



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**“INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA SUPERFICIAL EN EL POTENCIAL MINERAL DE LA MINA CERRO NEGRO 1, DISTRITO DE CÁCERES DEL PERÚ-JIMBE, PROVINCIA DEL SANTA, DE LA REGIÓN ANCASH – 2016”**

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. Rafael Fernando Morales Sierra

Bach. Robert Alberto Abanto Cacho

**Asesor:**

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca – Perú

2017

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Rafael Fernando Morales Sierra y Robert Alberto Abanto Cacho**, denominada:

**"INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA SUPERFICIAL EN EL POTENCIAL MINERAL DE LA MINA CERRO NEGRO 1, DISTRITO DE CÁCERES DEL PERÚ-JIMBE, PROVINCIA DEL SANTA, DE LA REGIÓN ANCASH – 2016"**

---

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.  
**ASESOR**

---

Ing. José Alfredo Siveroni Morales  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez  
**JURADO**

---

Ing. Denis Javier Arangurí Cayetano  
**JURADO**

## DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado a mi familia: mis padres Rafael y Amelia, por haberme dado la vida, con la bendición de Dios por todo cuanto me ha dado y colmado de bendiciones en mi vida.

A mi esposa Tania y mi hija Tania Fernanda. No existe una palabra que exprese la totalidad de mi sentimiento, para darte las gracias por todo el amor, apoyo emocional y comprensión recibidos durante la realización de la tesis.

Con todo el corazón... Muchísimas gracias.

Rafael Fernando

Este trabajo de tesis lo dedico a mi familia en especial a mis padres, así como a mi esposa y madre de mis adorables hijos, por su amor y comprensión.

Robert Alberto.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento al alma mater, la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca, que nos dio la oportunidad de estudiar y culminar una carrera profesional y a todos los docentes que impartieron una formación académica de primer nivel y actualidad profesional, para ejercer una carrera profesional de ingeniería de minas con valores, profesionalismo y ética.

Un agradecimiento especial al ingeniero Roberto Severino Gonzales Yana, docente principal de la carrera de Ingeniería de Minas – Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca y asesor de la tesis por su dirección y asesoramiento así como por sus oportunas y acertadas indicaciones.

Un agradecimiento recíproco a mi compañero de tesis por el trabajo en equipo realizado en esta tesis.

Bach. Rafael Fernando Morales Sierra.

Bach. Robert Alberto Abanto Cacho.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema .....	19
1.3. Justificación.....	19
1.3.1. Justificación Teórica .....	19
1.3.2. Justificación Aplicativa o Práctica .....	20
1.3.3. Justificación Valorativa .....	20
1.3.4. Justificación Académica.....	20
1.4. Limitaciones .....	20
1.5. Objetivos .....	21
1.5.1. Objetivo General.....	21
1.5.2. Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Bases Teóricas.....	26
2.2.1. Definición de yacimiento mineral .....	26
2.2.2. Caracterización geoquímica de los yacimientos.....	26
2.2.2.1. Difracción de polvo cristalino .....	27
2.2.2.2. Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM/ESEM-EDS) .....	33
2.2.2.3. Micro-proton-induced x-ray emission (Micro-PIXE).....	38
2.2.3. Métodos de estudio de los yacimientos minerales .....	39
2.2.3.1. Estudios de tipo geológico .....	40
2.2.3.2. Estudios de tipo económico-minero .....	43
2.2.4. Recursos minerales: .....	46

2.2.5.	Tipos de Recursos.....	46
2.2.5.1.	Recursos minerales metálicos: .....	46
2.2.5.2.	Las Rocas y minerales industriales:.....	46
2.2.6.	Etapas de una Exploración .....	47
2.2.6.1.	Objetivos de la exploración.....	47
2.2.6.2.	Consideraciones generales .....	47
2.2.7.	Técnicas de Valuación de Reservas .....	48
2.2.7.1.	Técnicas geológicas .....	48
2.2.7.2.	Técnicas geofísicas .....	48
2.2.7.3.	Técnicas geoquímicas .....	49
2.2.7.4.	Otras técnicas de valuación.....	50
2.2.8.	Caracterización Mineralógica:.....	51
2.2.8.1.	Estudios de caracterización .....	52
2.2.8.2.	Ventajas y desventajas de técnicas de caracterización .....	52
2.2.8.3.	Objetivos específicos del análisis mineralógico .....	53
2.2.8.4.	Interpretación de resultados .....	54
2.2.8.5.	Estudios de caracterización de Au y Ag.....	55
2.2.9.	Equipos de Caracterización Mineralógica: .....	57
2.2.9.1.	Microscopios Ópticos:.....	57
2.2.9.2.	Difracción de Rayos X (DRX): .....	58
2.2.9.3.	Fluorescencia de Rayos X (FRX):.....	59
2.2.10.	Métodos de Explotación.....	60
2.2.10.1.	Definición.....	60
2.2.10.2.	Clasificación de los Métodos de Explotación .....	60
2.2.10.3.	Condiciones Geológicas, Sociales, Ambientales y Económicas.....	61
2.3.	Definición de términos básicos .....	62
2.3.1.	Brecha: .....	62
2.3.2.	Dique: .....	62
2.3.3.	Exploración:.....	63
2.3.4.	Explotación: .....	63
2.3.5.	Ganga:.....	64
2.3.6.	Intrusivo: .....	64
2.3.7.	Mena: .....	64
2.3.8.	Mineral:.....	64
2.3.9.	Veta .....	65
2.3.10.	Yacimiento:.....	65
2.3.11.	Mineralogénesis:.....	65
CAPÍTULO 3.	HIPÓTESIS .....	66
3.1.	Formulación de la hipótesis .....	66
3.2.	Variables .....	66
3.3.	Operacionalización de variables:.....	66
CAPÍTULO 4.	MATERIAL Y MÉTODOS .....	67
3.1.	Tipo de diseño de investigación.....	67
3.2.	Material. ....	67
3.2.1.	Unidad de estudio.....	67
3.2.2.	Población.....	67

3.2.3.	Muestra.....	67
3.3.	Métodos.....	67
3.3.1.	Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.....	67
3.3.1.1.	Recolección de Datos.....	67
3.3.1.2.	Análisis de Datos.....	68
3.3.2.	Procedimientos.....	68
3.3.2.1.	Búsqueda de Información.....	68
3.3.2.2.	Integración de Información.....	69
3.3.2.3.	Trabajo de Campo.....	69
3.3.2.4.	Trabajo de Laboratorio.....	69
3.3.2.5.	Trabajo de Gabinete.....	69
3.3.2.6.	Realización y entrega de informe.....	69
CAPÍTULO 5.	DESARROLLO.....	70
3.1.	Ubicación:.....	70
3.2.	Accesibilidad.....	71
3.3.	Clima y Vegetación.....	72
3.4.	Relieve y Topografía.....	72
3.5.	Geomorfología.....	72
3.5.1.	Cerros Costeros.....	73
3.5.2.	Valles:.....	73
3.5.3.	Quebradas:.....	74
3.5.4.	Contrafuerte de la Cordillera:.....	75
3.6.	Estratigrafía.....	75
3.6.1.	Grupo Casma:.....	76
3.6.2.	Formación Junco:.....	77
3.6.3.	Formación La Zorra:.....	79
3.7.	Litología.....	82
3.8.	Caracterización Geoquímica:.....	84
3.8.1.	Zona 01: Brecha Crack.....	84
3.8.2.	Zona 02: Lavas Andesíticas.....	86
3.8.3.	Zona 03: Sistema Intrusivo.....	87
3.8.4.	Zona 04: Veta de Óxidos.....	89
3.8.5.	Zona 05: Veta De Óxidos y Exhumación.....	91
3.8.6.	Zona 06: Dique Dacítico.....	93
3.8.7.	Zona 07: Dique Dacítico 2 (Qz).....	95
3.8.8.	Zona 08: Veta – Óxidos (Magnética).....	97
3.8.9.	Zona 09: Intrusivo Dacítico - Sílice.....	99
3.8.10.	Zona 10: Zona Óxidos.....	101
3.8.11.	Zona 11: Brecha - Óxidos.....	103
3.8.12.	Zona 12: Dique Dacítico (Sulfuros).....	105
3.9.	Geología.....	107
3.9.1.	Estructura de la Secuencia Volcano – Sedimentaria.....	107
3.9.2.	Pliegues.....	107

3.9.3. Fallas.....	107
3.10. Descripción de las actividades a realizar Post exploración: .....	108
3.10.1. Accesos:.....	109
3.10.2. Campamento:.....	109
3.10.3. Almacén de Combustibles .....	109
3.10.4. Almacén de insumos.....	109
3.10.5. Comedor.....	109
3.10.6. Tanque de Agua .....	109
3.10.7. Depósito Temporal de Residuos.....	109
3.10.8. Personal de trabajadores para el Proyecto .....	109
CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....	110
6.1. Depósitos Relacionados al sistema de mineralización de concesión Cerro Negro I - Exploraciones .....	110
6.2. Alteraciones Relacionadas al sistema de mineralización de Concesión Cerro Negro I	112
6.2.1. Condiciones Generales del Transporte Hidrotermal.....	112
6.2.1.1. Potencial de Oxidación: .....	112
6.2.1.2. Composición del Fluido:.....	112
6.2.1.3. pH:.....	112
6.3. Caracterización Geoquímica Superficial: .....	113
6.4. Cuerpos Mineralizados .....	113
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....	114
7.1. Caracterización Geoquímica. ....	114
Mediante la caracterización geoquímica superficial, el potencial mineral en la zonas establecidas determina que existen altos índices de presencia de mineral con utilidad económica y están alineados con tendencias de NW – SE. El cuerpo de origen aún no se determina. Los valores que presentan los puntos muestreados son índices claros de la presencia de mineral de interés económico (Au, Ag, Fe) en 6 diferentes zonas determinadas de las zonas estudiadas en el proyecto y preferentemente en la zona del dique dacítico y zona de óxidos.....	114
7.2. Mineralización económica. ....	114
CONCLUSIONES .....	115
1.- Se Determinó la importancia de la influencia de la caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, Distrito de Cáceres del Perú-Jimbe, Provincia del Santa, de la Región Ancash – 2016. Para la posible explotación del proyecto minero. ....	115
2.- El estudio de caracterización geoquímica superficial en el proyecto minero Cerro Negro 1, se determinó las zonas más representativas con utilidad económica a través de la toma de muestras de interés mineralógico y mediante análisis de laboratorio, determinándose La ley superficial de gr/Tm de las zonas con predominancia de cuerpos mineralizados con potencial	



económico, el estudio de caracterización geoquímica superficial con mayor incidencia son: en la zona 6, correspondiente a un dique dacítico, el oro se reporta 7.8 gr/Tm y la plata 32.34 gr/Tm, así como en la zona 10 zona de óxidos con 4,0 gr/Tm de oro y 21,77 gr/Tm de plata por lo que estos valores encontrados de estas zonas es un buen indicio para la caracterización geoquímica superficial realizada en esta etapa para su posible explotación minera, del proyecto minero Cerro Negro 1. .... 115

3.- Además las zonas de interés mineralógico está conformada por 02 grandes cuerpos intrusivos: El primero de composición granodiorita de un sistema de composición ácida – intermedia y un segundo cuerpo es de granitos de un cuerpo de composición ácida, en su mayoría la zona está cubierta por depósitos de lavas andesíticas. En zonas proximales a las zonas de contacto de lavas andesíticas con clastos oolíticos y alargados, así mismo los sistemas posteriores de ascensión son diques Dacíticos de composición ácida identificados son los responsables de la mineralización en diferentes pulsos magmáticos (eventos y/o secuencias de ascensión de fluidos). Estos cuerpos en su mayoría están altamente meteorizados en superficie debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos también presentan algunas intrusiones paralelas de cuarzo masivo. Por ultimo grandes zonas están cubiertas por depósitos cuaternarios y conglomerados de unos 9 a 12m de espesor. Tectónicamente en las zonas exploradas tenemos estructuras comunes como Diques y brechas, todas ellas con indicio de mineralización, debidamente se denotan las alteraciones Fílica, Propilítica y Argílicas junto a los índices de limonitización y gossan encontrados en la zona, nos llevan a pensar en un yacimiento tipo Epitermal de Baja Sulfuración asociado a las diferentes pulsaciones de los cuerpos intrusivos subvolcánicos, relacionados a un pórfido Granodiorítico como responsable de la mineralización. .... 115

RECOMENDACIONES: ..... 116

REFERENCIAS ..... 117

ANEXOS..... 118

REFERENCIAS.....117

ANEXOS..... 118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Posicionamiento 2016 del Perú en producción minera en Latinoamérica y Mundial.....	15
Tabla 2: Accesibilidad a la concesión Cerro Negro. ....	64
Tabla 3: Resultados de muestreo superficial. ....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Porta muestras para polvo en difracción de rayos X, con y sin polvo cristalino. ....	28
Figura 2: Fichas base de datos del ICCD. ....	29
Figura 3: Procesado de espectros de polvo de rayos X.....	30
Figura 4: Interacción de los electrones incidentes con los átomos de la muestra .....	32
Figura 5: Comparación del número de electrones retro dispersados (BSE).....	33
Figura 6: Morfología de granos de arena en un concentrado de batea. ....	34
Figura 7: Muestra de un núcleo de barreno. ....	53
Figura 8: Oclusión de plata menor a 1 micrómetro en óxido de manganeso. ....	54
Figura 9: Electrum menor a 1 micrómetro ocluido en mineral de calcita/manganeso. ....	54
Figura 10: Amalgama (Ag-Hg) de 7 micrómetros ocluida en cuarzo. ....	55
Figura 11: Microscopio óptico. ....	56
Figura 12: Difracción de Rayos X.....	57
Figura 13: Fluorescencia de rayos X. ....	57
Figura 14 A: Ubicación de la concesión Cerro Negro. ....	68
Figura 14 B: Concesión minera Cerro Negro 1 código 010189414 -1000 Hectáreas, Zona 17, Carta 18G, fecha formulación 18-02-2014 – 16.30 Horas- EPEL SAC (Fuente Geocatmin) .....	69
Figura 15: Vista panorámica de “Quebrada seca” y montañas aledañas. ....	70
Figura 16: Rocas volcánicas presentes en el cerro ubicado al frente del socavón inicial. ....	71
Figura 17: Valles juveniles y maduros presentes en la zona de influencia. ....	72
Figura 18: Sedimentos (grava, arena y limos) ubicados en los flancos de las quebradas. ....	73
Figura 19: Cadenas de elevaciones que conforman el contrafuerte de la cordillera. ....	73
Figura 20: Columna estratigráfica del grupo Casma.....	75
Figura 21: Horizonte tobáceo de la Fm. Junco. ....	76
Figura 22: Flujos lávicos. ....	77
Figura 23: Unidad sedimentaria de la Fm. La Zorra.....	78
Figura 24: Columna estratigráfica de la Formación La Zorra. ....	79
Figura 25: contacto entre las lavas andesíticas en la parte superior. ....	81
Figura 26: conglomerados con rodados de grandes dimensiones. ....	81
Figura 27: contacto inferido entre el intrusivo granítico en la parte superior. ....	82
Figura 28: Estructura presente caracterizada como una brecha tipo crack . ....	83
Figura 29: Realización de canal para cortar la estructura y tomar la muestra. ....	83
Figura 30: Las líneas punteadas muestran de donde se extrajo la muestra X-01. ....	84
Figura 31: Venillas presentes en este cuerpo de lavas aflorantes. ....	85
Figura 32: Continuidad y presencia del cuerpo intrusivo. ....	86
Figura 33: Canal para dejar al descubierto roca fresca e identificar minerales. ....	86
Figura 34: Rocas fresca expuesta, muestra el contenido de los minerales. ....	87
Figura 35: Quebrada donde se aprecia el afloramiento de las venas de óxidos. ....	88
Figura 36: Estructura como vena rellena de óxidos. ....	88
Figura 37: Estructura como vena rellena de óxidos. ....	89
Figura 38: Estructura de la veta en global, las zonas amarillentas muestran la zona de interés. ...	90
Figura 39: Estas alteraciones posteriores a la oxidación.....	91
Figura 40: Mineral visto en el resultado del método artesano aplicado en campo. ....	91
Figura 41: Dique cortando al macizo rocoso. ....	93
Figura 42: Distribución de minerales presentes guías para que los metales. ....	93
Figura 43: Limonización en la zona de los halos (Zona de contacto) del dique. ....	94
Figura 44: Dique como afloramiento en el lecho de “Quebrada seca” .....	95
Figura 45: Zona con mayor concentración de óxidos. ....	96
Figura 46: Veta expuesta en superficie como indicador de la movilización de los óxidos.....	97
Figura 47: Zona de óxidos en su variable distribución desde un núcleo hacia los halos. ....	97

Figura 48: Se presume la dirección de la estructura debido al sistema de venilleo. ....	99
Figura 49: Trinchera de unos 40cm de profundidad para ubicar. ....	99
Figura 50: Estructura silicificada así como su contenido de los minerales. ....	100
Figura 51: Estructura y su continuidad, es una zona fuertemente craquelada. ....	101
Figura 52: Minerales en su composición y rellenando los espacios de vacío. ....	101
Figura 53: Continuidad de la brecha, en las tonalidades de la parte inferior ....	103
Figura 54: Labor realizada para determinar la continuidad y buscar extraer una muestra. ....	104
Figura 55: Zona de limonización está aflorando en la cárcava ....	105
Figura 56: Presencia de cuarzo cristalizado junto a algunos pocos de Sericita ....	105
Figura 57: Fallas generadas por el movimiento andino. ....	107
Figura 58: Distribución de los diferentes estilos de mineralización ....	110
Figura 59: Modelo generalizado de los patrones de alteraciones y mineralización. ....	112
Figura 60: Stockwork, Venillas tipo D – Cuarzo – Pirita.....	119
Figura 61: Mismo punto de referencia, venillas de Clorita – Pirita. ....	119
Figura 62: Contacto entre óxidos de Hierro, y Sulfuro. ....	120
Figura 63: Zona aparentemente lixiviada. ....	120
Figura 64: Micro - fallas evidencian la dirección del control estructural en fallas normales. ....	121
Figura 65: Venillas Tipo M de magnetita – actinolita. ....	121
Figura 66: Zona de Oxidación supérgena. ....	122
Figura 67: Punto de Óxido de hierro, presencia de limonita. ....	122
Figura 68: Muestreo por Surco. ....	123
Figura 69: Dirección paralela al eje de la cuenca, de la zona de oxidación. ....	123
Figura 70: Contacto, entre la zona de oxidación y lutitas alteradas. ....	124
Figura 71: Delimitación de la zona de contacto. ....	124
Figura 72: Bocamina de veta 1. ....	125
Figura 73: Zona aparente de una posible estructura de ExoSkarn. ....	125
Figura 74: Beta auxiliar la cual se ubica en el flanco izquierdo del frente de la cuenca. ....	126
Figura 75: Toma de Muestra. ....	126
Figura 76: Bocamina indicios de proyección de la beta. ....	127
Figura 77: Zona de Oxidación presencia de sulfuros primarios Bornita, pirita. ....	127
Figura 78: Proyección de la veta 2, que se puede considerar como una beta principal. ....	128
Figura 79: Muestra de mano, que contiene Sulfuros primarios ....	128
Figura 80: Afloramiento de lavas andesíticas con algunas venillas de Cuarzo. ....	129
Figura 81: Llavas andesíticas cerca del contacto con el intrusivo Granodiorítico ....	129
Figura 82: Vista panorámica al Sur-Oeste de la extensión del proyecto “Cerro Negro”. ....	130
Figura 83: Vista panorámica al Nor-Oeste de la extensión del proyecto “Cerro Negro”. ....	130
Figura 84: Realización de taladros para la utilización de explosivos ....	131
Figura 85: Realización de puruñado. ....	131
Figura 86: Plano Topográfico de la Concesión Cerro Negro 1.....	132
Figura 87: La litología de la zona está conformada por 02 grandes cuerpos intrusivos de la Concesión Cerro Negro 1.....	133

## RESUMEN

La presente tesis titulada “INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA SUPERFICIAL EN EL POTENCIAL MINERAL DE LA MINA CERRO NEGRO 1, DISTRITO DE CÁCERES DEL PERÚ-JIMBE, PROVINCIA DEL SANTA, DE LA REGIÓN ANCASH – 2016”, cuyo objetivo fue estudiar la caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, para ampliar posteriormente en otros estudios más específicos; además determinamos mediante análisis de laboratorio las zonas de mayor concentración de Oro y Plata principalmente con potencial económico el alineamiento de los sistemas de mineralización, predominancia de cuerpos mineralizados con potencial económico y definimos las estructuras tectónicas en la zona de estudio.

La Empresa Peruana de Proyectos Electromecánicos S.A.C (EPEL SAC), en su concesión Cerro Negro 1, ha tenido interés de exploración por los indicios presentes a nivel superficial y por la minería informal desarrollada en la zona; es por ello esencial el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1.

Con este estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral del proyecto minero Cerro Negro 1 la empresa EPEL SAC decidirá la realización de estudios más profundos posiblemente mediante taladros y de esta forma podrá definir la forma de explotación y garantizar la rentabilidad, viabilidad y puesta en marcha de dicho proyecto.

La zona de estudio presenta altos índices de presencia mineral, están alineados con tendencias de NW – SE. Los valores que presentan los puntos muestreados son índices claros de la presencia de mineral de interés económico (Au, Ag, Fe) en diferentes ubicaciones del proyecto y diferentes estructuras.

## ABSTRACT

This thesis entitled "INFLUENCE OF SURFACE GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION ON THE MINERAL POTENTIAL OF THE CERRO NEGRO MINE 1, DISTRICT OF CÁCERES DEL PERÚ-JIMBE, SANTA PROVINCE, OF THE ANCASH REGION - 2016", whose objective was to study the superficial geochemical characterization in the mineral potential of the Cerro Negro 1 mine, to subsequently expand on other more specific studies; we also determined through laboratory analysis the areas of highest gold and silver concentration, mainly with economic potential, the alignment of mineralization systems, the predominance of mineralized bodies with economic potential and we defined the tectonic structures in the study area.

The Peruvian Company of Electromechanical Projects S.A.C (EPPEL SAC), in its Cerro Negro 1 concession, has had exploration interest for the present signs at surface level and for the informal mining developed in the area; Therefore, the study of superficial geochemical characterization in the mineral potential of the Cerro Negro mine1 is essential.

With this study of superficial geochemical characterization of the mineral potential of the Cerro Negro 1 mining project, the EPPEL SAC company will decide to carry out deeper studies, possibly using drills, and in this way it will be able to define the form of exploitation and guarantee profitability, viability and implementation, march of said project.

The study area has high mineral presence indexes, are aligned with NW - SE trends. The values presented by the sampled points are clear indices of the presence of ore of economic interest (Au, Ag, Fe) in different project locations and different structures.



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el contexto mundial los costos y beneficios de la explotación minera a gran escala en las comunidades locales y la evolución de sus relaciones con las empresas mineras, ha llegado ser un asunto importante en todos los países del mundo. En la actualidad, la globalización de los mercados internacionales y la mayor fiscalización ambiental en los países industrializados. Producto de estas tendencias, aumentaron las actividades de exploración y explotación minera de compañías locales y multinacionales en los países en desarrollo o en países con economías en transición, que ven en el sector minero una reactivación de su economía.

En Latinoamérica, Argentina se caracterizó por la extracción de minerales como el cobre, plata y oro respectivamente. Sin embargo, también ha generado conflictos entre la agricultura y la minería. Para el caso de Bolivia, se destaca la extracción de minerales metálicos plata y oro. En cuanto a Brasil, el oro, la plata y las gemas han sido los minerales de mayor interés. No obstante, el cobre y el hierro caracterizan el mayor desarrollo minero del país. Por el contrario, Chile, ha sido un país minero desde la llegada de los conquistadores, donde minerales como el oro y el cobre son considerados las joyas de la corona. Ecuador, Perú y Venezuela también han presentado explotaciones auríferas en diferentes escalas que han sido precedidas por metales como el hierro.

El Perú, es un país minero, sigue ocupando el octavo lugar como país más atractivo para la exploración minera. Ello debido a que nuestros competidores mineros más cercanos –Canadá, Chile y México, entre otros– también vienen sufriendo el impacto de la crisis en el sector minero desde el 2012, debido a la variación y baja de los costos internacionales.



Tabla 1: Posicionamiento 2016 del Perú en producción minera en Latinoamérica y Mundial.

Ranking de Producción		
METAL	América Latina	Nivel Mundial
Oro	1ro	8vo
Zinc	1ro	3ro
Estaño	1ro	3ro
Plomo	1ro	4to
Cobre	2do	4to
Plata	2do	2do

A principios del 2016, según el Banco Central de Reserva (BCR) estimó que la inversión en minería se reduciría hasta en un 25,9% durante este año, en respuesta a los bajos precios de los metales en el mercado mundial y el retraso en la ejecución de mega proyectos mineros debido a los conflictos sociales y ambientales.

Sin embargo, en enero del 2016, las inversiones mineras superaron los US\$ 351 millones de dólares, destinados mayormente a obras de infraestructura, actividades de explotación y equipamiento minero.

En Áncash, hoy por hoy la minería constituye el eje económico de su sierra, principalmente en Huaraz y San Marcos. Esta última no sólo es la primera exportadora de cobre, sino uno de los proyectos cupríferos más importantes en la última década, en su totalidad el 99.7%, proviene de la operaciones que realiza la Compañía Minera Antamina S.A; de la misma manera, la mina Pierina constituye una de las más importantes inversiones auríferas.

Respecto a la plata, el 74% corresponde a lo que viene produciendo Antamina, en tanto que la diferencia la asumen empresas como "Toma la Mano S.A" (7%), "Santa Luisa S.A." (7%),

La empresa minera Barrick Misquichilca (5%) y otros. La participación de la plata que se produce en Ancash respecto de la producción nacional es de aprox. el 14%. Existe también la explotación de Plomo, este mineral sólo representa el 3% de la producción total de minerales en Ancash. Es la Compañía Minera Santa Luisa S.A., con sus 3 unidades mineras, la que extrae el 55% del plomo de toda la región.

También debemos mencionar el Zinc, las principales empresas productoras de Zinc en la región son la Compañía Minera Antamina y la Compañía Minera Santa Luisa que juntas producen el 90% del Zinc de toda la región Ancash. Recordemos que este metal se emplea principalmente para recubrir el acero, en especial para techos, y cables galvanizados usados en los barcos. El óxido de zinc se emplea en la fabricación de cemento dental, pasta dental, esmaltes, vidrio, pinturas, objetos cerámicos, productos de goma y en medicina como antiséptico.

En el 2015, La región Áncash fue el primer productor nacional de cobre con 147,284 toneladas métricas finas (TMF) y lideró la producción nacional de zinc con 125,321 TMF, según la Dirección General de Minería (DGM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), en un reporte sobre la evolución de la producción metálica.

Es así que del total de la producción cuprífera nacional que asciende a 595,119 TMF, Áncash aporta el 24.75% (147,284 TMF); seguido por Cusco y Arequipa que participan con el 15.09% y 13.75%, respectivamente.

El liderazgo de esta región en la acumulación de concentrados de cobre se da gracias al desempeño de la Compañía Minera Antamina S.A. que aporta el 24.10% de toda la producción nacional.

En Áncash según el MEM, existen 37 unidades mineras en producción que solo cubren el 1.07% de toda la extensión territorial de la región. Además, hay 51 unidades mineras en exploración para localizar yacimientos, esta actividad se da en un espacio territorial que representa el 0.85% del total de la jurisdicción de Áncash.

A nivel regional, la minería es el motor del 30% de toda la economía, según el INEI, pero su relevancia es incluso mayor por las transferencias que sus actividades brindan tanto al gobierno regional como a los gobiernos locales y distritales. En relación con los montos asignados, Áncash recibe S/.855 millones por canon minero (un 26% del total nacional), y es la primera región del país en ese rubro, por encima de Arequipa (S/.533 millones, con un 15%).

Áncash en el 2017 es una de las regiones del Perú con mayor cantidad de proyectos de extracción minera; un total de 5 proyectos de gran minería resaltan la riqueza de la materia prima de esta región.

Además, con una inversión de más de US\$ 293 millones dólares, Milpo espera iniciar sus operaciones de producción minera en el distrito de Conchucos, provincia de Pallasca para este año, con el proyecto minero “Magistral”, convirtiéndose en una de

las inversiones de mayor importancia después de Antamina. Proyecto que producirá mineral de cobre, durante 25 años.

Uno de los proyectos de producción de oro que se encuentra trabada, justamente por asuntos sociales, es el proyecto minero "San Luis" de la empresa canadiense Silver Standard Perú S.A. proyecto ubicado en el distrito de Shupluy, provincia de Yungay, que ya tiene el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado, pero que aún no cuenta con la autorización para la construcción.

Otro de los proyectos mineros importantes en la región Áncash, es la "Merced", de la Minera Barrick Misquichilca S.A., está ubicado en los distritos de Aija y Huacllán, en la provincia de Aija. En la actualidad este proyecto se encuentra en la etapa de exploración; se espera que este proyecto minero genere importante actividad económica en esta parte de la región.

