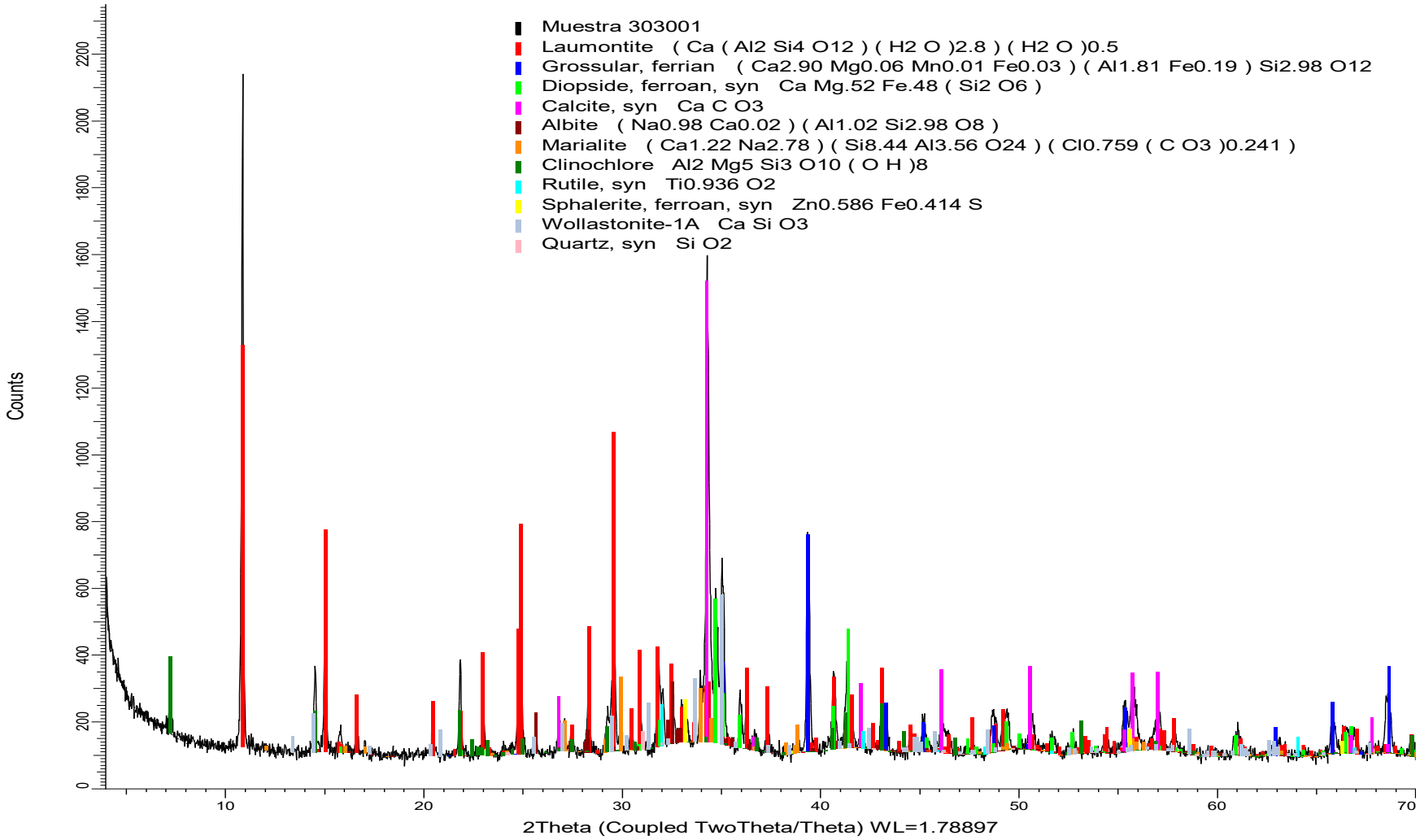


Figura 36. Difractograma de la Muestra 303001 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

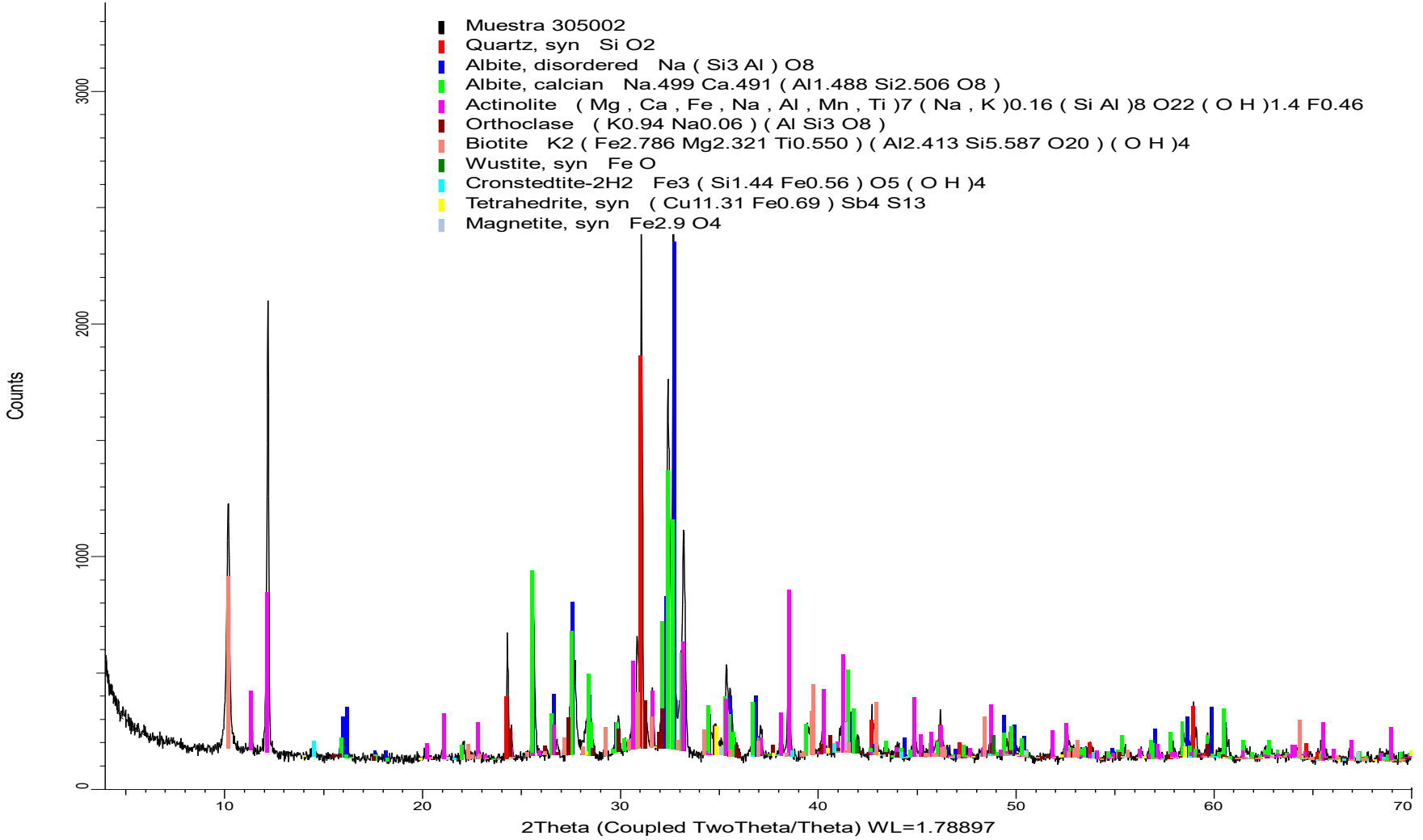


Figura 37. Difractograma de la Muestra 305002 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

