



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALOGÍA EN LA VETA MURCIÉLAGO PARA DETERMINAR EL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN LA MINA PAREDONES, PROVINCIA DE SAN PABLO, REGIÓN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Lucas Aguilar Bardales

Bach. Luis Alejandro Izquierdo Linares

Asesor:

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Lucas Aguilar Bardales y Luis Alejandro Izquierdo Linares**, denominada:

**“CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALOGÍA EN LA VETA MURCIÉLAGO
PARA DETERMINAR EL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN LA MINA
PAREDONES, PROVINCIA DE SAN PABLO REGIÓN CAJAMARCA”**

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
ASESOR

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

Ing. Víctor Álvarez León
JURADO

Ing. Wilder Chuquiruna Chávez
JURADO

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de tesis a Dios y a nuestros padres. A Dios porque ha estado con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación, siendo nuestro apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentaba sin dudar ni un solo momento en nuestra inteligencia y capacidad. Es por ello que ahora somos lo que somos.

Lucas Aguilar Bardales.

Luis Alejandro Izquierdo Linares.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por habernos guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de nuestras familias, a nuestros Padres, hermanos y a todos nuestros tíos; por siempre habernos dado su fuerza y apoyo incondicional que nos han ayudado y llevado hasta donde hemos llegado ahora. Por último a mis compañeros de estudio, profesores; porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi director de tesis que nos ayudó en todo momento.

Lucas Aguilar Bardales.

Luis Alejandro Izquierdo Linares.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Justificación.....	13
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i>	13
1.3.2. <i>Justificación Aplicativa o Práctica</i>	14
1.3.3. <i>Justificación Valorativa</i>	14
1.3.4. <i>Justificación Académica</i>	14
1.4. Limitaciones	14
1.5. Objetivos	14
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	14
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases Teóricas	17
2.2.1. <i>Recursos minerales:</i>	17
2.2.2. <i>Tipos de Recursos</i>	17
2.2.2.1. <i>Recursos minerales metálicos:</i>	17
2.2.2.2. <i>Las Rocas y minerales industriales:</i>	17
2.2.3. <i>Técnicas de Valuación de Reservas</i>	18
2.2.3.1. <i>Técnicas geológicas</i>	18
2.2.3.2. <i>Técnicas geofísicas</i>	18
2.2.3.3. <i>Técnicas geoquímicas</i>	19
2.2.3.4. <i>Otras técnicas de valuación</i>	20
2.2.4. <i>Yacimiento Epitermal</i>	21
2.2.5. <i>Mineralización Epitermal</i>	21
2.2.6. <i>Fluidos Epitermales</i>	21
2.2.7. <i>Clasificación de los Depósitos Epitermales</i>	22
2.2.7.1. <i>Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración</i>	23

	Pág.
2.2.7.2. Depósitos Epitermales de Sulfuración Intermedia	24
2.2.7.3. Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración.....	25
2.2.8. Ambiente Tectónico	27
2.2.9. Controles Geométricos.....	28
2.2.9.1. Control Estructural	29
2.2.9.2. Control Hidrotermal	29
2.2.9.3. Control litológico.....	31
2.2.10. Características Superficiales	32
2.2.10.1. Zonas de lixiviación ácida	32
2.2.10.2. Sintors	34
2.2.11. Método de Corte y Relleno	36
2.2.11.1. Obras de Preparación	36
2.2.11.2. Obras de Desarrollo	36
2.2.11.3. Explotación de los Rebajes.....	37
2.2.11.4. Extracción del Mineral.....	38
2.3. Definición de términos básicos	38
2.3.1. Alta y Baja Sulfuración:	38
2.3.2. Caracterización.....	39
2.3.3. Controles Geológicos:	39
2.3.4. Emplazamiento:	39
2.3.5. Epitermal:.....	39
2.3.6. Exploración:	39
2.3.7. Fluido:	39
2.3.8. Hidrotermal:	39
2.3.9. Mina	40
2.3.10. Minería Subterránea	40
2.3.11. Veta:	40
2.3.12. Yacimiento:	40
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	41
3.1. Formulación de la hipótesis	41
3.2. Variables	41
3.3. Operacionalización de variables	41
CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS	43
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	43
4.2. Material de estudio.....	43
4.2.1. Unidad de estudio.....	43
4.2.2. Población.....	43
4.2.3. Muestra.....	43
4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	43
4.3.1. Procedimientos y Técnicas de Recolección de Datos	43
4.3.2. De análisis de información.....	47
CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....	50
5.1. Ubicación:	50
5.1.1. Ubicación Geográfica:	50

	Pág.
5.2. Accesibilidad	52
5.3. Levantamiento Topográfico de la Veta Murciélago	53
5.3.1. <i>Croquis</i>	53
5.3.2. <i>Cálculo de los Azimut de la Triangulación N° 1</i>	54
5.3.3. <i>Hoja de Cálculo de la Triangulación N° 2</i>	55
5.3.4. <i>Correcciones de la Triangulación</i>	57
5.3.5. <i>Hoja de Cálculo del Socavón N° 1</i>	58
5.3.6. <i>Cálculo de los Azimut del Socavón</i>	59
5.3.7. <i>Cálculo de los Ángulos Horizontales</i>	59
5.3.8. <i>Cálculo de los Ángulos Verticales.</i>	60
5.3.9. <i>Calculo de la Distancia Horizontal.</i>	60
5.3.10. <i>Cálculo de la Distancia Vertical</i>	60
5.3.11. <i>Cálculo de las Correcciones</i>	61
5.3.12. <i>Datos Corregidos de la Triangulación</i>	61
5.4. Climatología	62
5.5. Geología General.....	63
5.5.1. <i>Corredor Estructural San Pablo – Porculla en el Norte del Perú</i>	63
5.6. Geología Estructural	64
5.7. Estructuras Mineralizadas.....	64
5.8. Emplazamiento Mineralógico de la Veta Murciélago	65
5.8.1. <i>Primer Emplazamiento Mineralógico</i>	68
5.8.2. <i>Segundo Emplazamiento Mineralógico</i>	70
5.8.3. <i>Tercer Emplazamiento Mineralógico</i>	76
5.8.4. <i>Cuarto Emplazamiento Mineralógico</i>	77
5.9. Paragénesis Mineral	80
5.10. Clasificación y Origen de la Mineralización	80
5.11. Alteración de las Rocas en el Área de la Mina	81
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	82
6.1. Levantamiento Topográfico	82
6.2. Geología.....	82
6.3. Estructuras mineralizadas.....	82
6.4. Emplazamiento mineralógico.....	82
6.4.1. <i>Primer Emplazamiento Mineralógico</i>	82
6.4.2. <i>Segundo Emplazamiento Mineralógico</i>	83
6.4.3. <i>Tercer Emplazamiento Mineralógico</i>	83
6.4.4. <i>Cuarto Emplazamiento Mineralógico</i>	83
6.5. Método de Explotación.....	83
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	84
7.1. Primer Emplazamiento mineralógico	84
7.2. Segundo emplazamiento mineralógico.....	84
7.3. Tercer emplazamiento mineralógico	84
7.4. Cuarto emplazamiento mineralógico	84
CONCLUSIONES	85

	Pág.
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Formación de los depósitos epitermales de baja y alta temperatura.	24
Figura 2: Distribución de los depósitos epitermales de oro en el Circum-Pacífico.....	28
Figura 3: Estilos selectos y geometría de depósitos hidrotermales.....	30
Figura 4: Manifestaciones someras de un sistema epitermal.....	33
Figura 5: Método convencional para corte y relleno.	37
Figura 6: Mecanización del método corte y relleno.....	38
Figura 7: Etapa de gabinete.	44
Figura 8: Muestreo en superficie.....	45
Figura 9: Muestreo subterráneo.	46
Figura 10: Trabajo de gabinete.	47
Figura 11: Toma de rumbo y buzamiento de estructuras.	47
Figura 12: Equipo de trabajo.	48
Figura 13: Ubicación de la mina Paredones.	51
Figura 14: Croquis del levantamiento topográfico.....	53
Figura 15: Veta murciélago con presencia de pirita.....	66
Figura 16: Veta murciélago con presencia de galena.....	67
Figura 17: Muestra de cuarzo tomada de la veta murciélago.....	68
Figura 18: Vista al microscopio de la muestra 1, donde se observan la silicificación de la roca. ...	69
Figura 19: Clasto triangular de calcita reemplazada por clinozoisita.....	71
Figura 20: Vetilla de clinozoisita.....	71
Figura 21: Cristales de adularia pseudomorfizados por calcita.	72
Figura 22: Intercalación de las bandas mineralizadas café y verde-azul.	73
Figura 23: Clasto café oscuro, rodeado de partzita.	74
Figura 24: Partícula de electrum, bordeada de naumannita.....	74
Figura 25: Naumannita se distingue por su color gris tenue y la tetraedrita.....	75
Figura 26: EL= electrum, NA= naumannita, TE= tetraedrita y QZ= cuarzo.....	75
Figura 27: Roca con brechamiento del segundo emplazamiento.....	77
Figura 28: Halos de alteración de partzita.	78
Figura 29: Clastos con partzita, naumannita y electrum a la vista.....	79
Figura 30: Detalle de la calcita de color naranja claro y cuarzo blanquecino.....	79
Figura 31: Mineralización de la veta Murciélago.....	80
Figura 32: Interior del socavón de la veta murciélago.	89
Figura 33: Veta Murciélago.	89
Figura 34: Medición de las estructuras.	90
Figura 35: Medidas de datos geométricos del socavón.....	90
Figura 36: Medidas de la veta murciélago.	91
Figura 37: Sostenimiento del socavón.	91
Figura 38: Entrada al socavón de la veta murciélago.	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Minerales de diagnóstico de varios estados	23
Tabla 2: Tipos de yacimientos epitermales.....	26
Tabla 3: Operacionalización de las Variables.....	41
Tabla 4: Accesibilidad a la mina Paredones.....	52
Tabla 5: Sucesión Mineral.....	70

RESUMEN

La presente tesis titulada “Caracterización del Emplazamiento Mineralógico de la Veta Murciélago para Determinar el Tipo de Yacimiento en la Mina Paredones, Provincia de San Pablo Región Cajamarca”, tiene por objetivo 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.

Las conclusiones de la tesis son:

- La tendencia de la mineralización en la veta murciélago está definida por estructuras de rumbos NW - SE y ENE; con buzamientos son por encima de los 60°.
- De acuerdo al levantamiento topográfico la estructura del socavón que alberga a la veta Murciélago no cuenta con las condiciones adecuadas para una explotación minera segura, ya que el ancho y alto del socavón son sólo apropiados para una minería artesanal. en cuanto a su gradiente se considera que es la adecuada para explotación y acarreo.
- El control litológico estructural es definida por soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y diseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.
- El método de explotación a usar en la veta Murciélago es por Corte y Relleno de acuerdo a las características físicas y mineralógicas de la veta.

ABSTRACT

This thesis titled "Characterization of the Mineralogical Site of the Murciélago Vein to Determine the Type of Reservoir in the Paredones Mine, Province of San Pablo Cajamarca Region", aims to characterize the mineralogical site in the Paredones mine; Also identify mineralization trends in the Murciélago vein, perform the topographic survey in detail, and identify the lithological and structural control of the Murciélago vein.

The Occidental 2 mining company is interested in exploiting this vein mainly because preliminary studies determined high levels of mineralization.

The hypothesis of the present thesis is that the mineralogical site of the Paredones mine influences in the determination of the type of deposit.

The conclusions of the thesis are:

- The mineralization tendency in the bat vein is defined by NW - SE and ENE bearing structures; With dips are above 60 °.
- According to the topographic survey, the structure of the socavón that houses the Murciélago vein does not have the right conditions for a safe mining operation, since the width and height of the socavón are only appropriate for an artisanal mining. In terms of its gradient, it is considered to be suitable for exploitation and haulage.
- Structural lithological control is defined by mineralizing hydrothermal solutions produced during the intrusion stage and deposited in pre-existing tensile fractures, forming the ores of the ore consisting of a pyritic quartz, pyrite and encasing rock fill, and varying amounts And to a lesser extent of sphalerite, galena and scopicans chalcopryrite constituting the loss of economic yields.
- The method of exploitation to be used in the Murciélago vein is by Cut and Fill according to the physical and mineralogical characteristics of the vein.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel internacional las empresas mineras creen necesario los estudios mineralógicos y metalogenéticos porque con ellos se definirá su viabilidad técnica, y a la vez económica. También se logra identificar el tipo de mineral o minerales que conforman la mena y ganga. (Brathwaite, 2002)

En el Perú se resalta los yacimientos de oro en calizas tipo Carlín y mantos con oro en calizas, son de características epitermales con la granulometría fina, en los que el oro no es visible macroscópicamente, siendo detectable con análisis químicos. (Faure., 2002).

Los principales yacimientos mineros del país se encuentran en Los Andes, aunque existen algunos otros centros importantes en la costa y depósitos de gas natural y petróleo en el área amazónica y en el zócalo continental. (Carrillo, 1982).

La empresa NORTHERN PERUVIAN CORPORATION hace 47 años explotó en forma técnica el yacimiento teniendo principalmente venillas de óxido en las fallas Pacasmayo y murciélago, éstas fueron rellenadas con mineral de acuerdo a las temperaturas climáticas del terreno la cual dio origen a este yacimiento.

Actualmente la compañía minera Occidental 2 analizó que la veta murciélago está constituida por una estructura mineralizada; por tanto es necesario identificar las zonas por donde se ubican las zonas de mayor interés para que sean explotados en el proyecto minero.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo caracterizar el emplazamiento mineralógico de la veta Murciélago en la mina Paredones para determinar el tipo de yacimiento?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

La justificación de la tesis es porque aporta los conocimientos adecuados para caracterizar los controles geológicos, propuesta a partir de un modelo metalogenético aplicativo con descripción detallada y organizada de las

características de este yacimiento, así como del aporte de guías para orientarse en la búsqueda de nuevos yacimientos y contribuir de ésta manera al amplio campo de conocimiento de la geología.

1.3.2. Justificación Aplicativa o Práctica

Determinar si los minerales de mena en la veta murciélago de la mina Paredones son importantes para su explotación minera. Asimismo al analizar la geoquímica y la mineralogía microscópica en el laboratorio dará sustento para su rentabilidad.

1.3.3. Justificación Valorativa

Los resultados de nuestra investigación deben generar expectativas de trabajo para la comunidad como mano de obra no calificada que se traduzcan en bienestar económico para los involucrados.

1.3.4. Justificación Académica

Esta tesis servirá para las personas que busquen adquirir sus conocimientos con respecto al tema y otros que estén asociados.

1.4. Limitaciones

- Para el ingreso a la zona de estudio no sólo es necesario el permiso de la empresa sino también de la comunidad, la cual se muestra resentida con la minería por los pasivos ambientales dejados.
- Las salidas al campo representan peligro ya que anteriormente no se ha trabajado con un sistema de seguridad minera.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Caracterizar el emplazamiento mineralógico en la veta Murciélago de la mina Paredones.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar tendencias de mineralización en la veta Murciélago.
- Realizar el levantamiento topográfico a detalle de la Veta Murciélago.

- Identificar el control litológico y estructural de la veta Murciélago.
- Determinar el método de explotación a usar en la mina paredones.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Borelo (1972), se dedicó por completo a intentar dilucidar la evolución tectónica de los Andes, enmarcándola dentro del modelo geosinclinal el cual genera una serie de yacimientos epitermales.
- Harrington (1943) caracteriza yacimientos minerales en base a propuestas mineralógicas especialmente en epitermales del cual definición un cuadro estrato mineralógico para epitermales.
- INGEMMET (1980), realiza el estudio sobre Geología de Yacimiento Paredones, en el que los autores determinan que las características geomineralógicas de las estructuras nos indican que ellas fueron formadas por relleno hidrotermal de fisuras de sustancias mineralizantes bajo condiciones de moderada a baja temperatura y presión, de aquí que el depósito de paredones está dentro del tipo mesotermal a epitermal.
- Gonzales (1989) realizó un trabajo sobre evaluación Geología de Yacimiento Paredones, en cuyo estudio se determina que la mineralización económica consiste de esfalerita, galena y pirita y en menor cantidad calcopirita y como ganga cuarzo, calcita, dolomita, barita y yeso. La zona de sulfuros y enriquecimiento secundario constituye la mayor parte del yacimiento, siendo la zona de oxidación de menor importancia.
- Virrueta (1998) realizó un trabajo en la veta Murciélago sobre evaluación Geoeconómica y determinó que: En la veta Murciélago de rumbo S 52 E, con una potencia promedio de 1.50 m, quedaron puentes en los diferentes niveles, que por su accesibilidad y competencia de la roca encajónate, son recuperables, así mismo hacia el lado NW en el cerro Huayrapongo, afloran estructuras mineralizadas con presencia de sulfuros en superficie con poca alteración supérgena, quedando como potencial de mineral en el futuro.
- Chira y Rivera (2007) realizaron un trabajo sobre Geología de Paredones y definieron que La Mina Paredones, explotada por Zn, Pb, Ag, se encuentra en una potente formación de rocas volcánicas andesíticas del Terciario superior, suprayaciendo discordantemente a calizas, lutitas y cuarcitas del Cretáceo, conformando una topografía relativamente escarpada y fuertemente disectada. Sobre la margen izquierda del río Magdalena aflora una secuencia de rocas

cretáceas de rumbos generales EO y buzamientos que van hasta 60° N y constituyen las rocas más antiguas del área, las mismas que sirvieron de base a una potente formación de rocas volcánicas andesíticas conocidas como «Volcánicos Paredones». Hacia el sur del área la intrusión de un pórfido dacítico modificó la secuencia estratigráfica.

- Reyes (1980). Boletín N° 31. Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba. Existen ocurrencias de depósitos minerales metálicos y no metálicos, distribuidos indistintamente en rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas. Los primeros, están relacionados con mineralización de Pb, Ag, Zn, Cu, Au, Mo y los segundos con mantos de carbón, arcillas y rocas para la industria del cemento y la construcción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Recursos minerales:

Según Cooke (1996), 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.

2.2.2. Tipos de Recursos

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

2.2.2.1. 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. (López, 1993)

2.2.2.2. 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 procesado es barato, las reservas pueden considerarse infinitas e incluso un tipo puede ser sustituido por otro. (Sillitoe, 1993).