La Empresa Peruana de Proyectos Electromecánicos S.A.C (EPPEL), en su concesión Cerro Negro 1, ha tenido interés de exploración por los indicios de caracterización superficial presentes y por la minería informal desarrollada en la zona; es por ello es esencial el estudio de caracterización superficial mineralógica para la posible explotación de la mina Cerro Negro 1.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye un estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, en el distrito de Cáceres del Perú – Jimbe, Provincia de Santa, Región de Áncash - 2016?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación Teórica**

La exploración y explotación de los yacimientos mineros es una actividad de alto riesgo económico, ya que implica inversiones iniciales de alto costo así como durante la producción, además con el riesgo presente de la variabilidad de los costos internacionales de los minerales.

También después del estudio de factibilidad, viene los estudios definitivos del proyecto y construcción de las instalaciones para la puesta en marcha que supone también un elevado riesgo económico con inversiones que solamente se recuperan en caso de que la exploración tenga éxito con una explotación minera fructífera y

sostenible. Sobre estas bases, es fácil comprender que el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral es muy importante antes de cualquier gran inversión definitiva.

### **1.3.2. Justificación Aplicativa o Práctica**

La Empresa Peruana de Proyecto Electromecánicos (EPPEL) ha concesionado el proyecto minero Cerro Negro 1, de 1000 Hectáreas, por lo cual ha venido realizando estudios preliminares y exploraciones con miras a la explotación, para ello es necesario el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral, que determinará su potencial y rentabilidad económica de acuerdo a los minerales encontrados.

### **1.3.3. Justificación Valorativa**

Con el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral del proyecto minero Cerro Negro 1 la empresa EPPEL SAC decidirá la forma de explotación para garantizar la rentabilidad, viabilidad y puesta en marcha de dicho proyecto.

### **1.3.4. Justificación Académica**

Las personas y empresas que deseen investigar información sobre el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral en proyectos mineros similares podrán contar con esta tesis como referencia.

## **1.4. Limitaciones**

- El traslado y transporte de personal, equipos y herramientas para la realización del estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral, desde la ciudad de Jimbe hasta la concesión minera, fue a través de un camino de herradura con 14 horas aproximadamente de caminata y uso de caballos de carga hasta la concesión del proyecto cerro negro 1.
- El estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral realizado es a través del recojo de muestras encontradas en superficie, así como en trincheras, es necesario mencionar que para complementar este, estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral se debe realizar una campaña perforaciones de exploración en la zonas de mayor interés económico encontrados.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar la influencia de la caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, Distrito de Cáceres del Perú-Jimbe, Provincia de la Santa, de la Región Ancash – 2016. Para contar con una línea base para su posterior evaluación preliminar y definitiva.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

1. Describir el nivel de influencia de la mineralogénesis superficial en la caracterización del tipo de yacimiento de la mina Cerro Negro1.
2. Determinar el nivel de influencia de la mineralogía económica superficial en la formación de zonas anómalas con potencial en la mina Cerro Negro 1.
3. Definir el impacto de la presencia de zonas de mineralización en la formación de los recursos mineros de la mina Cerro Negro 1.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- V.M. Kreiter (1968), en su libro “Geological prospecting and exploration” analiza la bibliografía rusa diciendo que es algo más específica, llama “Prospección” a la búsqueda de anomalías minerales y dice: se prospecta una región para encontrar yacimientos y se explora un yacimiento para definir su explotabilidad.
- Bates & Jackson (1984), en su libro el “Dictionary of Geological Terms”, dice que la Exploración comprende la búsqueda de depósitos de minerales útiles o de combustibles fósiles. En este diccionario no se distingue entre exploración y prospección. El término “minerales útiles” se refiere a minerales económicamente valiosos.
- Howard L. Hartman (1987), en su libro “Introductory mining engineering” hace una diferencia exploración y prospección en lo que concierne su objetivo y a partir de este el principio de trabajo aplicado: el objetivo de la prospección es el reconocimiento general de un yacimiento mineral, la exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del depósito mineral.
- La ingeniera Silvia Rosas Lizarraga (2005), enfatizó la técnica del mapeo metalogénico, caracterizando regionalmente cada mineralización; así aparecieron los conceptos de “provincia metalogénica” y “época metalogénica”, primera etapa hoy de cualquier exploración.
- Víctor Benavides Cáceres (1956), define yacimiento mineral como “acumulaciones o concentraciones de elementos que están presentes en la corteza terrestre solo de forma diseminada”, a esta definición muy geológica, se le ha incorporado últimamente el concepto económico de “explotación con beneficio económico”.
- Donald C. Noble, Edwin H. McKEE, Thomas Mourier, Francois Mégard (1990), establece que “yacimiento mineral es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, que puede ser utilizada industrialmente, dadas su cantidad, calidad y condiciones del yacimiento, para su explotación comercial”. En síntesis, un yacimiento mineral es “un cuerpo geológico constituido por mineralización económicamente explotable”.

- Bonilla, Hurtado & Jaramillo, 2009. En su libro "El cierre de la investigación: El arte de estabilizar el conocimiento" dice que desde una perspectiva investigativa la caracterización es una fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes. La caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado (sistematizar de forma crítica).
- **Tesis "Caracterización del Emplazamiento Mineralógico de la Veta Murciélago para Determinar el Tipo de Yacimiento en la Mina Paredones, Provincia de San Pablo Región Cajamarca"**, Autores: Aguilar Bardales, Lucas e Izquierdo Linares, Luis Alejandro UPN-IM, 1 de marzo 2017. Resumen: caracterizar el emplazamiento mineralógico en la mina Paredones; además identificar tendencias de mineralización en la veta Murciélago, realizar el levantamiento topográfico a detalle, identificar el control litológico y estructural de la veta Murciélago. La compañía minera Occidental 2, tiene interés de explotación de esta veta principalmente porque con estudios preliminares se determinó altos niveles de mineralización. La hipótesis de la presente tesis es que el emplazamiento mineralógico de la mina Paredones influye en la determinación del tipo de yacimiento.
- **Tesis "Caracterización minerográfica de las vetas Baca y recuperada, del cerro Chilca, Cajabamba – Perú"**, Autor: Huaripata Goicochea, Neil Sims Thompson, UNC-FIG 2016. Resumen: Las vetas Baca y Recuperada, se encuentra ubicada en el cerro la Chilca, que pertenece al caserío de San José-Cachachi, provincia de Cajabamba, al sur del departamento de Cajamarca. A través de la caracterización minerográfica de las vetas Baca y Recuperada, se identificó las principales asociaciones mineralógicas de las vetas, siendo en la veta Baca: óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita y en la veta recuperada: óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita, esfalerita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita. Además se realizó el zonamiento de dichas vetas, teniendo en la veta Baca: la zona de óxidos (óxidos de cobre, goetita, limonita), zona de transición (digenita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita,



calcopirita, cobre gris 1, enargita) y en la veta Recuperada: zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita), zona de transición (digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita). Para lo cual se obtuvo 4 muestras; 2 de la zona de óxidos y 2 de la zona de transición, las cuales fueron preparadas en secciones pulidas, para realizar el estudio minerográfico. La secuencia paragenética establecida para las vetas, se clasificó en minerales tempranos y tardíos, de acuerdo al evento de precipitación, siendo en la veta Baca: pirita, cobre gris 1, calcopirita, enargita y en la veta Recuperada: arsenopirita, pirita, cobre gris 2, esfalerita, calcopirita, cobre gris. La enargita y los cobres grises, son minerales asociados a yacimientos epitermales de alta sulfuración, por lo que el área de estudio presenta características de un yacimiento tipo pórfido, sobreimpuesto por un evento hidrotermal de alta sulfuración.

- **Tesis: “Caracterización mineralógica, geoquímica y posibilidad de drenaje ácido de roca, en pasivos mineros del cerro Yanaorcco”** Autora Susana Gladis Vilca Achata, UNAP-FIA 2014. Resumen: El trabajo de investigación se realizó en el Cerro Yanaorcco, de Cabanilla, Lampa, Puno; con el objeto de caracterizar la mineralogía y geoquímica del pasivo ambiental minero existente, en el marco de la posibilidad de generación de DAR, para la toma de medidas de protección ambiental. Se investigó la mineralización, expuesta al ambiente, en labor minera abandonada, considerada pasivo ambiental minero, convirtiéndose en un punto de preocupación de los habitantes aledaños a la zona, consideran se pueda convertir en una fuente de contaminación, la misma que afectaría la actividad económica principal como es la actividad agropecuaria en la zona. El pasivo ambiental, se enmarca en un yacimiento tipo vetiforme, cuyo generador principal de mineralización son intrusivos (dioritas Neogenas), episodios volcánicos recientes responsables de traer consigo soluciones mineralizantes en contenidos metálicos de oro, plata y trazas de minerales de cobre que se depositaron a partir de una solución inmediatamente después del fracturamiento que afectó al cuarzo, la pirita y arsenopirita de primera generación; mineralización asociada a fallas locales de tendencia NE - SO con escaso contenido de óxidos y mineralización primaria, relacionada a débiles alteraciones de sericitas. Yacimiento y mineralización tipo, que se asocia a la posibilidad de generación de DAR. La caracterización mineralógica, geoquímica,



y determinación de la posibilidad de generación de DAR; aplicó metodología analítica, experimental y descriptiva, en las tareas de investigación propuestas, con cuatro muestreos. Se utilizaron métodos analíticos de: Microscopía, Digestión con tratamiento multiácido, Difractometría de rayos X, Espectrometría. La posibilidad de generación de Drenaje Ácido de Roca DAR, se determinó por el método estático. Resultado: bajo potencial ácido PA (0,31), alto potencial Neutro PN (18.13), indica azufre como sulfuro bajo en relación a carbonatos existentes, ayudando la neutralización del contenido ácido en drenaje. Se establece que no es generador de ácido ( $PN/PA = 58,48$ ) relación de potencial neutro respecto a potencial de acidez mayor a 3; existe incertidumbre de generar ácido ( $PNN = 17,82$ ) por valor del potencial neto de neutralización mayor a -20 y menor a +20. El pasivo ambiental, en las actuales condiciones de exposición es de bajo riesgo, no es una amenaza al medio ambiente que lo rodea. De existir interés económico, se recomienda efectuar pruebas cinéticas, para determinar el comportamiento geoquímico del material a través del tiempo.

- **“Caracterización mineralógica de los sedimentos superficiales de la plataforma continental peruana, frente de los departamentos de Lima, Ancash, La Libertad, Piura y Tumbes (3°30' y 11°30' Sur)”**, Autores: Cornejo Sánchez, Teresa del Rosario Morales Reyna y María del Carmen, Chacaltana Budiel, César Augusto, presentado en el Congreso Peruano de Geología, del 27set al 1oct, Cusco del 2010, organizado por la Sociedad Geológica del Perú. Resumen: Se estudiaron 92 muestras de sedimentos superficiales, mediante análisis granulométrico, para determinar el tipo de sedimento y el análisis por difracción de Rayos X para determinar su contenido mineral. El total fueron 960 muestras a lo largo de la margen continental peruana, seleccionándose del conjunto 92 casos, que fueron tomados a profundidades variables de 10 a 200 msnm. Las variaciones de la distribución de estos sedimentos en la plataforma continental están dadas por el incremento de tamaño, desde la línea de costa hacia la plataforma costera, con arenas medias y finas en la zona norte del área de estudio y disminuyendo hacia el sur. En cuanto a la mineralogía aplicada a los elementos menores, se revela la presencia de 57 minerales en 93 muestras evaluadas. Los principales constituyentes de las fracciones arenosas son Cuarzo, Albita, grupo de micas, caolinita, beidelita y antífoles.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Definición de yacimiento mineral**

El término yacimiento mineral presenta diversas acepciones a través del tiempo:

El inglés Alan M. Bateman (1951), en su libro “the formation of mineral deposits” define yacimiento mineral como “acumulaciones o concentraciones de elementos que están presentes en la corteza terrestre solo de forma diseminada”, a esta definición muy geológica, se le ha incorporado últimamente el concepto económico de “explotación con beneficio económico”.

Así como V.I. Smirnov en 1976, en su libro “Geology of mineral deposits”, establece que “yacimiento mineral es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, que puede ser utilizada industrialmente, dadas su cantidad, calidad y condiciones del yacimiento, para su explotación comercial”.

En síntesis, un yacimiento mineral es “un cuerpo geológico constituido por mineralización económicamente explotable”.

### **2.2.2. Caracterización geoquímica de los yacimientos**

Con frecuencia, el estudio que se realiza para la valoración de un depósito mineral implica tan sólo el estudio genérico de las leyes de los elementos que se espera puedan ser interesantes en el tipo de depósito, obviando el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. No obstante, un estudio detallado de la mineralogía no tiene tan sólo connotaciones académicas como a veces se cree, sino que puede ayudar a incrementar el valor añadido de la explotación, e incluso por sí sólo puede ayudar a descartar o confirmar el interés del yacimiento. Teniendo en cuenta el bajo costo de los análisis mineralógicos, cuando se comparan con otros métodos, no deja de ser sorprendente este comportamiento erróneo de muchas empresas.

El objetivo es el de ofrecer una revisión de las técnicas de caracterización geoquímica de los minerales más usuales, así como valorar la incidencia de los estudios mineralógicos en la exploración, valoración y explotación de yacimientos minerales. Las técnicas han sido clasificadas en 2 grupos:

El primer grupo incluye a las técnicas de mayor uso, de un coste económico relativamente bajo, las cuales podemos denominar “técnicas convencionales”:

- Difracción de polvo de rayos X y difracción cuantitativa de rayos X.

- Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM–EDS).
- Cátodoluminiscencia.
- Microsonda electrónica (EMP).

El segundo grupo abarca un grupo de técnicas menos accesibles, y mucho más costosas, las cuales denominamos en este trabajo "técnicas no convencionales":

- Particle Induced X–Ray Emission (Micro–PIXE).
- Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS).
- Laser–Ablation– Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (LA–ICP–MS).

La mayor parte de esta compilación está dedicada a las técnicas convencionales (DRX, SEM–EDS y EMP), las cuales pueden ser de mayor impacto en el campo de la pequeña minería.

#### **2.2.2.1. Difracción de polvo cristalino**

La difracción de polvo es un método de análisis estructural, que permite identificar los minerales por su estructura cristalina. No se trata pues de un método analítico químico, pero, como veremos, permite indirectamente estimar la composición de la muestra analizada con una buena aproximación del contenido en elementos mayoritarios. Existe mucha documentación sobre el método; entre las compilaciones clásicas merecen citarse las de Klug y Alexander (1954), Bish y Post (1989) y Cullity y Stock (2001).

Prácticamente todos los minerales son cristalinos, es decir, disponen sus componentes químicos (átomos, iones, moléculas) de forma regular, llenando el espacio. Eventualmente, todos los cristales pueden desarrollar formas exteriores poliédricas, aunque gran parte de la masa mineral no manifiesta esta propiedad necesariamente. La distribución regular en el espacio de los componentes del mineral se describe mediante las redes cristalinas, que ponen de manifiesto la repetición periódica de la celda del mineral. La celda es pues una unidad, en forma de paralelepípedo, que repetida idénticamente llena todo el espacio del cristal. La descripción de la celda proporciona toda la información sobre la estructura cristalina del mineral. Existen dos niveles de descripción de la celda: a) los parámetros del paralelepípedo, tres aristas y tres ángulos que denominamos  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; b) la disposición de los átomos en la celda. Cada mineral se

caracteriza, en primer lugar, por sus parámetros de celda. Puede ocurrir que dos minerales distintos tengan parámetros de celda casi idénticos. En estos casos, para distinguirlos, hay que tener en cuenta el segundo nivel, es decir, qué átomos (composición) hay en la celda y cómo se disponen (estructura). Como veremos, la difracción de polvo cristalino nos informa sobre estos dos niveles y, por tanto, nos permite distinguir perfectamente minerales con redes similares. A continuación, damos algunas nociones sobre el fenómeno de la difracción.

Las redes periódicas cristalinas están formadas por planos reticulares regularmente espaciados, de la misma forma que una red de dos dimensiones está formada por hileras de puntos regularmente espaciadas. Una red cristalina contiene planos reticulares en orientaciones diversas, que se notan mediante tres enteros "h, k, l". El espaciado que corresponde a cada sucesión de planos paralelos hkl se indica mediante el símbolo dhkl. La ley de Bragg de la difracción permite obtener para cada mineral los valores de sus espaciados (por ejemplo d100, d200, d001,... d573...etc.) y de este modo permitir su identificación.

La ley de Bragg establece que los rayos X se reflejan sobre los planos reticulares de los cristales según un ángulo (ángulo  $\theta$ ) que depende del espaciado dhkl:

Ley de Bragg  $\lambda = 2dhkl \sin \theta$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de los rayos X.

Cada mineral está caracterizado por una serie de valores de dhkl. Estos valores son conocidos y tabulados en una base de datos. De este modo, mediante los valores obtenidos en la experiencia de difracción, y consultando la base de datos, podemos identificar el mineral. Puede ocurrir que dos minerales distintos posean parámetros de celda casi idénticos, en cuyo caso los espaciados dhkl serán casi iguales. En estos casos, hay que tener en cuenta otro resultado de la difracción: la intensidad con la que cada plano reticular refleja los rayos X. La intensidad depende de los átomos de la celda, y de su distribución. En resumen, los espaciados reticulares de los minerales dependen de los parámetros de la red, mientras que la intensidad de los rayos X reflejados por los planos

reticulares depende de la estructura. La identificación de minerales mediante difracción utiliza, en primera instancia, los valores de los espaciados y, en segunda instancia, las intensidades reflejadas.

Así, en teoría, sin entrar todavía en la descripción de los dispositivos instrumentales, el método de identificación consiste en: a) Obtener los ángulos  $\theta$  de reflexiones; b) Medir la intensidad reflejada y c) calcular, mediante la Ley de Bragg, los espaciados reticulares. La lista de los espaciados, ordenados en orden decreciente (por lo tanto, en orden creciente del ángulo  $\theta$ ), con la correspondiente intensidad reflejada es la base de la identificación de minerales mediante difracción.

El método de polvo cristalino permite obtener una lista de espaciados e intensidades (en adelante datos de difracción) de la forma más rápida y sencilla. La muestra de mineral o de roca a identificar se pulveriza cuidadosamente, y el polvo se dispone en una porta muestras (Figura 1). En general, algunos mm<sup>3</sup> son suficientes. El resultado de la pulverización es la obtención de un número muy elevado de pequeños cristalitas, por ejemplo 10<sup>9</sup> cristalitas. Cada cristalito puede reflejar los rayos X si está en la orientación adecuada respecto del haz de rayos X. El número tan elevado de cristalitas en la muestra garantiza que todos los planos reticulares tendrán ocasión de producir reflexiones de Bragg, porque, para cada plano reticular dhkl siempre habrá un cierto número de cristalitas en la orientación adecuada respecto del haz de rayos X. Típicamente, el polvo puede disponerse formando una superficie plana de 1–2 cm<sup>2</sup>, o alternativamente, llenando un capilar de vidrio no absorbente, con un diámetro interior de unos 0.5 mm.



Figura 1: Portamuestras para polvo en difracción de rayos X, con y sin polvo cristalino.

El instrumento para la medida del difractograma es el difractómetro de polvo. Consiste en una fuente productora de rayos X, un portamuestras montado sobre un goniómetro giratorio y un detector. El difractograma es un gráfico que en abscisas indica el ángulo de difracción y en ordenadas la intensidad correspondiente. Los máximos o picos de intensidad corresponden a reflexiones de Bragg.

Obtenido el difractograma, y extraídos los datos de difracción de la muestra problema, la identificación consiste en hallar en la base de datos el mineral cuyo difractograma corresponde con el problema. Puesto que la base de datos de difracción de polvo consta de muchos miles de entradas, es preciso utilizar un método sistemático que conduzca con seguridad a la solución del problema. Desde 1936 existe un método manual de identificación (Método Hanawalt), muy eficiente. Sin embargo, actualmente, la mayoría de laboratorios utilizan la identificación automática mediante potentes productos de software que son proporcionados por los mismos proveedores de equipos de difracción. Sea la identificación manual o automática, es necesario disponer de una base de datos de difracción. Aunque cada operador puede construir su propia base de datos, es más sencillo suscribirse a la base de datos del International Center for Diffraction Data (ICDD) que proporciona la base de datos en soporte digital o en papel (por ejemplo: Hanawalt Search Manual, Inorganic Phases).

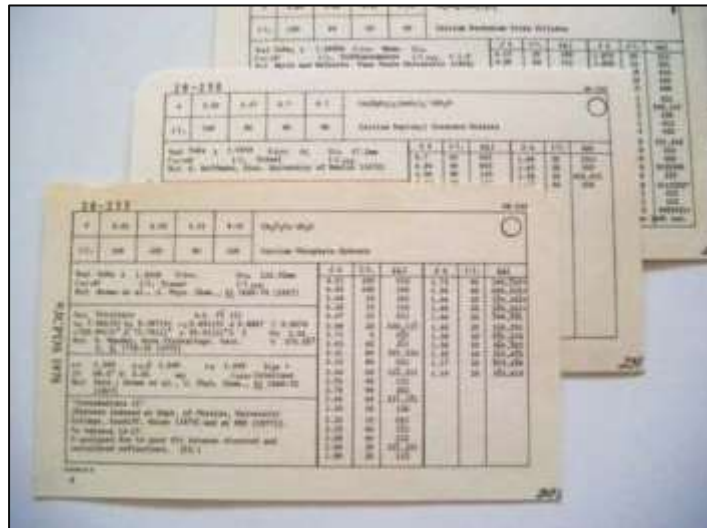


Figura 2: Fichas base de datos del ICED.

Es evidente que la muestra problema puede ser una mezcla de dos, tres o muchos minerales. En estos casos, el difractograma experimental (difractograma multifásico) es la superposición de los difractogramas individuales de cada mineral por separado. Por lo tanto, en una mezcla compleja de muchos minerales, el difractograma presentará igualmente una complejidad grande. La identificación, en estos casos, requerirá del buen sentido y la experiencia del usuario del método. En el difractograma multifásico existe la posibilidad de cuantificar el porcentaje de cada mineral en la mezcla: en efecto, el mineral más abundante producirá intensidades de difracción mayores y la altura relativa de los picos de difracción permite obtener la cantidad de cada fase. En este método se pueden detectar minerales con menos de 1% en peso, pero en algunos casos especiales que permiten separación (minerales densos, minerales magnéticos) el límite de detección sobre la mezcla original (antes de proceder a la separación) puede ser mucho menor (por ejemplo 0.01%). El tiempo total en un análisis de rutina, usando equipos modernos e identificación automática es inferior a los 30 minutos. Además, los equipos modernos realizan las medidas en serie de forma automática, usando un portamuestras de 15, 20 o más muestras.



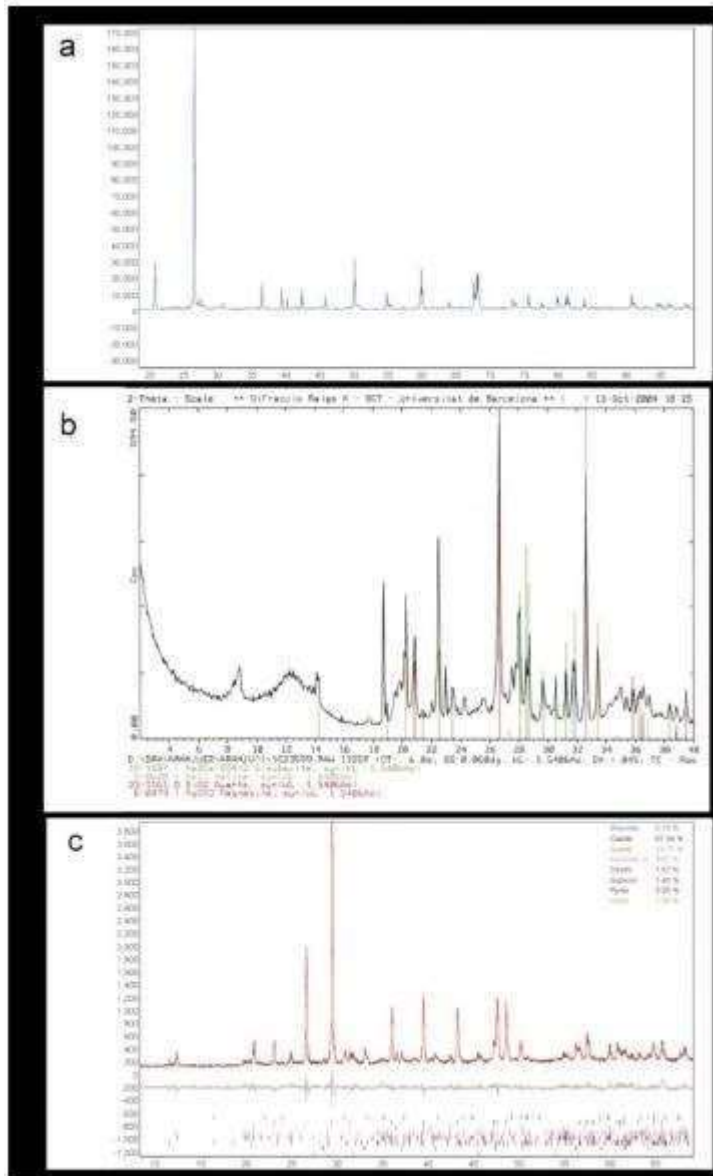


Figura 3: Procesado de espectros de polvo de rayos X.

La difracción de polvo ha sido ampliamente utilizada, a nivel cualitativo, para identificar minerales en una mezcla. No obstante, en los últimos años se han mejorado sustancialmente las aplicaciones cuantitativas a partir del método de Rietveld. Esta poderosa herramienta, con el apoyo de software adecuado, posibilita el refinamiento de estructuras cristalinas a partir del diagrama de polvo. Pero, además, si se conocen los datos estructurales de los minerales de una mezcla, se pueden llegar a establecer las composiciones químicas de los componentes (en el caso de que cada uno de ellos forme parte de una serie isomórfica) y las proporciones de cada uno de los minerales en la mezcla.



Este método, por consiguiente, ofrece unas posibilidades enormes para la caracterización de fases en mezclas criptocristalinas. Evidentemente, ello incluye suelos, lateritas, arenas, concentrados de batea, escombreras de minas, material extraído de sondeos, etc. Desafortunadamente, el método no es todavía muy aplicado en minería, siendo por tanto un método con enormes capacidades de expansión a la resolución de problemas en este campo.

Como conclusión, podemos afirmar que el método de difracción de polvo es un método muy eficiente de identificación de minerales, individuales o mezclados.

#### **2.2.2.2. Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM/ESEM-EDS)**

El microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope, SEM) se basa en la obtención de una imagen de la muestra a partir del barrido de la misma con un haz de electrones, como resultado de las interacciones entre los electrones incidentes y la muestra. El SEM se compone de varios elementos básicos: un cañón de electrones con un filamento emisor de electrones, lentes magnéticas que dirigen y focalizan el haz de electrones sobre la muestra, sistema de barrido, portamuestras móvil y con giro universal, sistemas de obtención de la imagen y de análisis. Para analizar una muestra en el SEM se requieren generalmente condiciones estrictas de vacío en el interior del microscopio, ya que de lo contrario los electrones pueden ser dispersados por las moléculas de aire. Además, los mejores resultados se obtienen con muestras conductoras o convertidas en conductoras mediante un recubrimiento pelicular con un material conductor (generalmente, grafito; pueden emplearse también oro o aluminio). No obstante, actualmente existen microscopios electrónicos que no precisan ni recubrimiento de la muestra ni alto vacío en la cámara. Son los denominados microscopios electrónicos ambientales (Environmental Scanning Electron Microscope, ESEM).

Las interacciones entre los electrones incidentes y la muestra originan la emisión de electrones secundarios, de electrones retrodispersados y de rayos X característicos de los elementos presentes en la muestra (para el análisis químico cualitativo y, en algunos casos, semi-cuantitativo). En el

SEM, diferentes detectores amplifican la señal emitida por la superficie de la muestra cuando es barrida por un delgado haz de electrones. La intensidad de la señal amplificada es visualizada en una pantalla de televisión convencional.

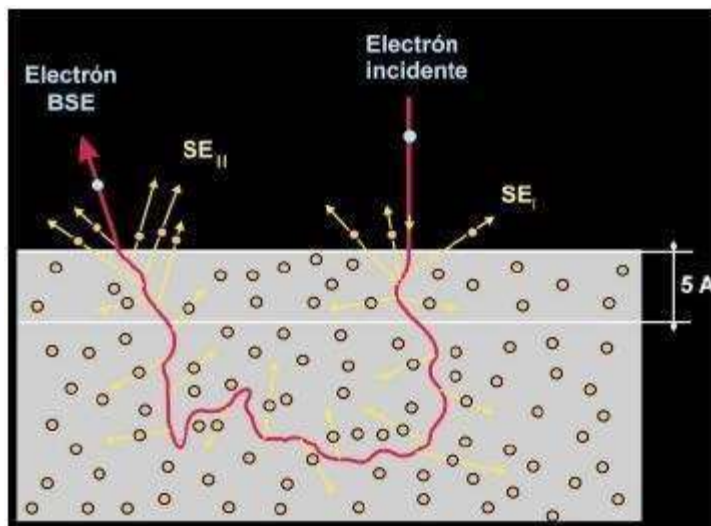


Figura 4: Interacción de los electrones incidentes con los átomos de la muestra y producción de electrones secundarios.