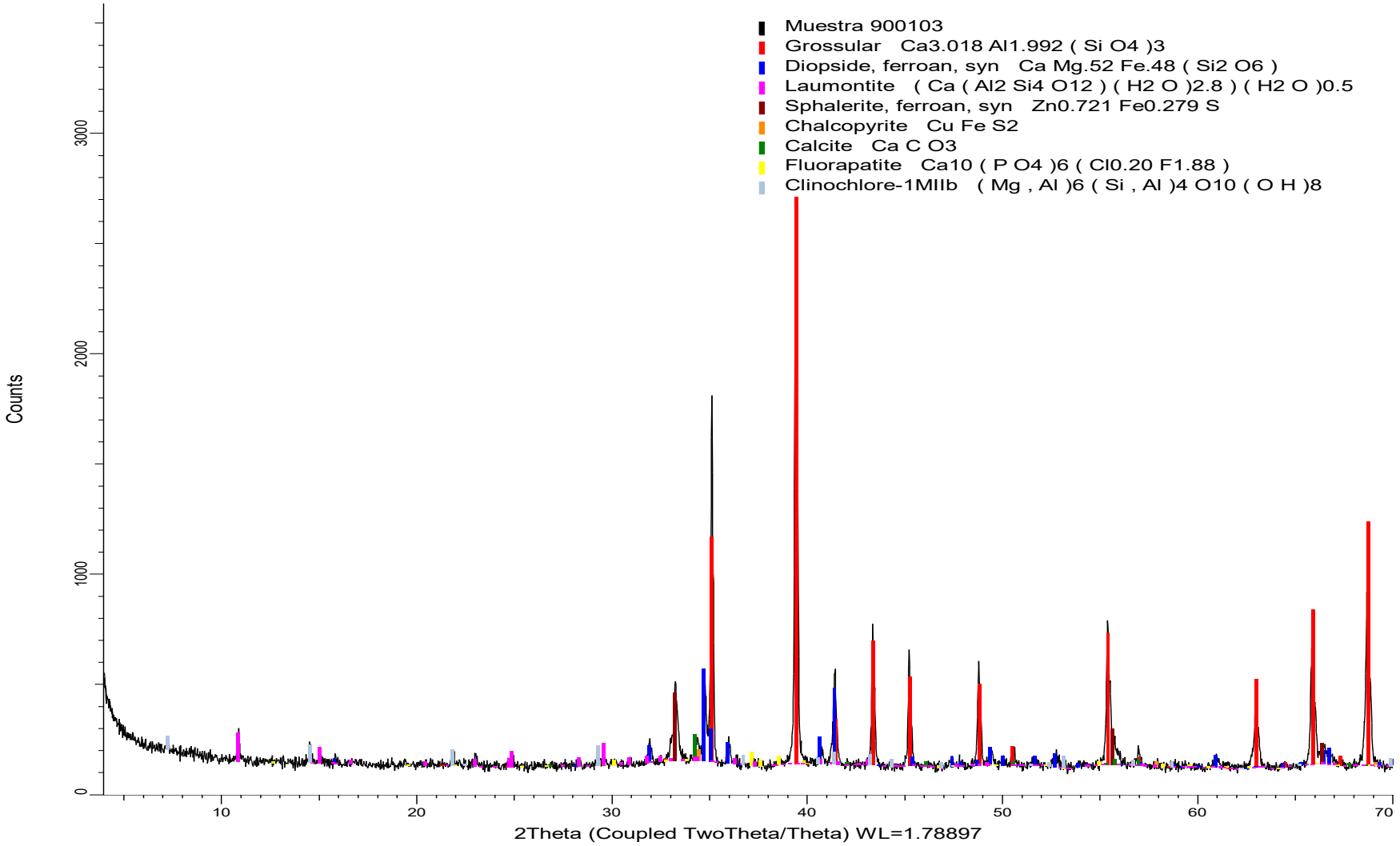


Figura 38. Difractograma de la Muestra 900103 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

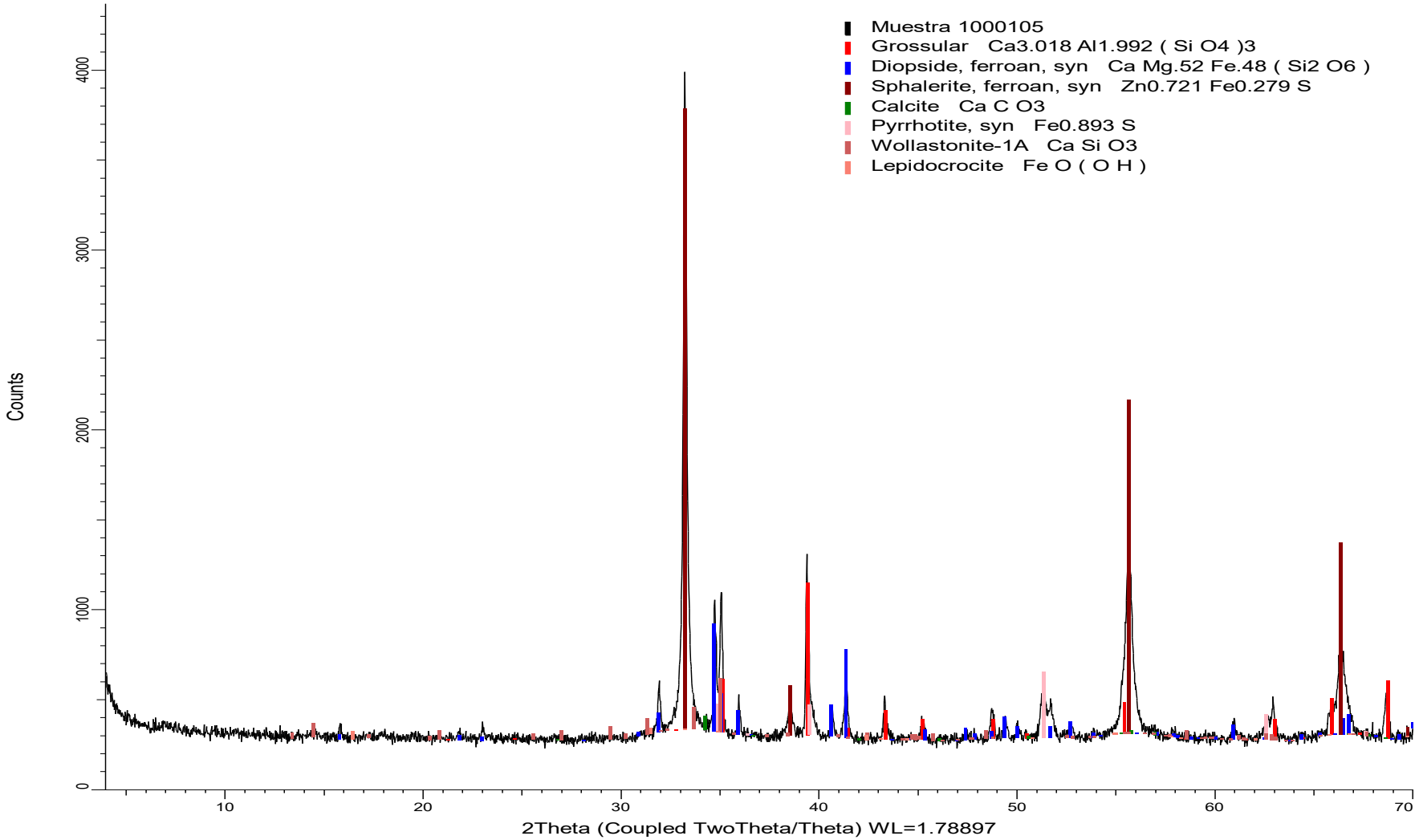


Figura 39. Difractograma de la Muestra 1000105 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