2.2.3. 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. (Motilla, 1994).

2.2.3.1. 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. (Ortiz, 1985).

2.2.3.2. 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. (Mangas, 1991).

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

2.2.3.3. 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. (Boyle, 1972).

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).

2.2.3.4. Otras técnicas de valuación

Otras técnicas de valuación de yacimientos son los sondeos, las calicatas y las labores mineras. (Sillitoe, 1993).

- 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. (Sillitoe, 1993).

- 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. Los detritus se recuperan 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. (Sillitoe, 1993).

- 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. (Sillitoe, 1993).

2.2.4. Yacimiento Epitermal

Los depósitos epitermales son aquellos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. Los fluidos se estiman en el rango desde 100°C hasta 320°C y durante la formación del depósito estos fluidos hidrotermales pueden alcanzar la superficie como fuentes termales, similar a las existentes en El Tatio y Puchuldiza en el Norte Grande de Chile o como fumarolas o solfataras. Los depósitos epitermales se encuentran de preferencia en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas y los más importantes son los de metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Bi, etc. (Sillitoe, 1977)

2.2.5. Mineralización Epitermal

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son reducidos y tienen un pH cercano a neutro (la medida de concentración de iones de hidrógeno) y los fluidos de “alta sulfuración”, los cuales son más oxidados y ácidos. Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S⁴⁺ en forma de SO₂ (oxidado) y en los de baja sulfuración como S⁻² en forma de H₂S (reducido).

2.2.6. Fluidos Epitermales

Los fluidos de baja sulfuración (BS) son una mezcla de aguas-lluvias (aguas meteóricas) que han percolado a subsuperficie y aguas magmáticas (derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad en la tierra) que han ascendido hacia la superficie. Los metales preciosos han sido transportados en solución como iones complejos (en general bi-sulfurados a niveles epitermales; clorurados a niveles más profundos) y para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie (ebullición).

Los fluidos de alta sulfuración (AS) se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales preciosos cerca de la superficie cuando el fluido

se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas. Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas. (Sillitoe, 1993).

2.2.7. Clasificación de los Depósitos Epitermales.

Hay una variedad de términos que han sido usados para clasificar a los depósitos epitermales. Esta variedad de términos ha causado confusión, por lo que se requiere una explicación acerca del origen de los diferentes términos utilizados. Lindgren, 1933 distinguió dos tipos de epitermales sobre la base de su asociación metálica, destacando la asociación alunita - oro a partir de los trabajos de Ransome (1909). Ashley (1982) definió el término enargita-Au según los dos minerales más característicos de este tipo. Giles y Nelson (1982) introdujeron el término “hot-spring” para denominar a este tipo de yacimientos, después de que se descubrió el depósito de McLaughlin, USA, por debajo del “sinter”. Bonham (1986) propuso los términos de sulfuro alto y sulfuro bajo para referirse a la cantidad total de sulfuros en un depósito. Hayba et al. (1985) y Heald et al. (1987) proponen los términos ácido-sulfato y adularia-sericita en base a la mineralogía y a los tipos de alteración presentes en estos depósitos epitermales.

Por su parte Berger y Henley (1989) propusieron el término caolinita-alunita en sustitución de ácido-sulfato para destacar los minerales de alteración característicos en esta nomenclatura. La denominación de los términos de alta sulfuración y baja sulfuración fue propuesta por Hedenquist (1987) sobre la base del estado de oxidación-reducción del azufre en los fluidos de sistemas geotérmicos actuales.

El término de “alta sulfuración” se acuñó para denominar fluidos de carácter oxidado y ácido (azufre en estado de oxidación +6 ó +4, en forma de SO_4^{2-} o SO_2), típicos de fuentes termales ácidas o próximas a volcanes. El término “baja sulfuración” se utilizó para denominar fluidos reducidos de pH aproximadamente neutro, donde el azufre se presenta en su estado de oxidación -2, como sucede en sistemas geotérmicos distantes a la fuente de calor principal.

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. Los minerales de ganga característicos del estado de AS son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, novelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual

(“vuggy”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita. (Arribas, 1995; Sillitoe, 1999). Los minerales de ganga característicos del estado de BS son: cuarzo (incluyendo calcedonia), piritita, esfalerita, arsenopiritita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericítica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita.

Tabla 1: Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral.

PH ácido		PH neutro
Alunita, caolinita (dickita) pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy		Cuarzo -adularia± illita, calcita
Alta Sulfuración Pirita-enargita±luzonita, covellita-digenita,oropimente	Sulfuración Intermedia Tennantita, tetraedrita, hematita- pirita-magnetita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe	Baja Sulfuración Arsenopiritita – loellingita – pirrotita, esfalerita – pirita rica en Fe
Oxidado Alunita, hematita-magnetita		Reducido Magnetita – pirita – pirrotita, clorita – pirita

Fuente: Einaudi y otros, 2003

2.2.7.1. Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración

Aunque se forman a profundidades someras, los yacimientos de Alta Sulfuración (AS) tienen características que indican que el magmatismo estuvo involucrado en su formación. Los estados tempranos de estos depósitos están caracterizados por extensa lixiviación de la roca encajonante por fluidos con un pH<2 y una composición isotópica de O y H similar al vapor magmático, mezclado con agua meteórica. La lixiviación forma un núcleo de sílice residual poroso (mayor de 95 wt% de SiO₂) que subsecuentemente podría almacenar mineralización de Au, Cu y sulfuros de Fe.

El estilo de mineralización de alta sulfuración comparte muchas características mineralógicas y de isótopos estables con la zona de alteración argílica avanzada que cubre a los depósitos de Cu porfíricos, hay una estrecha relación espacial entre éstos. Los sistemas de AS están formados por fluidos ácidos, oxidados y ricos en azufre. Estos fluidos son generados por la condensación de volátiles magmáticos ricos en SO₂ (Heald et al., 1987), con la presencia variable de cantidades de agua meteórica. Los depósitos de AS contienen sulfuros con una proporción azufre/metal elevada, (por ejemplo enargita, luzonita, covellita) y

presentan aureolas de alteración argílica avanzada, donde domina la alunita, pudiendo incluir pirofilita a niveles más profundos (Sillitoe, 1993).

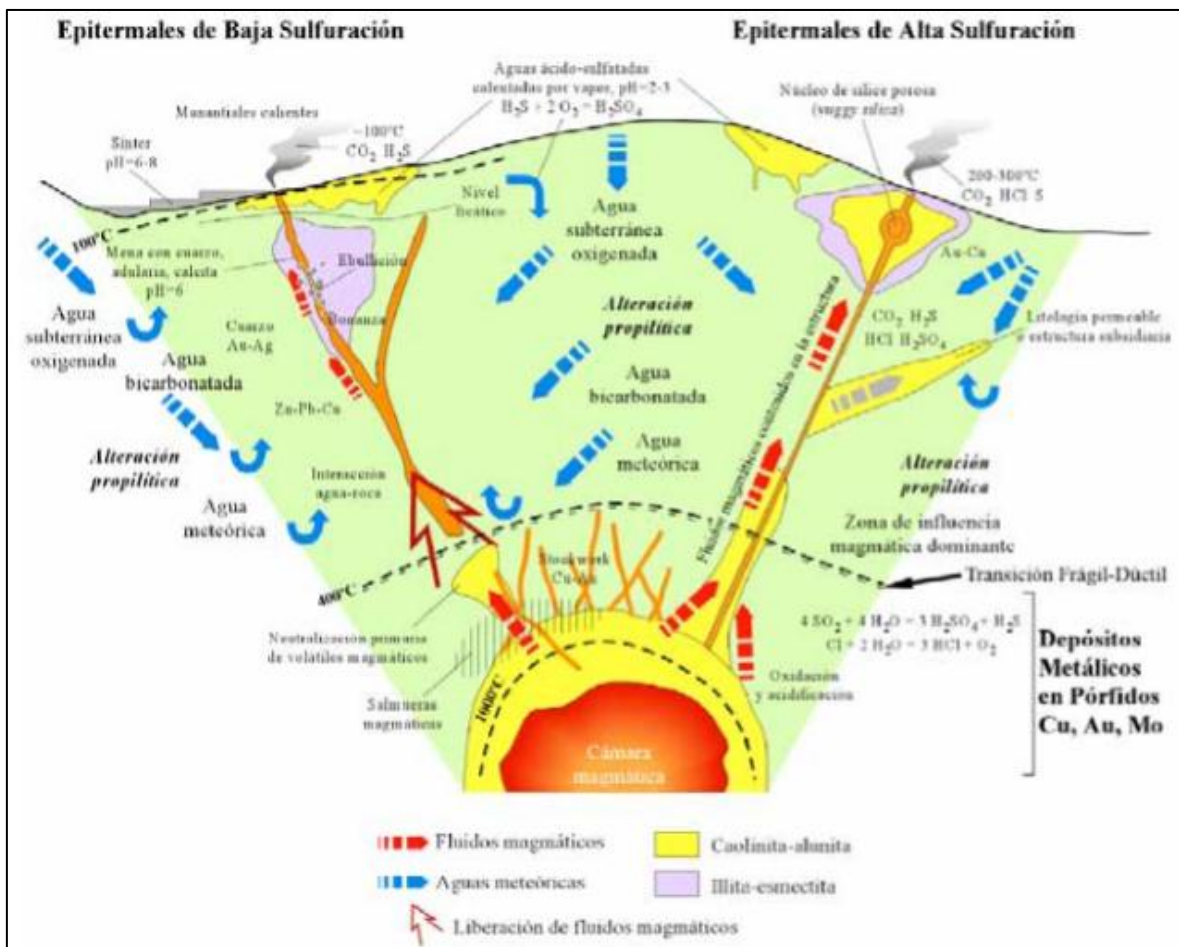


Figura 1: Formación de los depósitos epitermales de baja y alta temperatura.

Fuente: Sillitoe, 1993

2.2.7.2. Depósitos Epitermales de Sulfuración Intermedia

De acuerdo a Sillitoe y Hedenquist (2003), los depósitos de sulfuración intermedia (SI) ocurren en un amplio rango de rocas de arco, andesíticas a dacíticas, pero comúnmente no muestran una conexión cercana con depósitos de pórfidos de Cu, como en los depósitos de alta sulfuración. La mayoría de los depósitos epitermales de Au y Ag de sulfuración intermedia aparecen en arcos de rocas andesítico-dacíticas calcoalcalinos, aunque las rocas más félsicas actúan como encajonante localmente. Sillitoe (1999) menciona que algunos de estos depósitos, típicamente los más pequeños, presentan asociadas litocapas con alteración argílica avanzada, con o sin asociación a depósitos de alta sulfuración. En lo que respecta a los fluidos que forman a los depósitos epitermales de SI, la composición de los fluidos a partir de los cuales se

formaron es también intermedia entre magmáticos y meteóricos (Albinson et al. 2001; Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedgesquit, 2003).

Según Albinson et al. (2001) los depósitos de sulfuración intermedia muestran un gran rango en su contenido metálico y características, desde Au/Ag y Ag-Au (relación Ag/Au ~50) con contenidos inferiores al 0.05% combinado de metales base, hasta depósitos de Ag como metal base. Las vetas de cuarzo son típicamente cristalinas (sic.) e incluyen silicatos y carbonatos de Mn, así como cantidades arriba del 10% de sulfuros (Sillitoe, 1993). Aunque aparece un amplio rango de sulfuros y sulfosales, éstos son dominados volumétricamente por esfalerita con bajo contenido de FeS, galena, tetraedrita-tennantita y calcopirita.

Albinson et al., (2001) mencionan que la Provincia Epitermal Mexicana presenta todas las variantes de sulfuración intermedia, incluyendo depósitos de metales preciosos: pequeños de Au-Ag; pequeños a grandes de Ag-Au (p.e. Tayoltita, Pachuca y Guanajuato); y depósitos de Ag ricos en metales base (p.e. Fresnillo). Como grupo, los depósitos mexicanos son los mejor caracterizados en cuanto a la composición de sus fluidos. También, muestran un incremento regular en la salinidad, particularmente en la salinidad máxima, con incremento del contenido de metales base y la relación Ag/Au. Aunque la mayoría de los depósitos tienen evidencia de baja salinidad (mínimo < 2 % wt% NaCl eq.).

2.2.7.3. Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración

Los fluidos de los sistemas de Baja Sulfuración (BS) son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral, semejante a las aguas que se extraen de sondeos realizados bajo fuentes termales de los sistemas geotérmicos. Presentan además una menor contribución magmática (Sillitoe, 1993).

Según Hedenquist y Lowenstern (1994) en contraste a los pórfidos y depósitos de AS, la firma magmática en los depósitos de BS es menos visible. Las concentraciones de Cu no ocurren, presumiblemente porque la baja salinidad y el pH cercano al neutro y escasez de fluidos, no propician el eficiente transporte del cobre. En general los depósitos de BS se forman distantes de la fuente de calor magmático (Fig. 1). Aunque existe una variedad de clasificaciones, se puede habilitar una basándose en los elementos metálicos que aparecen y que parecen reflejar diferencias geoquímicas intrínsecas.

Un primer grupo son los depósitos ricos en Au (con una relación Ag/Au de 1/10 a 10/1 y sólo trazas de metales base). Estos depósitos están asociados a baja salinidad pero fluidos ricos en gases (<1 a 2 wt.% NaCl eq. y >4 wt.% de gases,

principalmente CO₂ con H₂S). Un segundo grupo son los depósitos ricos en plata (con Ag/Au >100/1) con cantidades económicas de Zn y Pb. Estos depósitos están asociados con fluidos más salinos (10-15 wt. % de NaCl eq.).

La diferencia en la salinidad es importante para la capacidad de transporte de los fluidos, como el Au es transportado como un bisulfuro compuesto mientras que la Ag, Zn y quizá el Pb son dependientes para transportarse de los complejos de cloro en este medio ambiente reducido. Los fluidos de baja salinidad de depósitos epitermales ricos en Au, son muy similares a los fluidos de la mayoría de los sistemas geotermales activos, mientras que hay sistemas geotermales no salinos en un medio ambiente tectónico similar a los depósitos epitermales ricos en Ag y metales base.

Los depósitos de BS contienen una paragénesis de sulfuros que sugieren un estado de baja sulfuración en asociación con alteración sericítica, argílica intermedia y de forma más rara alteración clorítica. Las características principales de los 3 tipos de yacimientos epitermales.

Tabla 2: Tipos de yacimientos epitermales.

	ALTA SULFURACIÓN (AS)		SULFURACIÓN INTERMEDIA (SI)	BAJA SULFURACIÓN (BS)	
	Magma oxidado	Magma reducido		Magma subalcalino	Magma alcalino
Ejemplo Tipo	Veta: El Indio, Chile Diseminado: Yanacocha, Perú	Potosí, Bolivia	Rico en Au: Baguio, Filipinas Rico en Ag: Fresnillo, México	Midas, Nevada	Emperor, Fiji
Rocas volcánicas relacionadas genéticamente	Principalmente andesita a riodacita	Riodacita	Principalmente andesita a riodacita, localmente riolita	Basalto a riolita	Basalto alcalino a traquita
Minerales clave de alteración proximal	Cuarzo-alunita/APS; cuarzo-pirofilita/dickita en profundidad	Cuarzo-alunita/APS; cuarzo-dickita en profundidad	Sericita, adularia poco común	Illita/smetita-adularia	Roscoelita-illita-adularia
Ganga de sílice	Silicificación masiva de grano fino y cuarzo residual oqueroso (vuggy)		Cuarzo crustiforme rellenando vetas y en peine	Cuarzo calcedonia crustiforme y	Cuarzo y calcedonia crustiforme y colofome rellenando

			coloforme rellenando vetas; textura de reemplazamiento de carbonatos	vetas; cuarzo escaso en fases tempranas
Ganga de carbonatos	Ausente	Común, típicamente incluye variedades de Mn	Presente, pero típicamente tardía y escasa	Abundante, pero no de Mn
Otros minerales de ganga	Barita común, típicamente tardía	Barita y silicatos de Mn presentes localmente	Barita poco común, fluorita localmente	Barita, celestita y/o fluorita común localmente
Especie de Sulfuros clave	Enargita, luzonita, famatinita, covellita	Acantita, estibinita	Esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita	Escasa a muy escasa arsenopirita ± pirrotita; escasa esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita
Metales principales	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag
Metales menores	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg
Especies de Te y Se	Telururos comunes, localmente seleniuros	Desconocido, pocos datos	Telururos comunes localmente; seleniuros poco comunes	Seleniuros comunes; localmente telururos Telururos abundantes, seleniuros poco comunes

Fuente: Sillitoe, 1993.

2.2.8. Ambiente Tectónico

De acuerdo con Hedenquist et al. (1996), los yacimientos epitermales de oro se encuentran principalmente en arcos volcano-plutónicos (arcos de islas y arcos continentales) asociados a zonas de subducción, generalmente en el lado posterior del arco y hasta unos 100 km de distancia del frente volcánico activo. En varios arcos, el magmatismo originado por la subducción y la actividad hidrotermal asociada tiende a desplazarse con el tiempo hacia la trinchera, y la actividad hidrotermal y las mineralizaciones comienzan aproximadamente 0.5 M.a. después de que inicien su actividad los centros volcánicos. También menciona que los yacimientos de oro encajonan principalmente en rocas volcánicas, en sedimentos volcanogénicos contemporáneos y ocasionalmente en las rocas del basamento (p.e. Baguio, Hishikari, y Porgera). Aunque las rocas ígneas asociadas son generalmente volcánicas subaéreas calcoalcalinas, de composición andesítica-dacítica-riolítica, también se pueden encontrar en rocas ígneas alcalinas y shoshoníticas de arcos maduros (corteza > 20 km), arcos intraoceánicos (p.e. Ladolam y Emperor) y ambientes continentales (p.e. Cripple Creek).

Asimismo, Sillitoe (1989) menciona que las mineralizaciones epitermales algunas veces van asociadas con los depósitos de tipo pórfido de Cu (Au), tales como Lepanto y Baguio en Filipinas y Ladolam en Papua Nueva Guinea.