Las interacciones entre los electrones incidentes y los átomos de la muestra se clasifican en elásticas, inelásticas y emisión de radiación de frenado. Las colisiones elásticas modifican la trayectoria de los electrones incidentes, mientras que las colisiones inelásticas provocan una pérdida de energía. Los electrones secundarios (secondary electrons, SE) son electrones de la muestra que son emitidos durante las colisiones inelásticas. En cambio, los electrones retrodispersados (backscattered electrons, BSE) son aquellos electrones del haz incidente que son reflejados por la muestra tras sufrir múltiples colisiones elásticas e inelásticas.

Los electrones secundarios tienen, por convenio, una energía menor de 50 eV. El número de electrones secundarios que se produce durante el bombardeo de la muestra varía con el ángulo de incidencia del haz sobre la muestra, pero, en cambio, el número atómico promedio de los elementos presentes en la muestra tiene poca influencia. En cambio, el número de electrones retrodispersados aumenta casi linealmente con el número atómico Z.

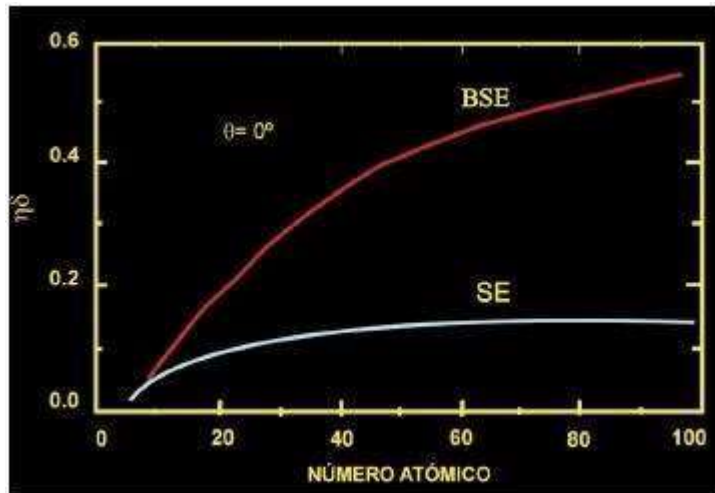


Figura 5: Comparación del número de electrones retrodispersados (BSE).

Por consiguiente, si la muestra es rugosa, cada sector de la muestra enviará hacia los detectores una diferente cantidad de electrones secundarios dependiendo de la inclinación de cada sector; en la pantalla, se apreciarán unas zonas iluminadas (correspondientes a zonas que producen muchos electrones secundarios), otras zonas de sombra (zonas que producen pocos electrones secundarios) y zonas con diferentes claroscuros (con diversas producciones intermedias de electrones secundarios). Es precisamente esta asociación de zonas iluminadas, oscuras y claroscuros lo que da una sensación de relieve. Por consiguiente, los electrones secundarios son ideales para el estudio morfológico de las muestras, alcanzando una resolución que puede ser inferior a 1 nm. Todo ello encuentra aplicación, por ejemplo, en el estudio de detalle de la morfología de granos de arena en un concentrado de batea o el de microcristales en suelos o zonas de alteración, y en el de minerales de las arcillas.



Figura 6: Morfología de granos de arena en un concentrado de batea.

El número de electrones del haz incidente que son retrodispersados depende de la composición química promedio del mineral excitado. De este modo, cuanto más alto sea el promedio de los números atómicos de los elementos que componen el mineral, tanto mayor será el número de electrones retrodispersados.

Por consiguiente, los minerales pesados emiten más electrones retrodispersados que los ligeros, de modo que los detectores captan mucha más intensidad y, por tanto, transmiten a la pantalla una imagen brillante. Así pues, las áreas donde existan más elementos pesados se ven más brillantes y donde aparezcan elementos más ligeros, más oscuras. Por tanto, los detectores de electrones retrodispersados son muy útiles para obtener imágenes de los cambios composicionales (mapas de contraste de Z), obteniéndose los mejores resultados sobre muestras pulidas. Como aplicaciones de estos principios, por ejemplo, destaca la posibilidad de poner de manifiesto zonaciones intracristalinas, incluso aquéllas que puedan ser progresivas; también son muy útiles para obtener secuencias de cristalización a microescala. Pero, sobre todo, las imágenes de electrones retrodispersados serán muy útiles para localizar minerales con elementos pesados, tanto en concentrados de batea como en muestras pulidas.

Por otra parte, durante las colisiones inelásticas, los electrones incidentes pueden arrancar electrones de las capas más profundas de los átomos, siempre y cuando la energía del electrón incidente sea superior al umbral de ionización de la capa atómica en cuestión. Cuando un átomo tiene una vacante en una capa interna, se produce un salto de un electrón de una capa superior para llenar dicha vacante, que dejará otra vacante en la capa superior. Ésta se llenará a su vez mediante un salto electrónico de una capa superior y así sucesivamente. Durante cada salto, el átomo puede emitir rayos X característicos, que se denominan así ya que su energía es "característica" de cada elemento químico (la energía de un rayo X es igual a la diferencia de energías de los niveles atómicos involucrados). Como resultado del impacto electrónico, el átomo emite una familia de rayos X característicos.

Los microscopios electrónicos de barrido pueden incorporar un detector de rayos X del tipo "dispersivo" en energía (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) que permite identificar cuáles son las energías de los rayos X emitidos por la muestra y, por lo tanto, saber qué elementos químicos existen en la muestra. De este modo, al espectro continuo de rayos X, originado por la radiación de frenado, se le superpone una serie de picos que se corresponden con las radiaciones características de cada uno de los elementos presentes en la muestra. Este espectro se genera en muy pocos segundos y la identificación del elemento que genera cada uno de los picos es inmediata, de modo que el análisis cualitativo de todos los elementos químicos (a partir del berilio) presente en la muestra por encima del límite de detección del método puede realizarse en escasos segundos. Por tanto, este método es práctico (en tiempo y costo) para realizar análisis cualitativos puntuales. Puesto que el haz de electrones que excita la muestra puede ser muy fino (menos de  $1\ \mu\text{m}$ ), el uso del EDS en el SEM permite identificar los elementos presentes en volúmenes de muestra inferiores a  $1\ \mu\text{m}^3$ ; además, como se puede trabajar con corrientes de sonda muy bajas, el daño debido a la radiación es bajo y por tanto es un método poco destructivo y puede aplicarse al estudio de minerales lábiles, en particular, algunos minerales hidratados que aparecen como productos

de alteración de balsas de residuos y que tienen implicaciones medioambientales.

Por otra parte, la intensidad de los rayos X producidos por cada elemento depende de la cantidad del mismo que haya en la muestra, de modo que el espectro en energía de los rayos X emitidos (intensidad versus energía) contiene dos niveles de información: por una parte, al espectro continuo se le superpone el espectro característico, en el que la posición de cada pico indica la energía de una radiación X característica de un elemento; por otra parte, la intensidad de cada pico (o lo que es lo mismo, la altura del mismo), es directamente proporcional a la cantidad de este elemento en la muestra. Por tanto, puede utilizarse este método para determinar la composición química de un volumen de muestra que, si lo deseamos, puede ser puntual, del orden de  $1 \mu\text{m}^3$ .

Naturalmente, si se dispone de patrones adecuados con composición conocida, este análisis cualitativo se puede transformar en cuantitativo, de forma análoga a como se trabaja en cuantificación con la microsonda electrónica. También se puede utilizar un método sin patrones (denominado análisis "standardless"). Desgraciadamente, muchos elementos producen rayos X con energías próximas a las de otros elementos y debido a la baja resolución espectral de los espectrómetros EDS, los análisis obtenidos no siempre son muy precisos, pese al desarrollo reciente de software que ha mejorado los resultados. No obstante, debido a que puede trabajar con bajas corrientes de sonda, es un método muy poco destructivo, que lo convierte en imprescindible para el análisis semicuantitativo de cristales de tamaño de grano muy fino (menos de  $1 \mu\text{m}$ ), incluso hidratados, y en muestra rugosa. Por consiguiente, el microanálisis semicuantitativo mediante SEM-EDS es una herramienta potencialmente muy poderosa y posiblemente infrautilizada actualmente en el campo de las Ciencias de la Tierra.

#### **2.2.2.3. Micro-proton-induced x-ray emission (Micro-PIXE)**

El micro-PIXE es una microsonda protónica. Se analizan los rayos X producidos al bombardear una muestra mediante un haz de protones que puede ser focalizado a escala micrométrica (Campbell et al., 1995). La técnica consiste básicamente en un acelerador que produce un haz de

protones con una energía de 3 MeV (aunque puede ser variable) y un sistema de focalización magnético que direcciona el haz a través de un tubo horizontal hasta la cámara donde se encuentra la muestra que va a ser analizada. Unas estrictas condiciones de vacío son necesarias para evitar desenfoque del haz de protones. Las muestras se preparan en forma de probetas pulidas con un diámetro de 2,5 cm, deben tener un espesor mínimo de 50  $\mu\text{m}$  y estar metalizadas (generalmente con grafito). El equipo cuenta con un microscopio óptico convencional y con una cámara CCTV integrada que permite la orientación y selección de los granos que se deben analizar. El haz incide sobre la muestra con un ángulo de  $45^\circ$ , tiene un tamaño de  $3 \times 6 \mu\text{m}$ , profundiza hasta aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  y el tiempo de medida está generalmente comprendido entre 120 y 190 segundos.

Para algunos elementos, el micro-PIXE alcanza el nivel de trazas, posibilitando mapas muy detallados de distribución de elementos en un grano. La técnica tiene una gran aplicación al estudio de menas metálicas (Campbell et al., 1987; Remond et al., 1987; Cabri y Campbell, 1998). Particularmente, es muy útil para analizar cuantitativamente los elementos trazas en sulfuros (Cabri et al., 1984; Harris et al., 1984). Por ejemplo, se han obtenido muy buenos resultados en el estudio de mineralizaciones de Ni-Cu-(EGP), en especial la cuantificación de Pd, Rh y Ru en sulfuros, arseniuros y sulfoarseniuros (Paktunc et al., 1990; Gervilla et al., 2004). En contrapartida, debe tenerse un cuidado especial en la selección de los puntos, mayor que en el caso de la microsonda, pues el haz es más grueso y se produce una mayor penetración.

### **2.2.3. Métodos de estudio de los yacimientos minerales**

Los yacimientos minerales presentan, como ya hemos visto en el tema anterior, dos aspectos complementarios de gran relevancia: los geológicos y los económicos. Cada uno de estos aspectos merece ser estudiado de forma autónoma, aunque coordinada, ya que se condicionan mutuamente.



### 2.2.3.1. Estudios de tipo geológico

La geología de los yacimientos minerales es fundamental para:

- Conocer con el mayor detalle características del yacimiento que condicionan su explotación minera.
- Determinar sus límites geográficos.
- Buscar yacimientos similares en áreas próximas o no.

Estos estudios comprenden una serie de aspectos diferenciados, pero complementarios, que nos deben llevar a conocer aquellos aspectos que en cada caso sean relevantes: en unos casos será la naturaleza de las rocas asociadas, en otros, la tectónica que los afecta, etc. Estos aspectos serían los siguientes:

#### a) Mineralógicos y petrológicos:

La mineralogía y la petrografía detallada de los minerales y rocas que componen un yacimiento constituyen una información básica a conocer sobre el mismo. Para ello disponemos de una amplia variedad de técnicas:

- ✓ Microscopía petrográfica (luz transmitida). Nos permite identificar los minerales no metálicos y las relaciones que es establecen entre ellos y los metálicos que puedan existir en las muestras estudiadas.
- ✓ Microscopía metalográfica (luz reflejada). Sirve para identificar los minerales metálicos y sus relaciones mutuas.
- ✓ Difracción de Rayos X. Nos permite identificar con mayor precisión la naturaleza de los componentes minerales del yacimiento, sobre todo de los que por su pequeño tamaño de grano no sean fácilmente identificable con las técnicas anteriores.

#### b) Microscopía electrónica/Microsonda electrónica:

Son técnicas específicas para el estudio a gran detalle de los minerales que componen el yacimiento, bien en el aspecto de relaciones entre ellos (Microscopía) o bien en el de las variaciones menores de la composición de los minerales o de caracterización detallada de las fases minoritarias, que en determinados casos pueden ser las de mayor valor económico (caso de oro o de los elementos del grupo del platino).



- ✓ La geoquímica del yacimiento, es decir, conocer con el mayor detalle la distribución de los contenidos en los elementos químicos relacionados de forma directa o indirecta con la mineralización, o afectados por los procesos que han formado o modificado el yacimiento, tiene importancia directa en cuanto que define las áreas de mayor interés minero, e indirecta, pues a menudo nos permite definir guías de prospección dentro del propio yacimiento, o para otros similares.

### **c) Geométricos**

Los aspectos geométricos de un yacimiento son siempre fundamentales: conocer cuál es su orientación con respecto al norte (dirección o rumbo) y su inclinación promedio (o buzamiento). A menudo estos datos no son constantes, variando de forma más o menos acusada: la variabilidad es máxima en los yacimientos estratoligados plegados, y mínima en algunos yacimientos filonianos muy regulares. El espesor (o potencia) también se puede considerar dentro de esta categoría. Para estudiar este aspecto necesitamos datos de observación, ya sea directa o a través de sondeos mecánicos.

- ✓ Complementando el tema anterior tenemos la relación que se establece entre la orientación del yacimiento y la de las rocas en las que se localiza: cuando ambos son paralelos hablamos de yacimientos estratoligados, estratoides, o incluso sedimentarios (o singenéticos), mientras que cuando no son paralelos hablamos de yacimientos no concordantes o epigenéticos. Con respecto a los términos indicados, estratoligado se refiere a un yacimiento que se encuentra formando capas, pero no sabemos si tiene o no origen sedimentario; estratoide se suele utilizar para designar yacimientos en capas cuyo origen no parece ser sedimentario; el término singenético se refiere exclusivamente a concentraciones que se originan por procesos sedimentarios, a la vez que el resto de las rocas sedimentarias que forman la secuencia.
- ✓ En los yacimientos estratoligados hay otros factores que suelen ser de importancia en su estudio y caracterización: los aspectos

estratigráficos (caracterización de la secuencia sedimentaria en la que se enclavan, del nivel concreto en que se localizan, etc.); los aspectos sedimentológicos (medio sedimentario en que se formó la secuencia, variaciones paleogeográficas que puedan existir); los aspectos petrológicos (características de las rocas implicadas); los aspectos tectónicos (pliegues y fallas que puedan afectar a las formaciones o capas que forman el yacimiento).

- ✓ En los yacimientos no concordantes o diagenéticos puede haber también una gran variedad de factores a considerar. En general, el principal es conocer el control geológico y geométrico de la mineralización: si está confinado en una estructura discordante bien delimitada (dique o filón), si está confinado por un conjunto estructural más amplio (bandas de deformación o de cizalla), si está diseminado o concentrado en un conjunto rocoso sin que muestre ningún patrón claro, si aparece en una situación concreta, como puede ser el contacto entre dos tipos de rocas distintas... Otro factor suele ser el mineralógico/petroológico, que busca establecer relaciones entre los minerales o rocas que forman el yacimiento y los procesos que pueden afectarla: cristalización, alteración hidrotermal, alteración superficial.
- ✓ En cuanto a la prospección o investigación de yacimientos, se pueden considerar cuatro aspectos diferentes: los geológicos, geoquímicos, geofísicos y las labores mineras, incluyendo los sondeos mecánicos.
- ✓ Una vez conocidas las características generales de los yacimientos, de acuerdo con lo hasta ahora expuesto, disponemos de los suficientes datos para conocer los procesos que lo han formado y modificado. No obstante, en ocasiones esta información no es suficiente, dado que puede haber procesos distintos que por convergencia han podido ser los responsables de estas características más comunes: si encontramos oro en una roca sedimentaria de tipo arenoso, puede ser porque se depositó conjuntamente con ella, pero también puede ser que haya sido introducido en la misma por un proceso hidrotermal,

aprovechando la porosidad y permeabilidad de la misma. En estos casos, existen estudios más detallados que nos permiten conocer mejor el proceso o procesos implicados en la formación del yacimiento:

- ✓ El estudio de las inclusiones fluidas atrapadas en minerales (fundamentalmente de la ganga) suele aportar datos relevantes sobre la composición y temperatura de los fluidos implicados en la formación del yacimiento.
- ✓ El estudio de la geoquímica isotópica aporta datos en dos aspectos: la edad de los minerales (a través de la geoquímica de isótopos radiogénico o radioactivos, como C14, por ejemplo), y relaciones entre los minerales del yacimiento y otros minerales o fluidos asociados (a través de la geoquímica de isótopos estables, como S34, O18, etc.).

En definitiva, todos estos estudios nos llevan a este conocimiento básico del yacimiento que nos debe permitir establecer sus características mineras, pero que requieren un complemento: Su valorización en términos económicos, lo que debe permitir establecer si la explotación es viable o no desde el punto de vista económico.

#### **2.2.3.2. Estudios de tipo económico-minero**

Desde este punto de vista, son dos los estudios requeridos para obtener una idea clara de si una concentración mineral se puede considerar o no un Yacimiento Mineral: la cubicación de sus reservas, y el estudio de su viabilidad económica.

##### **a) La cubicación de reservas de un yacimiento**

Consiste en establecer de forma numérica los principales parámetros de la explotación: tonelaje (o volumen) del material explotable, ley media y ley de corte, así como el valor económico total de estas reservas. Para ello, se parte de datos puntuales, que en general proceden de sondeos mecánicos, que se extrapolan a datos areales, se multiplican por la potencia para obtener volúmenes, que se multiplican a su vez por la densidad para obtener tonelaje de todo uno, y por los contenidos (leyes) para obtener el tonelaje del mineral o elemento de interés minero que vamos a obtener. En la valoración

económica hay que tener en cuenta este tonelaje, pero afectado por el rendimiento de la planta de tratamiento (que nos define la proporción del elemento que queda inaprovechado debido a pérdidas en el proceso de concentración), y en su caso, el precio que nos pagarán en las plantas metalúrgicas por la tonelada del concentrado que podamos conseguir en el lavadero. También hay que conocer los contenidos en elementos que puedan añadir valor comercial a nuestra producción, o que puedan afectar negativamente a éste.

Esta cubicación, además de por lo datos puramente geológicos, está afectada por otros factores, como el geométrico (mayor o menor continuidad de la mineralización en el yacimiento, que puede hacer que determinadas zonas queden inaccesibles a la explotación), y por el tipo de minería que se pretende llevar a cabo: no es lo mismo la explotación subterránea que la a cielo abierto, como diferencias más acusadas. En cada caso, el planteamiento económico-minero puede ser diferente, puesto que, por ejemplo, en la explotación a cielo abierto, a menudo el hecho de que la explotación de una zona rica pueda obligar a desmontar una zona con mineralización pobre puede hacer rentable la explotación de esta zona, que en otras condiciones sería sub económica.

Una cuestión siempre importante es el análisis de las perspectivas de futuro del valor económico de la producción. Es un dato siempre interpretativo, no podemos "conocer el futuro", saber qué oscilaciones van a poder tener los precios de los minerales, metales o rocas a lo largo de la vida prevista para nuestra explotación minera, ni de qué oscilaciones va a tener el dólar, principal divida en que se produce su cotización. No obstante, es necesario tener alguna indicación en ese sentido: conocer las perspectivas de mercado de nuestro producto, que no sean negativas de antemano, pues ello afectará negativamente a este dato del valor económico de la producción.

## **b) El estudio de viabilidad**

Tiene como dato de partida el valor económico de nuestra producción, procedente la cubicación. Para que esta viabilidad sea cierta, ha de darse que:

$$\text{Producción} = \text{Costes de explotación} + \text{beneficio industrial.}$$

De esta forma, el estudio de viabilidad incluye fundamentalmente el análisis de los costes de explotación, aunque a menudo también el de las expectativas de futuro del valor de la producción.

Para este análisis, un dato primordial es el del plazo previsto para la explotación, que, en términos generales, no debe ser inferior a 10 años, para obtener la amortización completa de las inversiones. Para ello, normalmente se divide el tonelaje de las reservas entre 10, y se obtiene un valor indicativo de la producción anual prevista, lo que a su vez nos da el valor anual de la producción.

Otro dato importante corresponde a la técnica de explotación a emplear, dado que cada una requiere unas inversiones determinadas, tanto en instalaciones como en maquinaria.

El tratamiento que requiera la mena implica también unas inversiones, que en general dependen también del volumen de la producción anual, e implican un coste adicional fijo por tonelada.

Las distancias a medios de transporte, tanto de ámbito local/regional (carreteras o ferrocarriles) como de mayor ámbito (puertos), añade un coste por tonelada variable en función de esta distancia y de la distancia al punto de consumo final.

Los condicionantes medioambientales son en la actualidad muy estrictos, y pueden llegar desde la prohibición total de realizar determinadas explotaciones mineras, a la necesidad de llevar a cabo una restauración ambiental, cuyo coste se añade al propio de la explotación en sí.

Por último, nos referiremos al coste de la explotación en sí, que incluye los costes del personal, tanto implicado directamente en el proceso (los mineros), como los necesarios para el funcionamiento administrativo de la empresa, y los costes de explotación

(consumibles, como energía eléctrica, combustible de maquinarias, repuestos, etc.).

Otro capítulo a considerar como coste es el de la investigación minera que se llevó a cabo para descubrir el yacimiento, que ha de ser cubierto también por la explotación. Incluso hay que incluir los costes de otras prospecciones llevadas a cabo con éxito antes de encontrar este yacimiento, así como de las que se sigan llevando a cabo para descubrir otros, mientras que no se produzca otro descubrimiento que pueda asumir esos costes.

En definitiva, la viabilidad de un yacimiento depende de tantos factores, que además pueden variar tanto a lo largo del periodo de actividad de la explotación, que a menudo se dice que el estudio de su viabilidad solamente termina cuando el yacimiento ya se ha agotado. Por ello, la minería tiene la justa consideración de actividad económica de alto riesgo.

#### **2.2.4. Recursos minerales:**

Según la Economía, cualquier bien capaz de proporcionar alguna utilidad o beneficio constituye un recurso. Cualquier recurso que se puede renovar en un período de tiempo adecuado a nuestra expectativa de vida recibe el nombre de recurso renovable, mientras que los que son un legado de la historia de la Tierra y no se pueden regenerar en ciclos acordes a nuestras expectativas de vida son los recursos no renovables. Los recursos minerales son no renovables porque los ciclos geológicos que los forman se expresan en millones de años.

#### **2.2.5. Tipos de Recursos**

Los recursos minerales presentan características que los hacen claramente diferenciables, a saber:

##### **2.2.5.1. Recursos minerales metálicos:**

Se utilizan para extraer metales, son mucho más escasos e irregularmente distribuidos que las rocas y minerales industriales, requieren un proceso de extracción del metal.

##### **2.2.5.2. Las Rocas y minerales industriales:**

Son más abundantes, se utilizan, generalmente, tal como se encuentran en la naturaleza, se producen y consumen en grandes cantidades. Dentro

de este último grupo se encuentran las rocas y materiales para la construcción que se caracterizan por tener precios por unidad más bajos, la extracción y procesamiento es barato, las reservas pueden considerarse infinitas e incluso un tipo puede ser sustituido por otro.

## **2.2.6. Etapas de una Exploración**

### **2.2.6.1. Objetivos de la exploración**

El primero objetivo de la exploración es la localización de una anomalía geológica con propiedades de un depósito mineral, un objetivo de la exploración es la reducción del área de investigación. Comúnmente las áreas en consideración se disminuyen de 2500 a 250.000 Km<sup>2</sup> en la primera fase a 2,5 a 125 Km<sup>2</sup> en la segunda fase y la tercera fase a 0,25 a 50 Km<sup>2</sup> en la última fase (Bailly, 1966). Otro objetivo común consta en aumentar las ventajas del área prometedora con respecto a su explotación rentable, como por ejemplo ocuparse de un camino de acceso transitable y de un peritaje del medio ambiente. La exploración se finaliza con el estudio de factibilidad.

La norma elemental en todo proceso de exploración minera consiste en aplicar métodos capaces de abarcar grandes zonas, descartando áreas no favorables con métodos rápidos y muy económicos, para llegar gradualmente a sitios concretos con métodos más caros y precisos. "Un programa de exploración puede ser muy exitoso cuando logra un claro aumento de las perspectivas de un sitio estudiado, anticipando la decisión final en una o dos etapas, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero." (P. A. Bailly).

### **2.2.6.2. Consideraciones generales**

Dentro del estudio de yacimientos se pueden distinguir dos etapas diferenciadas.

Una primera es la exploración en sí, que tiene como meta la localización de anomalías causadas por depósitos minerales.

Una segunda etapa es la valuación, cuyo fin es definir y evaluar la anomalía. Dentro de la valuación se determina la geometría, extensión y riqueza del yacimiento. Después de que en una zona se han identificado indicios o anomalías mediante técnicas de exploración se determina la

masa mineralizada por diferentes métodos de valuación. A continuación, una vez identificado el mineral se muestrea para estimar la ley y el tonelaje que alberga el depósito.

## **2.2.7. Técnicas de Valuación de Reservas**

Cuando incursionamos en la etapa de valuación de reservas hacemos uso de técnicas, algunas de las cuales han sido usadas en la etapa de exploración regional, sola difieren en la escala. Entre ellas se distinguen: técnicas geológicas, técnicas geofísicas, técnicas geoquímicas y toma de muestras mediante sondeos, calicatas o excavaciones.

### **2.2.7.1. Técnicas geológicas**

La principal técnica geológica que se emplea en la valuación minera es la cartografía geológica. Esta cartografía se realiza a diferentes escalas, en esta etapa las más empleadas 1:10,000, 1:5,000 y 1:2,000 (de menor a mayor detalle). Es esencial la utilización de cortes geológicos, que se basan en los datos de superficie y se extrapolan en profundidad.

### **2.2.7.2. Técnicas geofísicas**

Dentro de la valuación minera, al emplear las técnicas geofísicas se debe elegir de entre ellas aquellas que tiene mejores posibilidades para resolver un problema concreto, estableciendo, en función de los conocimientos geológico-mineros que se tienen, que tipo de geofísica se aplica, si la correspondiente a una etapa de exploración, o bien a una de valuación.

En la etapa de exploración los fines de los métodos geofísicos son descubrir y cartografiar estructuras o unidades litológicas no aflorantes, confirmar extrapolaciones y precisar la geometría de los objetivos. En la etapa de valuación, la geofísica estudia bien la situación y características geométricas del metalotecto litológico o estructural (aplicación indirecta), o bien determina la posición y geometría del propio yacimiento (aplicación directa). Esta última fase, deseable en toda valuación, no es siempre posible. El reto que la Geofísica tiene constantemente planteado es, por un lado, identificar claramente los yacimientos dentro del medio geológico donde se encuentran, delimitando la geometría, y por otro explorar cada vez a mayor profundidad como consecuencia del continuo agotamiento de los depósitos superficiales.



A continuación, se listan los métodos que se usan con más frecuencia en la valuación de yacimientos metálicos.

- a. Método magnético.
- b. Método gravimétrico.
- c. Métodos electromagnéticos.
- d. Método de polarización inducida.
- e. Métodos eléctricos.
- f. Métodos sísmicos.

### **2.2.7.3. Técnicas geoquímicas**

La utilización de la exploración geoquímica en la búsqueda de yacimientos se basa en la premisa fundamental de que la composición de los materiales próximos a un yacimiento es diferente de cuando el yacimiento no existe. Las acciones físicas y químicas, externas y posteriores a la formación del yacimiento originan removilizaciones de los elementos que componen el yacimiento. La fijación posterior de éstos da lugar a contenidos anómalos, cuya detección puede contribuir a localizar su origen, es decir, el propio yacimiento.

Los principales tipos de exploración geoquímica son:

#### **a. Muestreo en rocas:**

Este tipo de muestreo incluye las rocas superficiales, materiales de filones y capas y trabajos subterráneos.

#### **b. Muestreo en redes de drenaje:**

Incluye muestreos de sedimentos de corrientes de agua, lagos y aguas subterráneas.

#### **c. Muestreo de suelos:**

En este tipo de investigaciones se incluyen el muestreo superficial y profundo de suelos, de suelos transportados y de suelos residuales.

#### **d. Muestreos biogeoquímicos:**

Incluyen el muestreo de hojas y tallos de la vegetación.

#### **e. Muestreos geobotánicas:**

Consiste en la interpretación de la relación entre la litología y los diferentes tipos de vegetación. Con los resultados obtenidos mediante estas técnicas se confeccionan mapas de isovalores

(isoconcentraciones), que permiten discriminar entre zonas de anomalías geoquímicas y zonas de "background" (valores de fondo regional).

#### 2.2.7.4. Otras técnicas de valuación

Otras técnicas de valuación de yacimientos son los sondeos, las calicatas y las labores mineras.

- Las calicatas  
Se emplean cuando el yacimiento está cerca de la superficie y cubierto con otros materiales que lo ocultan. Las calicatas son trincheras que se abren con una excavadora o pala mecánica hasta llegar a la roca mineralizada. Cuando el yacimiento está a profundidades mayores de 3 m se realizan sondeos, pozos o túneles. En este tipo de excavaciones se necesita maquinaria de tipo minero.
- Un sondeo  
Es un taladro de sección circular que se realiza desde la superficie hasta el yacimiento. Existen tres métodos fundamentales de perforación de sondeos.  
Un primer método consiste en la perforación mediante corona de diamantes. En este sistema se recupera el núcleo del sondeo (testigo) casi intacto. La perforación se realiza girando la corona cilíndrica de acero con trozos de diamante o pastillas de carburo con la roca.  
El segundo método es el de perforación ciega con triconos. Se basa en hacer girar una pieza especial con dientes o botones que arrancan y trituran la roca. En este método no se obtiene un testigo continuo, sino ripios o detritus. El detritus se recupera a partir de la circulación del lodo o aire que se emplea en el sondeo.  
El tercer método de perforación es el de percusión, que se aplica en rocas duras. La penetración en la roca se realiza golpeando la misma con un cuerpo de acero con botones de carburo de tungsteno, mediante un martillo hidráulico o neumático que genera los golpes o impactos. Al igual que en el caso anterior, con este método no se recupera un testigo continuo sino el detritus que se produce durante el avance.