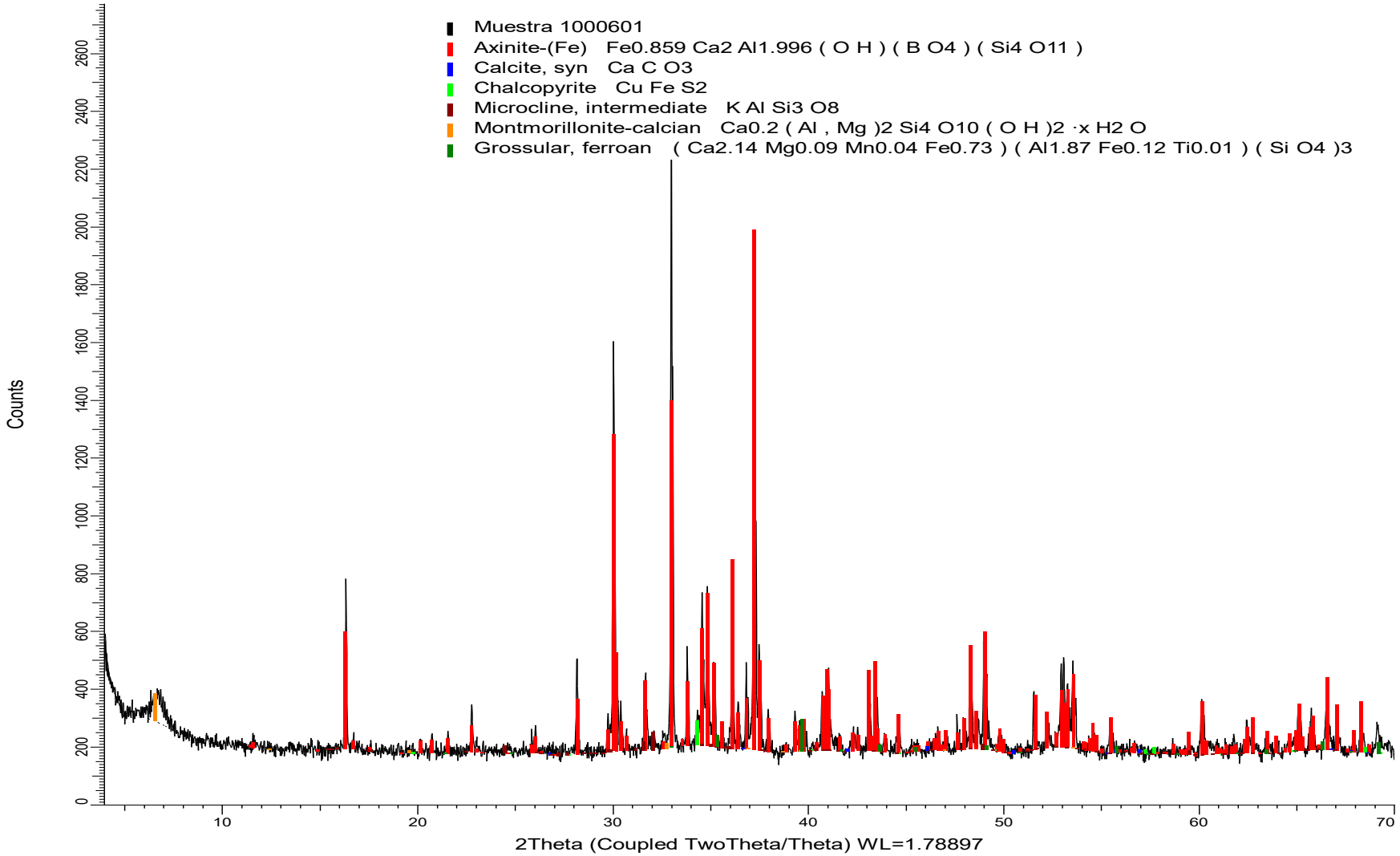


Figura 40. Difractograma de la Muestra 1000601 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

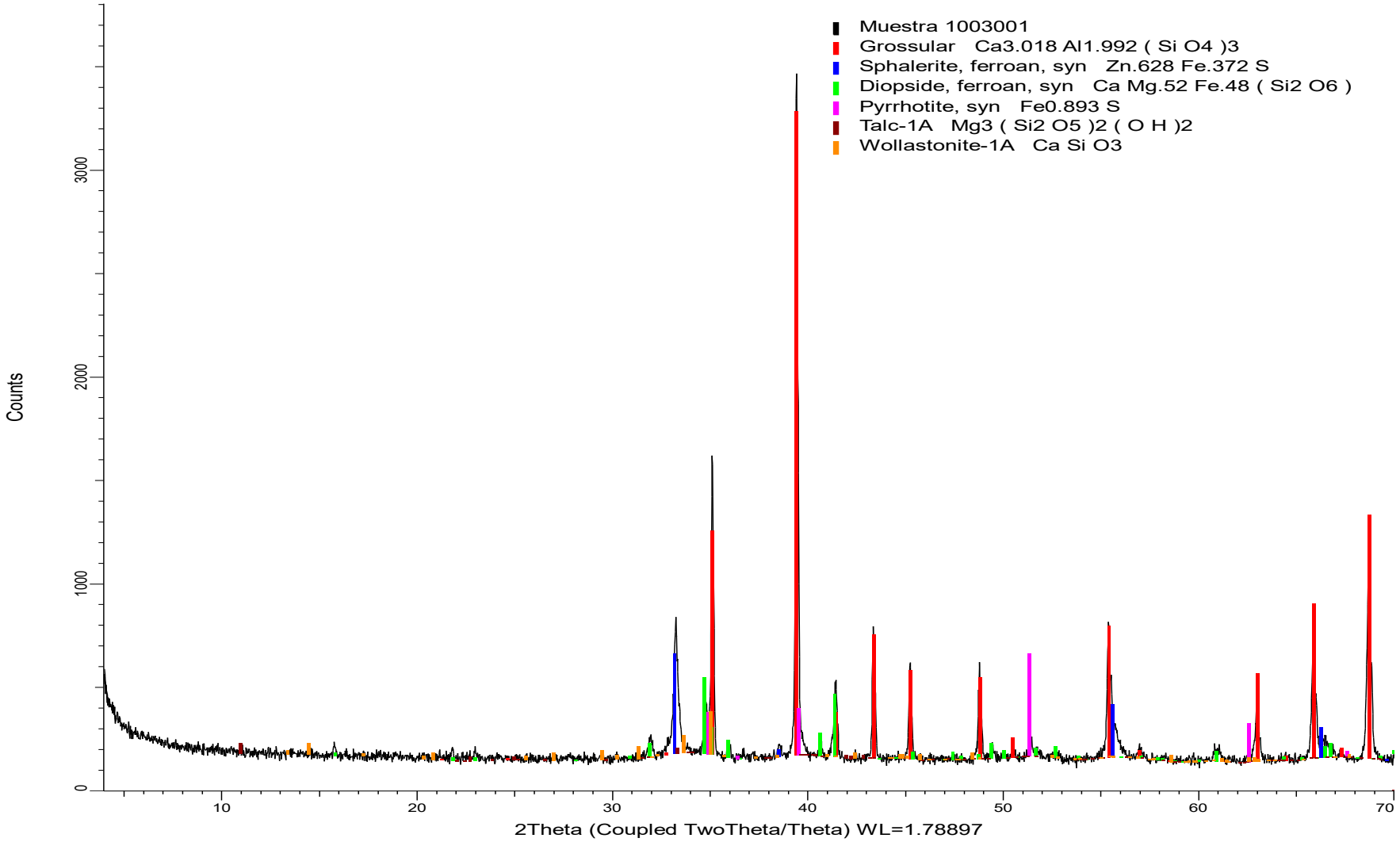


Figura 41. Difractograma de la Muestra 1003001 mostrando los minerales identificados. Fuente: MINE METALLURGY

Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000401	19-g	8972949.45	813065.48	17 S	Nv - 0