Sillitoe (1994) describe que los más importantes yacimientos epitermales de oro del Pacífico occidental (Fig. 3) se han formado en el Mioceno Tardío, Plioceno y Cuaternario. Las edades de los yacimientos del oeste de América y el Caribe van desde principios del Cretácico hasta finales del Mioceno (119–9 M.a.). Esta correlación refleja la diferente velocidad de erosión entre los arcos de islas (grado de erosión mayor por el rápido levantamiento y la gran pluviosidad) y los arcos continentales (grado de erosión menor en ambientes continentales), excepto cuando se produce el hundimiento de una parte del edificio volcánico.

2.2.9. Controles Geométricos

Los depósitos epitermales son morfológicamente variables, debido a la baja presión y las condiciones hidrostáticas bajo las que se formaron. Mucha de su variabilidad geométrica se puede atribuir a los efectos de las diferentes permeabilidades de las rocas encajonantes. La permeabilidad de la roca controla la ocurrencia del flujo de los fluidos y esto a su vez influye en el depósito de los metales preciosos (léase ebullición o mezcla; p.e. Henley, 1985). La permeabilidad de la roca puede ser ocasionada por condiciones estructurales, hidrotermales y/o litológicas (Sillitoe, 1993).

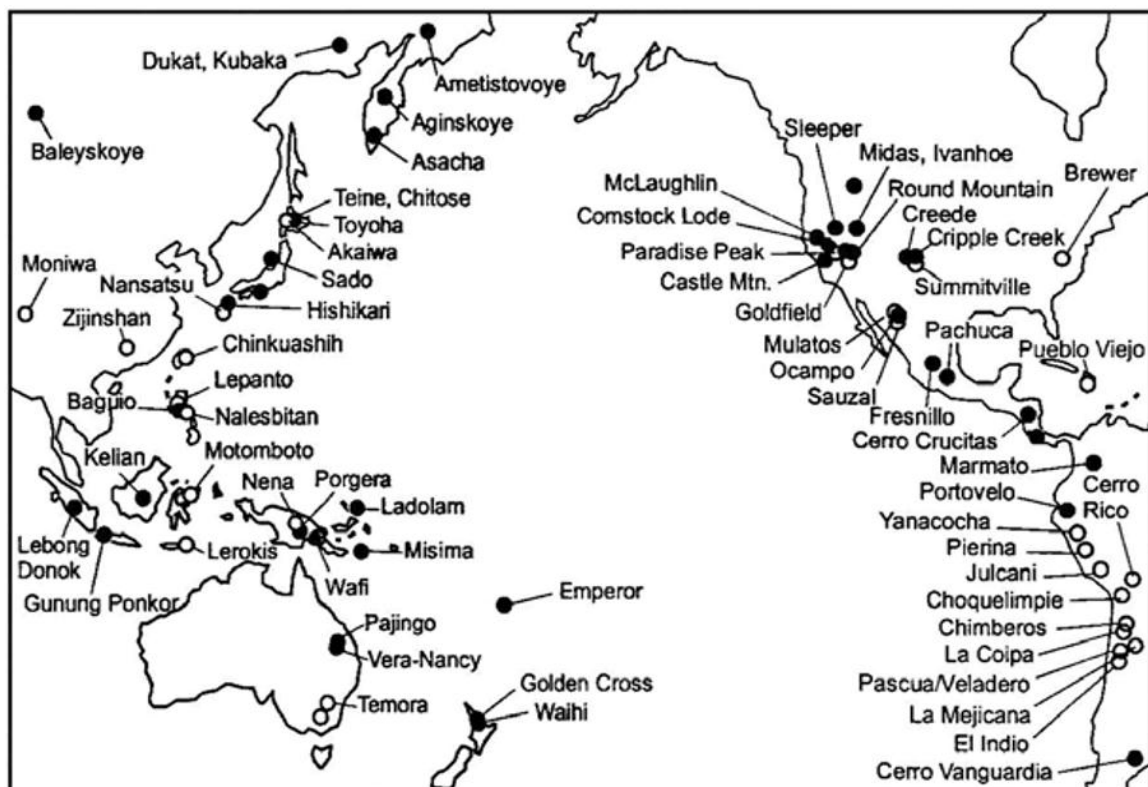


Figura 2: Distribución de los depósitos epitermales de oro en el Circum-Pacífico.

Fuente: Sillitoe, 1993.

2.2.9.1. Control Estructural

Los conductos principales de los fluidos en el ambiente epitermal se asocian a fallas laterales, oblicuas, normales y de fuerte inclinación, que presentan desplazamientos menores a 1 km. La mineralización epitermal está confinada a sitios extensionales o transtensionales, con saltos de falla por dilatación o cinturones de relajamiento sobre la zona de las fallas a rumbo, lo que genera sitios favorables para la depositación (Sibson, 1987, en Sillitoe, 1993).

Según Sillitoe (1993) los yacimientos epitermales manifestados en fallas alimentadoras normalmente dan lugar a depósitos de veta convencionales. De esta manera, prolongados períodos de dilatación y mineralización podrían resultar en vetas de varias decenas de metros de espesor (Fig. 4), como ocurrió en Pajingo, Australia (Porter, 1988) y El Umuna Lode, Papua Nueva Guinea (Clarke et al., 1990), o en vetas y vetilleos con ramaleos brazos subparalelos como en Wahhi, Nueva Zelanda, (Brathwaite y Mckay, 1989) y McLaughlin, U.S.A (Lehrman, 1986). También se forman sistemas complejos de vetas conjugadas y stockwork asociados, que tal vez se desarrollaron sobre zonas de fallas laterales, especialmente en litologías frágiles, como ocurre en el Mezquite, California (Tosdal et al., 1991). Otra posibilidad son stockworks de gran tonelaje desarrollados en el bloque del alto en fallas normales, especialmente en litologías frágiles, como ocurre en Bellavista, Costa Rica (Alán et al., 1992). Un marcado contraste en las litologías de una secuencia estratigráfica puede propiciar el desarrollo de vetas, cuya ley puede incrementarse cuando cortan las rocas más frágiles, como ocurre en Thames, Nueva Zelanda (Merchant, 1986). La presencia de fallas normales que delimitan calderas o diatremas también son rasgos estructurales a favor de los que se pueden desarrollar depósitos epitermales (Sillitoe y Bonham, 1984). Las intersecciones entre grandes fallas normales y fracturas anulares de diatremas son particularmente favorables para la depositación de oro, como ocurre en el distrito Baguio, (Damasco y De Guzmán, 1977) y en Lepanto, (Sillitoe, 1983), ambos en Filipinas. Fallas de gravedad de bajo ángulo, adelante o atrás de fallas anulares en parte controlan la depositación del oro en los yacimientos de Emperor, en las islas Fiji (Anderson y Eaton, 1990) y Wau, en Papua Nueva Guinea (Sillitoe et al., 1984).

2.2.9.2. Control Hidrotermal

Según Sillitoe (1993) la mayoría del fallamiento que ocurre contemporáneamente a la mineralización, genera permeabilidad estructural,

producida por una sobre presurización de los fluidos (Sibson, 1987). No obstante, la permeabilidad inducida hidrotermalmente es también creada por la fragmentación de la roca fuera de la falla y por la lixiviación de la roca. La fragmentación en un domo de dacita porfídica propició la formación de un stockwork hidrotermal con depositación de oro en Kori Kollo, Bolivia (Anzoleaga, 1988); asimismo, este mismo control se ha observado en una irregular y gruesa chimenea hidrotermal brechada que encajona un depósito de oro de AS en Paradise Peak, Nevada (John et al., 1991), en Choquelimpie (Gröpper et al., 1991) y Tambo (Siddeley y Araneda, 1986) en Chile.

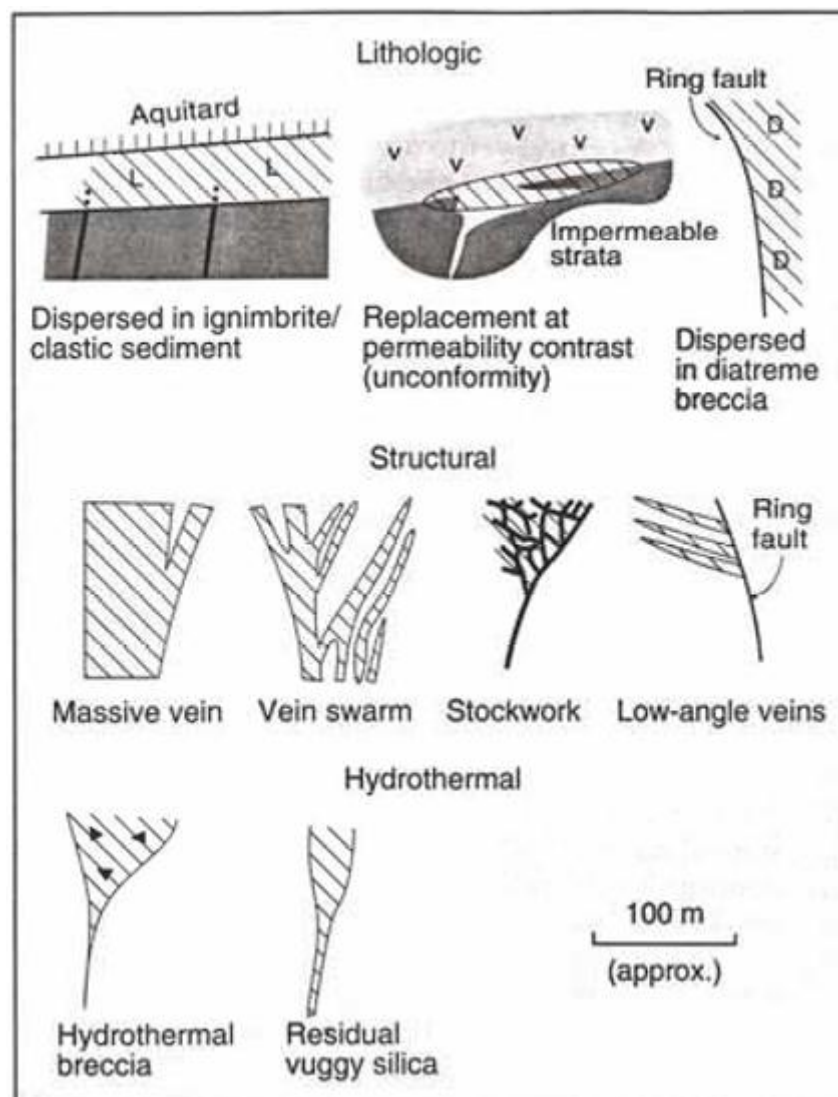


Figura 3: Estilos selectos y geometría de depósitos hidrotermales para ilustrar la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica. (Tomado de Sillitoe, 1993)

La lixiviación extrema bajo condiciones ácidas es característica de los sistemas de AS, da lugar a una reducción del volumen de la roca y a la generación de

sílice oquerosa residual, que presenta la clásica textura porosa y escoriácea. La permeabilidad causada por la formación de un depósito de sílice residual controla el subsecuente tránsito de fluidos y el depósito de metales preciosos (p.e. Stoffregen, 1987; Hedenquist et al., 2000). En contraste, la transformación de la roca a ópalo o calcedonia masivos, reduce la permeabilidad y puede provocar el consiguiente brechamiento hidrotermal si los conductos por los que circulan los fluidos son sellados y el sistema de sobrepresuriza. La ebullición inducida por este brechamiento y la consiguiente descompresión del sistema es un mecanismo que se ha invocado repetidamente como causante de la depositación de metales preciosos, (p.e. Hendenquist y Henley, 1985). Cuando los fluidos hidrotermales ácidos, entran en contacto con una roca calcárea, ocurre una descalcificación con un consecuente incremento en la permeabilidad de la roca. Un ejemplo lo encontramos en el depósito de El Hueso, Chile, en donde la componente calcárea de una arenisca fue disuelta aumentando considerablemente la porosidad de la roca y, por tanto, favoreciendo la depositación de oro en un ambiente de AS (Sillitoe, 1993).

2.2.9.3. Control litológico

Sillitoe (1993) describe que la permeabilidad litológica controla el emplazamiento de diversos cuerpos mineralizados de gran tamaño y estratiformes, especialmente en las partes someras de los sistemas epitermales. Los sedimentos porosos, fluviales o lacustres (comúnmente volcanoclásticos), que son depositados inmediatamente o durante el periodo de mineralización, están pobremente litificados en el momento de la circulación hidrotermal, por lo que pueden llegar a constituir yacimientos diseminados en muchos casos (Fig. 4). El oro está presente en conglomerados y areniscas en Grassy Mountain, Oregon (Rytuba y Vander Meulen, 1991) y en sedimentos lacustres de grano fino como en Rawhide, Nevada (Black et al., 1991).

Las rocas piroclásticas poco litificadas proveen permeabilidad entre sus estratos. Los yacimientos suelen estar encajonados en ignimbritas no soldadas y ricas en pumicita, como ocurre en Round Mountain, Nevada (Sander, 1988), en tobos alrededor de domos riolíticos como en Quartz Mountain, Oregon (Sawlan et al., 1991) y brechas tobáceas freatomagmáticas en una diatrema (Fig. 4), como en Montana Tunnels, Montana (Sillitoe et al., 1985).

Muchos depósitos se forman por debajo de capas con reducida permeabilidad (ver acuitardos, Fig. 4). El acuitardo de Round Mountain está en una ignimbrita

densamente soldada, la cual es rica en oro sólo donde se encuentra bien fracturada (Sander, 1988). En Delamar, Idaho un vitrófido con alteración arcillosa retardó el avance hacia arriba de los fluidos mineralizantes y esto propició la depositación de plata-oro de alta ley en el domo riolítico inmediatamente subyacente (Halsor et al., 1988). También la formación de yacimientos puede estar controlada por contactos, comúnmente inconformidades regionales, entre menos estratos permeables abajo y más secuencias permeables arriba (Fig. 4). En este caso se encuentran

muchos de los yacimientos de AS de oro-plata, como la Coipa, y prospectos en el norte de Chile, en los cuales la mineralización se presenta en el contacto de rocas sedimentarias de grano fino cubiertas por volcánicas más jóvenes (Oviedo et al., 1991; Sillitoe, 1991), e igual sucede en las partes de más alta ley de oro, de Hishikari, Japón. (Izawa, et al., 1990).

Por otra parte, aún la composición de la roca encajonante puede ser un factor determinante en la depositación de metales preciosos. Por ejemplo, la sulfuración de minerales ricos en hierro es propicia para la precipitación diseminada de oro, como sucede en Wenatchee, Washington (Margolis, 1989) y Pueblo Viejo, República Dominicana (Muntean et al., 1990).

2.2.10. Características Superficiales

La parte superficial de los sistemas epitermales, entre 50 y 100 metros de la paleosuperficie, generalmente son estériles en metales preciosos, aunque es común encontrar concentraciones de sulfuros nativos y mercurio. Sin embargo hay excepciones como en el caso de McLaughlin, California, donde la mena de oro se observaba en la paleosuperficie (Lehrman, 1986 y Nelson, 1988).

De acuerdo a Sillitoe (1993) los atributos superficiales de los sistemas epitermales se dividen en zonas de lixiviación ácida y los sinters.

2.2.10.1. Zonas de lixiviación ácida

Sillitoe (1993) describe que la ebullición de fluidos ascendentes en sistemas epitermales da lugar a la formación de vapor con H₂S, que conforme asciende se condensa y enfría. La oxidación del H₂S a sulfato ocurre en la zona vadosa, por arriba del nivel freático (Fig. 5). Los resultantes fluidos ácidos calentados por el vapor originan una alteración argílica avanzada en la roca encajonante, que se caracteriza por su textura porosa, en ocasiones denominada “roca esponja”. Los minerales típicos de esta zona son ópalo CT, cristobalita, tridimita, alunita, caolinita y algunos sulfatos como yeso y halotriquita. La roca formada por un

sólo mineral, denominada cristobalita es el producto final de una intensa lixiviación, como describe White et al. (1964) que ocurre en el tajo de Sílice en Steamboat Springs, Nevada. Adicionalmente se presentan en cantidades variables minerales hipogénicos como marcasita, pirita, hematita, azufre nativo y cinabrio.

El mercurio ha sido explotado localmente de las rocas con lixiviación ácida, como en el caso del depósito de Paradise Peak, Nevada (John et al., 1991). Las zonas de lixiviación ácida que recubren los sistemas de AS y BS son similares, aunque los de alta sulfuración tienden a concentrar mayores cantidades de azufre nativo y posiblemente alunita.

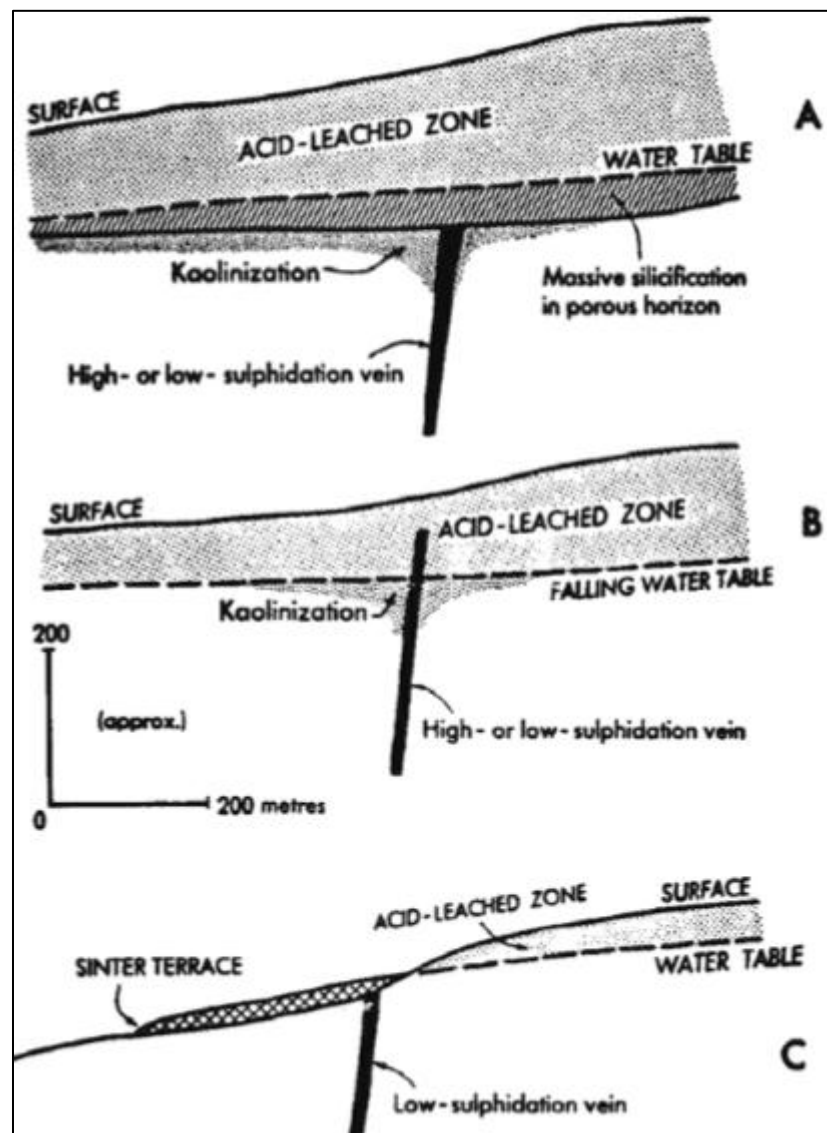


Figura 4: Manifestaciones someras de un sistema epitermal. En el caso A, cuando el nivel freático está controlado por un horizonte poroso (el cual puede estar silicificado). En B, con un nivel freático fallado durante la mineralización. En C, cuando el nivel freático intersecta la superficie en una depresión topográfica, lo que origina un manantial de agua caliente y la acumulación de un sinter (Figura tomada de Sillitoe, 1993).