- Las labores mineras de valuación (galerías, piques)

Pueden ser muy interesantes cuando se quiere conocer con bastante precisión las características de la mineralización "in situ", y permiten extraer muestras para su procesamiento en el laboratorio y en planta piloto.

#### **2.2.8. Caracterización Mineralógica:**

La industria minera tiene como objetivo procesar diferentes tipos de menas para la obtención de concentrados minerales económicos, y los métodos utilizados dependen de sus características físicas y fisicoquímicas. El Perú posee una gran diversidad de minerales metálicos y no metálicos y utiliza diferentes técnicas de separación siendo las más comunes flotación y lixiviación; mientras que en menor proporción se utiliza concentración gravimétrica y/o magnética. Es muy común encontrar también, que en una misma planta tenga dos o más técnicas de separación de minerales siendo esto definido por las propiedades de los minerales a tratar y su respuesta en los procesos.

Los esquemas de operación en procesos de separación son diseñados a partir de un gran número de estudios geológicos y mineralógicos previos que incluyen: volumen del cuerpo mineral, tipos de mena, características del tipo de yacimiento, entre otros; y bajo esos prototipos se trabaja en forma continua produciendo concentrados o metales para su venta bajo una estricta supervisión. Cuando se presentan alteraciones en la producción, y surgen bajas en la calidad de los productos y/o en recuperaciones de los minerales de valor o bien, cuando se requiere hacer cambios para el incremento o mejoramiento de los procesos, se hace necesario realizar estudios detallados en las diferentes áreas del sistema para verificar las condiciones en las que se está trabajando, desde procesos de trituración y molienda hasta obtención de productos finales. Asimismo se revisan como posibles causas, alteraciones en las menas. En forma general, los estudios que con mayor frecuencia se realizan para conocer la problemática que pueda surgir en determinada etapa de los procesos son los balances metalúrgicos puntuales y globales así como estudios de caracterización mineralógica. Los balances metalúrgicos normalmente son realizados en la misma planta, y cuando la empresa tiene equipo y personal capacitado para análisis mineralógicos, puede hacerse un buen diagnóstico de la mineralogía en la misma planta.

Desafortunadamente, los tipos de menas son cada vez más complejos, y los equipos con que cuentan la mayor parte de las empresas no son suficientes para identificar ciertos aspectos de la mineralogía por lo que se hace necesario el apoyo de equipos más sofisticados que permitan encontrar e identificar claramente los minerales de interés y poder dar un diagnóstico que permita a la empresa definir estrategias para la resolución de problemas derivados de aspectos mineralógicos. En el Perú existen laboratorios y centros especializados y acreditados donde se realizan estudios de caracterización mineralógica a empresas mineras a través de las técnicas de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X; así como el laboratorio de análisis químicos. Estos estudios comprenden una variedad de análisis siendo los de mayor frecuencia la búsqueda de minerales de interés económico, ganga (impurezas) o minerales penalizantes. Así mismo se determinan asociaciones y grados de liberación, pérdidas de valores, entre otros. En este escrito solamente se muestra la aplicación de las técnicas de caracterización mineralógica para la identificación de minerales de oro y plata.

#### **2.2.8.1. Estudios de caracterización**

El estudio de caracterización es un conjunto de técnicas empleadas para conocer la mineralogía de una muestra y poder identificar minerales de interés económico, de ganga, penalizantes, etc., así como determinar grados de liberación y asociaciones de los mismos. De la misma forma es posible identificar pérdidas de valores y minerales económicos en colas finales del proceso de separación. Los estudios de caracterización se han realizado a diferentes empresas mineras y la información solicitada ha sido en relación a diferentes problemáticas que se presentan durante los procesos. Las áreas que mayormente solicitan estos servicios son geología y procesos metalúrgicos. Es importante resaltar que un buen estudio de caracterización mineralógica requiere siempre del uso en conjunto de las técnicas de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X; así como el análisis químico de las muestras problemáticas.

#### **2.2.8.2. Ventajas y desventajas de técnicas de caracterización**

Los análisis químicos, que son considerados como un factor de calidad en la metalurgia, generalmente son realizados por absorción atómica y vía húmeda. Los resultados nos dan una composición parcial o total de los

elementos y/o algunos compuestos que se ensayan, pero no revelan la mineralogía de la muestra. La microscopía óptica de luz reflejada es un estudio que aprovecha las propiedades ópticas de los minerales opacos siendo posible identificarlos por su color, textura, dureza, brillo, etc. Esta técnica permite determinar algunos minerales opacos, particularmente sulfuros metálicos, siendo posible determinar sus tamaños, asociaciones y liberaciones mediante un cuidadoso conteo de partículas y complementando en conjunto con los ensayos una cuantificación de diferentes especies minerales.

El microscopio electrónico de barrido tiene un detector de electrones retrodispersos que permite identificar minerales o compuestos con un alto número atómico en forma blanca y brillante haciendo contraste con los de menor número atómico. En dicho equipo también es posible ver la textura de las especies presentes. Otra de sus ventajas es el analizador EDX (energy-dispersive X-ray) que realiza análisis químicos puntuales proporcionando información química del tipo de mineral que se analiza. Una desventaja es que, su apreciación se da en una serie de tonos de grises y su cuantificación se dificulta; además el análisis puntual no toma en cuenta tipos estructurales de los minerales, llegando a confundir algunas especies con este tipo de características. Finalmente, la difracción de rayos X permite un análisis en donde es posible obtener una composición mineralógica cualitativa de las especies más abundantes y que no se obtienen por ninguna otra técnica. La limitante de esta técnica es que los minerales en composición menores del 5% no pueden ser analizados.

### **2.2.8.3. Objetivos específicos del análisis mineralógico**

- **Definición o identificación del problema**

La utilidad de los resultados del estudio de caracterización depende en gran medida de la definición e identificación del problema que se quiere resolver en el proceso minero-metalúrgico. De ahí, la importancia de una buena comunicación del cliente con el responsable del estudio de caracterización mineralógica para dirigir el estudio a la solución del problema y no a resultados en forma global. Un ejemplo de esto es la necesidad de conocer el mineral de ganga que se encuentra en el

concentrado de cobre y que sale fuera de las normas de ventas de este producto al proceso de fundición. Existen diferentes tipos de minerales de ganga; el mineral de sílice es necesario en el proceso de fundición ya que es un fundente natural; mientras que los minerales oxidados de aluminio son perjudiciales por el alto consumo energético que requieren. Con esto se resalta la importancia de establecer una buena comunicación para enfocar el estudio de caracterización a determinar, de los minerales de ganga; el tipo y proporción en el que se encuentra

- **Definición del método de obtención de muestras representativas en función del protocolo de análisis o pruebas**

La muestra al someterse a cualquier estudio debe ser representativa del proceso del cual proviene. Este punto debe de cumplirse en todas las áreas; de no hacerse un buen muestreo, los resultados tienden a ser puntuales y su interpretación no correspondería a un comportamiento global del sistema.

- **Aplicación del protocolo de análisis o experimentación**

Cuando se realizan estudios con una mayor exactitud como es el caso de análisis modales en donde se hacen cálculos de liberación y asociación, los protocolos de muestreos se hacen aún más estrictos llevándose a cabo en zonas precisas de la planta o de pruebas realizadas en el laboratorio metalúrgico. La muestra de análisis en estos casos debe ser cribada y el análisis de caracterización de cada fracción se realiza en forma independiente.

#### **2.2.8.4. Interpretación de resultados**

Generalmente, la interpretación de resultados le corresponde al cliente que solicita el estudio de caracterización mineralógica. Sin embargo, es importante resaltar que la experiencia de los procesos metalúrgicos del responsable del estudio de caracterización permite una interpretación mucho más adecuada de acuerdo a las necesidades del cliente. La buena comunicación del cliente con el responsable del estudio de caracterización terminará en una buena conclusión del estudio y una serie de recomendaciones que puedan ser de utilidad para la solución a los problemas metalúrgicos.

#### 2.2.8.5. Estudios de caracterización de Au y Ag

Se presentan algunos ejemplos de estudios de muestras procedentes de plantas de lixiviación, de terreros y de colas de proceso de flotación de minerales de oro y plata.

- Lixiviación Departamento:  
Geología Muestra: Núcleos de barrenos.

Objetivo: Identificar minerales de oro y plata en cada núcleo.

Resultado: Electrum de un micrómetro asociado a Sb y ocluido en cuarzo. Acciones de la empresa: Redireccionar la barrenación.

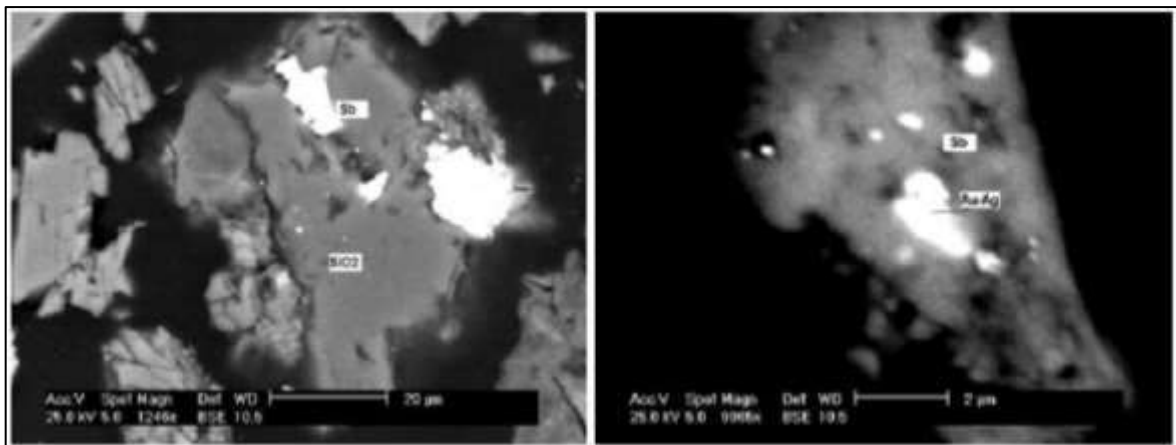


Figura 7: Muestra de un núcleo de barrenos.

- Flotación de sulfuros metálicos con contenidos de plata.  
Departamento: Planta Concentradora.  
Problemática: Baja recuperación de plata.  
Muestra: Colas de proceso.  
Resultado: Plata finamente diseminada en minerales de manganeso.  
Acción de la planta: Estudios de lixiviación de óxidos de manganeso.



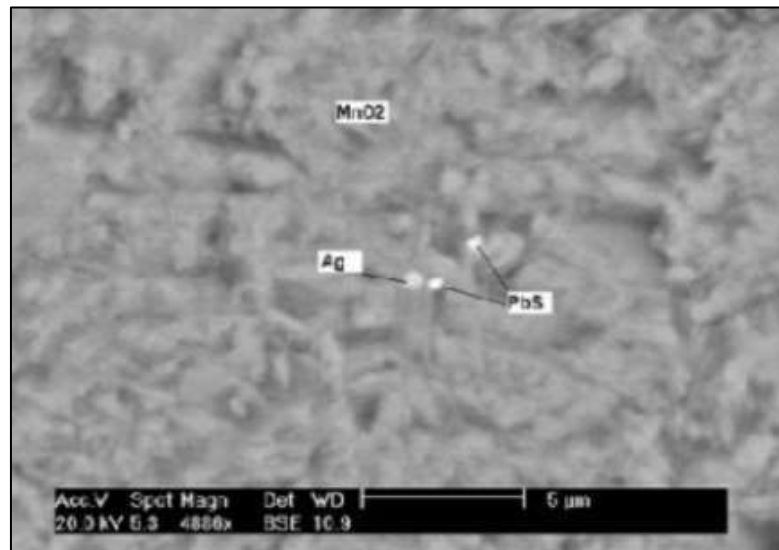


Figura 8: Oclusión de plata menor a 1 micrómetro en óxido de manganeso.

- Proyecto de Recuperación oro y plata en Terreros.  
 Departamento: Planta Concentradora.  
 Muestra: Terreros.  
 Resultado: Electrum asociado en óxidos de calcio y manganeso.  
 Acción de la planta: Lixiviación Au y Ag

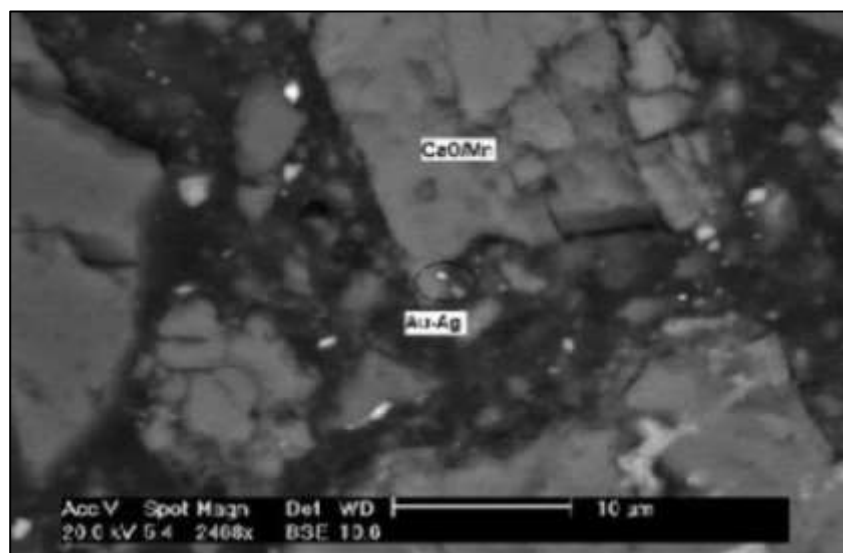


Figura 9: Electrum menor a 1 micrómetro ocluido en mineral de calcita/manganeso.

- Proyecto de Recuperación oro y plata en terreros.  
 Departamento: Exploración.  
 Muestra: Jales.  
 Resultado: Amalgama (Ag-Hg) ocluida en minerales de cuarzo.  
 Acciones de la planta: no proporcionó más información.



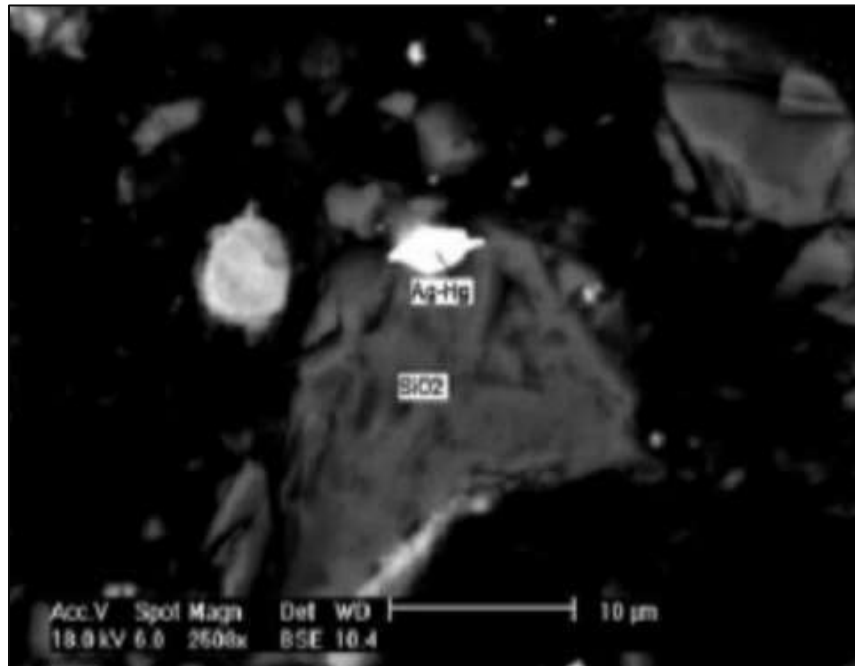


Figura 10: Amalgama (Ag-Hg) de 7 micrómetros ocluida en cuarzo.

## 2.2.9. Equipos de Caracterización Mineralógica:

### 2.2.9.1. Microscopios Ópticos:

Se realiza para determinar los minerales metálicos, tamaño de granos, realizar asociaciones Mineralógicas (relación entre minerales), alteraciones y reemplazamientos, tipo de texturas, secuencias paragenéticas (formación de los minerales), fotomicrografías.

En un proyecto integral se puede obtener:

- Muestreo orientado a la caracterización
- Zonamiento de la mineralización
- Información técnica complementaria y asesoría



*Figura 11: Microscopio óptico.*

#### **2.2.9.2. Difracción de Rayos X (DRX):**

- Con este equipo se logra lo siguiente:
- Identificación y cuantificación de minerales metálicos, especificando el tipo de mineral de la familia.
  - Identificación y cuantificación de minerales no metálicos, especificando el tipo de mineral de la familia.
  - Cuantificación de fases amorfas.

La ventaja es la preparación mecánica (malla 400) y el análisis en tiempo corto.



*Figura12: Difracción de Rayos X.*

#### **2.2.9.3. Fluorescencia de Rayos X (FRX):**

Se realiza para obtener Análisis Semi-cuantitativo de elementos, desde Oxígeno a Uranio, Análisis Cuantitativo de 22 elementos de interés geoquímico (de 0 a 2000 ppm) Mo, As, Pb, U, Th, Zn, Cu, Ni, Rb, Sr, Sc, Fe, Ti, Y, Zr, Nb, entre otros, Análisis Químico Cuantitativo por: Fe, entre otros, Análisis por Roca Total (Óxidos de Si, Mn, Ti, Mg, Na, K, P, Fe, Al, Ca).

La ventaja es la preparación mecánica (chancado, pulverizado y prensado y/o perlado) y análisis en minutos.



*Figura 13: Fluorescencia de rayos X.*

## **2.2.10. Métodos de Explotación**

### **2.2.10.1. Definición**

Métodos de explotación es el conjunto de todas las normas, reglas y actividades mineras, siguiendo tecnologías adecuadas para lograr el máximo aprovechamiento de las reservas de mineral, desde el punto de vista técnico y económico. El método de explotación depende de la geometría del yacimiento y de la geoforma con respecto a las rocas y la topografía que lo contienen. Con respecto a la geometría se incluye el diseño de la forma normalizada de las labores de acceso, preparación y explotación de cada sector de explotación de mineral útil, en cuanto a su forma geoespacial se refiere a las tecnologías aplicadas en el arranque del mineral, cargue, transporte y control de huecos. La selección del método de explotación en minería a cielo abierto que más se ajuste a la geometría del yacimiento, estará orientado por las características del mismo depósito de minerales (Beltrán, 2012).

### **2.2.10.2. Clasificación de los Métodos de Explotación**

La clasificación de los métodos de explotación se ha realizado con base en la forma de los depósitos, tipos de rocas, geometría del yacimiento y nivel tecnológico utilizado. En este sentido los métodos de explotación más usados son (Beltrán, 2012):

- ✓ Canteras: Calizas, Hierro, Materiales de construcción.
- ✓ Cortas: Minerales Metálicos de origen intrusivo.
- ✓ Transferencia: Carbón.
- ✓ Aluviones: Arenas, Aluviones auríferos.

La explotación por minería a Cielo Abierto se ha venido generalizando por la presencia de depósitos de mineral que son abundantes en tonelaje y estar cerca de la superficie, aunque a veces con bajo contenido de mineral útil. Igualmente se ha generalizado el perfeccionamiento de la maquinaria pesada utilizada en estas explotaciones y la creciente demanda de minerales que difícilmente se pueden lograr con minería subterránea (Beltrán, 2012).

### **2.2.10.3. Condiciones Geológicas, Sociales, Ambientales y Económicas**

Los métodos como en toda explotación minera están íntimamente ligados a las condiciones geológicas, sociales, ambientales y económicas del propio depósito de mineral y de la ubicación del yacimiento donde se pretenda explotar. Es evidente la influencia de las condiciones físicas del yacimiento en sus posibilidades de explotación, pues todas ellas deben conocerse perfectamente para establecer la posibilidad de ser explotado con facilidad; estas condiciones son forma, profundidad, potencia, buzamiento, rocas encajantes, contenido de mineral útil, tectónica imperante, contaminantes, gases y ambiente imperante en el área de influencia de la posible explotación. Por su parte las condiciones sociales influyen en primer lugar por el cumplimiento de todas las normas de seguridad e higiene, por la posibilidad de vincular personal, conocer bien las normas legales del país y relacionarse con las autoridades que tienen a su cargo la reglamentación minera, posibilidades de adquirir terrenos, disponer de mapas de la región e indemnizaciones que deben realizarse. Igualmente, se debe tener en cuenta los riesgos potenciales que se tienen de deteriorar el medio ambiente, para establecer la posibilidad de lograr el menor deterioro posible y velar por la conservación de la fauna, la flora, las aguas y el aire, dentro de la zona de incidencia de la explotación. Finalmente, las condiciones económicas son de dos clases: las particulares de la empresa explotadora y la de interés común: en relación con las primeras debe lograrse un costo unitario adecuado y obtener las proyecciones en los plazos con la producción prevista para amortizar los capitales invertidos y obtener un margen de rentabilidad adecuado. En cuanto al interés común, debe evitarse el mal aprovechamiento de las reservas de mineral útil, por abandono de zonas menos rentables. Los límites económicos y naturales que determinan la elección de un método subterráneo o superficial son en resumen el costo de la explotación y la calidad del mineral útil; la relación entre el estéril y el mineral Es un coeficiente determinante de la elección. Los límites antes indicados se refieren a la profundidad que puede alcanzarse con una labor a cielo abierto, en la que el costo de la tonelada de mineral, sea igual a la obtenida por laboreo subterráneo. Si llamamos "A" al costo de extracción de un

metro cúbico de mineral a cielo abierto, “B2 al costo de un metro cubico de estéril, “X” a la relación entre estériles y mineral, así como “C” a costo de extracción por un metro cúbico de mineral, tendremos (Beltrán, 2012):

$$A + BX = C \text{ y en consecuencia } X = (C - A)/B$$

Al valor de X se le llama coeficiente de explotabilidad o límite económico, que quiere decir la máxima cantidad de material estéril que puede ser removido, sin que se pierda la rentabilidad esperada en el proyecto. En este caso debe tenerse en cuenta que el verdadero límite se encuentra en el nivel en que el costo de extracción de un metro cubico de mineral es el mismo en explotación bajo tierra y a cielo abierto y no el del promedio de la explotación a cielo abierto. Para aplicar la fórmula anterior en la práctica se procede con el ingeniero de minas y el geólogo a realizar los cálculos técnicos y económicos para establecer su viabilidad a cielo abierto o bajo tierra (Beltrán, 2012).

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Brecha:

Es una roca sedimentaria detrítica compuesta aproximadamente en un 50 % de fragmentos angulares de roca de tamaño superior a 2 milímetros unidos por un cemento natural. Según una versión la palabra deriva del griego que significa ‘roto’, en tanto para otros proviene del francés brèche, que a su vez deriva del fránico breka ‘roto’, ‘hendidura’, hermano del neerlandés breken, de igual significado, del alemán brechen ‘romper’ 1 y del italiano breccia ‘piedra rota’.

Los fragmentos constitutivos de los conglomerados y de las brechas son mayores que los de la arenisca, o sea más de 2 milímetros, pero la brecha se distingue de los conglomerados porque sus fragmentos constitutivos son angulares. Pueden distinguirse brechas monogénicas, compuestas de elementos de la misma naturaleza, y brechas poligénicas, compuestas de elementos de diferente naturaleza (Azálgara, 2013).

### 2.3.2. Dique:

Es una formación ígnea intrusiva de forma tabular. Su espesor es generalmente mucho menor que sus restantes dimensiones y puede variar de algunos milímetros hasta muchos metros, mientras que su extensión lateral puede alcanzar muchos

kilómetros. Las intrusiones de diques se suelen producir a favor de fracturas de carácter distensivo (León, 2015).

### **2.3.3. Exploración:**

Una vez establecidas las posibilidades de la región estudiada, se pasa al estudio sobre el terreno. En esta fase aplicaremos las diversas técnicas disponibles para llevar a cabo de forma lo más completo posible el trabajo, dentro de las posibilidades presupuestarias del mismo. Su objeto final debe ser corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de mineralizaciones del tipo prospectado (León, 2015).

### **2.3.4. Explotación:**

La explotación de un yacimiento minero supone la existencia de una concentración de un mineral, elemento o roca con suficiente valor económico como para sustentar esta explotación minera con un beneficio industrial para la empresa. Para que esto se produzca, se ha de cumplir la ecuación:

$$\text{Valor Producción} = \text{Costes} + \text{Beneficios}$$

El valor de la producción se obtiene mediante la valoración económica del yacimiento, de acuerdo con los datos del estudio de investigación minera, y por tanto, dependen de la naturaleza y características de la mineralización, que serán unas determinadas. De forma que, para poder cumplir con esta condición, tenemos que analizar los costes que implica la explotación minera del yacimiento.

Este factor, el coste, depende de muchos factores. Algunos de ellos no son modificables: si el yacimiento se localiza a gran distancia de centros de transporte o de consumo, tendremos un coste de transporte a asumir (y minimizar en lo posible). Otros dependen de decisiones a tomar: por ejemplo, la decisión de abordar una explotación a cielo abierto o subterráneo incide de forma decisiva sobre este factor de coste. No obstante, rara vez tomamos este tipo de decisiones libremente, ya que suelen estar condicionadas por factores propios de mineralización: profundidad a la que se encuentra, geometría (horizontal o vertical, mayor o menor espesor). En cualquier caso, en la toma de decisiones implicada en el diseño de una explotación minera siempre tenemos un mayor o menor grado de libertad, que nos permite evaluar distintas alternativas, y elegir la más adecuada para cada yacimiento, de forma que la ecuación se cumpla (lo cual no siempre ocurre, naturalmente) (Rojas, 2013).



### **2.3.5. Ganga:**

La ganga es el material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por carecer de valor económico o ser demasiado costoso su aprovechamiento. Es posible que un mineral que se considere ganga en un yacimiento sea de interés en otro, o que la mejora en las técnicas extractivas o los usos industriales haga rentable el procesamiento de materiales anteriormente considerados ganga (Cruz, 2016).

### **2.3.6. Intrusivo:**

A muchos kilómetros de profundidad de la superficie, la roca derretida llamada magma fluye a través de grietas o recámaras subterráneas. A medida que se enfría, los elementos se combinan para formar minerales de silicato comunes, los cuales son el sustento de las rocas ígneas. Estos minerales pueden alcanzar gran tamaño, si el espacio lo permite.

Las rocas que se forman de esta manera se llaman rocas ígneas intrusivas o plutónicas. Los cristales minerales son lo suficientemente grandes para ser vistos sin necesidad de un microscopio. Existen diferentes tipos de rocas ígneas intrusivas, pero el granito es el tipo más común (Martínez, 2012).

### **2.3.7. Mena:**

Una mena de un elemento químico, generalmente un metal, es un mineral del que se puede extraer aquel elemento porque lo contiene en cantidad suficiente para poderlo aprovechar. Así, se dice que un mineral es mena de un elemento químico, o más concretamente de un metal, cuando mediante un proceso de minería se puede extraer ese mineral de un yacimiento y luego, mediante metalurgia, obtener el metal a partir de ese mineral (Martínez, 2012).

### **2.3.8. Mineral:**

Un mineral es una sustancia natural, representable por una fórmula química, normalmente sólido e inorgánico, y que tiene una cierta estructura cristalina. Es diferente de una roca, que puede ser un agregado de minerales o no minerales y que no tiene una composición química específica. La definición exacta de un mineral es objeto de debate, especialmente con respecto a la exigencia de ser abiogénico, y, en menor medida, a que deba tener una estructura atómica ordenada. El estudio de los minerales se llama mineralogía.



### **2.3.9. Veta**

Es un cuerpo tabular, o en forma de lámina, compuesto por minerales que han sido introducidos en las rocas por una diaclasa o fisura, o por sistemas de diaclasas y fisuras. La mayoría de las vetas son directa e Indirectamente de origen ígneo, aunque en ciertas circunstancias las fisuras pueden llegar a rellenarse como consecuencia de procesos sedimentarios; por ejemplo, vetas de calcita rellenando fisuras en una caliza. Las vetas son distintas a los diques ígneos, aunque el término se aplica a menudo a pequeños de dos o lenguas de roca ígnea intrusiva. Sin embargo, la utilización más importante del término veta está en conexión con los yacimientos, y gran parte de la terminología asociada con las vetas deriva de la industria minera.

### **2.3.10. Yacimiento:**

Yacimiento es el lugar donde se hallan naturalmente las rocas, minerales, gases o fósiles (yacimiento geológico), o el sitio donde se encuentran restos arqueológicos (yacimiento arqueológico).

Los yacimientos geológicos son formaciones que presentan una concentración de materiales geológicos inusualmente elevada en comparación al resto de la corteza terrestre. Dada la cantidad y calidad de los materiales, un yacimiento puede justificar su análisis para determinar la posibilidad de su explotación comercial.