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Hornfel de Piroxenos

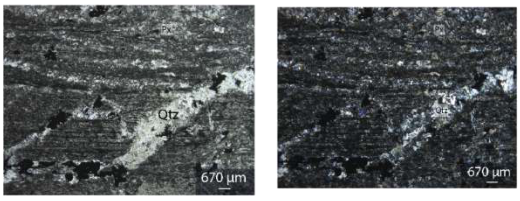
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca hornfel con textura granular muy fina, con un color negro grisáceo predominante. Se observan venillas de calcita y cristales de cuarzo distribuidos a lo largo de la muestra. La foliación es suave y unidireccional. Líneas horizontales visibles en la roca indican la presencia de cizallamiento asociado a eventos tectónicos recientes. Restos orgánicos presentes.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Blastos de plagioclasa (1 mm) acompañado por agregados de piroxenos. Los piroxenos (Px) presentan inclusiones de cristales de cuarzo (Qtz). Los minerales están alineados en una dirección preferente, formando una textura nematoblástica. Se observan venillas de cuarzo cortando los piroxenos y la plagioclasa, indicando eventos de fluido hidrotermal que afectaron la roca.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000601	19-g	8972925.69	813077.56	17 S	Nv - 0

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de Wollastonita

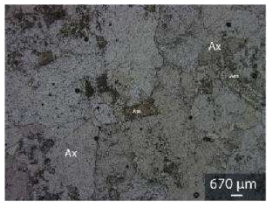
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skam con textura granular a semigranular y estructura masiva. Color amarillo con tonalidades pardas oscuras debido a costras sobre cristales de wardita. La mineralogía incluye marmatita, wardita (fosfato), wollastonita y axinita. Presencia de costras blancas indicativas de procesos de alteración hidrotermal. Se observan carbonatos y relictos de piroxenos. Además, presenta zonas con mineralización de granate y epidota, sugiriendo un ambiente de formación de alta temperatura.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Muestra de textura granoblástica, agregados de axinita (Ax) de grano medio, acompañados por anfiboles (Am) de grano fino distribuidos de manera uniforme





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000303	19-g	8972929.61	813096.17	17 S	Nv - 0

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido monzonítico

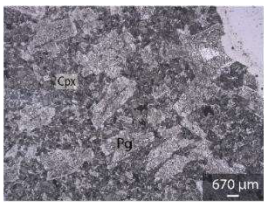
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

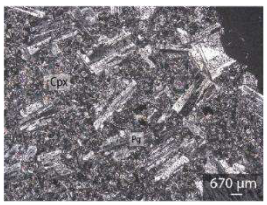
Roca ígnea con textura masiva uniforme. Color gris blanquecino (leucocrático). Presencia de granos medianos ferromagnesianos distribuidos de manera no homogénea en una matriz afanítica blanquecina, con pequeños granos de cuarzo en la matriz. La mineralogía incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas. La estructura de la roca es masiva, sin orientación preferencial. Además, se observa una leve alteración de plagioclasas a epidota.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Cristales de piroxeno (Cpx) y plagioclasa (Pg) distribuidos en una matriz afanitica. Los piroxenos presentan bordes irregulares, y las plagioclasas muestran signos de alteración a epidota. La textura es hipidiomórfica granular, con cristales subhedrales a euhedrales de piroxeno intercreciendo con plagioclasa.





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000507	19-g	8972920.06	813091.29	17 S	Nv - 0

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

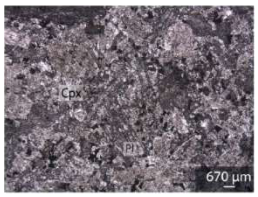
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva con textura porfirítica. Color gris claro (melanocrática). Presencia de granos medianos de ferromagnesianos distribuidos no homogéneamente, flotando sobre granos de plagioclasa, feldespatos y cuarzo. La mineralogía incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas, con pátinas de pirrotita dispersas. La estructura es masiva, sin estratificación visible. Ligero magnetismo debido a la pirrotita. Además, se observa alteración de los feldespatos a epidota.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Los cristales de piroxeno (Cpx) son de tamaño mediano a grande y se distribuyen de manera no homogénea en la matriz afanitica. Las plagioclasas (Pl) están parcialmente alteradas a epidota, sugiriendo una interacción con fluidos hidrotermales de alta temperatura. La textura general de la roca es hipidiomórfica granular, con cristales de piroxeno y plagioclasa bien definidos. Presencia de pequeñas intrusiones de cuarzo en la matriz





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
110102	19-g	8972969.16	813112.59	17 S	Nv - 11

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

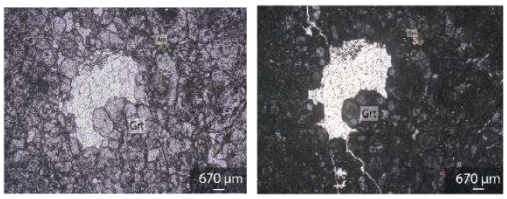
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn con textura granular y masiva. Color predominante crema oscura parda. La mineralogía incluye marmatita en pequeñas estratificaciones de aproximadamente 50 mm, y granates marrones pardos y verdosos, e incoloros en menor medida, dispuestos en bandas delgadas. Se observan pequeños cristales de cuarzo. Los granos de granates varían de finos a gruesos. Estructura estratificada. Además, se detectan relictos de piroxenos en la matriz.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Granates (Grt) de grano fino están distribuidos de manera uniforme en la muestra, formando una textura granoblástica. Se observan anfíboles (Am) de grano fino que rellenan oquedades en la matriz. También se identifica venillas de calcita.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
305002	19-g	8972938.51	813079.32	17 S	Nv - 30

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

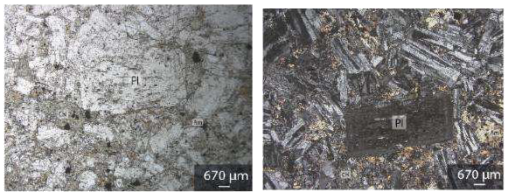
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea con textura masiva uniforme. Color gris oscuro (melanocrática). Presenta granos oscuros de ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas con textura porfídica. La mineralogía incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas (composición intermedia). La estructura es uniforme y masiva. Además, se observan venillas de epidota y clorita, lo que sugiere interacción con fluidos hidrotermales.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Cristales de plagioclasa (Pl) de tamaño mediano a grande, distribuidos de manera no homogénea en la matriz afanítica. Los plagioclasas están parcialmente alterados a epidota y clorita, indicando interacción con fluidos hidrotermales de alta temperatura. La textura general de la roca es hipidiomórfica granular, con cristales de anfíboles (Am) y plagioclasa bien definidos.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
303001	19-g	8972940.58	813090.69	17 S	Nv - 30

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

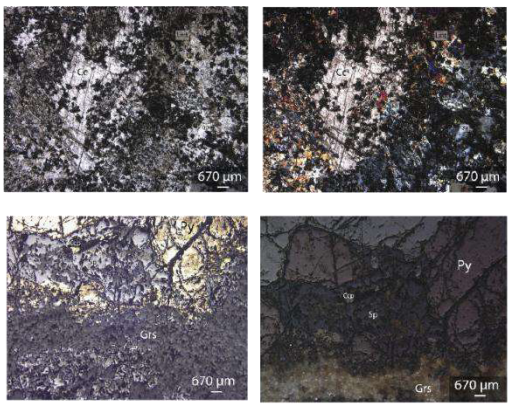
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn con textura granular y masiva. Color predominante marrón pardo grisáceo, con partes silicificadas en los bordes. Presenta cristales gruesos de granates marrones pardos distribuidos en toda la roca, acompañados de cristales de cuarzo de 5 mm. Se observa pirrotita diseminada en algunas zonas y marmatita en mínima cantidad. La estructura es masiva, sin bandeamiento evidente. Ligero magnetismo debido a la presencia de pirrotita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La textura granoblástica es predominante, con calcita (Cc) alterada y diopsido distribuidos uniformemente. Los plagioclasas y la albita presentan granos finos, mientras que la laumontita (Lmt) aparece en granos escasos. La muestra incluye minerales como moscovita, augita y olivino de grano fino, así como piroxenos pardos con texturas de exsolución.
En la parte inferior, se muestra la vista de la briqueta pulida, contiene una matriz compuesta predominantemente de pirita (Py) y esfalerita (Sp), con esfalerita que presenta inclusiones de calcopirita (Ccp). La grosularia (Grs) se observa como ganga, distribuida en la matriz junto con calcita (Cc). La textura es masiva y granular, indicando un ambiente de formación de alta temperatura