El espesor de las zonas de lixiviación es mayor cuando el paleonivel freático era más profundo, como en regiones áridas y/o debajo de altos topográficos, como estratovolcanes. Las zonas estratiformes silicificadas de 50 m ó más de potencia, subyacen a zonas de lixiviación ácida desarrolladas en la parte más alta de sistemas de AS y BS, especialmente si se tiene una roca muy permeable, como es el caso de piroclásticas o volcanoclásticas (Fig. 4A) (cf. Bonham, 1986,1988). La silicificación es normalmente masiva y densa, pudiendo incorporar brechas hidrotermales cementadas por sílice. Esta toma la forma de ópalo (opalita) y/o calcedonia, dependiendo de la temperatura de formación y del grado de envejecimiento. La marcasita y la pirita son minerales accesorios comunes, y el cinabrio esté presente localmente, como ocurre en Hollister, Nevada (Bartlett et al., 1991). Las concentraciones de metal en estos sitios no alcanzan valores económicos y se ubican en la parte más baja del horizonte. De esta manera el horizonte silicificado se cree que se genera en el paleonivel freático (Fig. 4A). El horizonte silicificado desprovisto de su zona lixiviada sobreyacente (p.e. Albinson, 1988) es comúnmente llamado “sílica caps”.

El proceso responsable para la silicificación dentro e inmediatamente debajo del nivel freático está a la fecha poco entendido. En los sistemas de BS se piensa que se forman por la combinación de precipitación de sílice inducida por el enfriamiento de fluidos ascendentes (casi neutros), posiblemente ayudados por la mezcla con aguas más frías (acuíferos o descendentes) y la removilización, hacia abajo, de sílice de bajo pH condensado en la zona lixiviada sobreyacente. Este último proceso puede ser un importante medio de silicificación en los sistemas de AS donde la precipitación de sílice por enfriamiento tiende a ser inhibida por las condiciones de bajo pH (Fournier, 1985), a menos que los fluidos ácidos ascendentes sean neutralizados por la mezcla con el contenido del acuífero (p.e. Pueblo Viejo, Dominican Republic: Muntean et al., 1990). Los horizontes silicificados resultantes de la removilización del sílice durante la lixiviación ácida del nivel freático superior, tiende a ser más de ópalo que de calcedonia, debido a las condiciones de baja temperatura prevalecientes.

2.2.10.2. Sinters

Sillitoe (1993) menciona que lo más distintivo de la paleosuperficie de un sistema de baja sulfuración es el sinter, el cual suele estar formado por terrazas laminadas finas de sílice amorfa alrededor de un manantial de pH neutro. Estos depósitos laminares se pueden extender en la dirección del drenaje por varios

cientos de metros. Los sinters se forman donde el fluido hidrotermal descarga directamente sobre la superficie terrestre y la sílice precipita, p.e. donde el nivel freático intersecta la superficie en valles o cuencas; de esta forma pueden generar lateralmente zonas de lixiviación ácida (Fig. 5C). Los sinters se reconocen por su textura laminar única, sus cavidades irregulares y elongadas paralelamente a la burda laminación, así como sus estructuras columnares, perpendiculares a la laminación. Comúnmente se pueden preservar fósiles de algas y partes de otros tipos de plantas, aún en sinters paleozoicos

(Cunneen y Sillitoe, 1989; White et al., 1989). No se han reconocido sinters por encima de sistemas de AS, esto se atribuye a que el bajo pH de los fluidos inhibe la precipitación de sílice (Fournier, 1985); manantiales ácidos activos con pH menor a 4, en ambos sistemas, alta y baja sulfuración, no tienen asociado sinter.

Los sinters silíceos están compuestos de ópalo, tridimita y/o calcedonia, dependiendo de la temperatura y la edad (p.e. grado de diagénesis) y regularmente no contiene valores de metales preciosos. No obstante se conocen localidades de sinters con anomalías altas y aún con leyes minables de metales preciosos (p.e. Broadlands en Nueva Zelanda, Weissberg et al., 1979). Pueden contener valores minables de cinabrio, como sucede en McLaughlin, California y Buckskin Mountain, Nevada. Los sinters son productos subaéreos que, en lagunas someras, pueden presentar estructuras sedimentarias del tipo grietas de desecación poligonales, formadas durante la desecación del gel (p.e. Buckskin Mountain, Nevada; Vikre, 1985). La precipitación de sílice de fluidos hidrotermales que se descargan en aguas profundas de lagos o ríos puede producir un pedernal estratiforme, denso y finamente laminado. Esta clase de sinter se forma por lo común en lagos efímeros de mares o cráter de erupción hidrotermal. Este pedernal hidrotermal puede ser rico en sulfuros de hierro y normalmente no contiene metales preciosos, a no ser que haya sido afectado posteriormente por alguna pulsación tardía mineralizante (Sillitoe, 1993; Hedenquist et al., 2000).

Sillitoe (1993) menciona que la acumulación de un sinter en valles y otras depresiones topográficas, puede causar que se diluya o incluso que sea borrada por la sedimentación. En consecuencia pueden presentarse sedimentos clásticos silicificados interestratificados con el sinter y los sedimentos pueden contener clastos del sinter (p.e. los depósitos de oro Modoc, California:

Hillemeyer et al., 1991 y campo volcánico Lake Owyhee, Oregon: Rytuba y Vander Meulen, 1991). El sinter también puede estar interestratificado localmente con brechas de erupción hidrotermal que acarrearón clastos de sinter como se observa en McLaughlin, California (Lehrman, 1986). La brecha de erupción hidrotermal es polimíctica, rica en material de matriz y contiene clastos de pedernal y /o sinter.

Se ha de ser muy cuidadoso a la hora de identificar un depósito de sílice laminar como sinter. Criterios como la presencia de estructuras verticales, formadas por el crecimiento de las algas, como la presencia de estructuras sedimentarias como grietas de desecación (mudcracks) son esenciales para la correcta identificación de esta estructura. La presencia de un sinter verdadero prueba que el sistema es de baja sulfuración, la reconstrucción de la posición de la paleosuperficie y lo más contundente sería encontrar el canal de flujo principal de los fluidos ebullicionantes (Hedenquist et al., 2000).

2.2.11. Método de Corte y Relleno

2.2.11.1. Obras de Preparación

Las obras de preparación se definen como todas aquellas obras que están encaminadas a determinar zonas susceptibles de explotación. Las obras de preparación necesarias, son el cuele de dos contrapozos y dos frentes que servirán como niveles, estas obras delimitarán el bloque, Las dimensiones de los bloques dependen de:

- ✓ El tipo de yacimiento.
- ✓ Consistencia de mineral y tablas.
- ✓ Calidad y ley de los valores.
- ✓ Posición de los respaldos.
- ✓ Tipo y disponibilidad del equipo de minado.

2.2.11.2. Obras de Desarrollo

Una vez que el rebaje es delimitado por la obras de preparación, se cuela por encima del nivel inferior un subnivel dejando un pilar de piso de 3 a 5m de longitud, este soportará el peso de relleno durante la explotación del rebaje. Sobre el pilar de piso se cuelan contrapozos que servirán como metaleras, las metaleras crecerán conforme el rebaje ascienda, para evitar que se pierdan por acción del relleno, se colocan contrapozos anillados, estos pueden ser de madera o placas metálicas de manera que soporten la presión del relleno, para

vetas pequeñas el contrapozo se puede hacer con trancas y entarimado. Los contrapozos laterales que delimitan el rebaje servirán como ventilación del rebaje y como rutas de acceso. En la actualidad una variante que tiene el método antiguo es que las obras de desarrollo son coladas en tepetate, el uso de rampas de acceso y transporte.

2.2.11.3. Explotación de los Rebajes

La explotación se hará por medio de cortes ascendentes a lo largo y ancho de los rebajes tomando como cara libres los extremos de los contrapozos, el piso inicial será el pilar de piso que existe entre el nivel inferior y el subnivel. Cada vez que se realice un corte se rezaga la carga a las metaleras, el paso siguiente es el relleno del rebaje, se acondicionan los contrapozos anillados haciéndolos crecer para evitar que sean tapados por el relleno, se coloca el relleno dentro de los rebajes y se aplanilla generando un nuevo piso de trabajo con la altura adecuada para realizar la barrenación para el siguiente corte, de esta forma se ascenderá hasta la explotación total del bloque.

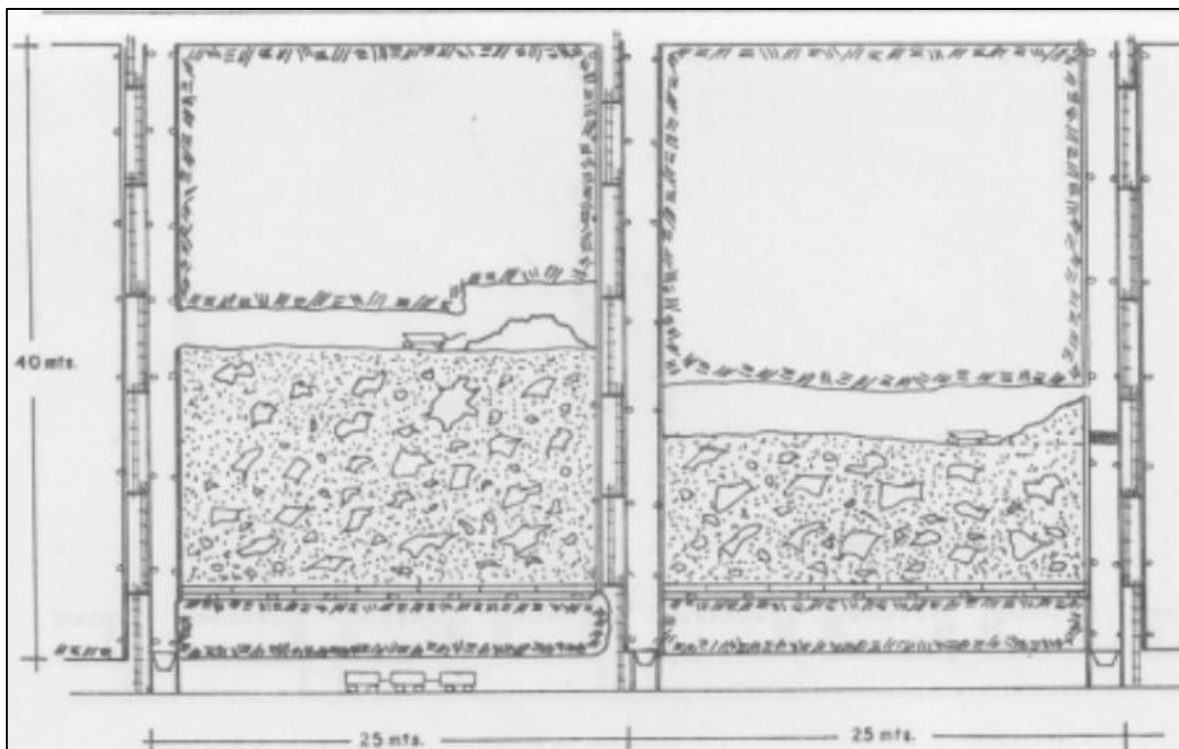


Figura 5: Método convencional para corte y relleno.

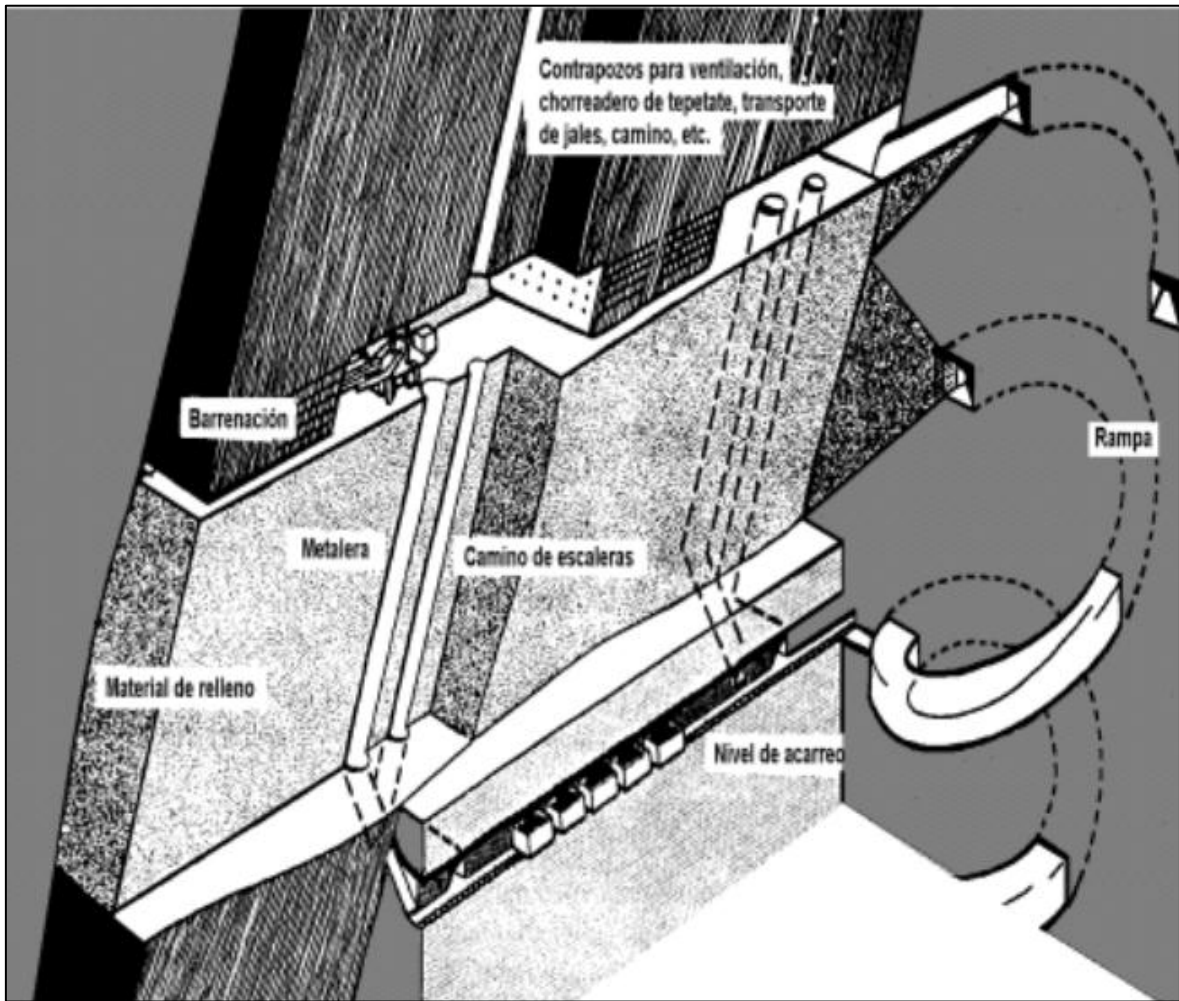


Figura 6: Mecanización del método corte y relleno.

2.2.11.4. Extracción del Mineral

Una vez realizados los cortes de cabeza el mineral quebrado se chorrea a través de las metaleras previamente coladas, si el rebaje es pequeño esta operación se puede realizar con escepas, trascabos neumáticos montados en llanta o en carretilla de mano, si el nivel de mecanización es mayor y el rebaje lo permite esta operación se realiza con scoop-tramp

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Alta y Baja Sulfuración:

Los términos de alta y baja sulfuración y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S⁴⁺ en forma de SO₂ (oxidado) y en los de baja sulfuración como S⁻² en forma de H₂S (reducido). (Camprubi, 2003)

2.3.2. Caracterización

Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás". Puede referirse a personajes, tipografías, páginas web, empresas, productos, entre otros. (Ortiz, 1985)

2.3.3. Controles Geológicos:

Estudian las condiciones de formación y los lugares o ámbitos geológicos del emplazamiento de un yacimiento. (Oyarzún, 2009).

2.3.4. Emplazamiento:

Colocación de una cosa en un lugar y lugar donde está ubicada. (Sillitoe, 1993).

2.3.5. Epitermal:

Son aquellos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. (Sillitoe, 1993).

2.3.6. 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. (Motilla, 1994).

2.3.7. Fluido:

Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil. La propiedad definitoria es que los fluidos pueden cambiar de forma sin que aparezcan en su seno fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma "original" (lo cual constituye la principal diferencia con un sólido deformable, donde sí hay fuerzas restitutivas). (Cooke, 1990).

2.3.8. Hidrotermal:

Proceso geológico en el cual sedimentos o rocas sufren los efectos de la circulación de fluidos a altas temperaturas y químicamente activos. (Sillitoe, 1993).