### **2.3.11. Mineralogénesis:**

La mineralogía se divide en ramas que estudian cada una, distintos factores relacionados con los minerales. El estudio de los minerales lo podemos dividir en 5 grandes grupos. 1) La mineralogía general se preocupa de la estructura, la cristalografía y las propiedades. 2) La mineralogía determinativa se enfoca en las propiedades fisicoquímicas y las estructuras para determinar los distintos minerales. 3) La mineralogénesis se encarga de su formación, cómo se presentan en la naturaleza y cómo explotarlos. 4) La mineralogía descriptiva los clasifica según estructura y composición. Y 5) La mineralogía económica se encarga de elaborar aplicaciones minerales y se preocupa de su utilidad económica, industrial y otras.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

Es el estudio de caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, Distrito de Cáceres del Perú-Jimbe, Provincia del Santa, de la Región Ancash – 2016.

### 3.2. Variables

- Independientes:
  - Caracterización Geoquímica superficial
- Dependientes:
  - Explotación Minera.

### 3.3. Operacionalización de variables:

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Caracterización Geoquímica	Estudia las características y propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación.	Mineralogénesis	Condiciones de la formación de los minerales en la corteza terrestre.
		Geomorfología y Estratigrafía	Estudio de las formas del relieve terrestre y estratos horizontales y verticales
		Áreas anómalas con potencial	Utilidad económica.
		Recursos minerales	Caracterización de las clases y subclases minerales y describir las propiedades físicas, químicas y cristalográficas de los principales minerales.
		Zonas de mineralización	Estudios de Geoquímica superficial
Dependiente: Potencial Mineral	Consiste en realizar todos los estudios preliminares para determinar la posible explotación minera.	Estudios de proyectos similares	Potencial mineralógico
		Costo de los minerales	Costo nacional e internacional
		Tipo de yacimiento	Geología y Mineralógico
		Tipo de Explotación	Costo de explotación: Tajo abierto y/o subterránea.
		Producción gr/Tm	Proceso de Concentración y/o Lixiviación

## **CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3.1. Tipo de diseño de investigación.**

La investigación desarrollada es no experimental con diseño transversal, descriptivo y aplicativo.

Es descriptiva porque se estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales.

Es aplicativo porque va a servir para decidir si se explota o no el yacimiento.

### **3.2. Material.**

#### **3.2.1. Unidad de estudio.**

Minerales comerciales dentro de las muestras.

#### **3.2.2. Población.**

Concesión Minera Cerro Negro 1.

#### **3.2.3. Muestra.**

40 muestras.

### **3.3. Métodos.**

#### **3.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos**

##### **3.3.1.1. Recolección de Datos**

- **Mapeo**

Debido a que este trabajo se realizó con el objetivo de definir áreas con potencial mineral, mediante estudios de caracterización geoquímica, para la posterior explotación y ubicación de la zona de mayor interés económico de la mina del Proyecto Cerro Negro 1. El mapeo a detalle tiene el objetivo de confirmar la presencia mineral de la zona.

- **Toma de muestras geoquímicas**

Para el presente estudio se tomaron 40 muestras de afloramientos de roca.

- **Estudios Microscópicos**

Se seleccionaron diferentes tipos de muestras de mano para estudio microscópico.

El estudio microscópico nos sirve para actualizar el plano litológico y de alteraciones.

En consecuencia, solo describiremos las características mineralógicas y de alteración que fueron definidas con la microscopía.

- **Muestreo**

La recolección de las muestras se realizó con el método aleatorio, tomando 40 muestras de las trincheras realizadas.

### 3.3.1.2. Análisis de Datos

- **Replanteo de Datos**

Para seleccionar la ubicación de las trincheras, se replantearon las coordenadas, al obtener los datos de los análisis químicos igualmente realizamos la depuración.

Se hizo mediante el programa Excel.

- **Eliminar los Datos Atípicos**

Luego de obtener los datos de laboratorio, se han evidenciaron valores atípicos en los resultados, estos datos se analizarán mediante gráfico estadísticos de tendencia.

- **Aplicar Programa Análisis de Resultados.**

Se usaron cuadros comparativos entre los resultados de laboratorio y los estándares de calidad.

- **Interpretar los Datos.**

Al comparar datos con los estándares definiremos qué tipo de mineral encontramos.

### 3.3.2. Procedimientos

#### 3.3.2.1. Búsqueda de Información

En la primera etapa como investigación secundaria, cada integrante realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, como en otros documentos como papers, o informaciones afines con el trabajo a realizar, con el fin de identificar tanto las formaciones geológicas, la actividad tectónica de la zona (el comportamiento estructural), obtención del mapa topográfico, imágenes satelitales (Google Earth) y la carta geológica del cuadrángulo que alberga a la zona de estudio y un plano geológico de la zona en detalle, etc. los cuales fueron usados a modo de base para la etapa posterior (trabajo de campo).

### **3.3.2.2. Integración de Información**

En la segunda etapa se conciliaron las informaciones y opiniones, la interpretación de la información, se logró definir con claridad la estructura del trabajo y su cumplimiento en el cronograma definido para su finalización de la forma más rigurosa posible.

### **3.3.2.3. Trabajo de Campo**

En la tercera etapa como investigación primaria, comprende básicamente la obtención de data en campo que se dividió en dos partes principales, en la primera, la ubicación, delimitación y reconocimiento fisiográfico de la zona, en donde se hizo el cartografiado de zona con ayuda del plano topográfico e imágenes satelitales. Donde se comparó la ubicación y descripción de las diferentes unidades geológicas dadas por el mapa geológico con el trabajo realizado por los tesisistas.

Luego se muestreó aleatoriamente en campo; también se tomaron datos como rumbo y buzamiento de los estratos, geometría del depósito, tipo de depósito, entre otras.

### **3.3.2.4. Trabajo de Laboratorio**

En esta etapa se llevaron las muestras al laboratorio geoquímico para hacerle ensayos.

### **3.3.2.5. Trabajo de Gabinete**

La cuarta etapa, consiste en utilizar la data obtenida en campo, como las características mineralógicas de la roca como son color, raya, depositación, fractura, etc.

### **3.3.2.6. Realización y entrega de informe.**

Desarrollados los pasos anteriores se consiguió llegar a la última etapa, la cual correspondió a la elaboración del informe final.

## CAPÍTULO 5. DESARROLLO

### 3.1. Ubicación:

El proyecto "Cerro Negro" se ubica en el Departamento de Ancash, Provincia de Santa, Distritos de Chimbote y Nepeña.

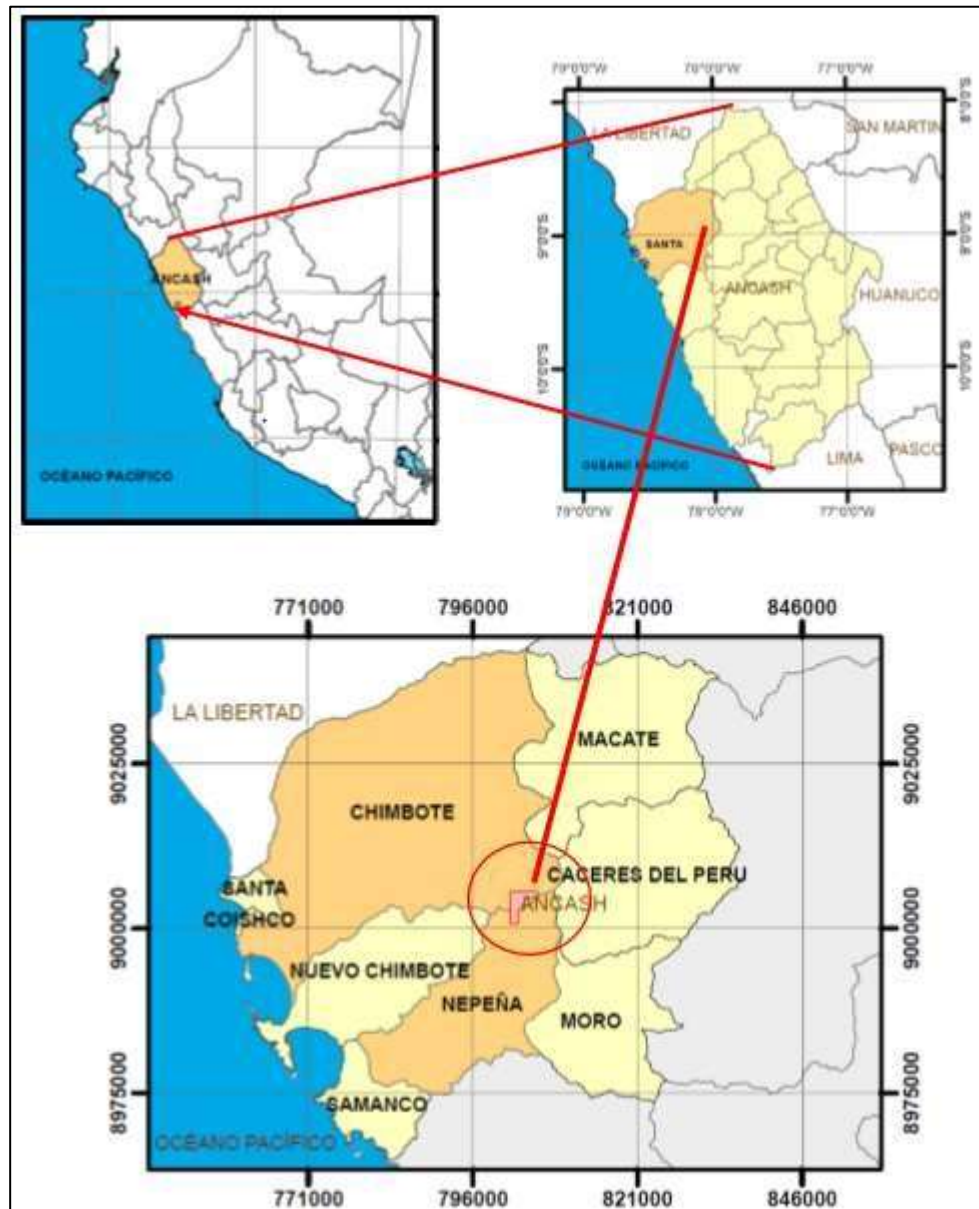


Figura 14 A: Ubicación de la concesión Cerro Negro.

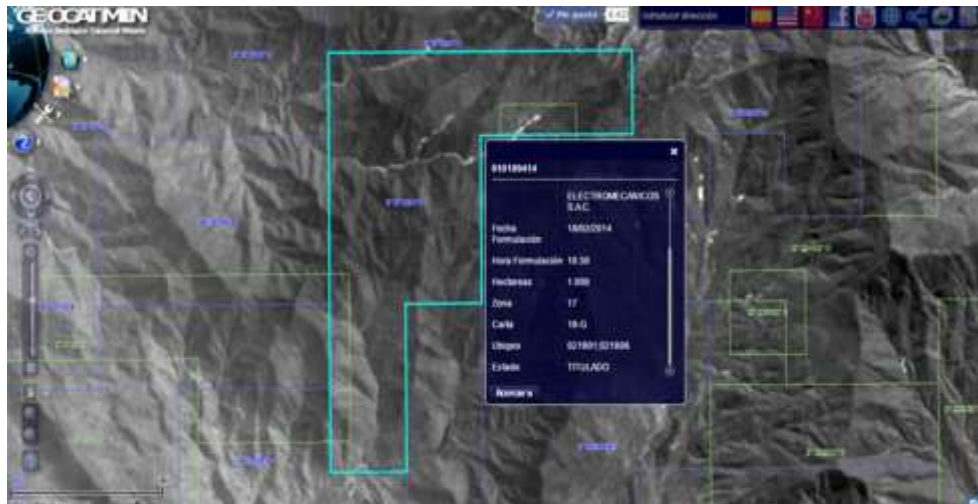


Figura 14 B: Concesión minera Cerro Negro 1 código 010189414 -1000 Hectáreas Zona 17, carta 18G, fecha formulación 18-02-2014 – 16.30 Horas- EPEL SAC (Fuente Geocatmin)

### 3.2. Accesibilidad

Para llegar al proyecto minero “CERRO NEGRO” Se realiza mediante vehículo a través de una vía asfaltada Nuevo Chimbote – Moro, luego por una carretera afirmada hasta Solevin y a partir de allí se inicia un recorrido a pie hacia el proyecto.

Tabla 2: Accesibilidad a la concesión Cerro Negro.

Tramo	Tipo de Vía	Tiempo aprox.
<b>1ra Ruta</b>		
Cajamarca – Trujillo	Asfaltado	7 horas
Trujillo – Nuevo Chimbote	Asfaltado	3 horas
Nuevo Chimbote – Nepeña	Asfaltado	1.5 horas
Nepeña - Moro – Jimbe	Asfaltado	2 horas
Jimbe – Cerro Negro 1	Camino de Herradura	4 horas
Total: 17.5 horas		
<b>2da Ruta</b>		
Lima - Nuevo Chimbote	Asfaltado	3 horas
Nuevo Chimbote – Nepeña	Asfaltado	1 horas
Moro – Solevin	Asfaltado	2 horas
Solevin Desvío Cataratas – Cerro Negro 1	Camino de Herradura	5 horas
Total: 11 horas		



### 3.3. Clima y Vegetación

El clima es templado durante el día mantiene un promedio de 30 °C así como por las noches puede descender a 6 °C, es constante durante casi toda el año a excepciones de invierno que presenta subida de Neblina; la flora está básicamente dominada por arboles Pate (árbol de monte) y algunas especies clásicas de esta región Yunga.

### 3.4. Relieve y Topografía

Como podemos apreciar en la Figura N° 15, la topografía de la zona está dominado por zonas de pendientes fuertes que superan los 60° y pocas llanuras, así mismo está enmarcado por valles juveniles de causes muy antiguos, por lo que el relieve de la zona es agreste y de difícil acceso.



Figura 15: Vista panorámica de “Quebrada seca” y montañas alledañas que muestran la topografía de la zona.

### 3.5. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas mayores son la faja costera, los valles de la vertiente pacífica y las estribaciones de la Cordillera Occidental, dentro de las cuales se pueden identificar en la zona las siguientes unidades menores:



### 3.5.1. Cerros Costeros

Son aquellos cerros aislados próximos al litoral y promontorios rocosos que forman colinas bajas y que muestran señales de haber sido afectadas parcialmente por la erosión. Muestran, muchos de ellos, cierta cobertura eólica y están por lo general conformados de rocas volcánicas, como se puede identificar en la concesión; también por rocas sedimentarias del grupo Casma.



Figura 16: Rocas volcánicas presentes en el cerro ubicado al frente del socavón inicial.

### 3.5.2. Valles:

Estos valles siguen la tendencia general de Este a Oeste, a la vez que van haciéndose más amplios, se caracterizan por ser valles de actividad fluvial durante todo el año. Se notan en algunos sectores terrazas fluviales, en diversos niveles. Casi en su totalidad del área de valles es aprovechada para la agricultura.

Se presentan varios tipos de terrazas, desde bancos cubiertos por una delgada capa de material hasta terrazas compuestas en su totalidad de sedimentos.



Figura 17: Valles juveniles y maduros presentes en la zona de influencia.

### 3.5.3. Quebradas:

Los depósitos de quebrada son gravas, arenas y limos pobremente seleccionados y ligeramente estratificados, que se acumulan como conos de deyección a ambos lados del valle principal. Su deposición ocurre a partir de flujos rápidos y torrentes de dirección lineal provenientes de las montañas en el Este y se expresan como canales trenzados hacia el Oeste. En las quebradas secas la deposición ocurre mayormente por flujos iniciados en condiciones torrenciales esporádicas. También pueden ocurrir flujos de lodo en época de lluvias torrenciales, que originan depósitos minerales en las salidas de quebradas ubicadas en los tramos medios a superior de los valles.



Figura 18: Sedimentos (grava, arena y limos) ubicados en los flancos de las quebradas.

#### 3.5.4. Contrafuerte de la Cordillera:

Es una franja continua de rocas ígneas o sedimentarias y se ubican en todo el sector Este de la zona de estudio; presenta una topografía agreste llegando a alcanzar altura de 2250 m.s.n.m. y la constituyen cadenas de elevaciones continuas que se digitan hacia el Oeste disminuyendo su altura paulatinamente. Ellos se encuentran separados irregularmente por valles y quebradas cuyo estadio de evolución geomorfológica es juvenil a maduro.



*Figura 19: Cadenas de elevaciones que conforman el contrafuerte de la cordillera.*

#### 3.6. Estratigrafía

Los cuadrángulos de Chimbote, Casma y Culebras forman parte de la denominada Cuenca Huarmey ubicada en el geosinclinal occidental de la cuenca occidental peruana y que grada hacia el este del miogeosinclinal.

Las cuencas estuvieron interconectadas y sometidas a subsidencias en tiempos diferentes siendo rellenadas con material de origen diverso. Así mientras al Este el relleno sedimentario fue clástico; al Oeste en el llamado eugeosinclinal se acumularon tanto sedimentos como material volcánico. Se considera que la cuenca Huarmey se inició durante el Tioniano y que su mayor subsidencia ocurrió durante el Albiano.

La consecuencia volcánica está dispuesta en afloramientos de rumbo NO – SE que se encuentran en pliegues más apretados hacia el Este. Debido a la presencia del batolito de la costa no se observa una continuidad de afloramientos. No obstante, se

nota un cambio que va de una secuencia oriental sedimentaria a una secuencia occidental mayormente volcánica.

Las relaciones entre las unidades litoestratigráficas, no es muy clara, debido al emplazamiento del batolito y a las rocas subvolcánicas asociadas, así como a la deformación; por otra parte, los restos fósiles son muy escasos.

### 3.6.1. Grupo Casma:

En 1980 J. Myers eleva el rango a la unidad considerándola como Grupo Casma, en el cual se reconoce las siguientes formaciones de arriba hacia abajo:

Formación	Estratigrafía	
Fm. Pararín	Piroclastos y flujos de lava	600 m.
Fm. Lupín	Lavas almohadilladas, brechas y tobas	1800 m.
Fm. Cerro Breas	Chert y sedimentos de grano fino	800 m.
Fm. La Zorra	Flujos andesíticos, tobas, aglomerados	1800 m.
Fm. Punta Gramadal	Lavas almohadilladas, grawacas tobáceas	1800 m.
Fm. Señal Cochapunta	Tobas, chert grises y verdes, lutitas negras	1000 m.
TOTAL		6600 m.



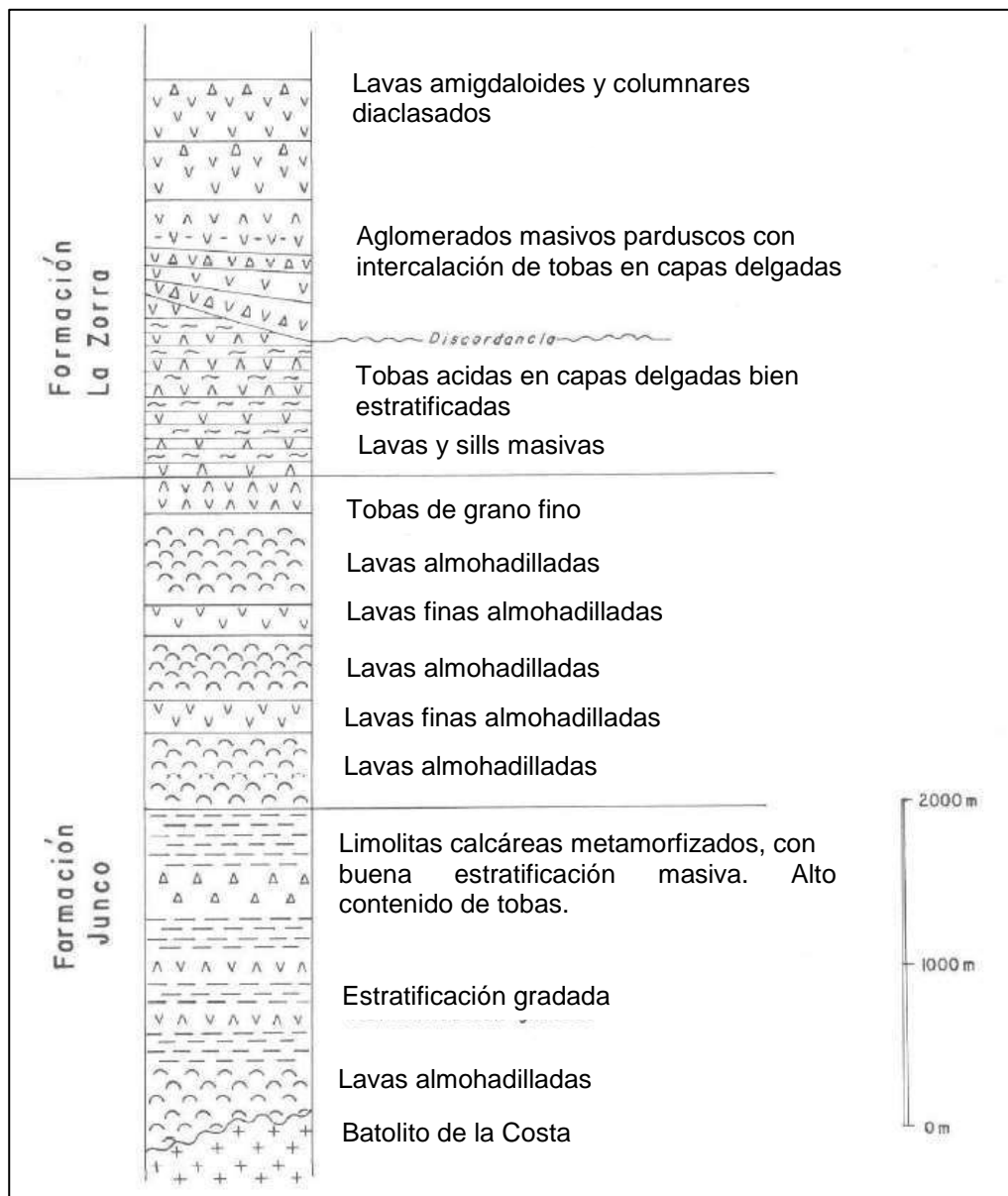


Figura 20: Columna estratigráfica del grupo Casma.

### 3.6.2. Formación Junco:

En la secuencia de la Formación Junco se distinguen claramente lavas almohadilladas intercaladas con aglomerados, flujos lávicos, lavas brechadas y en algunos casos horizontes tobáceos. En la unidad inferior se distinguen lavas, almohadillas, brechas hialoclásticas, flujos de lavas macizas y flujos de lavas brechadas, los que se intercalan indistintamente predominando las lavas almohadilladas se pueden observar los bordes enfriados pequeños cristales de plagioclasas y amígdalas recristalizadas. La mayoría de las rocas son de grano fino, gris oscuras. El tamaño de las almohadillas en promedio oscila entre 50 cm. y 1 m.

Los aglomerados que se encuentran son grises, con coloraciones marrones por meteorización irregular, muchas veces es difícil de distinguir la forma de los fragmentos individuales ya que su composición es similar; pueden observarse texturas porfíricas y afaníticas. Las lavas autobrechadas consisten de clastos de lavas porfíricas con material de grano fino de composición similar.

Las hialositas están parcialmente compuestas de flujos de lava y se encuentran entre estas las almohadillas a modo de cuerpos lenticulares, la constituyen fragmentos angulosos de lavas y fragmentos vítreos así, como cortezas vítreas correspondientes a almohadillas. En algunos de los fragmentos alterados, se pueden ver márgenes oscurecidos de 1 a 5 cm. Mientras que en otros casos los fragmentos angulosos tienen bordes estrechos de colores blanco amarillentos.

Generalmente la base de los flujos de lava es de grano fino mientras que las almohadillas tienden a ser más porfíricas, ellas pueden tener zonas concéntricas amigdaloides y su borde de gris oscuro a negro está ligeramente cizallados. Las lavas porfíricas consisten en fenocristales de plagioclasas y amígdalas en una matriz vítrea a criptocristalina.



*Figura 21: Horizonte tobáceo de la Fm. Junco.*

**Edad y Correlación:** la Formación Junco sobreyace a las formaciones del Grupo Goyllarisquizga que llegan hasta el Aptiano, y por otro lado infrayace a la Formación La Zorra donde se han identificado fósiles del Albiano medio, por lo que esta unidad debe haberse acumulado a inicios del Albiano.



Figura 22: Flujos lávicos.

### 3.6.3. Formación La Zorra:

La Formación La Zorra sobreyace concordantemente a la Formación Junco y comprende principalmente flujos de andesita en capas delgadas y piroclastos de mayor dimensión intercalados con sedimentitas. Esta unidad se encuentra en la parte occidental del batolito de la costa, se extiende desde la parte Sur de Culebras, como una prolongación de la formación La Zorra. Característicamente está bien estratificada y presenta mayor grado de plegamiento.

**Litología y Grosor:** reúne una variedad de sedimentitas y todas volcánicas especialmente piroclásticas, que se encuentran bien estratificadas; se observa claramente estructuras de deformación tipo pliegues, los que son fácilmente distinguibles. Sin embargo, es importante indicar que existen considerables variaciones locales dentro de los volcánicos, de manera que las secuencias que se definen en un área o perfil solamente se pueden trazar por cortas distancias. Así en el tramo inferior del valle. Presenta la secuencia en el siguiente orden de superposición:

Unidad de Tobas de Lapilli Color Marrón	356 m.
Unidad de Aglomerados Verdes	442m.
Unidad Sedimentaria	300 m.

La unidad sedimentaria consiste en andesitas porfíricas intercaladas con limolitas color marrón a gris, con algunas limolitas laminadas. Esta unidad forma un anticlinal debajo de los aglomerados verdes y tobas de lapilli. No se expone la base de la secuencia. La unidad sedimentaria ha sido afectada por dos cuerpos de dolerita a modo de cuellos que pueden ser raíces de la zona de erupción volcánica.



*Figura 23: Unidad sedimentaria de la Fm. La Zorra.*



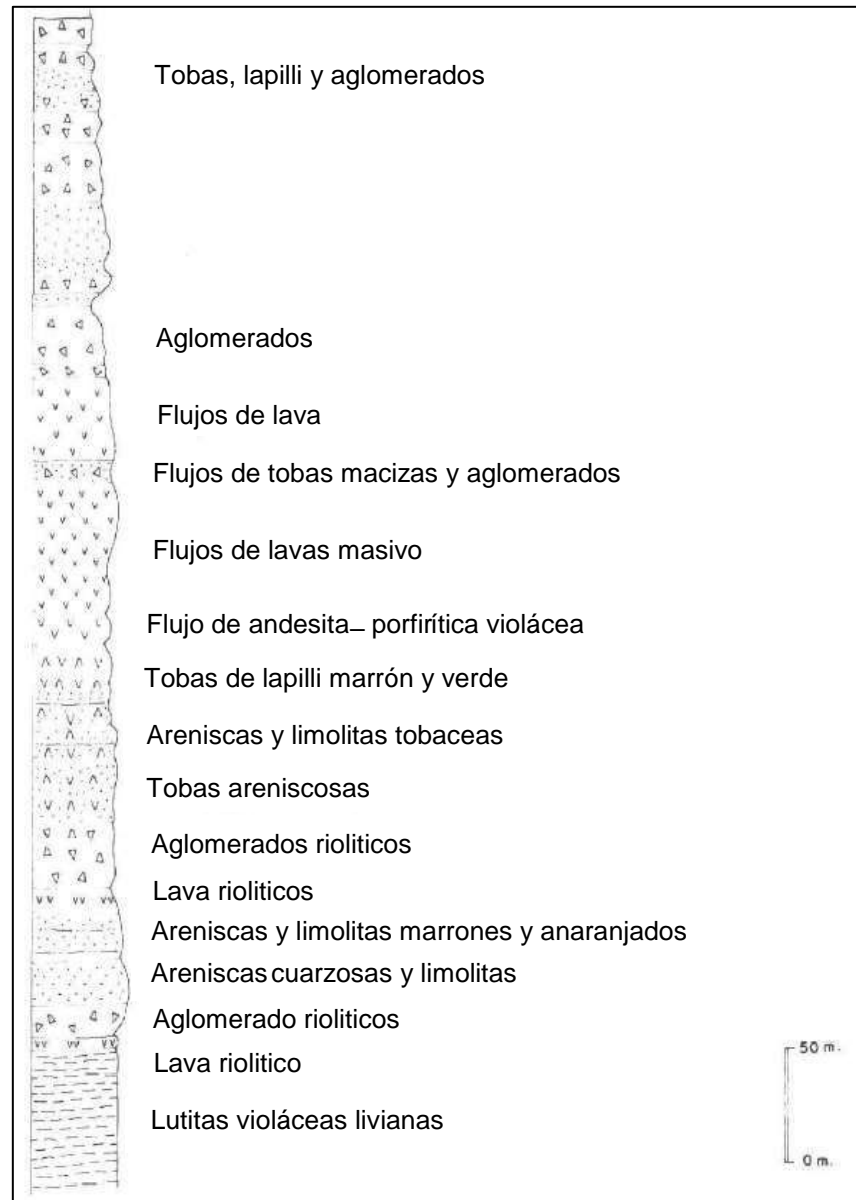


Figura 24: Columna estratigráfica de la Formación La Zorra.