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
305003	19-g	8972887.25	813064.60	17 S	Nv - 30

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

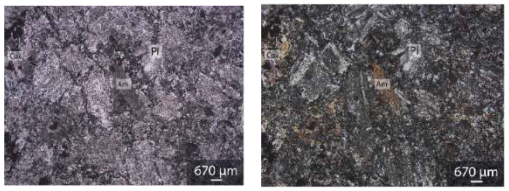
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea con textura porfirítica. Se observan granos medianos de ferromagnesianos finos a medianos, distribuidos de manera no homogénea junto con cristales de plagioclasa y fenocristales de cuarzo, predominantemente en un 60% de la roca. La matriz presenta una textura afanítica, y los fenocristales de cuarzo son subhedrales a euhedrales. Además, se observan venillas de cuarzo que cortan la matriz, indicando eventos hidrotermales posteriores.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Cristales de plagioclasa (Pl), anfíboles (Am) y piroxenos (Cpx) distribuidos en una matriz afanítica. Los plagioclasas presentan bordes irregulares y muestran signos de alteración. La textura es hipidiomórfica granular, con cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa intercreciendo con anfíboles y piroxenos. Se observan inclusiones de cuarzo en la matriz.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
300303	19-g	8972886.25	813076.55	17 S	Nv - 30

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

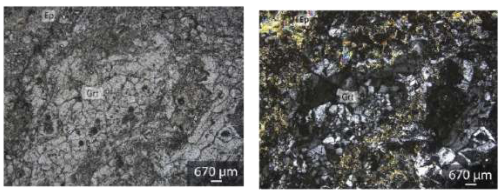
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn con mineralogía dominada por la presencia de pequeños granates pardos en menor cantidad. Presenta textura y estructura masiva con granos gruesos. El color es negro grisáceo debido a la alta concentración de marmatita y pirrotita. Se observan costras blancas en la superficie y pátinas de alteración sobre la pirrotita. La asociación de minerales está destacada por la presencia predominante de pirrotita y marmatita. Magnetismo moderado detectado por la presencia de pirrotita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Cristales de plagioclasa (Pl), anfíboles (Am) y piroxenos (Cpx) distribuidos en una matriz afanítica. Los plagioclasas presentan bordes irregulares y muestran signos de alteración. La textura es hipidiomórfica granular, con cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa intercreciendo con anfíboles y piroxenos. Se observan inclusiones de cuarzo en la matriz.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
300509	19-g	8972893.04	813117.73	17 S	Nv - 30

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido monzonítico

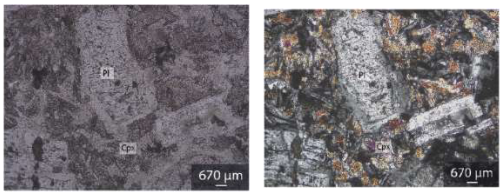
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea de textura granular con granos medianos de cuarzo y ferromagnesianos dispersos sobre matriz blanca de feldespatos y plagioclasas. Estructura masiva sin estratificación visible. Color gris blanquecino cremoso (leucocrático). Incluye feldespatos, cuarzo y ferromagnesianos en pequeñas cantidades. La matriz muestra una distribución homogénea de los cristales, y se observan venillas de cuarzo que cortan la matriz, sugiriendo eventos hidrotermales posteriores.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Cristales de plagioclasa (Pl) y clinopiroxeno (Cpx) distribuidos en una matriz faneritica. Los plagioclasas presentan bordes irregulares y están intercreciendo con clinopiroxenos. La textura es hipidiomórfica granular, con cristales subhedrales de plagioclasa y clinopiroxeno. Se observan inclusiones de cuarzo en la matriz y pequeñas venillas de cuarzo que atraviesan los cristales de plagioclasa y clinopiroxeno.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
400603	19-g	8972893.50	813149.39	17 S	Nv - 40

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

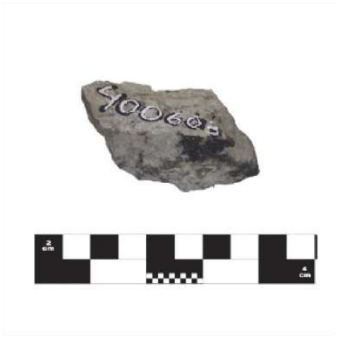
INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique aplítico

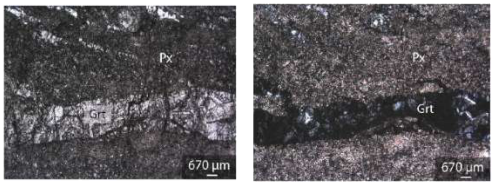
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea con textura afanítica y granos medianos dispersos de plagioclasa. Presenta costras de marmatita y drusas de granates pardos verdosos, acompañados de marmatita de grano pequeño. La mineralogía incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas, contribuyendo al color crema blanquecino (leucocrático). Estructura masiva con granos de plagioclasa visibles en una matriz afanítica.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea con matriz afanítica compuesta por microcristales de piroxenos (Px) alterados distribuidos en la matriz. Venillas finas de granate (Grt) y presencia de cuarzos dispersos (Qtz). Los piroxenos se distribuyen de manera uniforme dentro de la matriz.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
400501	19-g	8972993.03	813185.77	17 S	Nv - 40

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pótfido diorítico

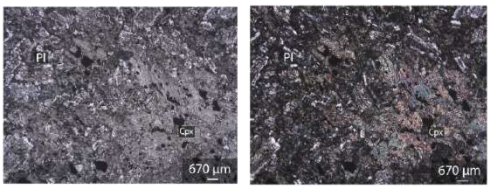
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva. Estructura masiva, presenta granos medianos de ferromagnesianos finos en una matriz de cuarzo y feldespato. La mineralogía incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas. El color es gris blanquecino (leucocrático), resaltando minerales claros como plagioclasas y cuarzos.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca con textura porfídica, mostrando cristales de plagioclasa (Pl) y clinopiroxeno (Cpx) distribuidos en una matriz de cuarzo y feldespato. Los cristales de clinopiroxeno presentan signos evidentes de alteración. Las plagioclasas están distribuidas de manera no homogénea, con bordes subhedrales a anhedrales.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
400307	19-g	8972874.07	813082.12	17 S	Nv - 40

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

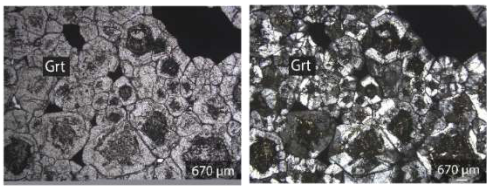
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn de coloracion marrón oscuro, textura granular con granos finos a gruesos y una estructura bandeada, con mineralogía que incluye marmatita en forma de bandas delgadas, granates marrones pardos translúcidos y pirrotita mineralizada en varias partes de la roca. Presenta un ligero magnetismo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura granoblástica dominada por granates (Grt) de tamaño medio a fino, los cuales están uniformemente distribuidos. Los granates presentan bordes subhedrales y están acompañados por piroxenos muy finos (Px), que en algunos casos reemplazan a los granates. Se observan áreas de marmatita en bandas delgadas.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
400504	19-g	8972887.89	813125.32	17 S	Nv - 40