2.3.9. Mina

Es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído. Las minas también reciben el nombre de explotaciones mineras, o, simplemente, explotaciones. Los minerales se originan por procesos geológicos tanto internos (tectonismo y vulcanismo) que son extraídos del subterráneo, como externos (sedimentación) son sacados de algunas cuevas o cavernas, etc. (Boyle, 1972).

2.3.10. Minería Subterránea

Es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno.

La explotación de un yacimiento mediante minería subterránea se realiza cuando su extracción a cielo abierto no es posible por motivos económicos, sociales o ambientales.

Para la minería subterránea se hace necesario la realización de túneles, pozos, chimeneas y galerías, así como cámaras. Los métodos más empleados son mediante túneles y pilares, hundimientos, corte y relleno (cut and fill mining), realce por subniveles (Sublevel Stopping) y cámaras-almacén (Shrinkage). (Carrilli, 1982).

2.3.11. Veta:

En Geología, una veta o filón, son láminas de minerales que se incrustan en las rocas a través de sus fisuras, y que en general poseen gran valor económico; y el hallazgo y extracción de los minerales de las vetas es una tarea que realizan los mineros. (Sillitoe, 1993).

2.3.12. 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). (Clarke, 1990).

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

El emplazamiento mineralógico de la mina Paredones influye en la determinación del tipo de yacimiento.

3.2. Variables

- Independientes:
 - Emplazamiento Mineralógico
- Dependientes:
 - Tipo de Yacimiento
 - Método de Explotación

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3: Operacionalización de las Variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONTEXTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Emplazamiento Mineralógico	Independiente	Minerales enclaustrados en la veta, definiendo los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales.	Ganga	Ley en %
			Mena	Ley en %
Tipo de Yacimiento	Dependiente	Acumulación geográfica de cierto material, sea sólido – roca, minerales o fósiles-, o fluido –gas natural o petróleo-, que resulta ser de utilidad para el ser humano.	Mineralogía	Ley en tn/m ³
			Contenido de Metales	Porcentaje
				Forma	Regular Irregular
			Dimensiones	Metros
			Contexto Geológico	Formaciones geológicas
Petrografía				
Método de	Dependiente	La elección de un	Geografía	Topografía

Explotación		<p>método de explotación de minería asume un ligero conocimiento superficial de los mismos métodos. También asume una breve comprensión del control de tierra y manipulación del equipo de excavación y construcción.</p>		Fisiografía
				Geomorfología
			Geología	Formaciones Geológicas
				Mineralogía
				Geología estructural
Ingeniería Económica	Rentabilización de los minerales			

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación.

El tipo de diseño de investigación del presente estudio es experimental, Transversal, Descriptivo.

4.2. Material de estudio.

4.2.1. Unidad de estudio.

220 metros de la veta Murciélago en la mina Paredones.

4.2.2. Población.

Todas las vetas de la mina Paredones.

4.2.3. Muestra.

La veta Murciélago de la mina Paredones.

4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos

4.3.1. Procedimientos y Técnicas de Recolección de Datos

Estos incluyen la compilación de información bibliográfica, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo en el área de estudios, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

- **Gabinete**

Primera etapa donde se recolectarán estudios anteriores del área de Paredones, planos de ubicación, planos geológicos regionales (INGEMMET).



Figura 7: Etapa de gabinete.

- **Campo**

Reconocimiento geológico del área. Se realizará el cartografiado superficial y subterráneo. También se tomaron 20 muestras superficiales y de interior mina para ensayos geoquímicos y muestras para estudios petrográficos.

- **Cartografiado en Superficie.**

Para el cartografiado geológico en superficie se realizará a una escala 1/5000 sobre el que se dibujan diversos símbolos que indican:

Tipos de rocas de la superficie terrestre.

- ❖ Tipo de contacto entre ellas
- ❖ Estructuras geológicas como vetas y fallas.



Figura 8: Muestreo en superficie.

➤ **Muestreo Subterráneo:**

Se realizaron un total de 5 canales distribuidos sistemáticamente, de los cuales se tomaron 10 muestras que fueron tomadas en la Veta Murciélago. Los canales fueron realizados a intervalos regulares de 10 m, cruzando completamente el espesor de las capas expuestas de manganeso. 2 muestras fueron tomadas en estéril tanto al alto como al bajo de la mineralización de acuerdo con la posición del manto en la obra. Las muestras fueron tomadas utilizando cincel y comba y fueron colectadas en bolsas de muestreo para recuperar la muestra.



Figura 9: Muestreo subterráneo.

- **Análisis de Laboratorio:**

Las 20 muestras se llevarán a un laboratorio para análisis geoquímico donde se adquirirá datos mineralógicos

- **Gabinete**

Se pasarán a limpio los planos, secciones geológicas, planos de Isovalores de la veta Murciélago, se trabajará las base de datos de leyes emitidos del laboratorio y con los datos obtenidos en las etapas anteriores se preparará el informe final, con la cual se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones.

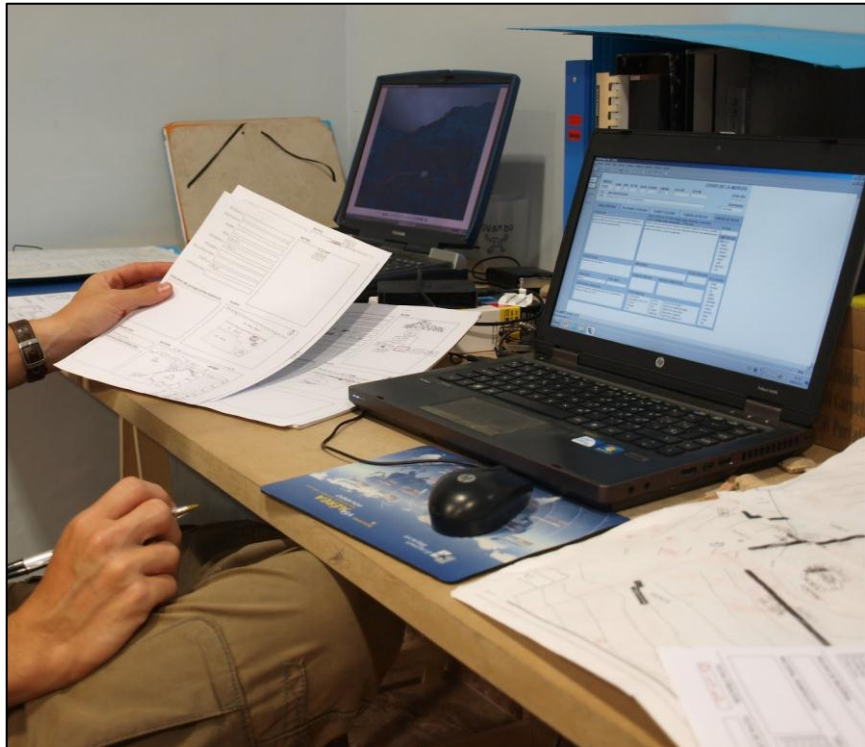


Figura 10: Trabajo de gabinete.

4.3.2. De análisis de información.

Para el procesamiento de datos se utilizará data del muestreo, se empleará un estimado de 80 datos de rumbo y buzamiento de fallas y fracturas para elaboración de estereogramas y rosas estructurales.



Figura 11: Toma de rumbo y buzamiento de estructuras.

De los resultados obtenidos y la correlación de variables litología, estructural y mineralogía, se determinaran las características más importantes del yacimiento.

- **Descripción de los Programas Utilizados**

Los equipos e implementos que se usarán en el presente trabajo de investigación son: Planos topográficos, GPS, Picota, Lupas (14X, 20X), lápiz de dureza, libreta de campo, tablero de mapeo, portaminas, pinturas codificadas, bolsas de muestreo, etiquetas para marcado de muestras.



Figura 12: Equipo de trabajo.

Los equipos utilizados para el procesamiento y digitalización de datos de campo y laboratorio serán: el computador utilizando diversos software de uso interno y comercial. A continuación se describe los principales programas utilizados.

- ❖ **Dips**

Para el análisis estructural de datos de mapeo de estructuras (fallas, venillas, vetas).

- ❖ **Auto Cad 2015**

Software utilizado para la generación de columnas estratigráficas y membretes.

- ❖ **ArcGis**

Este software se utilizará para todas la tareas basada en mapas como cartografía, análisis y edición. Permitiendo definir planos por digitalización como: litológico, estructural.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

5.1. Ubicación:

5.1.1. Ubicación Geográfica:

En forma general se tiene:

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
San Bernardino	San Pablo	Cajamarca

Las labores se encuentran a 34 Km. al oeste de la ciudad de Cajamarca y a 4 Km. al NW de la ciudad de Chilete.

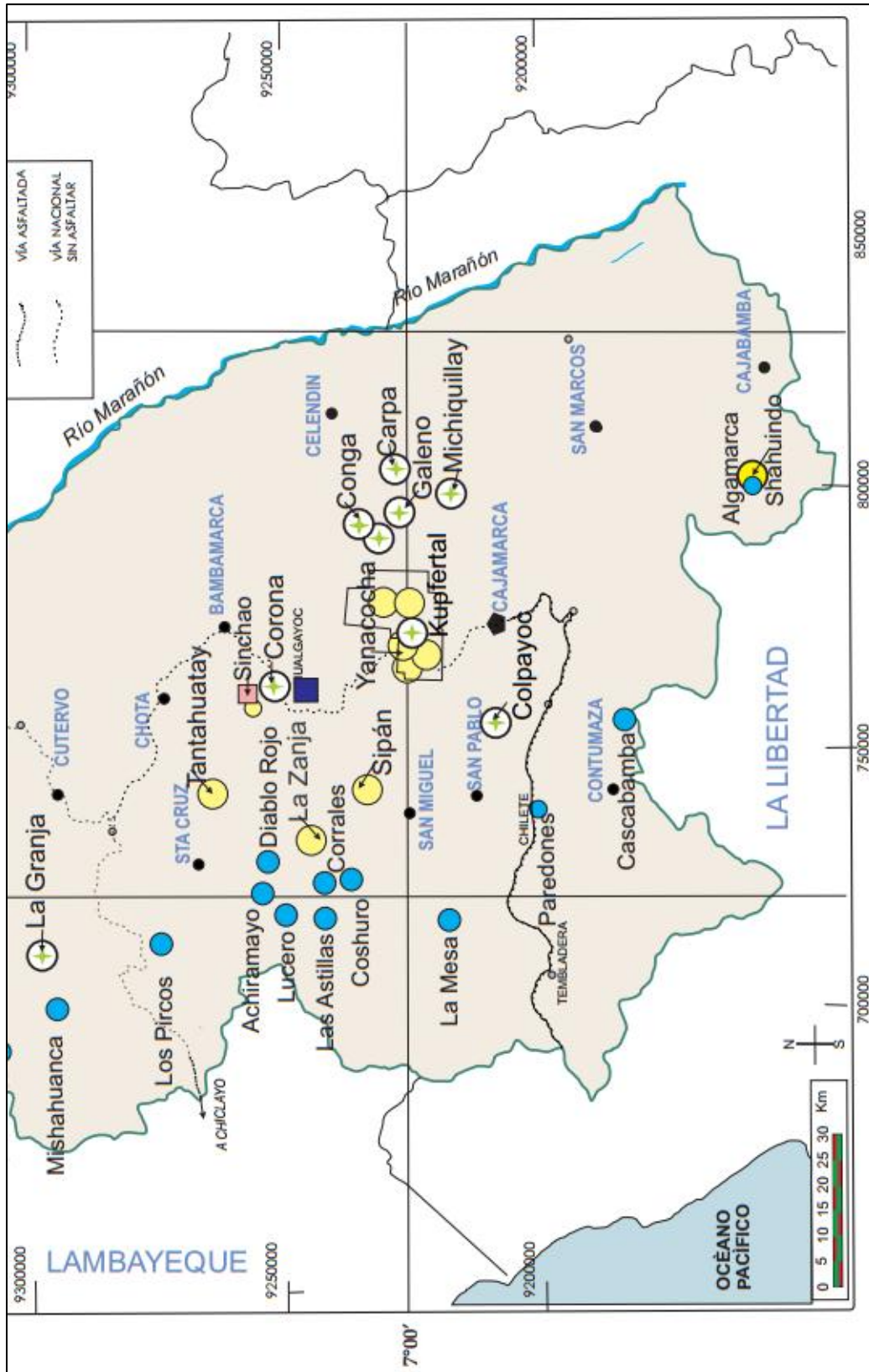


Figura 13: Ubicación de la mina Paredones.

5.2. Accesibilidad

Para llegar al proyecto minero “Paredones” Se realiza mediante vehículo a través de una vía asfaltada Cajamarca – Chilete, luego por una carretera asfaltada hasta Paredones.

Tabla 4: Accesibilidad a la mina Paredones.

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	CONDICIONES	DIST. EN KM.	TIEMPO EN HRS.	COSTO EN NUEVOS SOLES
Cajamarca Chilete	Asfaltada	Regular	40	2.5	4.00
Chilete Mina Paredones	Asfaltada	Buena	4.00	0.25	1.00

5.3. Levantamiento Topográfico de la Veta Murciélago

5.3.1. Croquis

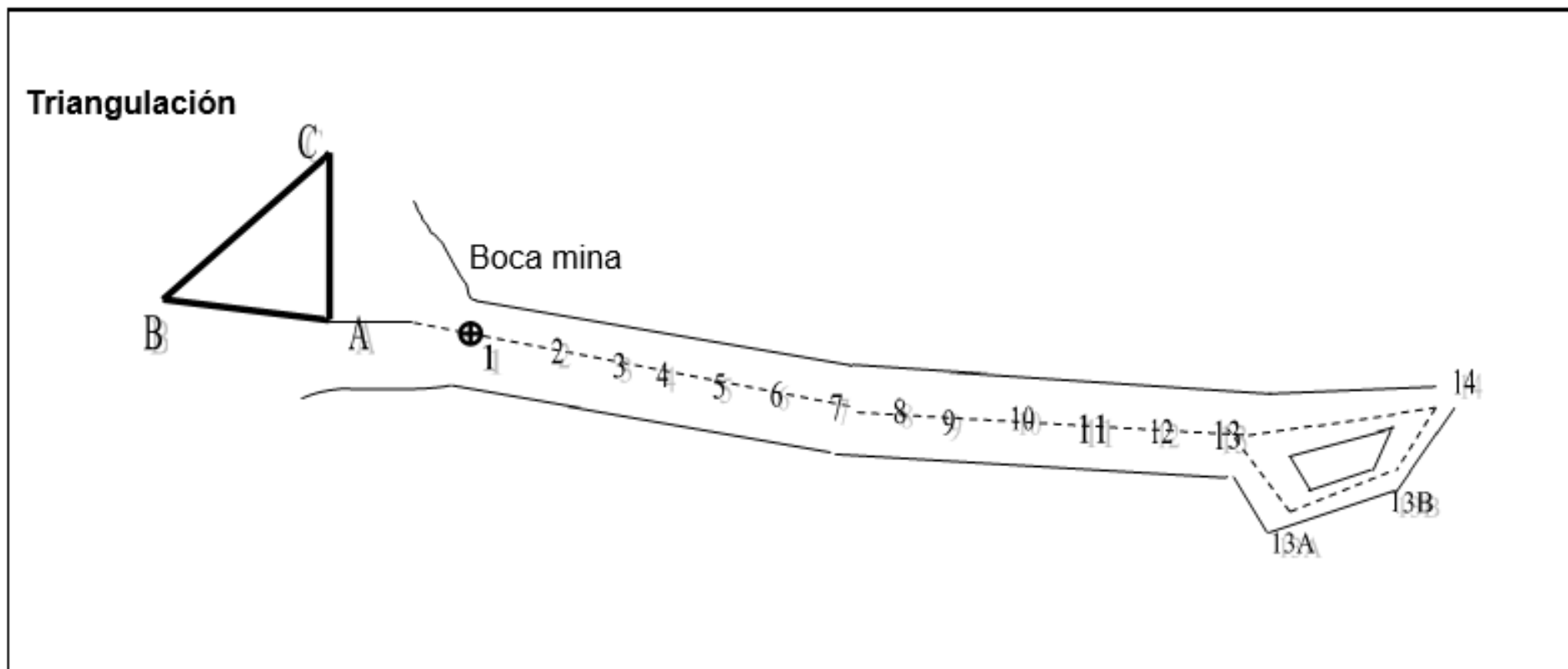
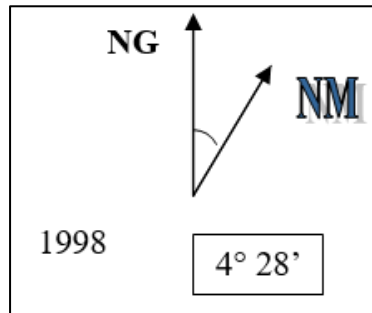


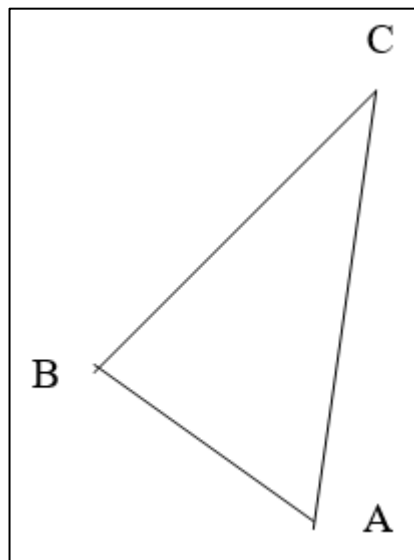
Figura 14: Croquis del levantamiento topográfico.