Edad y Correlación: la formación Zorra sobreyace a la formación Junco y por correlación debe infra yacer en discordancia angular la Formación Pararín. Se han encontrado algunos fósiles que en general permite asignarle a esta unidad una edad Albiana media a superior.

Ambientes de Depositación: las rocas del grupo Casma son el resultado de la actividad volcánica en ambiente submarino caracterizado por efusiones lávicas y piroclásticas que formaron flujos de lavas almohadilladas, tobas acumuladas en agua e intercalaciones de sedimentos marinos.

Se considera que la cuenca occidental peruana es esencialmente ensiálica y que está constituida por rocas proterozoicas y del paleozoico inferior, el eugeosinclinal ha sido rellenado por material proveniente de los bloques oriental occidental y por material derivado de los volcanes que se exponían a lo largo de fallas que limitaban los bloques que dieron lugar a la Cuenca Occidental Peruana.

Las diversas rocas que conforman el Grupo Casma indican la actuación de diversos procesos tectónicos y de actividades volcánicas. Así las lavas almohadilladas que abundan en la formación Junco son el resultado de períodos de erupciones fisurales, rápidos, que fueron erupcionados a lo largo de las fracturas de tensión en las secuencias infrayacentes dando lugar a los complejos diques cizallados.

La presencia de horizontes tobáceos puede indicar períodos de quietud en relación con la efusión de lavas. Las sedimentitas de la Formación La Zorra son de tipo arenoso y se acumularon conjuntamente con elementos expelidos por centros volcánicos activos. Las estructuras sedimentarias sugieren flujos de corrientes provenientes del oeste. Las limoarcillitas, calizas y limolitas indican un período de quietud y sedimentación en una cuenca somera.

### **3.7. Litología**

Básicamente la litología de la zona está conformada por 02 grandes cuerpos intrusivos el primero de composición granodiorita de un sistema de composición ácida – intermedia y el segundo cuerpo es de granitos de un cuerpo de composición ácida, en su mayoría la zona está cubierta por depósitos de lavas andesíticas con algunas zonas proximales a las zonas de contacto de lavas andesíticas con clastos oolíticos y alargados, así mismo los sistemas posteriores de ascensión son diques Dacíticos de composición ácida, estos cuerpos en su mayoría están altamente meteorizados en superficie debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos también presentan algunas intrusiones paralelas de cuarzo masivo, por ultimo grandes zonas están cubiertas por depósitos cuaternarios y conglomerados de unos 9 a 12m de espesor.

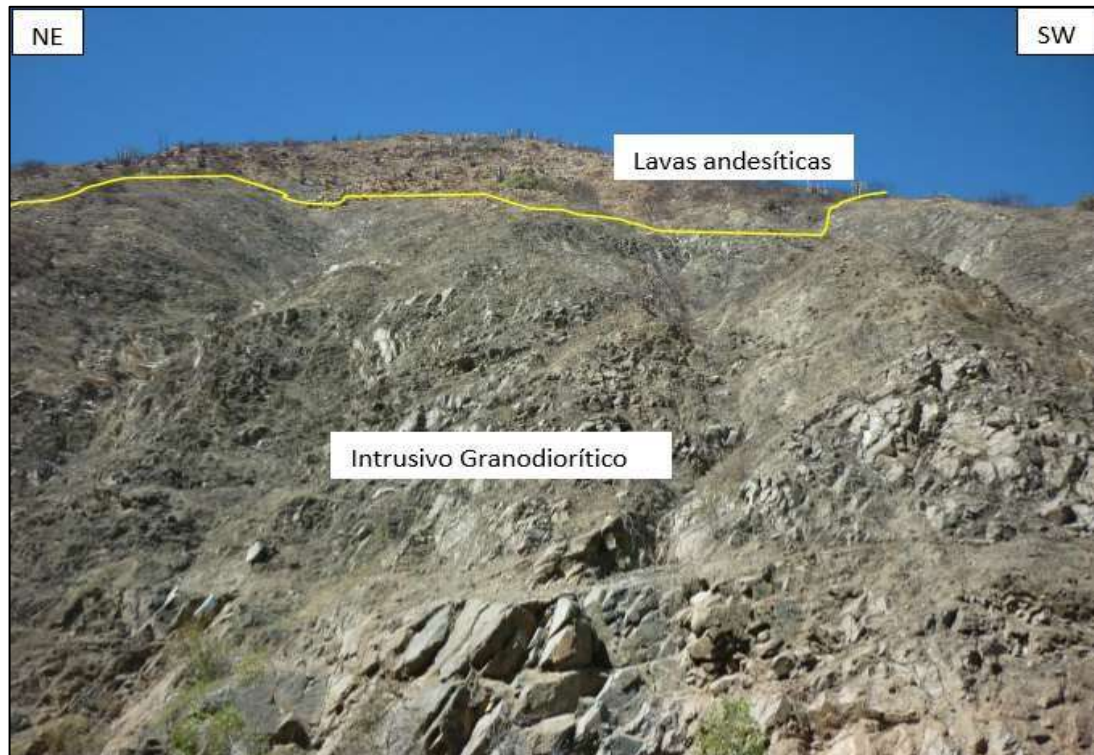


Figura 25: contacto entre las lavas andesíticas en la parte superior cubriendo al intrusivo de composición Granodiorítica.

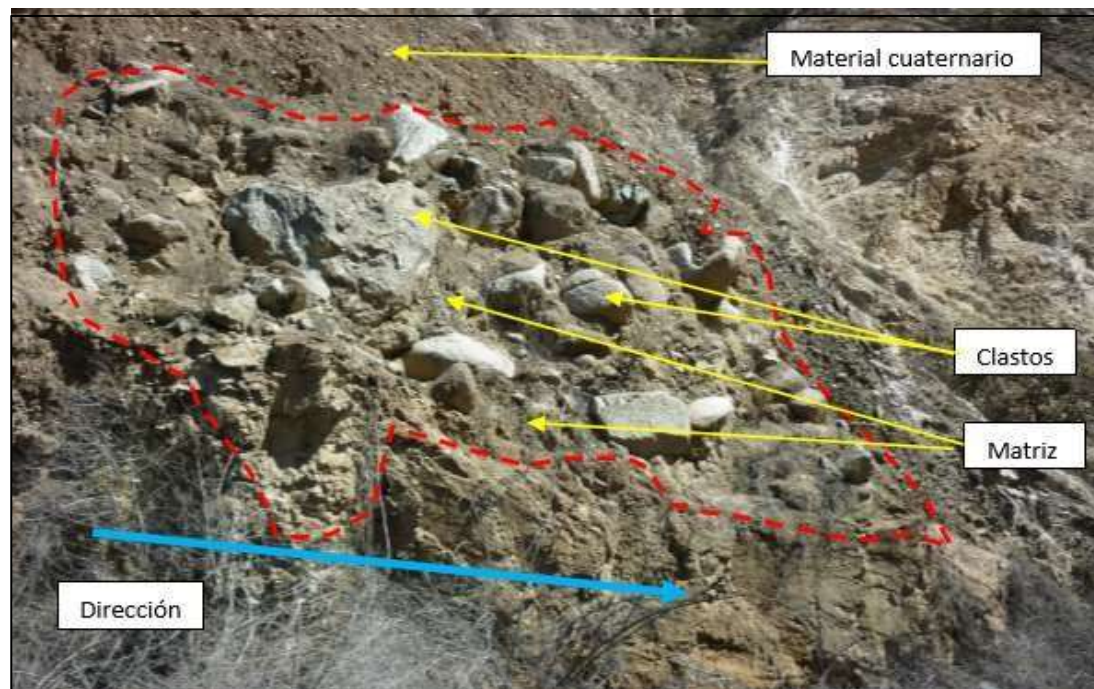


Figura 26: conglomerados con rodados de grandes dimensiones, índice de que los agentes fluviales hace miles de años fueron de grandes fuerzas de arrastre, estos están en su mayoría con la dirección de flujo hacia el Nor-Oeste.





Figura 27: contacto inferido entre el intrusivo granítico en la parte superior y el intrusivo Granodiorítico, muestra las zonas de mayor oxidación están cerca del contacto de estos dos cuerpos.

### 3.8. Caracterización Geoquímica:

#### 3.8.1. Zona 01: Brecha Crack

Ubicación:

Norte: 9003870

Este: 803496

Cota: 1540 msnm.

Espesor Promedio superficial: 2 a 6m.

Ley Superficial (Au): 1.1 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 12.75 gr/Tm

Dirección de Brecha:

Azimut (Az): 125° N

Buzamiento (Bz): 59°

Dirección de Bz (DD): 216° N

Esta zona engloba abundante presencia de oxidación así como venillas de óxidos de Hierro, así mismo está cubierta básicamente por Lavas andesíticas, la zona de interés donde se llevó a cabo el muestreo presenta fracturas rellenas con presencia de cuarzo (Qz) Algunas arcillas como caolinita y sericita, la estructura presenta abundantes clastos (Fragmentos de rocas) y rellenos de roca triturada por lo que

se intuye que es una brecha y en su estructura presenta como leyes promedio de 1.1 gr/Tm de Oro (Au) así como 12.75 gr/Tm de Plata en superficie.



*Figura 28: Estructura presente caracterizada como una brecha tipo crack y con abundante presencia de óxidos férricos. Las líneas punteadas indican el posible contacto de la brecha con el macizo rocoso.*



*Figura 29: Realización de canal para cortar la estructura y tomar la muestra revisando antes la continuidad de la misma.*



*Figura 30: Las líneas punteadas muestran de donde se extrajo la muestra X-01, se aprecia poca intensidad de limonitización así mismo muestra una estructura de alta persistencia, estimando un promedio de 6.0m de espesor.*

### **3.8.2. Zona 02: Lavas Andesíticas**

Ubicación:

Norte: 9003553 Este: 803296 Cota: 1653 msnm.

Dirección Promedio de venillas:

Azimut (Az): 262° N Buzamiento (Bz): 52° Dirección de Bz (DD): 172° N

Gran parte de los cuerpos intrusivos están cubiertas por lavas andesíticas de tonalidad gris, mostrando claramente su textura afanítica y poca actividad de alteración, más aún se encuentran venillas rellenas con Cuarzo (Qz) y Clorita (Cl), estos sistemas de fracturación están expuestos mostrando un paralelismo entre sí (índice para ubicar el cuerpo intrusivo y evento que las generó).



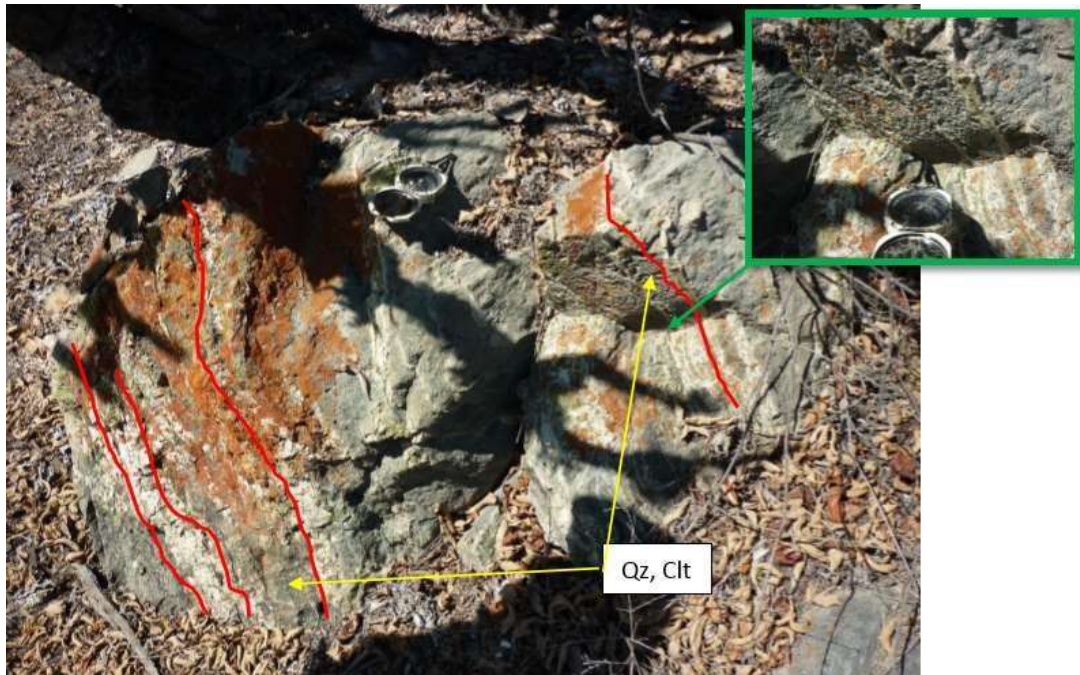


Figura 31: Venillas presentes en este cuerpo de lavas aflorantes, el sistema paralelo nos indica poca actividad de deformación.

### 3.8.3. Zona 03: Sistema Intrusivo

Ubicación:

Norte: 9003546 Este: 803181 Cota: 1644 msnm.

Espesor Promedio superficial: 0.3 a 1m.

Ley Superficial (Au): 1.0 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 31.1 gr/m

Dirección del Intrusivo:

Dirección: Azimut (Az): 238° N

Buzamiento (Bz): 78°

Dirección de Bz (DD): -

Cuerpo intrusivo oculto teniendo como caja sílice masivo, este cuerpo posiblemente guarde cierta relación con el sistema de venilleo que se explica en el ítem anterior, este nos muestra un alto contenido de Magnetita, presente como relleno de los espacios vacíos y fracturas, también presenta minerales como Crisocola y Pirolusita acompañando al mineral anterior, al parecer este sistema ha sufrido alguna deformación o interrupción durante su formación, se estima que la persistencia de este cuerpo sea amplia y de alta profundidad por la continuidad que presenta en superficie. (Índice de la zona de oxidación para una continuidad en profundidad con presencia de sulfuros).



Figura 32: Continuidad y presencia del cuerpo intrusivo.



Figura 33: Canal para dejar al descubierto roca fresca e identificar minerales presentes en este cuerpo, la muestra X-2 pertenece a esta ubicación. En superficie contiene 1.0 gr/Tm de Au y 31.1 gr/Tm de Ag.



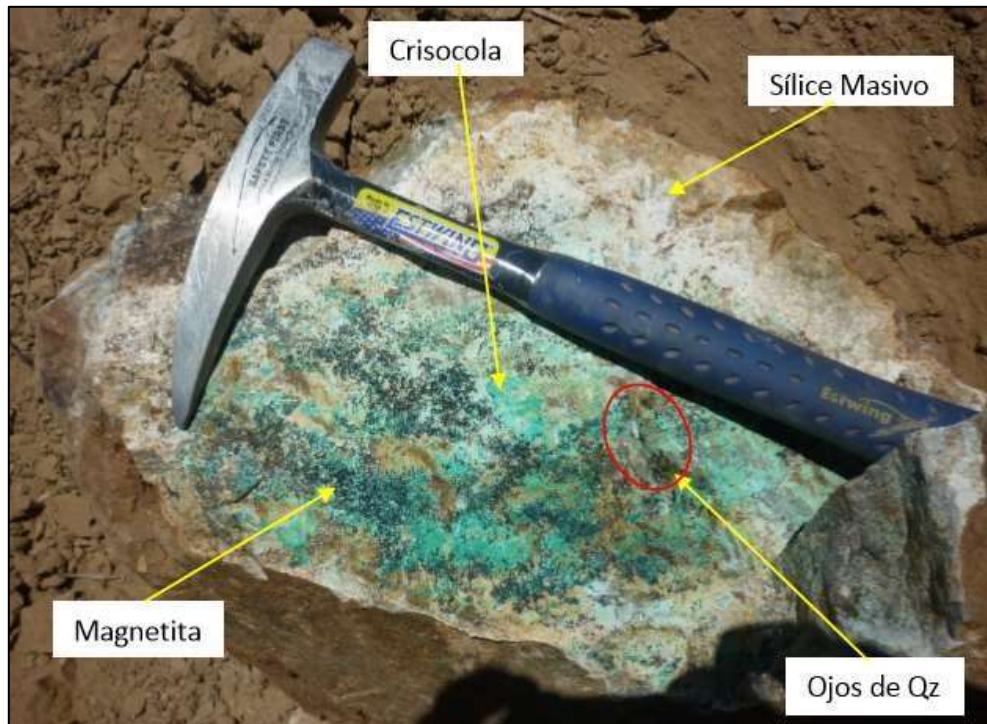


Figura 34: Rocas fresca expuesta, muestra el contenido de los minerales ya mencionados así como también algunas quedades de cuarzo con poca presencia de limonita.

#### 3.8.4. Zona 04: Veta de Óxidos

Ubicación:

Norte: 9003806 Este: 802409 Cota: 1323 msnm

Espesor Promedio superficial: 0.45m.

Ley Superficial (Au): 1.0 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 18.97 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az): 115° N

Buzamiento (Bz): 52°

Dirección de Bz (DD): 205° N

La quebrada, debido a la erosión ha dejado expuesto un cuerpo con abundante presencia de óxidos, esta muestra una estabilización de los óxidos de una forma brusca eso debido a la silicificación de las andesitas como roca caja, de esta zona se extrajeron las muestras X-3 y X-4, cada una de cada frente de la quebrada. Se recurrió a un muestreo por separado debido a que en el frente ESTE se muestra la roca más expuesta y atacada por el agua, mientras que en el Frente Oeste ha sido de mayor resistencia para los agentes superficiales que alteran frecuentemente los

afloramientos que son guías para la búsqueda de reservas económicas, se identifican minerales de Cuarzo oqueroso, Sericita, y óxidos de hierro por la limonitización, lo que da la posibilidad de la presencia de Au y Ag.



*Figura 35: Quebrada donde se aprecia el afloramiento de las venas de óxidos y con presencia de Cuarzo que es un índice claro para profundizar en estas estructuras y revisar su continuidad.*



*Figura 36: Estructura como vena rellena de óxidos, la muestra X-3 pertenece a este afloramiento. En superficie contiene 0.8 gr/Tm de Au y 8.7 gr/Tm de Ag.*





Figura 37: Estructura como vena rellena de óxidos, la muestra X-4 pertenece a este afloramiento. Contiene 1.0 gr/Tm de Au y 18.97 gr/Tm de Ag.

Ambos afloramientos nos muestran un promedio de 0.45m de espesor promedio.

### 3.8.5. Zona 05: Veta De Óxidos y Exhumación

Ubicación:

Norte: 9004219 Este: 803534 Cota: 1335 msnm.

Espesor Promedio superficial: 0.45m.

Ley Superficial (Au): 3.0 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 22.4 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az) : 133° N

Buzamiento (Bz) : 76°

Dirección de Bz (DD) : 223° N

Esta zona muestra una estructura clara con abundante limonitización, presencia de Cuarzo y sericita (Tonalidades amarillas), así como también muestra una zona oscura basada en óxidos por exhumación (escorias sin valor económico) sabemos que está asociada a procesos de oxidación, considerando que el oro en estas zonas es liberado de la oxidación de los sulfuros e incorporado en minerales que

cementan los gossans, donde el mineral aurífero está íntimamente mezclado con limonita, óxidos de Manganese y otros, es decir nos muestra una clara mineralización supérgena con amplias posibilidades y crecimiento de leyes a mayor profundidad, dependiendo de un análisis estructural de esta veta. Espesor promedio de 0.45 m en superficie.

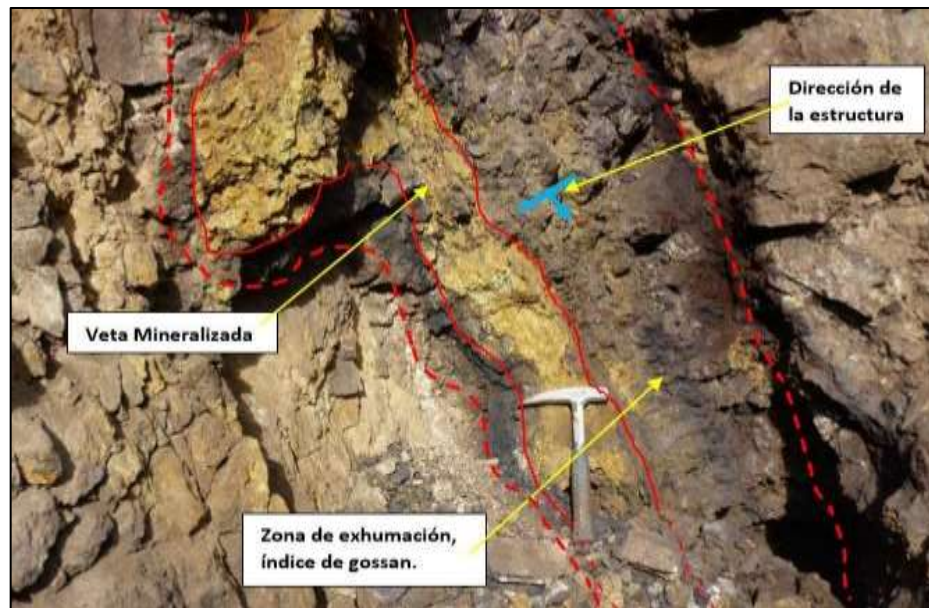


Figura 38: Estructura de la veta en global, las zonas amarillentas muestran la zona de interés.

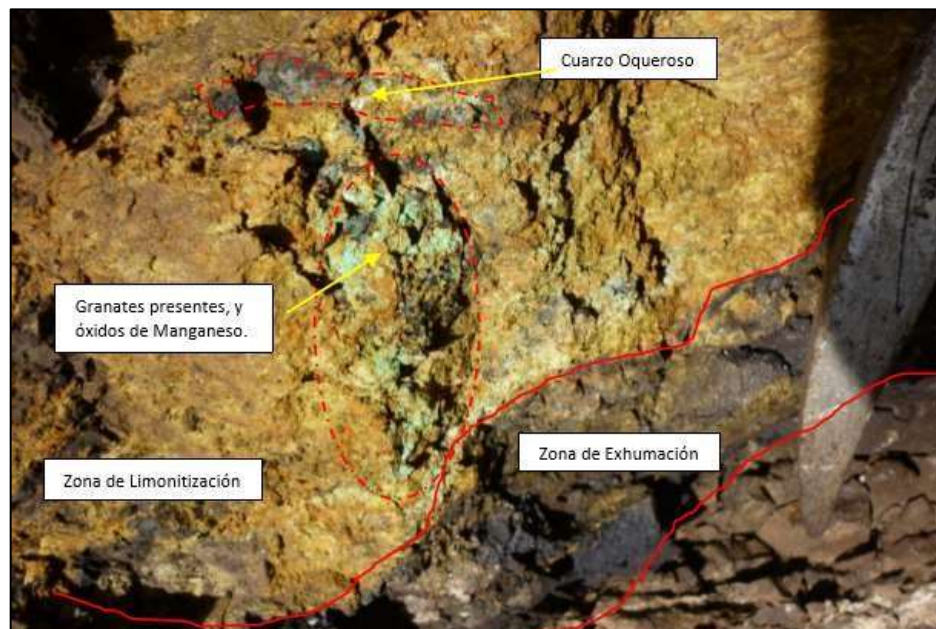


Figura 39: Estas alteraciones posteriores a la oxidación nos indican la posibilidad de más eventos con la intrusión de fluidos responsable de la mineralización, la muestra X-5 pertenece a esta labor abandonada mostrando contenido de 3.0 gr/Tm de Au y 22.4 gr/Tm. de Ag.

La imagen anterior, la diferente composición de la veta hallada, este es un buen indicio para proseguir a un muestreo en profundidad de diferentes puntos de la misma estructura con la cual podemos obtener una ley promedio geométrica sobre la cual asegurar la cantidad de mineral presente. Así mismo se realizaron algunas prácticas empíricas (Métodos Artesanales) conocidos como la Puruña, para verificar la presencia de mineral en zonas de interés como esta, mostrando una clara presencia de mineral en el resultado de esta práctica tal como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 40: Mineral visto en el resultado del método artesano aplicado en campo.

### 3.8.6. Zona 06: Dique Dacítico

Ubicación:

Norte: 9004193 Este: 802565 Cota: 1195 msnm.

Espesor Promedio superficial: 2.8m.

Ley Superficial (Au): 7.8 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 32.34 gr/Tm

Dirección del Dique:

Azimut (Az) : 125° N

Buzamiento (Bz) : 85°

Dirección de Bz (DD) : 215° N

Este es un cuerpo intrusivo de composición ácida (Dique Dacítico) con abundante presencia de limonización, como podemos ver es una estructura Sub-vertical que atraviesa el cuerpo rocoso (Granodiorita) esto nos indica una diferente pulsación en nuestro cuerpo intrusivo, así mismo presenta minerales indicadores en alteración Fílica como son (Cuarzo, Sericita, caolinita, Hematita, Goethita, Limonita y Jarosita) junto a estos se encontró Zeolitas que es un mineral indicador por su



comportamiento en las zonas de oxidación e hidratación es un silicato clave para la búsqueda de reservas minerales, se realizó un muestreo tipo rock Chip para obtener una puntuación superficial en cuanto a índice de mineralización aurífera; la estructura principal muestra un espesor promedio de 2.8 m.

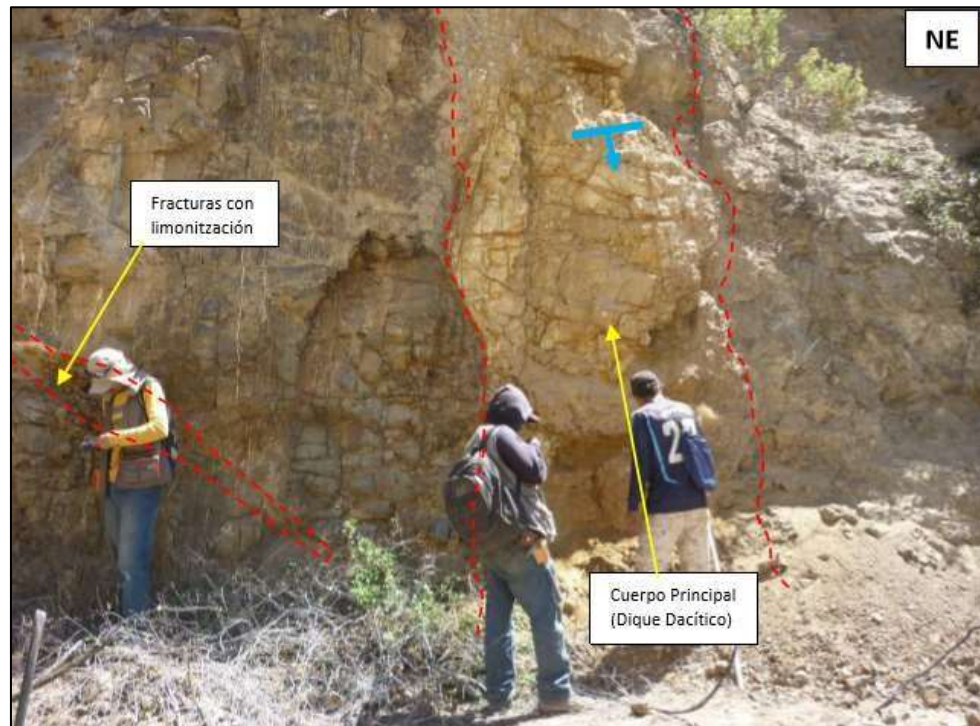


Figura 41: Dique cortando al macizo rocoso, así como generando alteración en los halos como sistemas de venillas con presencia del ensamble de la alteración Fílica, que es una guía para la posible estabilización de Au y otros metales.

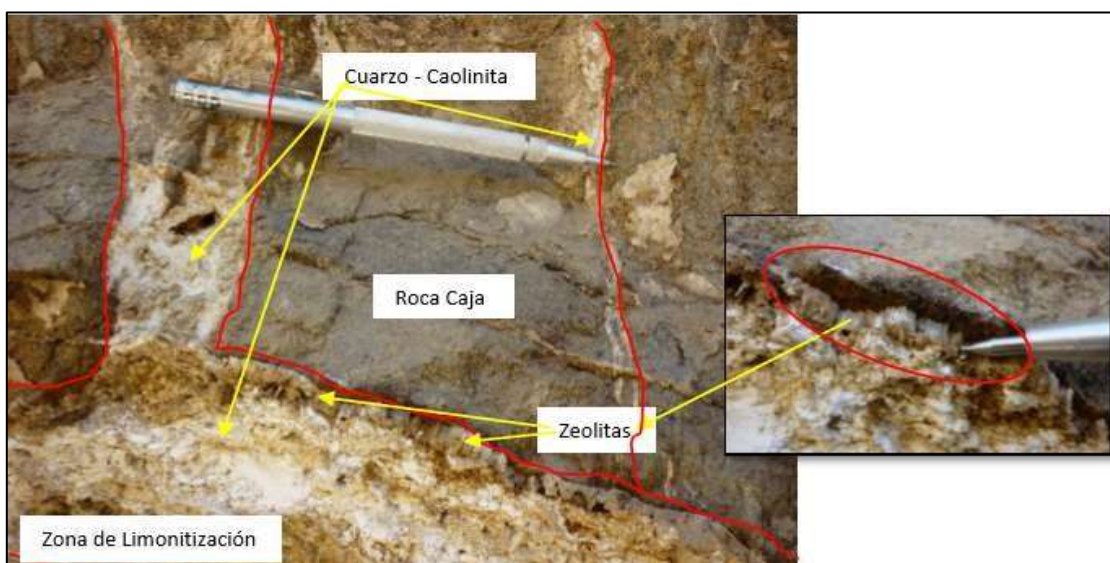


Figura 42: Distribución de minerales presentes guías para que los metales de interés puedan precipitar.