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido monzonítico

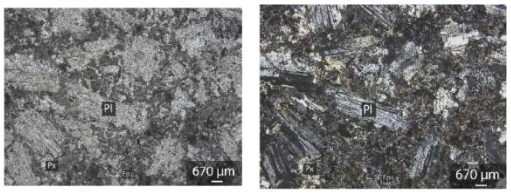
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea, intrusiva, coloracion gris rosaceo, estructura masiva, con textura porfídica con granos gruesos de cuarzo dispersos en una matriz fina de feldespato potásico. Los granos de feldespato, plagioclasa y los ferromagnesianos, se encuentran distribuidos de manera no homogénea. La mineralogía destaca por el feldespato potásico blanco rosáceo, cuarzo y plagioclasa, con presencia menor de ferromagnesianos como biotita y hornblenda.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La textura general es hipidiomórfica granular, con cristales subhedrales de plagioclasa intercreciendo con los minerales de la matriz. Plagioclasas (Pl) de grano medio distribuidas en una matriz afanítica con cristales de piroxeno (Px) y epidota (Ep). Los cristales de plagioclasa presentan bordes irregulares, y los piroxenos muestran alteración a epidota.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
601001	19-g	8973009.21	813115.00	17 S	Nv - 60

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

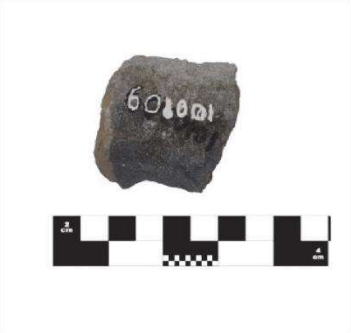
INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

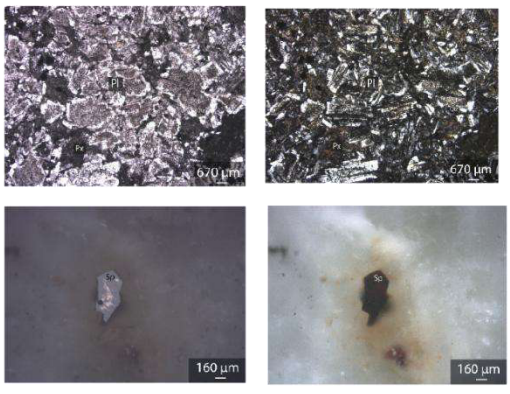
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn de textura holocristalina. Estructura masiva con costras de alteración, color predominante es blanco grisáceo (leucocrático), con variación de color en la parte inferior (blanquecina) y aumento de granates pardos y ferromagnesianos en la parte superior. e destacan cristales finos de ferromagnesianos distribuidos homogéneamente en una matriz de feldespato-plagioclasa. Se observan granos finos de granate pardo marrón e inclusiones de pirrotita diseminada en la roca. Ligero magnetismo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Plagioclasas (Pl) de grano medio a fino distribuidas en una matriz de cuarzo (Qz) y piroxenos (Px). Los piroxenos presentan bordes irregulares y signos de alteración a epidota. La textura granoblástica es dominante, con minerales distribuidos de manera no uniforme.
En la parte inferior se observan la vista en la briqueta pulida, se evidencian cristales de esfalerita (Sp) parcialmente reemplazados por calcopirita (Cp), un proceso conocido como "enfermedad de la esfalerita por calcopirita". La calcopirita crece sobre la esfalerita y sobre la ganga, reflejando una fase tardía de alteración metasomática que afectó los minerales metálicos.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
600308	19-g	8972860.03	813136.83	17 S	Nv - 60

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

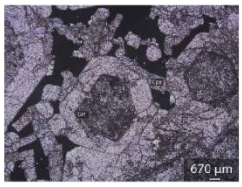
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

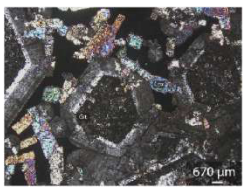
Roca skarn con textura masiva y cristalización de granates de 2mm a 5mm alrededor de toda la roca (medianos a grandes). El color predominante es negro. Estructura masiva. Mineralogía caracterizada por marmatita masiva junto con granates pardos en gran parte de la roca, y presencia de pirrotita en costras. Presencia de cristales de Axinita



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra presenta una textura granoblástica compuesta principalmente por granates (Grt) euhedrales y subhedrales de grano grueso. Los granates están siendo reemplazados desde sus núcleos por piroxenos (Px). Además, se observan clinopiroxenos tabulares flotando en la matriz, distribuidos de manera no uniforme. La intercrecimiento de los piroxenos sobre los núcleos de los granates sugiere una evolución metasomática progresiva en la muestra.





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
700308	19-g	8972864.75	813153.92	17 S	Nv - 70

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

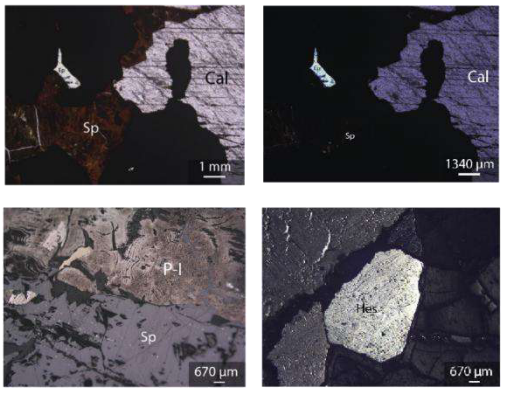
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn de textura granular y masiva, presentando minerales cristalizados de pirrotita, granos de calcita de 1 a 3 cm y pirita diseminada. Semideleznable y de color verde oscuro, con una estructura masiva. La asociación de minerales incluye pirrotita, pirita y calcita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura granoblástica, compuesto principalmente por esfarelita (sph) y calcita (cal) de grano grueso, y epidota (ep) de grano medio. Esfarelita (sph) en granos anhedrales distribuidos de manera irregular. Calcita (cal) de grano grueso formando la matriz principal. Epidota (ep) de grano medio, que se observa reemplazando parcialmente la calcita en algunas áreas. En la parte inferior se observan la vista en la briqueta pulida, mineral de esfarelita (sph), calcopirita (cpy), hessita (hess) y "producto intermedio" (pirrotita (po)-marcasita (mrc)-pirita (py)) con su típica textura de "ojo de pájaro". Esfarelita (sph) en granos anhedrales reemplazados parcialmente por calcopirita (cpy), mostrando la "enfermedad de la esfarelita". Hessita (hess) en pequeños granos dispersos.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
700309	19-g	8972928.19	813165.43	17 S	Nv - 70

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de piroxenos

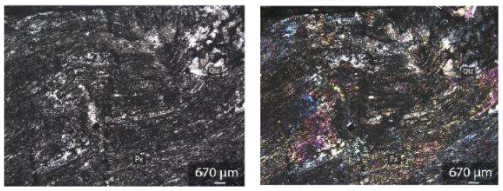
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn de estrcutura masiva y granos finos. Compuesta por plagioclasa y cuarzo, con granos finos de piroxenos. Presenta diseminaciones de pirrotita y granos medianos de cuarzo distribuidos uniformemente en toda la roca. La presencia de pirrotita confiere un ligero magnetismo. La estructura muestra estratificación bandeada.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura nematoblástica, compuesto principalmente por piroxenos (Px) y epidotas (Ep) elongados, cuarzo (Qtz) y plagioclasa (Pl) de grano fino. Los piroxenos y epidotas predominan, dispuestos de manera elongada y alargada, con escasos blastos de cuarzo y plagioclasas dispersas.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
700506	19-g	8972974.60	813095.61	17 S	Nv - 70