5.3.2. Cálculo de los Azimut de la Triangulación N° 1

La declinación magnética anual es $0^{\circ} 6.5'$ entonces en el año 1998 era $4^{\circ} 28'$, luego el cálculo para el año 2016 es:



Entonces para el año 2004 es: $4^{\circ} 28' + 6(0^{\circ} 6.5') = 5^{\circ} 07' 00''$ sumado con el azimut B – A obtenemos: $125^{\circ} + 5^{\circ} 07' 00'' = 130^{\circ} 07' 00''$



$$\text{Azimut B a A} = 130^{\circ} 07' 00'' + 180^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimut A a B} &= 310^{\circ} 07' 00'' + \\ < A &= \underline{100^{\circ} 11' 14''} \\ &410^{\circ} 18' 14'' - \\ &\underline{360^{\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimut A a C} &= 50^{\circ} 18' 14'' + \\ &\underline{180^{\circ} 00' 00''} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimut C a A} &= 230^{\circ} 18' 14'' + \\ < C &= \underline{36^{\circ} 51' 11''} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimut C a B} &= 267^{\circ} 09' 25'' - \\ &\underline{180^{\circ}} \end{aligned}$$

CALCULO DE LAS ELEVACIONES						
Angulo vertical			AI	AS	DV	Cota punto
°	'	"				
-2	57	37.5	1.39	0.00	-1.774	991.616
-1	36	10	1.34	0.00	-1.094	991.862
-1	37	08	1.38	0.00	-0.970	992.272
					-3.838	

5.3.4. Correcciones de la Triangulación

- Calculo de las Correcciones de Coordenadas Parciales

LADO	CORRECCION EN EL EJE "X"
B - C	$(34.304 \times 1.139) / 107.725 = 0.363$
C - A	$(39.085 \times 1.139) / 107.725 = 0.413$
A - B	$(34.336 \times 1.139) / 107.725 = \underline{0.363}$
	1.139

- Compensación de ▲N

LADO COMPENSADO	▲N	-	CORRECCION ▲N	=	▲N
B - C	1.701	+	0.363	=	2.064
C - A	-24.964	+	0.413	=	-24.551
A - B	22.124	+	0.363	=	$\underline{22.487}$
					0.000

- Cálculo de las Correcciones de ▲E

LADO	CORRECCION EN EL EJE "X"
B - C	$(34.304 \times 22.070) / 107.725 = 7.028$
C - A	$(39.085 \times 22.070) / 107.725 = 8.007$
A - B	$(34.336 \times 22.070) / 107.725 = \underline{7.035}$

22.070

➤ Compensación de ▲E

COMPENSADO	LADO	▲E	-	CORECCION ▲E	=	▲E
	B - C	34.262	+	7.028	=	41.290
	C - A	-30.074	+	8.007	=	-22.067
	A - B	-26.258	+	7.035	=	<u>-19.223</u>
						0.000

5.3.5. Hoja de Cálculo del Socavón N° 1

Estación	Vista adelante	DI	< Horizontal	< Vertical	DH	DV
A	1	19..900	158° 02' 20"	90° 04' 45"	19.900	-0.027
1	2	18..315	202° 20' 05"	90° 07' 05"	18.315	-0.038
2	3	15.410	180° 44' 17"	90° 09' 08"	15.410	-0.041
3	4	15.430	180° 08' 30"	90° 08' 15"	15.430	-0.037
4	5	16.790	181° 01' 00"	90° 04' 30"	16.790	-0.022
5	6	11.650	175° 12' 15"	89° 25' 20"	11.649	0.117
6	7	20..350	165° 25' 15"	89° 31' 05"	20.349	0.171
7	8	23.700	206° 06' 35"	90° 02' 35"	23.700	-0.018
8	9	17.400	180° 09' 15"	90° 08' 45"	17.400	-0.044
9	10	19.370	182° 00' 20"	90° 35' 15"	19.369	-0.199
10	11	14.100	171° 58' 15"	86° 13' 25"	14.069	0.929
11	12	17.990	177° 23' 15"	89° 51' 45"	17.990	0.043
12	13	9.770	185° 23' 50"	88° 53' 50"	9.768	0.188
13	14	25.60	179° 04' 55"	90° 09' 05"	25.600	-0.068
13	13 A	11.900	248° 06' 55"	89° 06' 55"	11.899	0.184
13 A	13 B	11.550	98° 51' 05"	86° 54' 05"	11.533	0.624
13 B	14	13.260	152° 53' 15"	88° 36' 50"	13.256	0.321

5.3.6. Cálculo de los Azimut del Socavón

- Azimut B a A = $130^{\circ} 07' 00'' + \frac{180^{\circ}}{2}$
- Azimut A a B = $310^{\circ} 07' 00'' + \frac{158^{\circ} 02' 20''}{2} - \frac{468^{\circ} 09' 20''}{360^{\circ}}$
- Azimut A a 1 = $108^{\circ} 09' 20''$
- Azimut 1 a 2 = $130^{\circ} 29' 25''$
- Azimut 2 a 3 = $131^{\circ} 13' 42''$
- Azimut 3 a 4 = $131^{\circ} 22' 12''$
- Azimut 4 a 5 = $132^{\circ} 23' 12''$
- Azimut 5 a 6 = $127^{\circ} 35' 27''$
- Azimut 6 a 7 = $113^{\circ} 00' 42''$
- Azimut 7 a 8 = $139^{\circ} 07' 17''$
- Azimut 8 a 9 = $139^{\circ} 16' 32''$
- Azimut 9 a 10 = $141^{\circ} 16' 52''$
- Azimut 10 a 11 = $133^{\circ} 15' 07''$
- Azimut 11 a 12 = $130^{\circ} 02' 12''$
- Azimut 12 a 13 = $136^{\circ} 02' 12''$
- Azimut 13 a 14 = $135^{\circ} 07' 07''$
- Azimut 13 a 13 A = $203^{\circ} 14' 02''$
- Azimut 13 A a 13 B = $122^{\circ} 05' 07''$
- Azimut 13 B a 14 = $94^{\circ} 58' 22''$

5.3.7. Cálculo de los Ángulos Horizontales

Los ángulos horizontales, se obtuvieron aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Angulo Horizontal} = \frac{(\text{Angulo por reiteración 2} - \text{Angulo 1}) + \text{Angulo 1}}{2}$$

Así tenemos por ejemplo el cálculo del Angulo horizontal del H:

$$\text{Ángulo del 2} = \frac{(202^{\circ} 20' 10'' - 44^{\circ} 40' 10'') + 44^{\circ} 40' 10''}{2}$$

Ángulo horizontal del 2 = 202° 20' 05"

De esta forma se calcularon es resto de nuestros ángulos horizontales de nuestro socavón:

5.3.8. Cálculo de los Ángulos Verticales.

Los ángulos verticales, se obtuvieron aplicando la siguiente formula:

$$\text{Angulo Vertical} = \frac{(360^\circ - \text{Angulo vertical invertido}) + \text{Angulo vertical normal}}{2}$$

Así tenemos por ejemplo el cálculo del ángulo vertical del BM

$$\text{Ángulo vertical del 2} = \frac{(360^\circ - 269^\circ 52' 50'') + 90^\circ 07' 00''}{2}$$

$$\text{Ángulo vertical del 2} = 90^\circ 07' 05''$$

5.3.9. Calculo de la Distancia Horizontal.

La distancia horizontal “DH” se calculó aplicando la siguiente formula:

$$\text{Distancia Horizontal} = \text{Distancia Inclinada} \cos (90^\circ - \alpha)$$

Así tenemos por ejemplo el cálculo de la distancia horizontal del 1- 2:

$$\text{DH} = 18.315\text{m} \times \cos (90^\circ - 90^\circ 07' 05'')$$

$$\text{DH} = 18.315\text{m}$$

5.3.10. Cálculo de la Distancia Vertical

La distancia vertical “DV” se calculó aplicando la siguiente formula:

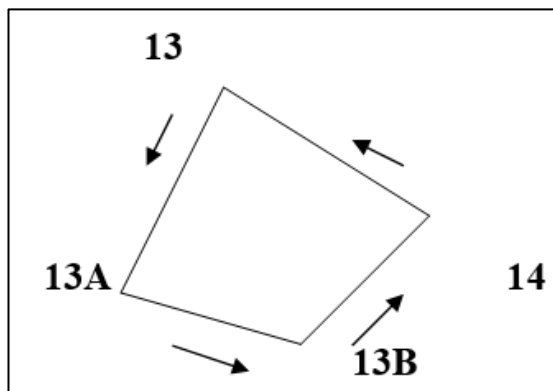
$$\text{Distancia vertical} = \text{Distancia horizontal} \text{tg} (90^\circ - \alpha)$$

Así tenemos por ejemplo el cálculo de la distancia horizontal del 1 - 2:

$$\text{DV} = 18.315 \text{ m} \times \text{tg} (90^\circ - 90^\circ 07' 05'')$$

$$\text{DV} = -0.038\text{m}$$

5.3.11. Cálculo de las Correcciones de ΔN



Lado	Corrección en el eje “Y”	
14 – 13	$= (0.070 \times 25.600) / 62.288$	$= 0.029$
13 - 13A	$= (0.070 \times 11.899) / 62.288$	$= 0.013$
13A – 13B	$= (0.070 \times 11.533) / 62.288$	$= 0.013$
13B – 14	$= (0.070 \times 13.256) / 62.288$	$= 0.015$
		0.070

$$DV = -3.838 / 3 = -1.279$$

Corrección de DV:	$-1.774 + 1.279 = -0.495$
	$-1.094 + 1.279 = 0.185$
	$-0.970 + 1.279 = 0.310$

5.3.12. Datos Corregidos de la Triangulación

DE	A	DH	AZIMUT			Coordenadas parciales		Coordenadas totales	
			°	'	"	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE
B	C	34.304	87	09	25	2.064	41.290	9204736.064	740.505.290
C	A	39.085	230	18	14	-24.551	-22.067	9204711.513	740483.223
A	B	34.336	310	07	00	22.487	-19.223	9204734.000	740464.000
		107.725				0.000	0.000		

Coordenadas de los puntos calculados			
EST.	Latitud	Longitud	Cota
C	9204736.064	740.505.290	991.505
A	9204711.513	740483.223	991.690

- Compensación de ΔN

LADO	ΔN	+	CORECCION ΔN	=	ΔN COMPENSADO
14 - 13	18.139	+	0.029	=	18.168
13 - 13A	-10.934	+	0.013	=	-10.921
13A - 13B	-6.126	+	0.013	=	-6.113
13B - 14	-1.149	+	0.015	=	$\frac{-1.134}{00.000}$

- Calculo de las Correcciones de ΔE

LADO	CORECCION EN EL EJE “X”
14 - 13	$(0.219 \times 25.600) / 62.288 = 0.090$
13 - 13A	$(0.219 \times 11.899) / 62.288 = 0.042$
13A - 13B	$(0.219 \times 11.533) / 62.288 = 0.041$
13B - 14	$(0.219 \times 13.256) / 62.288 = \frac{0.046}{0.219}$

- Compensación de ΔE

COMPENSADO	LADO	ΔE	-	CORECCION ΔE	=	ΔE
	14 - 13	-18.064	-	0.090	=	-18.154
	13 - 13A	-4.964	-	0.042	=	-4.964
	13A - 13B	9.771	-	0.041	=	9.730
	13B - 14	13.206	-	0.046	=	$\frac{13.160}{00.000}$

5.4. Climatología

El clima es cálido (25~ 32° C) durante todo el año, con una humedad relativa promedio es de 65%/0. En el sector comprendido entre 500 y 1 500 msnm, las

precipitaciones varían entre 140 y 430 mm de promedio multianual. La información proveniente de las estaciones Chilete (200,5 mm) y Magdalena (339,4 mm) que registran precipitaciones más altas que las anteriores.

5.5. Geología General

5.5.1. Corredor Estructural San Pablo – Porculla en el Norte del Perú

Este corredor presenta una orientación promedio de N 30° O, aproximadamente tiene 20 km de ancho por 120 km de largo y estaría conformado por un sistema de falla de compleja morfología aún no estudiada totalmente.

A lo largo de este corredor se puede observar fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, es decir que en algunos sectores puede tener movimientos de compresión y en otros de distensión, provocando de esta manera zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes relacionados con fases de mineralización hidrotermal; estas estructuras probablemente profundas han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos subvolcánicos y un intenso flujo hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales.

Entre los Pircos y Comuche se ha reconocido y cartografiado este sistema estructural, donde se puede observar un corredor limitado por las fallas Cirato y Los Pircos, Catache, los cuales controlan la ubicación de los yacimientos Los Pircos y Lucero (Achiramayo); son sistemas de fallas anastomosadas donde forman bloques romboédricos en cuyos vértices se han formado estructuras tipo abanicos imbricados o Cola de Caballo que son favorables trampas estructurales para la ubicación de zonas de bonanza, como es el caso de la veta Diana en los Pircos.

Otro rasgo estructural también observado en los yacimientos ubicados en este corredor es la presencia de estructuras menores de orientación NE – SO, con importantes contenidos metálicos, estos rasgos probablemente están relacionados a las fallas transformantes que corroboran el carácter segmento de los Andes y permiten proponer la existencia de bloques estructurales cuyos límites son la fallas transformantes de dirección anti-andina

A lo largo del corredor estructural San Pablo Porculla se emplazan una serie de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración, como Mina Paredones (Zn, Pb, Ag) la cual es un yacimiento de antecedentes históricos de producción (Castillo 1978); durante los últimos 15 años se han reconocidos varios yacimientos con características de un epitermal de tipo baja sulfuración, entre los cuales se puede mencionar a Los Pircos (Au – Ag),

Lucero – Achiramayo (Ag, Au), Corrales (Au, Ag), Diablo Rojo (Au), Cushuro (Ag, Au), Huyquisongo (Au, etc. (Valdivia 1992). La mineralización se encuentra principalmente en vetas con relleno de cuarzo, calcita y baritina, con contenidos de pirita, oro nativo, electrum, argentita, galena, calcopirita y escalerita, alojadas en rocas volcánicas del

Terciario y sedimentarias del Cretáceo

5.6. Geología Estructural

En el área en general no se observan mayores estructuras a no ser sino simples y moderados plegamientos en el sedimentario prepaleógeno neógeno y pequeñas fallas locales que no han producido mayores cambios, por lo que solamente se tienen ligeras inflexiones o cambios moderados en los rumbos y buzamientos de los estratos.

Subterráneamente, en la mina se han mapeado fallas normales post-minerales que buzaban hacia el NW y que han causado suaves desplazamientos de las vetas en sentido de la falla. Ellas se formaron probablemente después del período de plegamiento de los Andes

5.7. Estructuras Mineralizadas

Soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, pirita y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Las vetas son de estructura bandeada generalmente, aunque en algunos tramos el bandeamiento se hace débil y pasan a constituir vetillas irregulares de alto contenido de mineral hipógena intercaladas con fragmentos rocosos piritizados

mostrando evidencias de brechamiento. Esto podría indicar fallamientos a lo largo de la estructura con deposición nuevos minerales.

El rumbo de las estructuras es variable, pues las hay de rumbos NW - SE y ENE; los buzamientos son por encima de los 60°.

Las principales vetas son:

Murciélagos, West Pacasmayo, Esperanza 1 y 2 y Norte.

5.8. Emplazamiento Mineralógico de la Veta Murciélago

En adición al cuarzo y la pirita, como gangas minerales de la veta murciélago, se encuentran cantidades menores y variables de esfalerita, galena y disseminaciones de calcopirita como menas.

La esfalerita (Zn S) es el sulfuro más abundante (después de la pirita) presente en las vetas; comunes es de grano grueso en estructura bandeada con esporádicas inclusiones de calcopirita. Se presenta de un color marrón moderado y una esfalerita oscura negra se presenta en los niveles inferiores.

- La pirita se presenta disseminada, en vetillas y cristalizada en cubos, piritoedros y octaedros. No es raro encontrar la pirita en sus 3 formas cristalinas dentro de una misma veta; ello se debe a que tuvieron diferentes tiempos de formación o se formaron bajo diferentes condiciones físico-Químicas.



Figura 15: Veta murciélago con presencia de pirita.

- La galena se encuentra distribuida en todas las vetas y desde una moderada a mínima cantidad y según su ubicación en la columna mineralógica.



Figura 16: Veta murciélago con presencia de galena.

- La calcopirita raramente es vista megascópicamente, pero si se le encuentra como finas inclusiones y exoluciones dentro de la esfalerita. Sin embargo, próxima al área de la mina, existe la llamada veta Perdida esencialmente cubierto con calcopirita diseminada y en vetillas irregulares.
- La arsenopirita, marcasita, baritina, calcita y dolomita se observan muy escasamente y son los constituyentes menores de las vetas.
- El cuarzo constituye la ganga más abundante y se presenta masivo y en bandas dentro de la estructura bandeada o en pequeñas cavidades en cristales pequeños. Su depositación se realizó durante todo el período de mineralización de la estructura.



Figura 17: Muestra de cuarzo tomada de la veta murciélago.

- El yeso es de relativa amplia distribución, y se le encuentra masivo, más de origen hipógeno que supérgeno, así como también cristalizado en selenita.

5.8.1. Primer Emplazamiento Mineralógico

En las muestras tomadas en los respaldos de la brecha, la silicificación se hace muy evidente ya que la roca se torna de color gris mediano a gris oscuro. Este cambio de coloración ocurre en los alrededores de las vetillas de cuarzo o donde confluyen más de una vetilla, que se entrelazan sin dirección preferencial.

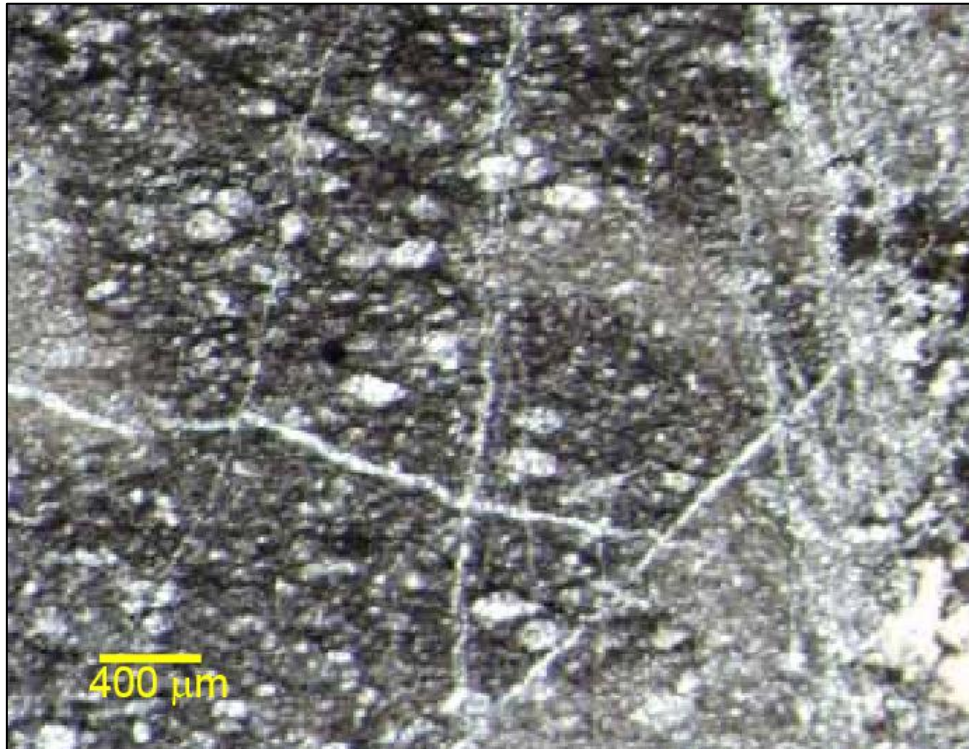


Figura 18: Vista al microscopio de la muestra 1, donde se observan la silicificación de la roca.