En las imágenes anteriores se aprecia la forma de presentación de las zeolitas, así como se puede distinguir también la presencia de los otros minerales guía dentro de la limonitización, se aprecia la estructura casi perpendicular y de reemplazamiento por arcillas, que nos indica más aún que este cuerpo ha sido generado en mínimo 02 eventos intrusivos, por lo que se recomienda profundizar y buscar roca fresca poco hidratada (alterada por el agua meteórica) que nos permita poder obtener mayor información de este cuerpo intrusivo.

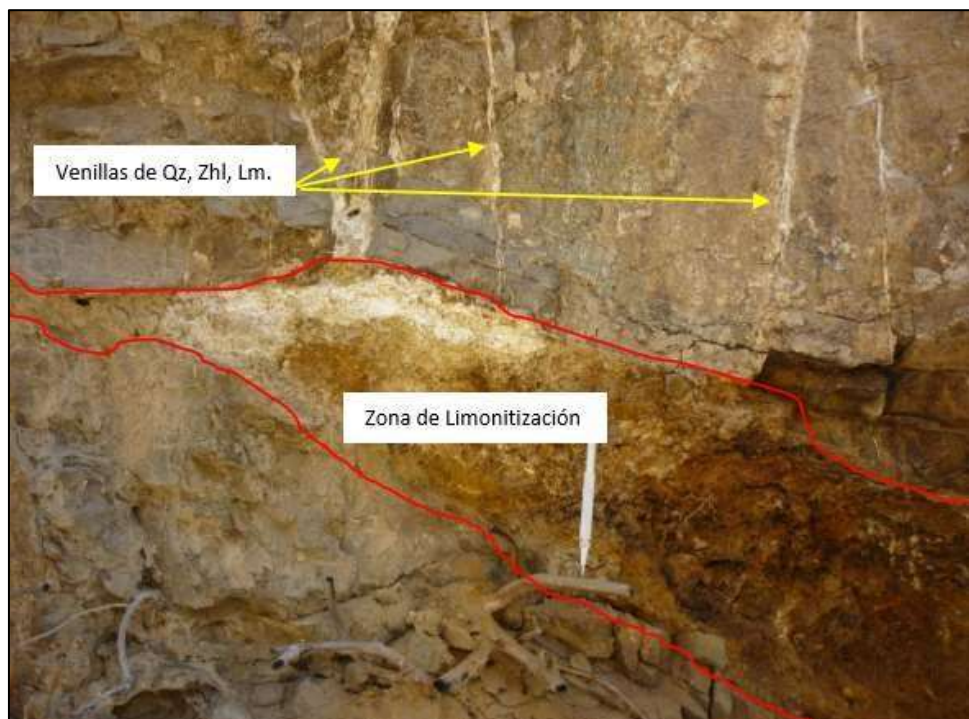


Figura 43: Limonitización en la zona de los halos (Zona de contacto) del dique de composición ácida, así mismo se aprecia mejor el sistema de venilleo casi paralelo en la parte superior.

### 3.8.7. Zona 07: Dique Dacítico 2 (Qz)

Ubicación:

Norte: 9004231 Este: 802446 Cota: 1212 msnm.

Espesor Promedio superficial: 1.8m.

Ley Superficial (Au): 0.4 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 7.77 gr/Tm

Dirección del Dique:

Azimut (Az) : 10° N

Buzamiento (Bz) : 72°

Dirección de Bz (DD): 99° N



Este es un cuerpo intrusivo de composición ácida que muestra un claro ataque de oxidación así como argilización (ataque por aguas meteóricas) debido a su alto contenido en plagioclasas es más fácil de alterar, se realizó un muestreo tipo rock chip para cerciorarse de la presencia mineral ya que hay indicios de cuarzo oqueroso y una vena de cuarzo lechoso en el halo superior, así mismo dentro de la estructura se muestran algunos ojos de cuarzo y limonita, hematita y jarocita, porque lo que no se descarta la posibilidad de un aumento de precipitación de minerales metálicos a mayor profundidad donde podamos encontrar roca fresca que nos ayude a mejorar la comprensión del sistema de mineralización.

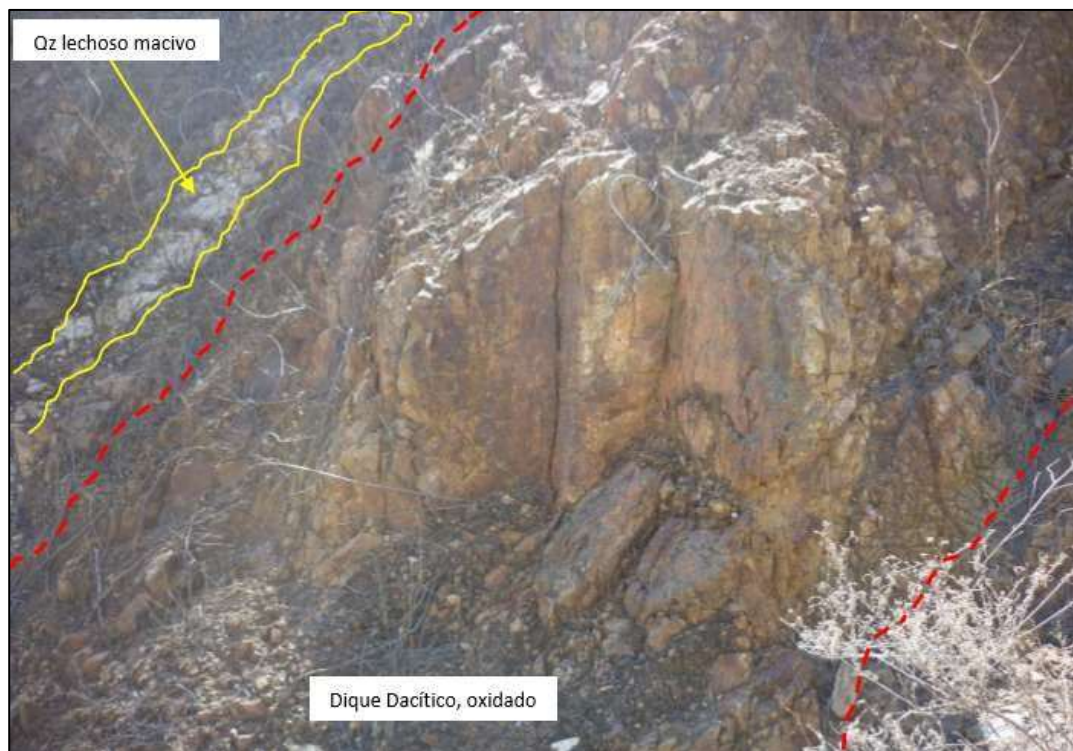


Figura 44: Dique como afloramiento en el lecho de “Quebrada seca” con abundante presencia de óxidos.





Figura 45: Zona con mayor concentración de óxidos debido quizá a una movilización por fluidos, tal como se describe en párrafos anteriores, los óxidos son compuestos móviles a ciertas condiciones de PH bajo, la muestra X-7.

### 3.8.8. Zona 08: Veta – Óxidos (Magnética)

Ubicación:

Norte: 9004638 Este: 802037 Cota: 1306 msnm.

Espesor Promedio superficial: 0.25m.

Ley Superficial (Au): 0.5 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 18.66 gr/Tm

Dirección del Dique:

Azimut (Az) : 315° N

Buzamiento (Bz) : 60°

Dirección de Bz (DD) : 226° N

Este afloramiento nos muestra una posible veta de óxidos con ensambles comunes en la zona, con presencia de cuarzo, sericita, caolinita y dentro de lavas andesíticas silisificadas como se presenta en la muestra (x-3 y X-4), óxidos de Hierro (Limonitización), la persistencia de esta es clara ya que está aflorando (expuesta).



Figura 46: Veta expuesta en superficie como indicador de la movilización de los óxidos y minerales metálicos.

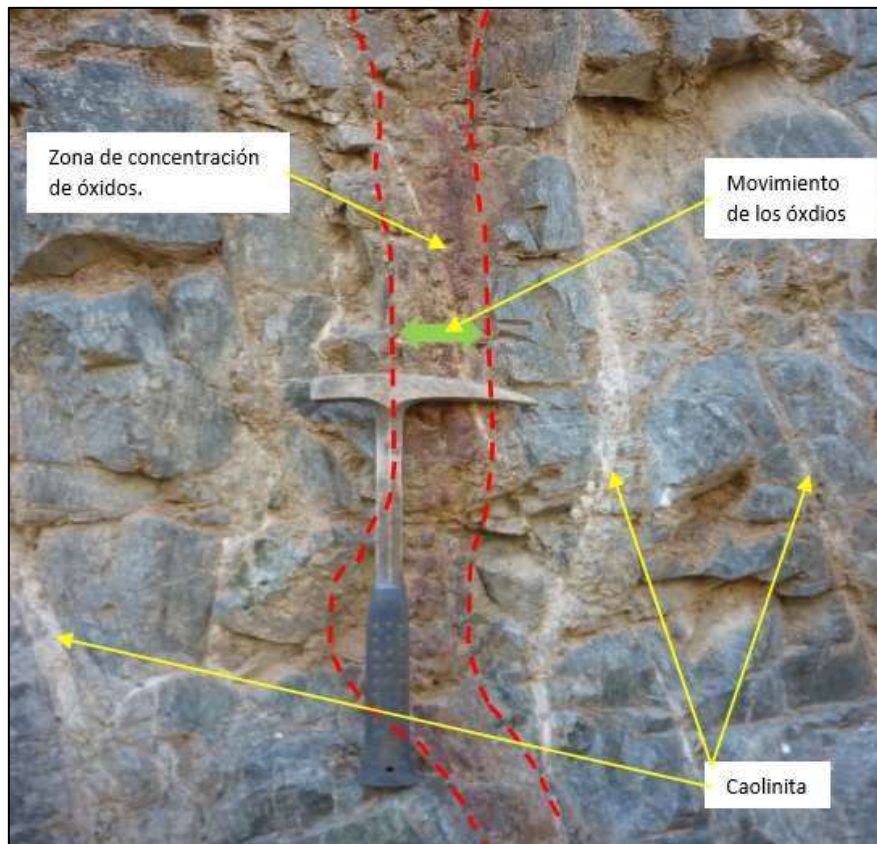


Figura 47: Zona de óxidos en su variable distribución desde un núcleo hacia los halos (oscuro a claro).

En la figura 47 se aprecia un sistema de venillas casi paralelas al mismo movimiento de los óxidos, la muestra X-8 se extrajo de esta zona, muestra claramente una hidratación por la presencia de caolinita en los alrededores (líneas blanquecinas) poca presencia de Cuarzo-Sericita pero se estima que aparezcan a mayor profundidad puesto que la caolinita es una arcilla de mayor hidratación que la sericita (Silicatos) también nos muestra una clara presencia de Magnetita (óxido de Hierro) mineral asociado a los óxidos e indicio de minerales metálicos a profundidad. La muestra presenta indicio de presencia de metales como Au y Ag con un contenido de 0.5 gr/Tm de Au y 18.66 gr/Tm de Ag.

### 3.8.9. Zona 09: Intrusivo Dacítico - Sílice

Ubicación:

Norte: 9004307 Este: 802894 Cota: 1240 msnm.

Espesor Promedio superficial: 0.5m.

Ley Superficial (Au): 0.3 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 10.89 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az) : 185° N

Buzamiento (Bz) : 74°

Dirección de Bz (DD) : 274° N

Se encuentra aflorando una estructura tipo veta silicificada con indicios de Sílice Vuggy, bastante oquerosa, así mismo cuenta con presencia de óxidos dentro de sus espacios vacíos, esto nos indica que es una zona con un fuerte ataque de lixiviación por fluidos ácidos, por lo que un afloramiento de este tipo nos lleva a restituir un sistema de intrusión de fluidos epitermales fuertes y de posible segregación en diferentes etapas. La posibilidad de mineralización en esta área es de bajas concentraciones, pero índice de cuerpos grandes a profundidad debido a que habido movilización de ácidos, quiere decir que la zona ha sido lavada trayendo consigo arrastre de minerales metálicos, se diferencian minerales presentes como Cuarzo, sericita, limonita, hematita, magnetita y algunos pocos de pirita diseminada; esta cuenta con espesor promedio de 0.50 m.



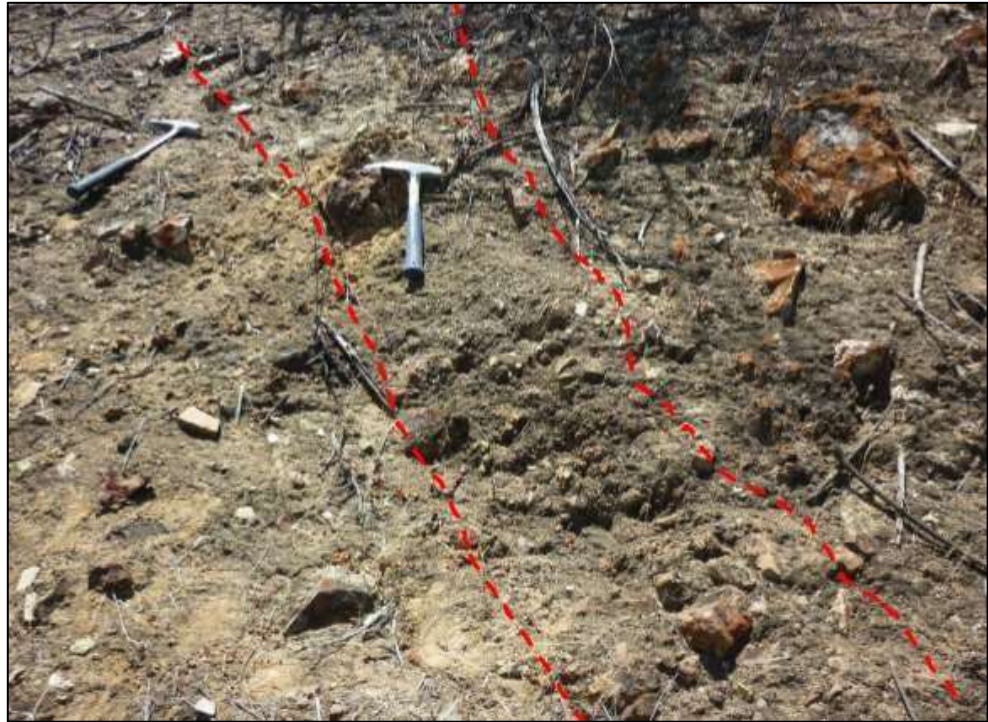


Figura 48: Se presume la dirección de la estructura debido al sistema de venilleo de cuarzo que presenta y buscando la continuidad en los alrededores del cerro donde aflora.



Figura 49: trinchera de unos 40cm de profundidad para ubicar y determinar la continuidad de la estructura de interés.



Figura 50: Estructura silicificada así como su contenido de los minerales ya descritos líneas arriba, se extrae la muestra X-9, que indica un contenido de 0.3 gr/Tm de Au y 10.89 gr/Tm de Ag.

### 3.8.10. Zona 10: Zona Óxidos

Ubicación:

Norte: 9007500 Este: 802809 Cota: 1699 msnm.

Espesor Promedio superficial: 1.5m.

Ley Superficial (Au): 4.0 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 21.77 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az) : 203° N

Buzamiento (Bz) : 74°

Dirección de Bz (DD) : 113° N

Esta zona está dominada por óxidos de hierro, la estructura es una brecha ya erosionada en superficie cubierta por depósitos cuaternarios, aun así se diferenció la presencia de Cuarzo oqueroso y limonización, también se nota sulfatos como yeso en la zona lo que solo nos lleva a pensar que es una zona ya expuesta y altamente alterada por los diferentes factores como clima, presión entre otros, se recomienda profundizar la estructura para determinar su continuidad y persistencia de la misma.





Figura 51: Estructura y su continuidad, es una zona fuertemente craquelada (fragmentos) los óxidos tienden a alojarse dentro de estos espacios entre los fragmentos, como relleno. En su mayoría está cubierta por depósitos cuaternarios del material destruido.

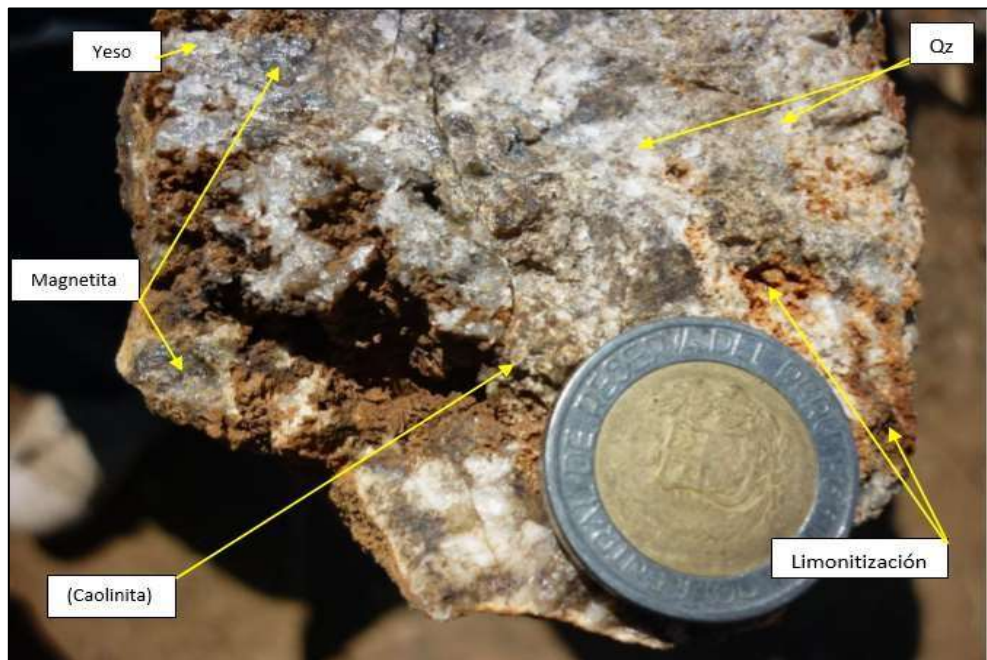


Figura 52: Minerales en su composición y relleno los espacios de vacío como se describe anteriormente.

Como notamos en las imágenes anteriores (24, 25) estas indican la presencia mineral expuesta en la zona, minerales alterados que nos da a entender que ha sufrido por un proceso de silicificación en algún evento posterior al de la formación de la brecha que permitió que este Cuarzo estabilice y pueda albergar los óxidos que traen consigo al mineral aurífero; así mismo la exposición a los agentes meteorizantes han hecho que en superficie inicien aparecer sulfatos como Yeso y arcillas de caolinita. La muestra X- 10 fue extraída de una profundidad de 0.40m aprox por lo que es necesario aun profundizar para poder analizar el comportamiento de esta estructura y su valor económico y en superficie muestra un contenido de 4.0 gr/Tm de Au y 21.77 gr/Tm de Ag.

### **3.8.11. Zona 11: Brecha - Óxidos**

Ubicación:

Norte: 9008422 Este: 803119 Cota: 1595 msnm.

Espesor Promedio superficial: 15 a 40 m.

Ley Superficial (Au): 0.5 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 16.48 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az) : 155° N

Buzamiento (Bz) : 54°

Dirección de Bz (DD): 245° N

Esta zona nos muestra una estructura tipo brecha superficialmente alterada por los agentes meteóricos, este sistema da amplias posibilidades de presencia de mineral metálico, los ensambles que muestran aun sin desintegran son Cuarzo, sericita, limonita y demás óxidos de fierro, así mismo es claro notar que debido al craquelamiento superficial este macizo ha sido altamente Argilizado por el agua (hidratación), esta inmensa estructura con claros índices superficiales de presencia de minerales metálicos que oxidados le dan esa tonalidad anaranjada –amarillenta guarda relación con los sistemas regionales de cuerpos intrusivos como son el granodiorítico y granítico, espesor promedio 15 – 40m.



*Figura 53: Continuidad de la brecha, en las tonalidades de la parte inferior se procederá a realizar el muestreo a poca profundidad debido a la estabilidad y pendiente de la zona.*





Figura 54: Labor realizada para determinar la continuidad y buscar extraer una muestra de material fresco, este sistema está totalmente alterado (Argilizado).

### 3.8.12. Zona 12: Dique Dacítico (Sulfuros)

Ubicación:

Norte: 9004358 Este: 803442 Cota: 1443 msnm.

Espesor Promedio superficial: 3 a 8m.

Ley Superficial (Au): 0.4 gr/Tm

Ley Superficial (Ag): 12.75 gr/Tm

Dirección:

Azimut (Az) : 172° N

Buzamiento (Bz) : 75°

Dirección de Bz (DD): 260° N

La estructura notada en la quebrada pertenecía a un cuerpo rodado de gran dimensión donde se distinguía básicamente pirita y un sistema de venilleo de clorita y cuarzo; en la cárcava que se encuentra a unos 8.0m al Oeste aflora una estructura de composición dacítica con abundante presencia de óxidos y cuarzo cristalizado con espacios de vacío dentro, muestra también un mayor contenido de venillas de limonitización a medida que se profundiza en este sistema intrusivo, muestra la continuidad tanto en la parte superior como la parte inferior de este dique de composición ácida; cuenta con espesor promedio de 3.0m a unos 8.0m según contacto inferido.

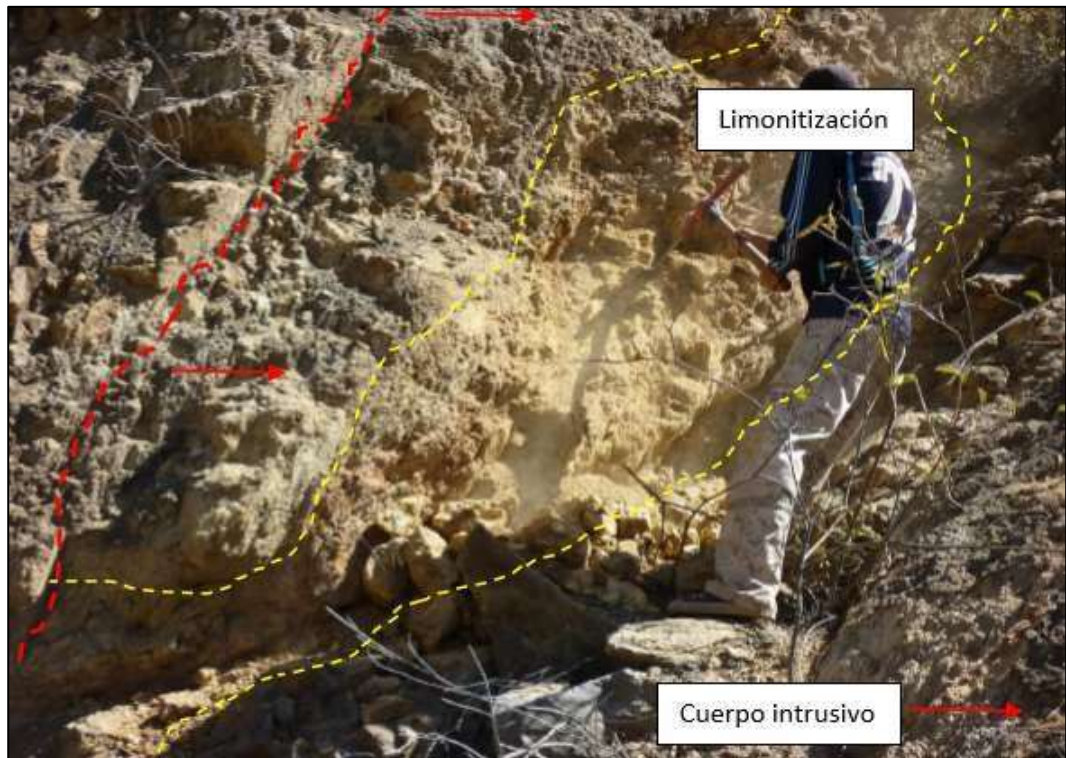


Figura 55: Zona de limonitización está aflorando en la cárcava se denota por las líneas amarillas, mientras que la línea punteada roja indica el lado oeste del cuerpo intrusivo.

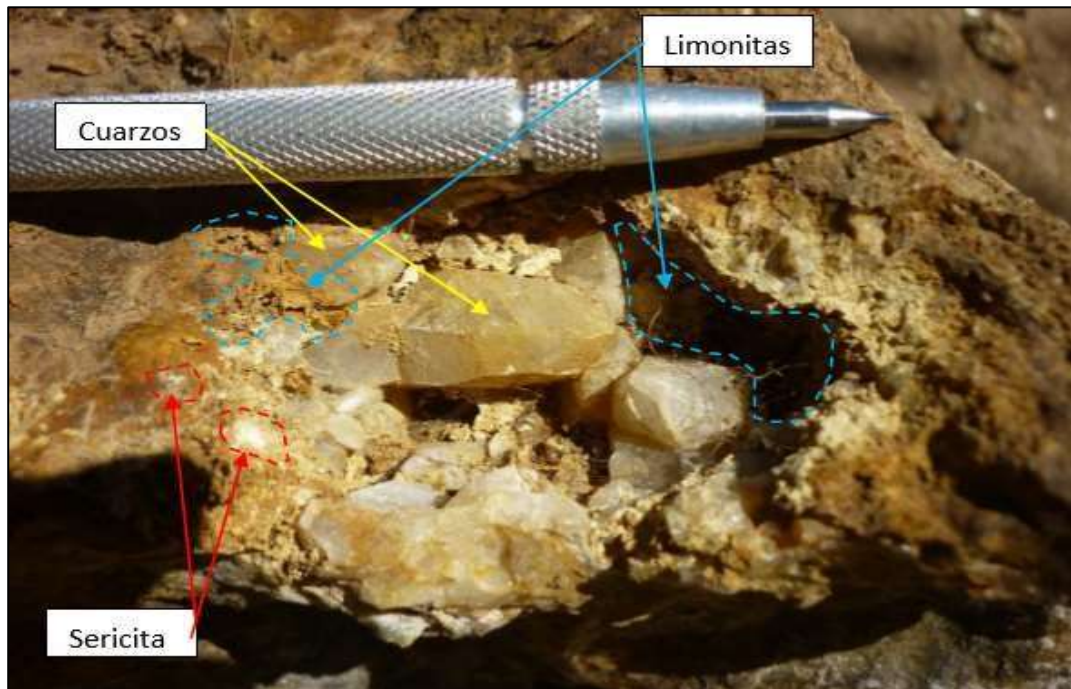


Figura 56: Presencia de cuarzo cristalizado junto a algunos pocos de Sericita y relleno de óxidos de hierro.

Las condiciones que presenta la figura 56 son habituales para la precipitación de minerales metálicos pesados que ascendieron a través de un fluido hidrotermal, la muestra X-12 pertenece a esta zona y en superficie nos da un contenido de 0.4 gr/Tm de Au y 12.75 gr/Tm de Ag.

### **3.9. Geología**

#### **3.9.1. Estructura de la Secuencia Volcano – Sedimentaria**

La secuencia que constituye la envoltura del batolito fue plegada y levantada en el intervalo entre la deposición del grupo Casma y la erupción del Grupo Calipuy. Se piensa que los pliegues anteriores a los primeros plutones del batolito se formaron en el Albiano Superior. El consecuente levantamiento ocasionó la acumulación de las capas rojas contemporáneas más hacia el Este.

#### **3.9.2. Pliegues**

El grupo Casma presenta la secuencia estratigráfica más delgada, de manera que ha sido plegada en grupos de pliegues relativamente apretados e isoclinales; los pliegues siguen rumbos de N25° a 40°O coincidentes con el rumbo andino, los ejes son sub horizontales y alcanzan hasta 15 Km. de longitud. Hacia el Este la formación Junco, constituida por flujos de lava, lavas almohadilladas y brechas macizas, no muestran pliegues isoclinales; en cambio estructuras regionales con inclinación moderada que se tornan fuertemente inclinadas a verticales en franjas muy estrechas que correspondan a zonas de fuerte deformación acompañada de esquistosidad.

#### **3.9.3. Fallas**

Las fallas en rocas encajonantes de la parte occidental, rara vez se observan en el campo, pero se han inferido algunas a partir de sus rasgos estratigráficos, intrusivos y morfológicos. En el área de estudio se observan dos sistemas de fallas, uno de dirección NO-SE claramente distinguible en el cuadrángulo de Casma y otros menos notorio que sigue una dirección NE-SO representado por algunas fallas en la parte superior.

El sistema de fallas y fracturas de rumbo andino (NO-SE) está mejor expuesto en la hoja de Casma afectando los afloramientos. Este alineamiento representa el límite oriental de la ocurrencia de lavas almohadilladas y también marca el límite oriental de plutones más recientes del batolito de la costa. Los movimientos han sido mayormente verticales, sin embargo, también se presentan fracturas de tensión que indican un movimiento sinistral.





*Figura 57: Fallas generadas por el movimiento andino.*

### **3.10. Descripción de las actividades a realizar Post exploración:**

El objetivo del proyecto de exploración, es confirmar, mediante un programa de exploración superficial por medio de trincheras y calicatas, la extensión económica del área mineralizada con contenido polimetálico (Au, Ag, Zn y CU), comprende además la habilitación de accesos y construcción de barreras e instalaciones auxiliares.