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

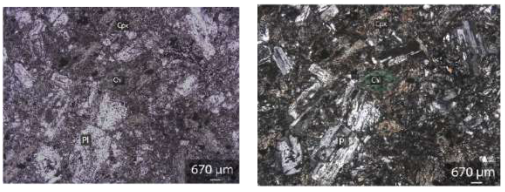
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva con textura porfídica. Estructura masiva. Presenta granos medianos de ferromagnesianos distribuidos homogéneamente sobre una matriz de plagioclasas, feldespatos y cuarzos. El color es gris claro con tonalidades geológicas debido a pátinas de pirrotita. Mineralogía que incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas, con presencia de pátinas de pirrotita confiriendo ligero magnetismo



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca con textura porfídica, compuesta principalmente por plagioclasa (Pl) de grano medio a fino, clinopiroxeno (Cpx) subhédral de grano medio y pequeñas cantidades de clorita (Chl). Los cristales de plagioclasa muestran bordes irregulares. Los clinopiroxenos están parcialmente alterados a clorita, lo cual se evidencia en los bordes y fracturas de los cristales. La matriz está compuesta de plagioclasa y cuarzo distribuidos de manera uniforme.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
750909	19-g	8972980.86	813091.70	17 S	Nv - 75

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

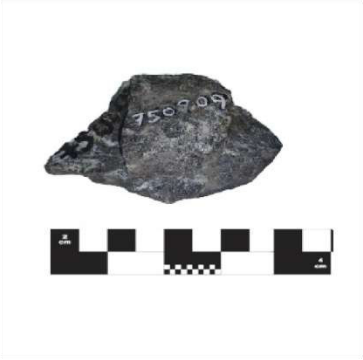
INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de piroxenos

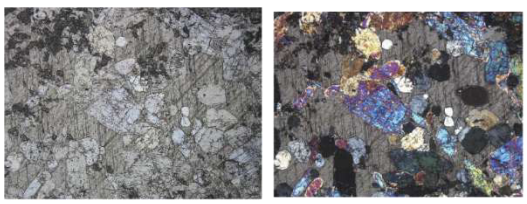
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn de textura granular y masiva, coloración gris oscuro, y estructura bandeada. Presenta marmatita y parches de pirrotita con parches de cuarzo blanco. Se observan costras blancas de alteración y pequeñas pátinas de alteración sobre la pirrotita. Ligero magnetismo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Muestra con textura granoblástica, compuesto por clinopiroxenos (Cpx), plagioclasas (Pl), anfíboles (Am), cuarzos (Qz) y calcita (Cal) de grano fino. Clinopiroxenos de alteración intercreciendo sobre anfíboles, con granos finos de cuarzo y plagioclasas también intercreciendo en la calcita, distribuidos de manera no homogénea.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
900103	19-g	8972993.58	813104.38	17 S	Nv - 90

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

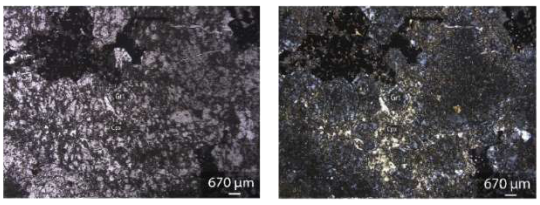
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca con textura de grano fino y mediano, exhibe una estructura bandeada evidente. El color predominante es beige amarillento con parches de cuarzo blanco y costras blancas de alteración. La mineralogía incluye granates translúcidos de color pardo claro, tanto subhedrales como euhedrales, con presencia de esfarelita y pirita diseminada en parches. Además, se observan incrustaciones de calcita. Presenta ligero magnetismo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura granoblástica, compuesto por granates (Grt) de tamaño medio a fino, clinopiroxenos finos a muy finos, apatitos y calcopirita (cpy). Los granates están distribuidos uniformemente, mientras que los clinopiroxenos de grano muy fino se encuentran uniformemente dispersos en la matriz. Piroxenos intercreciendo en los granates, con la presencia de esfarelita (sp) y laumontita también observados en la matriz.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
90507	19-g	8972975.84	813151.00	17 S	Nv - 90

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

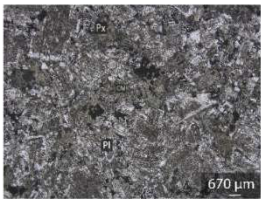
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

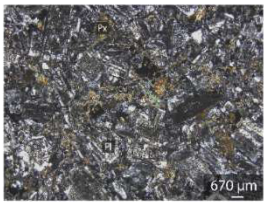
Roca ígnea con textura afanítica, estructura masiva, el color predominante es negro grisáceo, melanocrático. Granos medianos de ferromagnesianos finos distribuidos de manera no homogénea, seguidos de cristales de cuarzo translúcido y feldespatos que rellenan los espacios. La mineralogía identificada incluye ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Muestra con textura granoblástica, compuesto por clinopiroxenos (Px), plagioclasas (Pl), anfíboles y cuarzos (Qtz) de grano fino. Los minerales están distribuidos de manera uniforme, con clinopiroxenos y plagioclasas intercreciendo en la matriz, y cuarzos dispersos. .





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1003001	19-g	8972903.71	813121.55	17 S	Nv - 100

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates - piroxenos

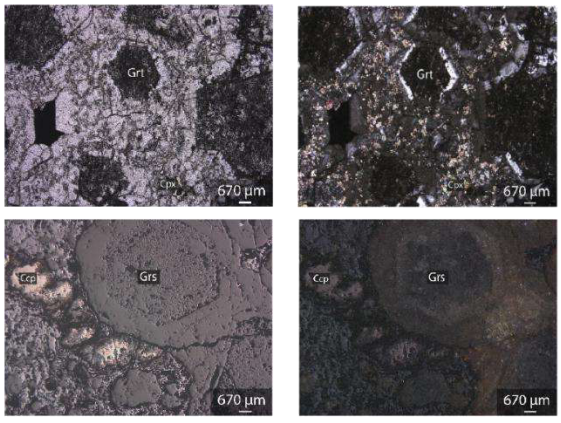
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn con textura masiva y granates de grano grueso y medio, predominantemente beige grisáceo. La muestra destaca por cristales euhedrales hexagonales y subhedrales de granates (Grosularia), con presencia de pirita en parches y trazas de esfarelita y pirrotita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura granoblástica, compuesto por granates (Grt) de tamaño medio y clinopiroxenos (Diopsido) finos en la matriz. Los granates están distribuidos uniformemente, con clinopiroxenos (Cpx) de grano muy fino también distribuidos uniformemente. Piroxenos intercreciendo en los granates. En la parte inferior se observan la vista en la briqueta pulida. Abundante mineral de grosularias (Grs) subhedrales, acompañado de esfarelita (Sp), granos de calcopirita (Ccp) y pirita (Py). La presencia de clinopiroxenos (Diopsido) y wollastonita (Wo) también se observa en la muestra. Estos minerales muestran una textura intersticial con granos de calcopirita reemplazando parcialmente a los granates.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000310	19-g	8972864.29	813139.64	17 S	Nv - 100

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de piroxenos

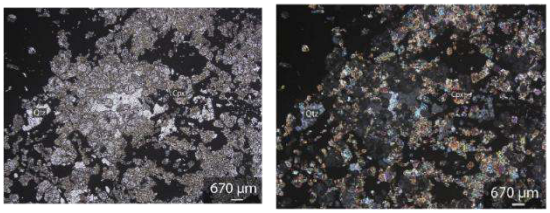
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca skarn con textura masiva y estructura con granates verdes de grano muy fino, pátinas de calcopirita y presencia de pirrotita. Cristales de granate marrón pardo de grano fino. El color predominante es negro verdoso, con una notable asociación de granates verdes y presencia de sulfuros como calcopirita y pirrotita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura granoblástica, compuesto por clinopiroxenos (Cpx), plagioclasas (Pl) y cuarzos (Qtz) de grano fino. Los clinopiroxenos muestran una textura intercrecida con cuarzos y plagioclasas, los cuales están distribuidos de manera moderadamente uniforme en la matriz.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1000105	19-g	8972962.77	813083.43	17 S	Nv - 100