Sobresale la presencia de un mineral del grupo de la epidota, identificado como clinozoisita por su alto relieve, bajos colores de birrefringencia, falta de pleocroísmo y extinción oblicua en secciones prismáticas. Esta clinozoisita aparece en diminutos y escasos cristales dentro de las vetillas de calcita, que muestran reemplazamiento de cuarzo tipo sacaroidal.

Los clastos de este primer emplazamiento están casi totalmente silicificados y sólo presentan muy escasos y pequeños cristales de pirita, la mayoría de forma irregular aunque algunos presenta secciones rectangulares (cubos) y hexagonales (piritoedros). La hematites no es tan escasa como la pirita y se presenta bajo la forma de masas amorfas y pseudomorfos de cristales de pirita.

Tabla 5: Sucesión Mineral.

MINERAL	COMPOSICIÓN	ETAPAS			
		1°	2°	3°	4°
CALCITA	Ca CO ₃	██████████			
CUARZO	Si O ₂	██████████			
ELECTRUM	(Au, Ag)		██████████		
NAUMANNITA	Ag ₂ Se		██████████		
TETRAEDRITA	Sb ₄ S ₁₃ (Cu, Fe, Zn, Ag) ₁₂		██████████		
PIRITA	Fe S ₂	.....	.....	.....
CALCOPIRITA	Cu Fe S ₂		.....	
HEMATITES	Fe ₂ O ₃			██████████	██████████
GOETHITA	FeO (OH)			██████████	██████████
ADULARIA (Alterada)	K Al Si ₃ O ₈		.....	
CLINOZOISITA (epidota sin Fe)	Ca ₂ Al ₃ (OH) (SiO ₄) ₃	.....	██████████	.....
CLORARGIRITA	Ag Cl				██████████
ORO esquelético (libre)	Au				██████████
PARTZITA	Cu ₂ Sb ₂ (O, OH) ₇				██████████
MOSCOVITA	KAl ₂ (OH) ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)		.....	
CALCEDONIA	SiO ₂ (criptocristalino)			██████████	
ÓPALO	Si O ₂ · nH ₂ O		.....	
KAOLINITA (dickita)	Al ₄ ((OH) ₈ Si ₄ O ₁₀)	██████████			
PIROLUSITA	Mn O ₂				.....
MALAQUITA	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂				.....

EXPLICACIÓN	
██████████	Abundante (V) mineral a la vista
██████████	Moderado (P) mineral identificado por petrografía
.....	Escaso (ME) mineral identificado por microscopio electrónico
	(D) mineral identificado por difracción de rayos X

5.8.2. Segundo Emplazamiento Mineralógico

Este emplazamiento constituye la fase principal de mineralización económica por zinc y plata. Se distingue por presentar una roca con clastos monogénicos cementados por un enrejado de vetillas de calcita mayoritariamente y cuarzo en menor proporción que muestran un color

blanco lechoso a gris claro, que a su vez están cortadas por escasas y delgadas vetillas de ópalo y calcita de color amarillo miel. Resalta la presencia de clinozoisita en cantidad moderada a abundante, intercrecida en vetillas de cuarzo y calcita que muestran texturas tipo crustiforme y peine, y también se observó rodeando a clastos con textura tipo peine.

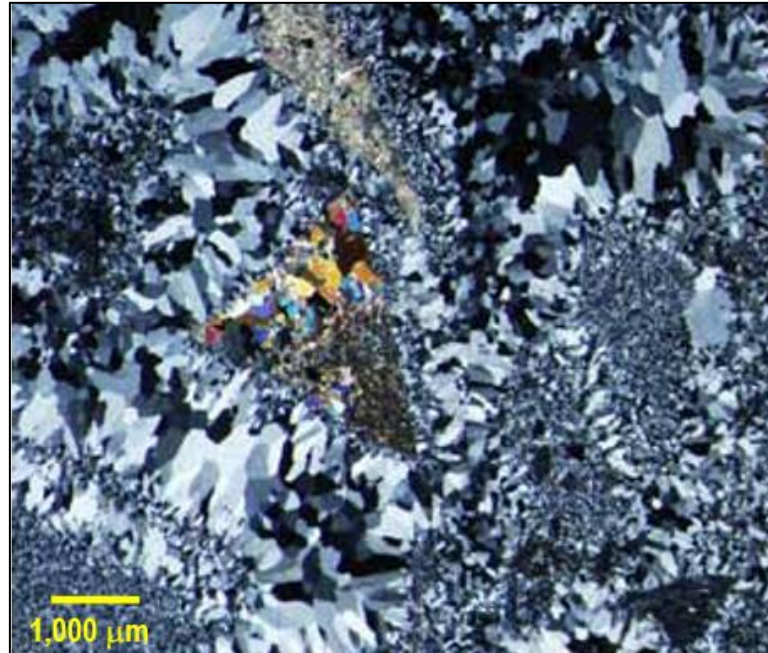


Figura 19: Clasto triangular de calcita reemplazada por clinozoisita.

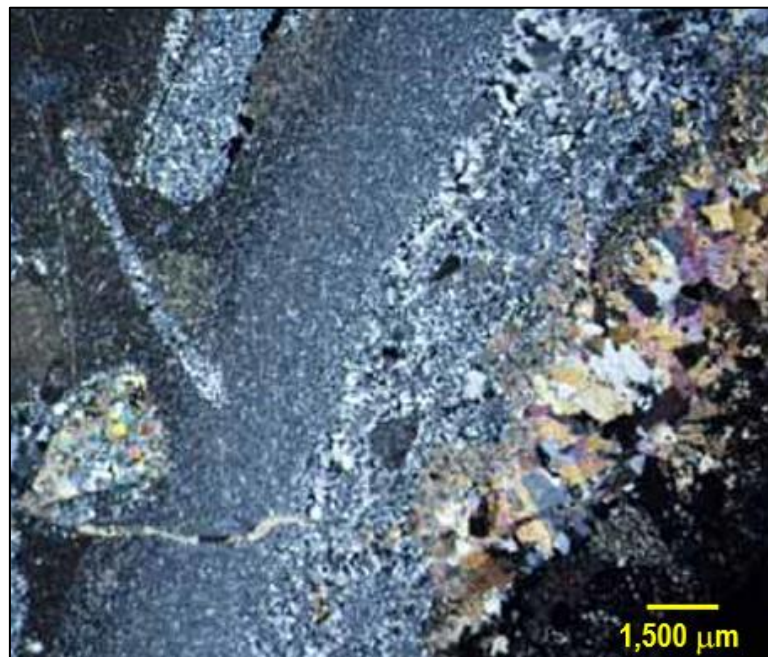


Figura 20: Vetilla de clinozoisita.

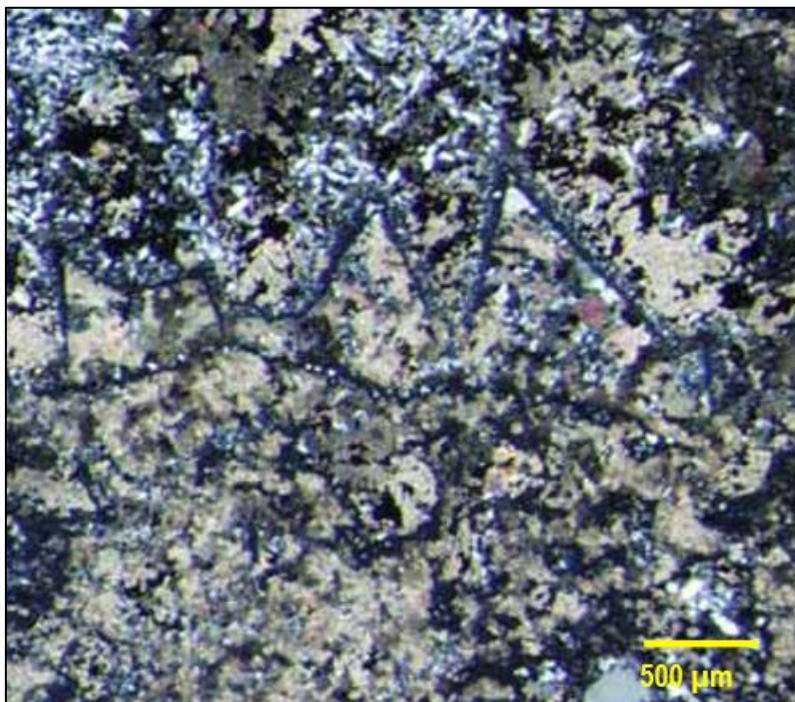


Figura 21: Cristales de adularia pseudomorfizados por calcita.

En este emplazamiento, también aparece adularia muy escasa, ya que sólo se identificó en la muestra 04, donde los cristales de adularia están pseudomorfizados por calcita (estructuras triangulares). Las bandas se presentan en colores café o verde, y contienen los más altos valores de zinc y plata de toda la estructura mineralizada. Al microscopio petrográfico se observa que las bandas están formadas principalmente por cuarzo y algún otro mineral que es el que aporta el color. Alternan bandas café oscuro con bandas verde-azul, en su mayoría con textura coliforme, cocarda y algo de tipo peine.

Las bandas de color café claro a oscuro están constituidas por un mosaico de cuarzo de grano fino, en partes con textura coloidal, con abundante goethita como mineral secundario, en posición intersiticial, en parches y rellenando fracturas. La proporción de los óxidos de hierro con respecto a la sílice microcristalina controla el color de las bandas. Estos minerales aparecen diseminados e intercrecidos con los granos de cuarzo. La pirita se presenta escasamente en cristales redondeados o subedrales diseminados en el cuarzo, en ocasiones parcialmente alteradas en sus bordes.

Se aprecia un conjunto de bandas y clastos de color verde-azul. Estas bandas están formadas por un mosaico de cuarzo de grano grueso junto

con un mineral muy abundante de color verde-azul. Este mineral se interpreta como el resultado de la alteración supergénica de la tetraedrita, por lo que forma parte del cuarto emplazamiento. También en estas bandas verde-azul se presenta naumannita y electrum diseminados escasamente y en mucho menor proporción que en las bandas color café. Cabe resaltar que el electrum se llega a observar a simple vista, ya que forma partículas de hasta un 1 mm de tamaño. La guía para encontrarlo es buscar clastos con bandas de color café o verde.



Figura 22: Intercalación de las bandas mineralizadas café y verde-azul.

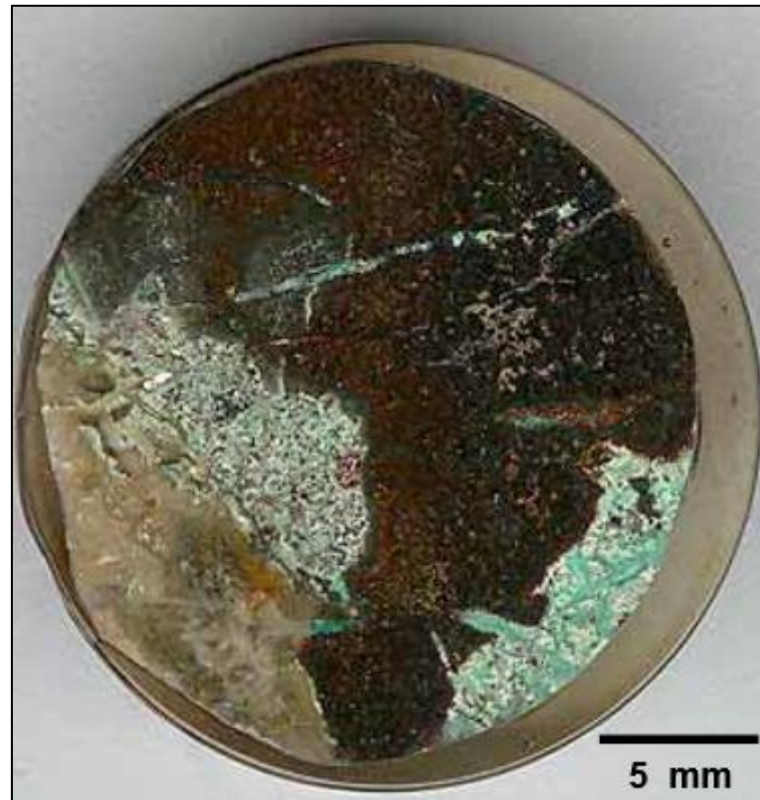


Figura 23: Clasto café oscuro, rodeado de partzita.

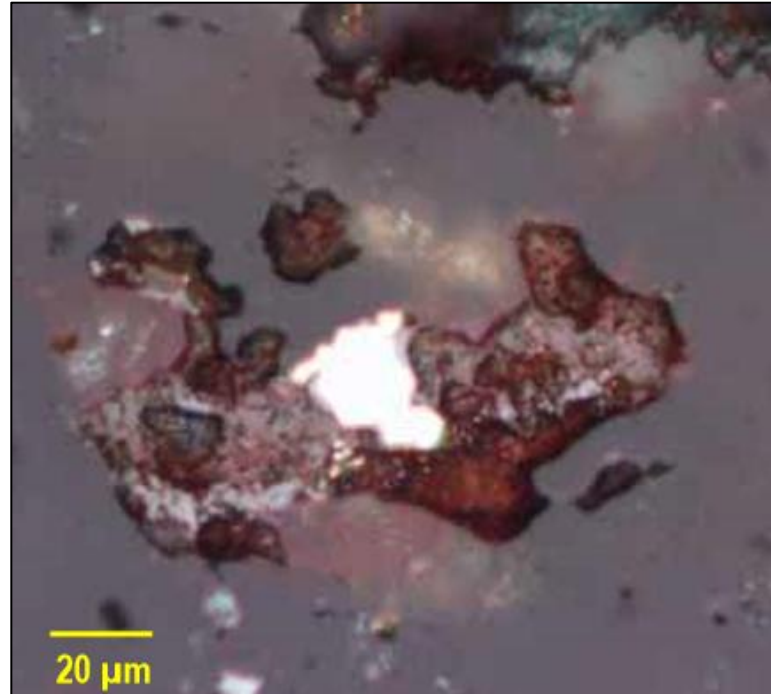


Figura 24: Partícula de electrum, bordeada de naumannita. La tetraedrita se caracteriza por su color pardo oscuro rojizo.

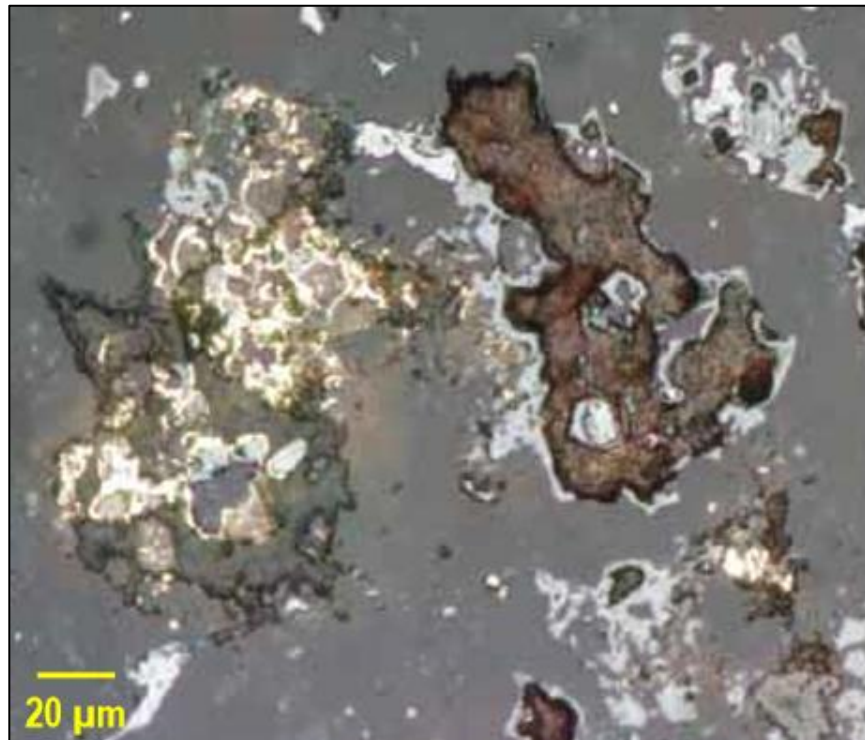


Figura 25: Naumannita se distingue por su color gris tenue y la tetraedrita por su color pardo oscuro rojizo y bordes muy definidos.