El área total a explorar es de 1000 Ha. En el proyecto de Exploración “Cerro Negro” se realizará el muestreo en socavones antiguos y abandonados elaborados por minería artesanal pre colombina, así mismo como llevar a cabo muestreos para geoquímica superficial por alteraciones como muestreos tipo Rock Chip.

Las actividades están programadas para su inicio una vez que se cuente con la aprobación del presente estudio.

El tiempo estimado para la ejecución de la exploración es de 24 meses, según programación a corto plazo.

### **3.10.1. Accesos:**

Se utilizará principalmente los accesos existentes, así como diseñar alguna vía principal a la zona de estudio, por lo que estamos hablando de 6,850 metros lineales de accesos. El ancho de los accesos no será mayor de 3 metros, lo suficiente para trasladar máquinas y al personal junto a la supervisión del programa.

### **3.10.2. Campamento:**

Se realizará un campamento provisional cercano a la zona de exploración, hasta que se establezca la permanencia del personal.

### **3.10.3. Almacén de Combustibles**

No se tendrá almacén de combustibles en las operaciones ya que el abastecimiento de este será de forma requerida y alimentado por una cisterna cuando se la solicite. Teniendo un centro de abastecimiento a 14 Km del proyecto en la localidad de Jimbe.

### **3.10.4. Almacén de insumos**

De igual manera no se tendrá almacén de insumos en el área del proyecto, los insumos se llevarán según el requerimiento para evitar la sustracción de los mismos.

### **3.10.5. Comedor**

No se requiere de comedor en el área de operaciones ya que habrá personal que trasladará sus alimentos diariamente desde el pueblo de Santo Domingo.

### **3.10.6. Tanque de Agua**

Para almacenamiento de agua industrial, no se requiere, se tiene previsto instalar un tanque de polietileno de 1.0 m<sup>3</sup> de capacidad de agua potable.

### **3.10.7. Depósito Temporal de Residuos**

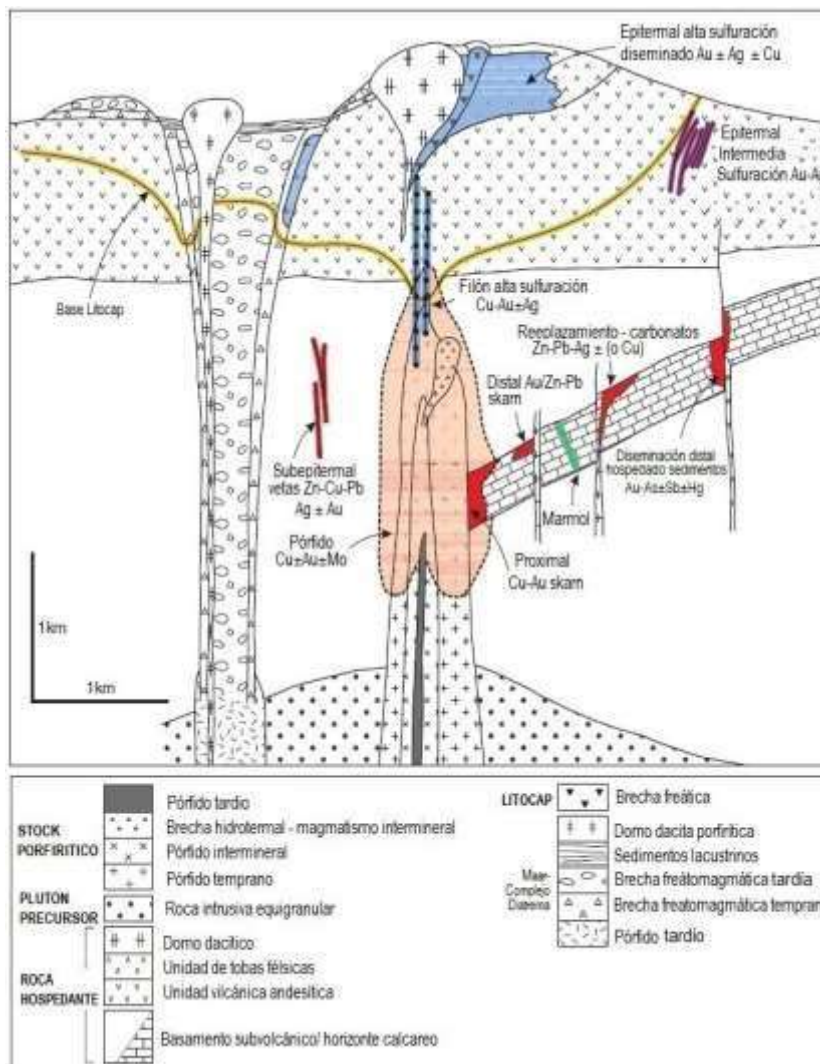
Con respecto a los residuos que se generen durante esta campaña, estos serán de poca variedad y volumen, por tratarse de trabajos de exploración minera. Para el manejo de residuos se instalará cilindros rotulados colocados sobre una plataforma de madera de 4.0 m x 2.0 m, dichos cilindros una vez llenos se utilizarán bolsas de residuos y se las trasladará a la planta de tratamiento de Nuevo Chimbote, donde será su disposición final y en cuanto a residuos domésticos que se puedan generar, se realizará una trinchera para residuos sólidos.

### **3.10.8. Personal de trabajadores para el Proyecto**

Se estima poco personal para esta etapa de exploración.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1. Depósitos Relacionados al sistema de mineralización de concesión Cerro Negro I - Exploraciones



Depósitos Tipo:

✓ Pórfido

✓ Skarn

✓ Epitermal Intermedia

Sulfuración (IS)

✓ Epitermal de Alta

Sulfuración (HS)

Figura 58: Distribución de los diferentes estilos de mineralización, relacionados a un sistema de pórfido teniendo en cuenta la zona epitermal (Sillitoe, 2010).

Según el modelo de Sillitoe, en este caso específico los sistemas de skarn podría ser una alternativa, debido a que la campaña de prospección ha sido propiamente superficial y empírica con muestras macroscópicas, pero con rocas de caja diferentes (ricas en calcio) como pueden ser muestras calcáreas reemplazadas, que actualmente se encuentran silicificadas, así como lutitas alteradas.



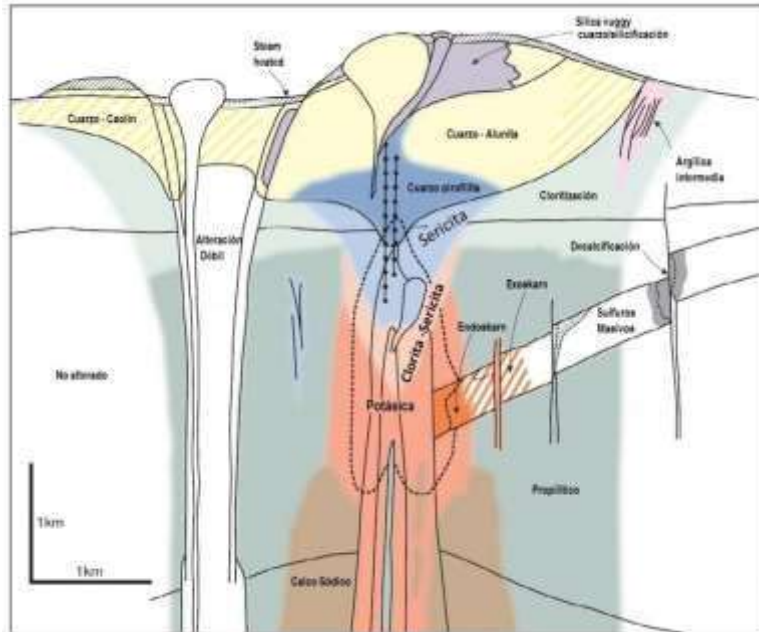
Así también se encontraron distintos puntos en los cuales se observaron venillas de Stockwork, que son una serie de fisuras dicotómicas y ramificadas a gran escala, llenas de materia mineral. El término no se aplica generalmente a sistemas de pequeña escala como los que pueden producirse en zonas brechificadas. Si las venillas contienen una mena es necesario trabajar la masa en conjunto, ya que las vetas son demasiado delgadas y están demasiado juntas como para ser explotadas individualmente, estas venillas son de tipo D y tipo M.

La superficie donde se encuentran estas vetas son generalmente Oxidadas, En un mineral oxidado, el material del mineral ha sido oxidado o erosionado, posiblemente en un área que es atípica de los yacimientos sulfuros primarios, y para los cuales se requiere algún tipo de procesamiento especial.

La oxidación y otros procesos de alteración hidrotermal llevan a la descomposición de la estructura de la roca, lo que causa un aumento en la permeabilidad. Esto usualmente permite que se obtengan altas extracciones por lixiviación mediante la lixiviación en pilas de una mineral directo de mina; aunque, el tamaño de las partículas de minerales puede ser muy grueso.

Una característica perjudicial de la oxidación y alteración de la roca es la formación de importantes cantidades de sílica hidratada, amorfa y/o pobremente cristalina, minerales de arcilla, sales de sulfato y fases ganga de óxido e hidróxido. Algunas de estas fases tienen solubilidad relativamente alta en con munición y lixiviación con cianuro; y pueden servir como fuertes cianicidas (consumidores de cianuro), debido a la formación de áreas extremadamente grandes y de fresca superficie con un alto potencial de absorción.

## 6.2. Alteraciones Relacionadas al sistema de mineralización de Concesión Cerro Negro I



### Estilos de alteración:

- ✓ Steam heated
- ✓ Argílica avanzada
- ✓ Silicificación (vuggy - masivo)
- ✓ Argílica
- ✓ Filica
- ✓ Argílica Intermedia
- ✓ Propilítica
- ✓ Skarnización
- ✓ Calciosilicatada
- ✓ Potásica

Figura 59: Modelo generalizado de los patrones de alteraciones y mineralización en sistema tipo pórfido con sobre imposición del sistema epitermal (Sillitoe, 2010).

### 6.2.1. Condiciones Generales del Transporte Hidrotermal

#### 6.2.1.1. Potencial de Oxidación:

Los ligantes transportantes de oro generalmente necesitan un bajo estado de oxidación del fluido HT.

#### 6.2.1.2. Composición del Fluido:

El rango de salinidad del fluido varía desde menos de un 1% hasta un 12% (pórfidos).

#### 6.2.1.3. pH:

Generalmente el pH de fluidos bajos.

- Estancamiento del fluido magmático puede ser un requisito para el desarrollo de depósitos ricos en Au.
- Rocas de caja impermeables ayudan al estancamiento pues minimizan disipación lateral y vertical de los fluidos.

### 6.3. Caracterización Geoquímica Superficial:

Tabla 3: Resultados de muestreo superficial.

ZONAS	Ley Superficial	
	Au (gr/TM)	Ag (gr/TM)
Zona 01: Brecha Crack	1.1	12.75
Zona 02: Lavas Andesíticas	-	-
Zona 03: Sistema Intrusivo	1	31.1
Zona 04: Veta De Óxidos	1	18.97
Zona 05: Veta De Óxidos y Exhumación	3	22.4
Zona 06: Dique Dacítico	7.8	32.34
Zona 07: Dique Dacítico 2 (Qz)	0.4	7.77
Zona 08: Veta – Óxidos (Magnética)	0.5	18.66
Zona 09: Intrusivo Dacítico - Sílice	0.3	10.89
Zona 10: Zona Óxidos	4	21.77
Zona 11: Brecha - Óxidos	0.5	16.48
Zona 12: Dique Dacítico (Sulfuros)	0.4	12.75

### 6.4. Cuerpos Mineralizados

Teniendo como caja sílice masivo, este cuerpo posiblemente guarde cierta relación con el sistema de venilleo que se explica en el ítem anterior, este nos muestra un alto contenido de Magnetita, presente como relleno de los espacios vacíos y fracturas, también presenta minerales como Crisocola y Pirolusita acompañando al mineral anterior, al parecer este sistema ha sufrido alguna deformación o interrupción durante su formación, se estima que la persistencia de este cuerpo sea amplia y de alta profundidad por la continuidad que presenta en superficie. (Índice de la zona de oxidación para una continuidad en profundidad con presencia de sulfuros).

## **CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN**

### **7.1. Caracterización Geoquímica.**

Mediante la caracterización geoquímica superficial, el potencial mineral en la zonas establecidas determina que existen altos índices de presencia de mineral con utilidad económica y están alineados con tendencias de NW – SE. El cuerpo de origen aún no se determina. Los valores que presentan los puntos muestreados son índices claros de la presencia de mineral de interés económico (Au, Ag, Fe) en 6 diferentes zonas determinadas de las zonas estudiadas en el proyecto y preferentemente en la zona del dique dacítico y zona de óxidos.

### **7.2. Mineralización económica.**

De acuerdo a la caracterización geoquímica superficial, se determina que el yacimiento es polimetálico con muy buenos indicios de mineralización con utilidad económica es en la zona 6 del dique dacítico con 7,8 gr/Tm de Oro y 32.34 gr/Tm en la zona 10 zona óxidos, con 4 gr/Tm de Oro y 21.77 gr/Tm de Plata.

La zona determinada pobre en este primer estudio de caracterización geoquímica superficial es la zona 07 Dique Dacítico 2 (Qz), con bajo contenido de oro con 0.4 gr/Tm.

### **7.3. Zonas de Interés Mineralógico.**

De las 12 zonas de estudio de caracterización geoquímica superficial, se determinaron 6 zonas de mineralización de utilidad económica, dentro de ellas se encuentran en las brechas, sistemas intrusivos, vetas y zonas de óxidos y principalmente en el dique dacítico.

Las mayores concentraciones de mineral de interés económico, se encuentran en la zona del dique dacítico y la zona de óxidos.

## CONCLUSIONES

1.- Se Determinó la importancia de la influencia de la caracterización geoquímica superficial en el potencial mineral de la mina Cerro Negro 1, Distrito de Cáceres del Perú-Jimbe, Provincia del Santa, de la Región Ancash – 2016. Para la posible explotación del proyecto minero.

2.- El estudio de caracterización geoquímica superficial en el proyecto minero Cerro Negro 1, se determinó las zonas más representativas con utilidad económica a través de la toma de muestras de interés mineralógico y mediante análisis de laboratorio, determinándose La ley superficial de gr/Tm de las zonas con predominancia de cuerpos mineralizados con potencial económico, el estudio de caracterización geoquímica superficial con mayor incidencia son: en la zona 6, correspondiente a un dique dacítico, el oro se reporta 7.8 gr/Tm y la plata 32.34 gr/Tm, así como en la zona 10 zona de óxidos con 4,0 gr/Tm de oro y 21,77 gr/Tm de plata por lo que estos valores encontrados de estas zonas es un buen indicio para la caracterización geoquímica superficial realizada en esta etapa para su posible explotación minera, del proyecto minero Cerro Negro 1.

3.- Además las zonas de interés mineralógico está conformada por 02 grandes cuerpos intrusivos: El primero de composición granodiorita de un sistema de composición ácida – intermedia y un segundo cuerpo es de granitos de un cuerpo de composición ácida, en su mayoría la zona está cubierta por depósitos de lavas andesíticas. En zonas proximales a las zonas de contacto de lavas andesíticas con clastos oolíticos y alargados, así mismo los sistemas posteriores de ascensión son diques Dacíticos de composición ácida identificados son los responsables de la mineralización en diferentes pulsos magmáticos (eventos y/o secuencias de ascensión de fluidos). Estos cuerpos en su mayoría están altamente meteorizados en superficie debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos también presentan algunas intrusiones paralelas de cuarzo masivo. Por ultimo grandes zonas están cubiertas por depósitos cuaternarios y conglomerados de unos 9 a 12m de espesor. Tectónicamente en las zonas exploradas tenemos estructuras comunes como Diques y brechas, todas ellas con indicio de mineralización, debidamente se denotan las alteraciones Fílica, Propilítica y Argílicas junto a los índices de limonitización y gossan encontrados en la zona, nos llevan a pensar en un yacimiento tipo Epitermal de Baja Sulfuración asociado a las diferentes pulsaciones de los cuerpos intrusivos subvolcánicos, relacionados a un pórfido Granodiorítico como responsable de la mineralización.



## RECOMENDACIONES:

- Con la determinación de la importancia de influencia de la caracterización geoquímica superficial, en las zonas de mayor interés económico, se deben hacer más estudios de mineralización y potencial minero.
- Realizar más muestreos, en las zonas de mayores resultados de minerales de interés económico, según trazo de polígonos en cada estructura identificada, para obtener las leyes promedio a medida de cada una
- Realizar un cartografiado a escalas mayores, 1:2500 o 1:1500, para obtener la influencia de caracterización superficial mineralógica con mayor detalle en las zonas de mayor interés económico.

## REFERENCIAS

- Azálgara, M. (2013). *Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Programa de Mantenimiento de Fajas Transportadoras en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. Piura.*
- Cámara Minera del Perú. (2017). *Proyectos Mineros de Inversión: Evaluación Técnico - Económica. Perú Minero*, 18-56.
- Cruz, H. (2016). *Estudio de Factibilidad de la Explotación de la Cantera Caimital en el Municipio de Turbaco (Bolívar).* Bogotá.
- GeoMinero. (2012). *Manual de Evaluación Técnico - Económica de Proyectos Mineros de Inversión.* Madrid.
- Husillos, R. (2013). *Proyectos Mineros y Energéticos.* España.
- León, G. (2015). *Análisis de Inversión y Rentabilidad de un Proyecto Aurífero a Nivel de Estudio de Factibilidad.* Lima.
- Luna, J. (2015). *Análisis Económico Financiero de Proyectos Mineros de Inversión - Evaluación del Proyecto Corani.* Luna.
- Martinez, J. (2012). *Aspectos Referidos al Dimensionamiento Técnico – Económico de Proyectos Mineros de Inversión.* Buenos Aires.
- Mendoza, O. (2012). *Cajamarca: ¿un cluster minero?* Cajamarca, Perú: Universidad César Vallejo.
- Meres, I. (2014). *Evaluación de Riesgos Asociados a Proyectos de Inversión Minera: Caso Mina Cuprosa.* Lima.
- Naranjo, R. (2014). *Modelo de Riesgo para la Evaluación Económico Financiera de Proyectos Mineros.* Sevilla: Universidad Politécnica de Madrid.
- Pino, A. (2013). *Minera Gabriela Mistral: ¿Una Buena Opción de Inversión para Chile?* Santiago de Chile.
- Rojas, C. (2013). *Propuesta Metodológica para la Valoración Económica de Recursos Minerales en el Marco del Desarrollo Sostenible.* Medellín.
- Zamalloa, D. (2014). *Análisis del impacto de la presencia de actividad minera sobre la pobreza a nivel distrital de la región Cajamarca, entre los años 2012 y 2014.* Cajamarca: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

## ANEXOS



*Figura 60: Stockwork, Venillas tipo D – Cuarzo – Pirita.*



*Figura 1: Mismo punto de referencia, venillas de Clorita – Pirita.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>STOCKWORK</b>	9008976	803768





*Figura 62: Contacto entre óxidos de Hierro, y Sulfuro.*



*Figura 63: Zona aparentemente lixiviada.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>DIQUE SULFURATION</b>	9004361	803395



*Figura 64: Micro - fallas evidencian la dirección del control estructural en fallas normales.*



*Figura 65: Venillas Tipo M de magnetita – actinolita, controladas por estructuras de falla normal.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>STOCKWORK / FALLAS</b>	9004360	803452





*Figura 66: Zona de Oxidación supérgena.*



*Figura 67: Punto de Óxido de hierro, presencia de limonita.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>ZONA DE OX.</b>	9003911	803494



Figura 68: Muestreo por Surco, en la intersección de la extensión de la zona supergena de Oxidación.



Figura 69: Dirección paralela al eje de la cuenca, de la zona de oxidación.

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>PROY. OX</b>	9003890	803505





*Figura 70: Contacto, entre la zona de oxidación y lutitas alteradas.*



*Figura 71: Delimitación de la zona de contacto.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>CONTACTO OX. - ROCA</b>	9003879	803506



Figura 72: Bocamina de beta 1, en la cual se muestra halos de oxidación, entre una roca circundante Calcárea, e hidróxido, con contenido aurífero.



Figura 73: Zona aparente de una posible estructura de ExoSkarn, por la presencia de Granates.

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>BETA 01</b>	9004219	803528





Figura 74: Beta auxiliar la cual se ubica en el flanco izquierdo del frente de la cuenca. BETA DE 20 gr.



Foto 75: Toma de Muestra.

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>BETA AUXILIAR</b>	9004620	804118





*Figura 76: Bocamina indicios de proyección de la beta.*



*Figura 77: Zona de Oxidación presencia de sulfuros primarios Bornita, pirita; Muestra de mano.*

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>BETA 02 BOCAMINA</b>	9004570	804433



Figura 2: Proyección de la Beta 2, que se puede considerar como una beta principal, q contiene óxidos y sulfuros primarios. BETA DE 27gr.



Figura 79: Muestra de mano, que contiene Sulfuros primarios, pero se encuentra en la zona de oxidación.

PUNTO	DATUM (WGS84)	
	NORTE	ESTE
<b>BETA 02 - PROYECCIÓN</b>	9004584	804481





*Figura 80: Afloramiento de lavas andesíticas con algunas venillas de Cuarzo y presencia de Clorita.*



*Figura81: Lavas andesíticas cerca del contacto con el intrusivo Granodiorítico, con presencia de clastos y oolitos.*



*Figura 82: Vista panorámica al Sur-Oeste de la extensión del proyecto “Cerro Negro”.*



*Figura 83: Vista panorámica al Nor-Oeste de la extensión del proyecto “Cerro Negro”.*





Figura 84: Realización de taladros para la utilización de explosivos, con la finalidad de exponer roca fresca.



Figura 85: Realización de puruñado (trabajo artesanal) para la visualización del mineral aurífero.



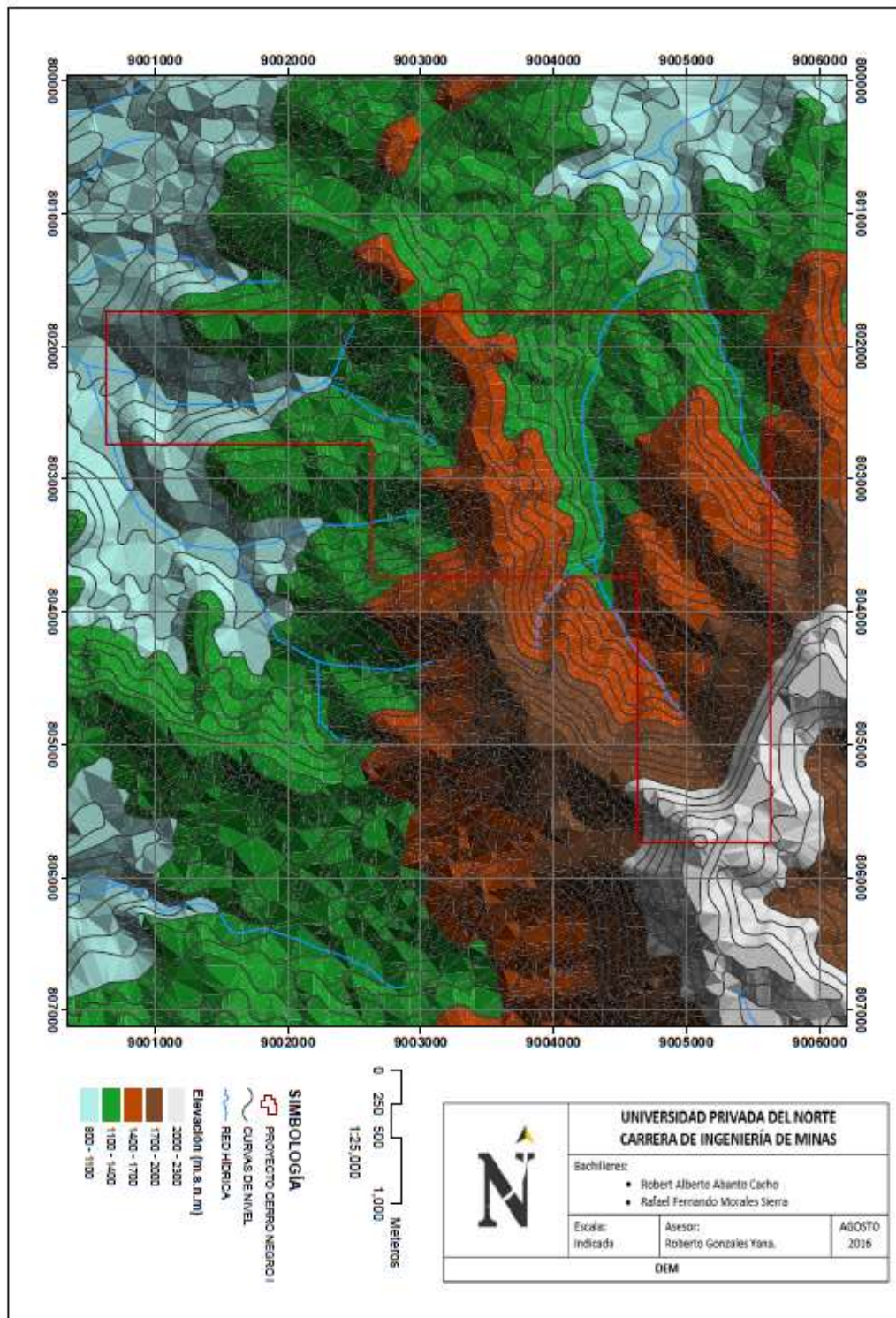


Figura 86: Plano Topográfico de la Concesión Cerro Negro 1

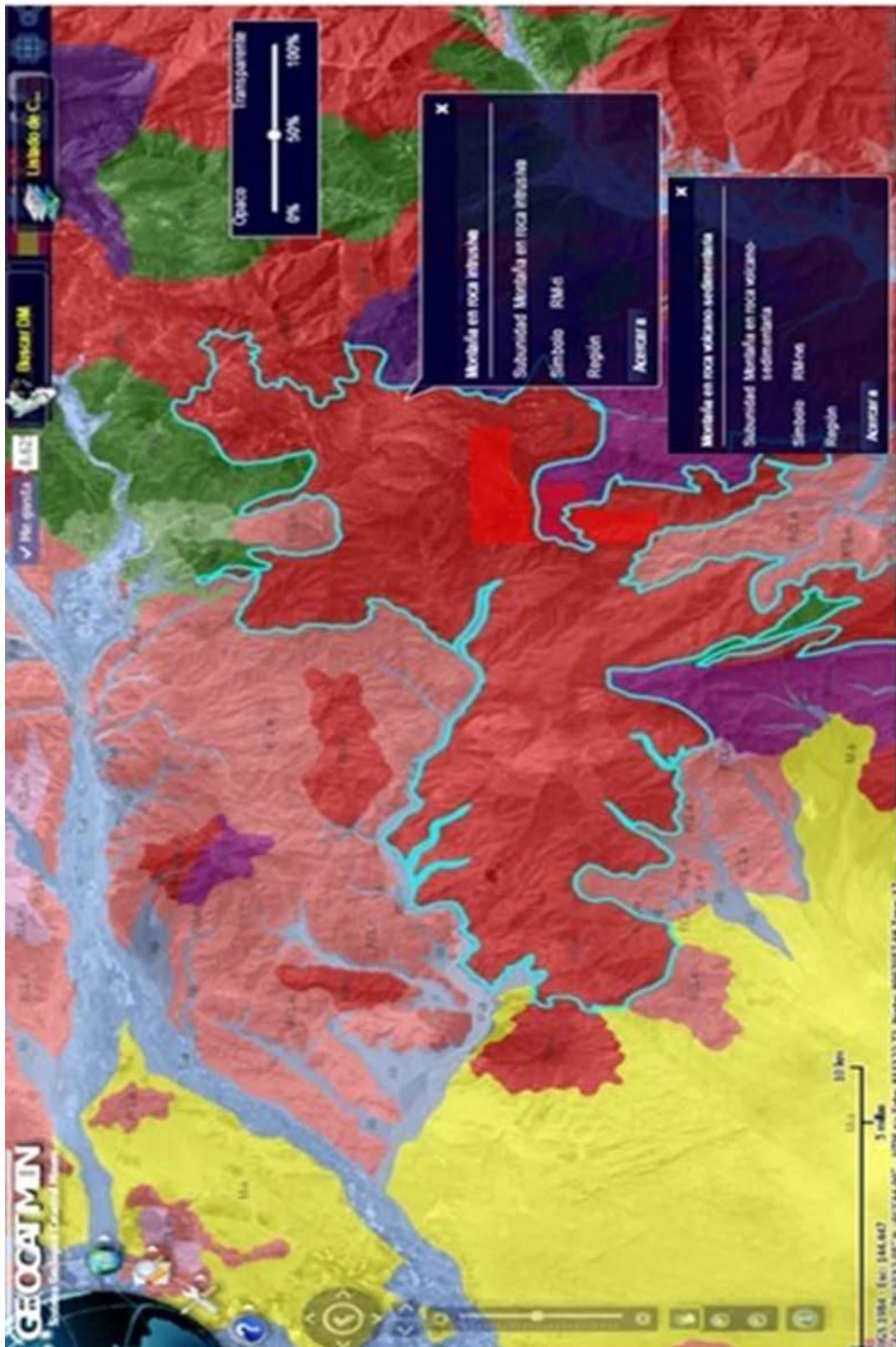


Figura 87: La litología de la zona está conformada por 02 grandes cuerpos intrusivos de la Concesión Cerro Negro 1