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Skarn de granates

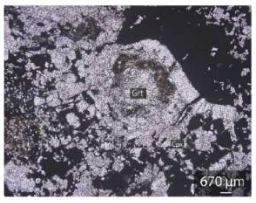
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

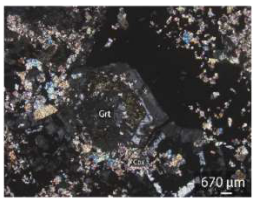
Roca Skarn con textura de grano fino y mediano. Presenta una coloración negro pardo, con una selección moderadamente sorteada. Se destacan granates subhedrales translúcidos de color pardo oscuro, finos y medianos. Además, se observan parches de pirita y esfarelita.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Skarn con textura granoblástica, compuesto por granate (Grosularia) de grano grueso, clinopiroxenos (Diopsidos) de grano medio a fino, carbonatos y pirrotita. Granates distribuidos uniformemente, con clinopiroxenos intercreciendo y reemplazando a los granates. La matriz presenta una disposición homogénea con minerales accesorios como apatito y trazas de calco-





Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1010809	19-g	8973257.61	813221.30	17 S	Superficie

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Hornfels

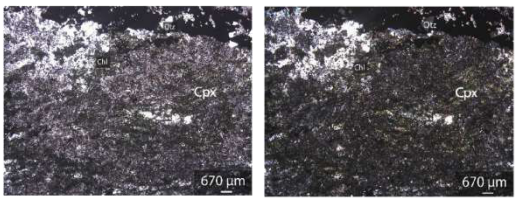
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca hornfels sin materia orgánica, de coloración gris claro, con cristales ferro-magnesianos y marmatita en bandas, intercalados con plagioclasas. Se observan costras de pirrotita y cristales medianos de granate verdosos orientados horizontal-mente en una textura de grano fino a muy fino. La presencia de pirrotita agrega un ligero magnetismo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Hornfels con textura nematoblástica, compuesto por piroxenos (cpx) de grano muy fino, clorita (chl) alterada, y cuarzos (qtz) dispersos en la matriz. Los piroxenos muestran signos de alteración,



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1010902	19-g	8972449.37	813164.69	17 S	Superficie

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique pórfido diorítico

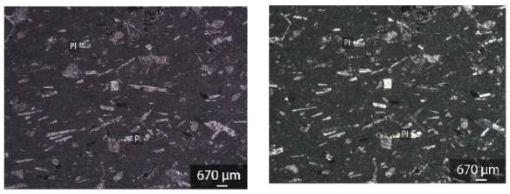
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea de textura afanítica, el color es blanco grisáceo (leucocrático). Estructura masiva. Presencia de granos medianos de ferromagnesianos, escasamente repartidos sobre una matriz afanítica blanca de plagioclasas y feldespatos, con granos de cuarzo también escasos. La mineralogía está compuesta por ferromagnesianos, cuarzo y plagioclasas.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Muestra de textura porfirítica con fenocristales euhedrales a subhedrales de plagioclasa (Pl) en una matriz afanítica de plagioclasas y cuarzo (Qtz). Los ferromagnesianos, escasos y distribuidos dispersamente, muestran alteración a clorita (Chl). La matriz muestra recristalización parcial con interferencias de colores de primer orden en los cristales de cuarzo.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
1010702	19-g	8972398.73	813136.55	17 S	Superficie

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Stock cuarzo diorítico - piroxénico

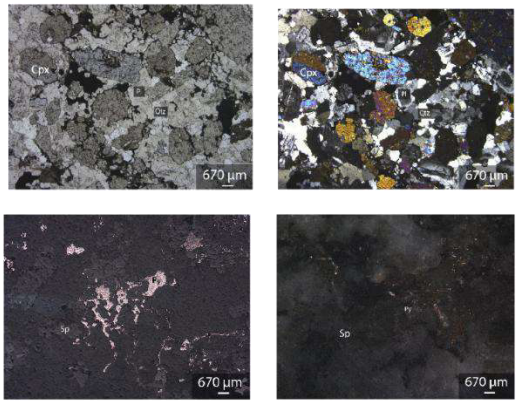
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva de textura porfídica, Coloracion gris clara (melanocrática), estructura masiva. Cristales medianos de ferromagnesianos distribuidos uniformemente sobre una matriz de cuarzo y plagioclasas. Costras de pirrotita diseminadas en toda la roca. Presenta signos de alteración superficial, vetillas y venilleo de cuarzo.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Stock de textura porfídica, la estructura presenta una distribución heterogénea de los minerales, con plagioclasas euhedrales y subhedrales y cuarzo diseminado en la matriz. Compuesto por clinopiroxenos (cpx), plagioclasas (pl) y cuarzo (qtz) en grano medio. Se muestra piroxenos maclados (secundarios) distribuidos de manera uniforme en la matriz. Presencia de apatitos (ap), anfíboles (actinolitas) (act), biotitas (bt), plagioclasas (pl) y feldespato potásico (kfs). Los cristales de clinopiroxeno están reemplazados parcialmente por actinolita y biotita. En la parte inferior se observan la vista en la briqueta pulida. Esfalerita (sp) diseminada en la matriz, acompañada de pirita (py) y pequeñas cantidades de calcopirita (cpy). La pirita aparece en forma de agregados anhedrales, mientras que la esfalerita se presenta como granos subhedrales.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
106071	19-g	8972572.85	813213.12	17 S	Superficie

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Hornfels

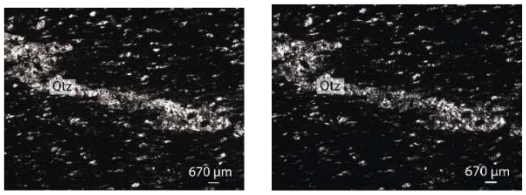
2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca Hornfel de textura granular muy fina y ligera foliación. El color predominante es negro grisáceo. Presenta venillas de calcita y costras de cuarzo. No muestra bandas ni estructuras gneisoides.



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Hornfels de textura porfidoblástica, con blastos de cuarzo (Qtz) y plagioclasas (Pl) orientados en una dirección preferente. La matriz presenta una foliación ligera, con textura granular muy fina. Predominan los granos elongados de cuarzo y plagioclasa.



Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Nivel
		Norte	Este	Zona	
10501	19-g	8972358.48	813111.36	17 S	Superficie

RESPONSABLES DEL ESTUDIO
Diego Fernando Laura Paima

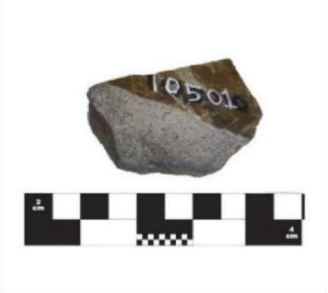
INFORMACIÓN PETROGRÁFICA:

1. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

Dique andesítico

2. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea de textura afanítica, coloracion gris blanquecino, exhibe una estructura masiva y uniforme, caracterizado por la presencia de marmatita y granos finos de ferromagnesianos distribuidos uniformemente sobre una matriz de plagioclasa. La mineralogía incluye marmatita, ferromagnesianos y cuarzo. Presenta venillas de cuarzo



3. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Dique de textura afanítica, compuesto por una matriz de grano fino de plagioclasa y ferromagnesianos, en la que destaca un blasto de plagioclasa (Pl) de forma subhedral, mostrando un mayor desarrollo cristalino. La plagioclasa está acompañada por microlitos de plagioclasa y ferromagnesianos distribuidos uniformemente en la matriz afanítica. No se observan signos de alteración secundaria significativa.