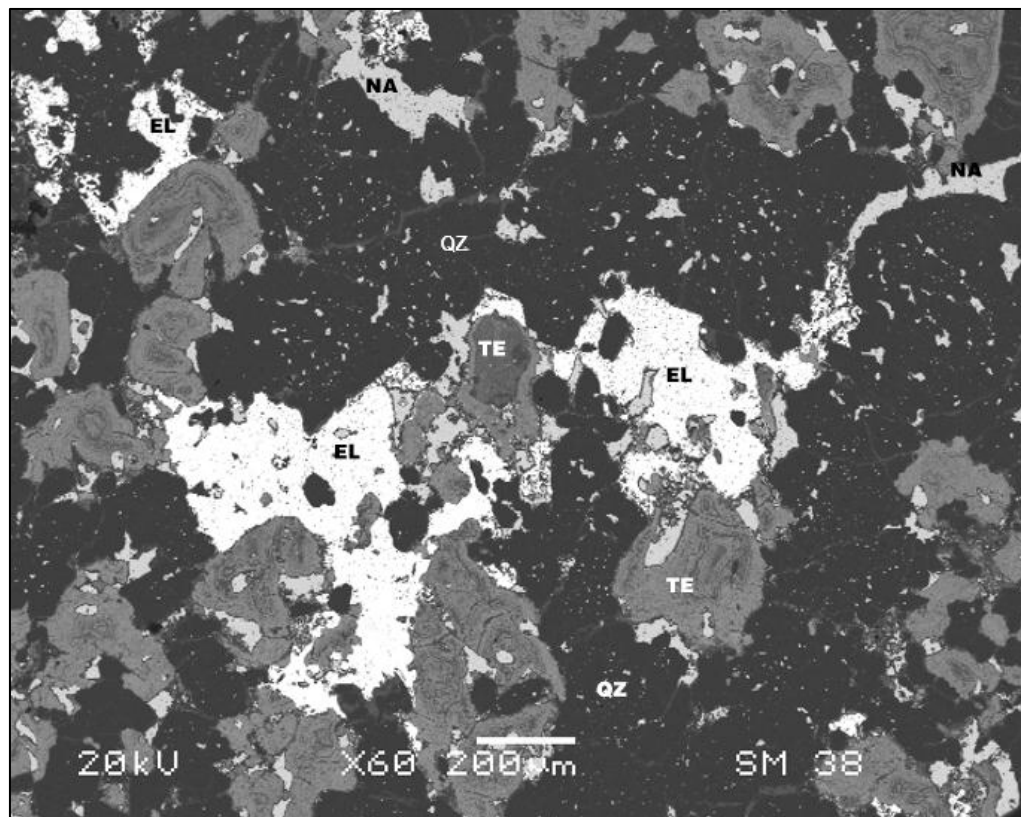


Figura 26: EL= electrum, NA= naumannita, TE= tetraedrita y QZ= cuarzo.

5.8.3. Tercer Emplazamiento Mineralógico

Este emplazamiento se distingue por presentar clastos constituidos por fragmentos de los cementos crustiformes de sílice y calcita que aparecen en la segunda etapa de brechamiento. Estos clastos se presentan siempre angulosos, con tamaños muy diversos, desde menos de 1 cm hasta 20 cm de tamaño.

El tercer emplazamiento se distingue del segundo, porque donde predomina la calcita el color es blanquecino translúcido y en donde predomina el cuarzo es incoloro, transparente y con textura de mosaico grueso y peine. Además contiene:

- Muy pocos clastos de rocas sedimentarias silicificadas y con vetillas internas de cuarzo;
- Contiene abundantes y grandes cristales idiomórficos de calcita, indicativo de su crecimiento en un espacio vacío;
- Clastos de cuarzo con textura sacaroidal con restos de calcita correspondientes al segundo emplazamiento de cementante. En el contacto entre el cementante del segundo y tercero emplazamiento, se forma un borde grueso de hasta 3 mm de grueso, conformado por cristales de calcita espática intercrecido con un poco de cuarzo.

En éste tercer emplazamiento clinozoisita se presenta en forma muy escasa. La muestra 5 presenta cementante de cuarzo anedral de tamaño grueso, con escasa calcita y clinozoisita que rodea a los agregados de cuarzo. En contraste en la muestra 7 el cementante es de calcita espática y contiene escasos cristales de clinozoisita.

En lo que respecta a mineralización metálica, al igual que en el primer emplazamiento, no contiene mineralización de zinc y/o plata. Observándose únicamente escasos y cristales aislados de pirita y pseudomorfos de hematites en pirita.



Figura 27: Roca con brechamiento del segundo emplazamiento, recementado con calcita y cuarzo de la 3ª etapa.

5.8.4. Cuarto Emplazamiento Mineralógico

Está constituida por minerales formados por la alteración supergénica de los minerales metálicos de las tres etapas anteriores y vetillas delgadas de calcita que en algunas partes forman drusas que varían de color blanco a miel translúcido.

En esta etapa se presenta plata libre con textura esquelética incluida en las oquedades del cuarzo cementante, y que muy probablemente tiene su origen en la alteración supergénica del electrum presente en la mineralización primaria del segundo emplazamiento. También aparece un mineral como relleno de las últimas fracturas, que se distingue a la vista por su hábito laminar, su lustre ceroso y por su color café violáceo, café mate y/o verde mate, identificado como clorargirita. La presencia de este mineral, se explica como producto de la alteración supergénica de la naumannita, la tetraedrita y el electrum del segundo emplazamiento.

La partzita (descrita anteriormente) se presenta abundantemente formando bandas junto con el cuarzo, que a su vez se intercalan con las bandas café, antes descritas, y también ocurre como halos de alteración de clastos de bandas café. Asociada a la partzita se presentan muy escasas partículas que se clasificaron como malaquita por su color verde y por

efervescer con el HCl. También se presenta hematites como pseudomorfo de los cristales de pirita, y goethita como alteración supergénica de los minerales que contienen alguna proporción de hierro, como son pirita, tetraedrita y/o calcopirita.

En la muestra 8 se observa un mineral de apariencia terrosa y de color naranja, que reacciona con el ácido clorhídrico y rellena los últimos espacios dejados por el cuarzo café miel del tercer emplazamiento. El análisis de microscopio electrónico indicó que se trata de calcita con pequeñas impurezas de Fe y Mg, que se infiere le dan ese color naranja tan distintivo.

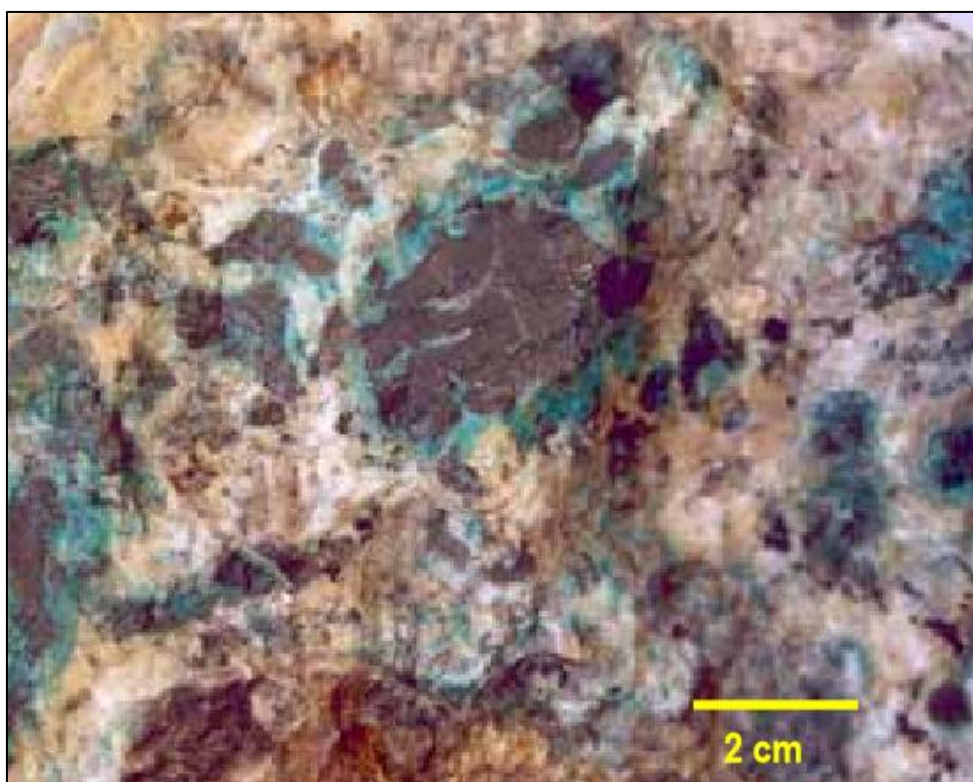


Figura 28: Halos de alteración de partzita (mineral verde-azul) a partir de clastos café que al microscopio presentan tetraedrita, naumannita, electrum, goethita y cuarzo.



Figura 29: Clastos con partzita, naumannita y electrum a la vista.



Figura 30: Detalle de la calcita de color naranja claro y cuarzo blanquecino, que forman bandas coliformes en el cementante del cuartoemplazamiento.

5.9. Paragénesis Mineral

El cuarzo y la pirita fueron los primeros minerales en depositarse al iniciarse la primera etapa de mineralización y continuaron depositándose durante toda la secuencia, deposicional. El aspecto masivo y finamente granulado (precipitación rápida) hasta la mineralización gruesa y cristalizada (última etapa deposicional) corroboran la deposición continuada.

- La arsenopirita es la siguiente en depositarse y se continúa con la deposición de la esfalerita y la galena.
- La chalcopirita, cuando se le encuentra, se le tiene en granos muy finos diseminada en la esfalerita por lo que se supone que puede haber sido formada por exsolución de ella.

Los otros minerales de gangas (marcasita, carbonatos, sulfatos, etc.) son considerados dentro de las etapas tardías de la secuencia deposicional.

- Cuarzo
- Pirita
- Arsenopirita Esfalerita
- Galena
- Chalcopirita Carbonatos- sulfatos



Figura 31: Mineralización de la veta Murciélago.

5.10. Clasificación y Origen de la Mineralización

Las características geo-mineralógicas de las estructuras nos indican que ellas fueron formadas por relleno hidrotermal de fisuras de sustancias mineralizantes bajo condiciones de moderada a baja temperatura y presión, de aquí que el depósito de Paredones está dentro del tipo mesotermal a epitermal.

El origen de la mineralización tiene que estar relacionada a la presencia de cuerpos intrusivos de composición intermedia que exista en la zona.

5.11. Alteración de las Rocas en el Área de la Mina

Aunque aparentemente el volcánico Paredones puede mostrar una débil alteración a simple vista (con excepción del extremo NE del área), la roca encajonante en la zona de estructuras muestra diferentes características y grados de alteración, la cual estaría relacionada al tipo de roca, tipo de mineralización y distancia a las vetas.

La argilitización de las rocas volcánicas tanto hipógena como supergénica es frecuente, como lo es la sericitización de los feldespatos y la cloritización. Las rocas más cerca de las vetas están más fuertemente alteradas y piritizadas, alteración que va disminuyendo con la mayor distancia; y allí donde se tiene concentración y cruce estructuras (hacia el NE de la mina) la alteración se hace más amplia; en superficie se tiene además zonas fuertemente oxidadas

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Levantamiento Topográfico

Se ha realizado el levantamiento topográfico a detalle, en ella se realizó una triangulación y el levantamiento del socavón donde se encuentra la veta murciélago. Para ello se adjuntan los planos correspondientes en anexos.

6.2. Geología

En cuanto a geología se encuentra presente el corredor estructural San Pablo – Porculla. A lo largo de este corredor se puede observar fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, es decir que en algunos sectores puede tener movimientos de compresión y en otros de distensión, provocando de esta manera zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes relacionados con fases de mineralización hidrotermal; estas estructuras probablemente profundas han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos subvolcánicos y un intenso flujo hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy , en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales.

6.3. Estructuras mineralizadas

En la veta murciélago se encuentran principalmente soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

6.4. Emplazamiento mineralógico

6.4.1. Primer Emplazamiento Mineralógico

El primer emplazamiento sobresale la presencia de un mineral del grupo de la epidota, identificado como clinozoisita por su alto relieve, bajos colores de birrefringencia, falta de pleocroismo y extinción oblicua en secciones prismáticas. Esta clinozoisita aparece en diminutos y escasos cristales dentro de las vetillas de calcita, que muestran reemplazamiento de cuarzo tipo sacaroidal.

6.4.2. Segundo Emplazamiento Mineralógico

Resalta la presencia de clinozoisita en cantidad moderada a abundante, intercrecida en vetillas de cuarzo y calcita que muestran texturas tipo crustiforme y peine, y también se observó rodeando a clastos con textura tipo peine.

6.4.3. Tercer Emplazamiento Mineralógico

En el tercer emplazamiento predomina la calcita el color es blanquecino translúcido y en donde predomina el cuarzo es incoloro, transparente y con textura de mosaico grueso y peine.

6.4.4. Cuarto Emplazamiento Mineralógico

En este emplazamiento se presenta plata libre con textura esquelética incluida en las oquedades del cuarzo cementante, y que muy probablemente tiene su origen en la alteración supergénica del electrum.

6.5. Método de Explotación

El método de explotación a usar en la veta murciélago de la mina Paredones es Por Corte y Relleno.

El sistema de corte y relleno con tepetate puede aplicarse a vetas con inclinación mayor a 50 grados y con mineral razonablemente firme tal como lo es la veta Murciélago. Una de las grandes ventajas de este sistema es la flexibilidad y el alto grado de extracción siendo este el motivo de ser usado en minerales con leyes irregularmente distribuidas y minerales de alta ley.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

7.1. Primer Emplazamiento mineralógico

Los clastos de este primer emplazamiento están casi totalmente silicificados y sólo presentan muy escasos y pequeños cristales de pirita, por tanto este primer emplazamiento no represente altas concentraciones de mena, para su viabilidad económica.

7.2. Segundo emplazamiento mineralógico

En este emplazamiento se encuentran minerales correspondientes a mena por tanto constituye la fase principal de mineralización económica por zinc y plata.

7.3. Tercer emplazamiento mineralógico

En lo que respecta a mineralización metálica, al igual que el primer emplazamiento, no contiene mineralización de zinc y/o plata. Observándose únicamente escasos y cristales aislados de pirita y pseudomorfos de hematites en pirita.

7.4. Cuarto emplazamiento mineralógico

Este es el emplazamiento mayormente rentable para la explotación de plata, ya que este mineral se encuentra libre, los minerales de cobre ayudan fuertemente a una mineralización más rica.

CONCLUSIONES

- La tendencia de la mineralización en la veta murciélago está definida por estructuras de rumbos NW - SE y ENE; con buzamientos son por encima de los 60°.
- De acuerdo al levantamiento topográfico la estructura del socavón que alberga a la veta Murciélago no cuenta con las condiciones adecuadas para una explotación minera segura, ya que el ancho y alto del socavón son sólo apropiados para una minería artesanal. en cuanto a su gradiente se considera que es la adecuada para explotación y acarreo.
- El control litológico estructural es definida por soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.
- El método de explotación a usar en la veta Murciélago es por Corte y Relleno de acuerdo a las características físicas y mineralógicas de la veta.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a nuestro levantamiento topográfico es recomendable seguir la explotación subterránea ya que los minerales de interés se encuentran en vetas, para ellos se debe mejorar las condiciones geométricas del socavón.
- Con el análisis de emplazamientos se evidencia mayor interés económico en el cuarto emplazamiento mineralógico, por ello se recomienda realizar explotación en zonas específicas.

REFERENCIAS

- Bonham, H.F., Jr., 1988, Models for volcanic-hosted precious metal deposits: A review, in Schafer, R.W., Cooper, J.J. y Vikre, P.G., eds., Bulk Mineable Precious Metal Deposits of Western United States: Geological Society of Nevada, p. 259-271.
- Boyle, R., 1672, Essay about the origine and virtues of gems: William Godbid, London, 185 p.
- Brathwaite, R.L., Mckay, D.F., 1989, Geology and exploration of the Martha Hill gold-silver deposit, Waihi: in Kear, D., ed., Mineral deposits of New Zealand: Australasian Institute of Mining and Metallurgy , Monograph 13, p. 83-88.
- Brathwaite, R.L., Faure, K., 2002, The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition: Economic Geology, 97, 269-290.
- Breislak, S., 1818, Institusions géologiques: (traducido del francés por P.J.L Campmas) Instituions geologiques, Milan, 1, 468 p. Brewster, D., 1823a, On the existence of two new fluids in the cavities of minerals, which are immiscible, and which possess remarkable physical properties: Edinburgh Philos., 9, p. 94-107.
- Carrillo, M., Suter, M., 1982, Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro: Libro Guía de la Excursión Geológica de la C.F.E., Reunión Nacional Geotecnia y Geotermia.
- Clarke, D.S., Lewis, R.H., Waldrom, H.M., 1990, Geology and trace element geochemistry of the Umuna goldsilver deposit, Misima Island, Papua New Guinea: Journal of Geochemical Exploration, v.35, p. 225-240.
- Cooke, D.R., Bloom, M.S., 1990, Epithermal and subjacent porphyry mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: a fluid-inclusion and paragenetic study: Journal of Geochemical Exploration, 35, 297-340.
- Cooke, D.R., McPhail, D.C., Bloom, M.S., 1996, Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Geology, mineralization, alteration, and the thermochemical environment of ore deposition: Economic Geology, v. 91, p. 243-272.
- Mangas, J., Sierra, J., 1991, Las inclusiones fluidas: Método de análisis e interpretación: en Lunar R. y Oyarzun R., p. 79-146.
- Mérida, C.A., Ortiz, H.L.E., López R.J.E., 1993, Geología del Yacimiento Auroargentífero-Brechoide San Martín, Querétaro: XX Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M., A.C., p. 216 - 226.

- Motilla, J.L., 1994, Interpretación genética de un depósito epitermal Au-Ag, San Martín, Colón, Querétaro, México: Reporte interno de la Cía. Minera Teck, no publicado.
- Ortiz, H.L.E., Solís P.G.N., 1985, Estudio metalogénico de la mina auroargentífera de San Martín, Mpio. Colón, Qro.: Gerencia de Estudios Especiales, Archivo Técnico del Consejo de Recursos Minerales.
- Sillitoe, R.H., 1977, Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: A review, in Volcanic processes in ore genesis: London, Institution of Mining and Metallurgy and Geological Society, p. 99-116.
- Sillitoe, R.H., 1993, Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and Shallow features, Geological Association of Canada, Special paper 40, p. 403-417.
- Sillitoe, R.H., Steele, G.B., Thompsom, J.F.H., Lang, J.R., 1998, Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt: Mineralium Deposita, v.33, p. 539-546.

ANEXOS



Figura 32: Interior del socavón de la veta murciélag.



Figura 33: Veta Murciélag.



Figura 34: Medición de las estructuras.



Figura 35: Medidas de datos geométricos del socavón.



Figura 36: Medidas de la veta murciélago.



Figura 37: Sostenimiento del socavón.



Figura 38: Entrada al socavón de la veta murciélago.