

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y ALTERACIONES  
HIDROTERMALES DEL YACIMIENTO PUCAMARCA –  
TACNA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ROYIER ROGER TIPO CANSAYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y ALTERACIONES  
HIDROTERMALES DEL YACIMIENTO PUCAMARCA – TACNA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ROYIER ROGER TIPO CANSAYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**



**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE DE JURADO:** \_\_\_\_\_

**M.Sc. Ariel / Pepe Aquino Pacheco**

**PRIMER MIEMBRO:** \_\_\_\_\_

**Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos**

**SEGUNDO MIEMBRO:** \_\_\_\_\_

**Ing. Agustín Víctor Vélez Vilca**

**ASESOR DE TESIS:** \_\_\_\_\_

**Ing. Roberto Florentino Zegarra Ponce**

**ÁREA: GEOLOGÍA DE MINAS**

**TEMA: PROSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS METÁLICOS**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

## AGRADECIMIENTOS

A la COMPAÑÍA MINERA MINSUR S.A. Por darme la oportunidad para realizar esta tesis.

A la Universidad Nacional del Altiplano por ser el alma mater y mentora en mi proceso de desarrollo personal y profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme transmitido sus conocimientos consejos y experiencias para desenvolverme en la vida profesional.

A mi hermano Vergilio, Estanislao, Dina, por su incondicional apoyo que hicieron posible mis objetivos.

A mi asesor: Ing. Roberto F. Zegarra Ponce docente de la Escuela Profesional Ingeniería Geológica por sus amplios consejos y conocimiento a lo largo de estos años.

Al Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos por ser un docente ejemplar y correcto en sus enseñanzas

## DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado por el buen camino y por haberme dado vida y salud para lograr mis objetivos.

A mis padres Melecio y Gabriela ya que con gran fuerza y motivación constante en todo momento de mi vida que me han permitido ser una persona profesional.

A Maribel mi amada y Celin Gabriela fruto de nuestro amor, mis Hermanos Virgilio, Graciela, Estanis, Adolfo, Dina, Heber, Irene; quienes me alentaron y me apoyaron incondicionalmente en todo momento para continuar con mis propósitos.

**INDICE**

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	3
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4 HIPÓTESIS	5
1.4.1 Hipótesis General.	5
1.5 OBJETIVOS	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos	6
1.6 METODOLOGÍA	6
1.6.1 Metodología descriptiva	6
1.6.2 Etapas De Investigación	6
1.6.2.1 Recopilación de información	6
1.6.2.2 Trabajo en campo	7
1.6.2.3 Trabajo en gabinete	7
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1 YACIMIENTOS EPITERMALES	8
2.1.1 Los fluidos de Alta Sulfuración (AS)	9
2.1.2 Yacimientos Epitermales de Au-Ag-Cu de Alta Sulfuración	11
2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	12
2.2.1 Marco Tectónico	13
2.2.2 Ambiente de Depositación	13
	iii

2.2.3	Edad de Mineralización	13
2.2.4	Tipos de Rocas Huésped/asociadas	13
2.2.5	Forma de los Depósitos	13
2.2.6	Textura y Estructura	14
2.2.7	Mineralogía de Menas	14
2.2.8	Mineralogía de Ganga	14
2.2.9	Meteorización	14
2.2.10	Controles de Mineralización	15
2.2.12	Modelo Genético	15
2.3	YACIMIENTOS DE BAJA SULFURACIÓN	15
2.4	ALTERACIONES	18
2.4.1	Estilo de Alteración	18
2.4.2	Tipos de Alteraciones	18
2.4.2.1	Alteración Potásica	18
2.4.2.2	Alteración Propilítica	19
2.4.2.3	Alteración Fílica	19
2.4.2.4	Alteración Argílica	19
2.4.2.5	La alteración Argílica Intermedia	20
2.4.2.6	La alteración Argílica Avanzada	20
2.4.2.7	Silicificación	20
2.5	YACIMIENTOS DE ALTA SULFURACIÓN EN EL SUR DEL PERÚ	21
2.6	AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN	22
2.7	BRECHAS TECTÓNICAS	22
2.8	DIATREMA	22
2.8.1	Diatrema y sus Rocas de Caja	23
2.8.2	Desviaciones del Modelo Ideal de Diatrema	23
2.8.3	Mineralización Asociada con Sistemas de Diatremas	24
2.9	ANÁLISIS QUÍMICOS	24
2.9.1	Ph	25
2.9.2	Límites de Eh-pH en la Naturaleza	25
2.10	METALOGENIA	26
2.10.1	Franja de Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno (XXIII)	26

2.14	PERFORACIÓN DIAMANTINA	27
<b>CAPÍTULO III</b>		28
<b>CARACTERIZACIÓN DE ÁREA DE INVESTIGACIÓN</b>		28
3.1	UBICACIÓN	28
3.2	ACCESIBILIDAD	29
3.3	CLIMA	30
3.4	GEOLOGIA REGIONAL	30
3.4.1	Estratigrafía	30
3.4.1.1	Formación Moquegua (PN-mo_s)	30
3.4.1.2	Formación Huaylillas (Nm-hu)	31
3.4.1.3	Formación Barroso (Tq-vbai/vbas)	31
3.4.2	Rocas Ígneas	32
3.4.2.1	Granodiorita	32
3.4.2.2	Monzonita	33
3.4.2.3	Andesíta	33
3.4.2.4	Riolitas	33
3.4.3	Geología Estructural	34
3.4.3.1	Fallas Regionales	34
a)	El Sistema de Fallas de Incapuquio (SFI)	34
b)	Falla Incapuquio	34
c)	El Sistema Transcurrente del Sistema de Fallas Incapuquio	35
3.5	GEOLOGÍA LOCAL	39
3.5.1	Geomorfología	39
3.5.1.1	Unidades Geomorfológicas	39
a)	Pampas Costaneras	39
b)	Flanco Disectado de los Andes	39
c)	Superficie de Huaylillas	40
d)	El Altiplano	40
3.5.2	Litoestratigrafía	40
3.5.2.1	Complejo Basal de la Costa.	42
3.5.2.2	Formación Machani (Jr-ma)	42
3.5.2.3	Formación Junerata (Ji-vl)	42

3.5.2.4	Formación Pelado (Ji-p)	42
3.5.2.5	Formación Ataspaca (Js-at)	42
3.5.2.6	Formación Chulluncane (KTI-Chu)	43
3.5.2.7	Formación Toquepala (KTI-ta)	43
3.5.2.8	Formación Tarata (KTI-ta)	43
3.5.2.9	Formación Huilacollo (TI-vh)	43
3.5.2.10	Formación Moquegua (Ts-mo)	44
3.5.2.11	Formación Huaylillas (Ts-vhu)	44
3.5.2.12	Formación Barroso (Ts-vba)	44
3.5.3	Geología Estructural	44
3.5.3.1	Sistema de Fallas Incapuquio	45
3.5.3.2	Falla Incapuquio	45
3.5.3.3	Falla Challaviento	45
3.5.3.4	Falla Bellavista	46
3.5.3.5	Sistema de Fallas Norte –Sur	46

## CAPÍTULO IV

	ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS	47
4.1.	GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	47
4.1.1	Generalidades	47
4.1.2	Volcánicos Huilacollo	49
4.1.3	Pórfido Andesítico	49
4.1.4	Pórfido de Cuarzo-Pórfido Brecha-Brecha Híbrida	50
4.1.5	Tufo - Brecha	55
4.1.6	Tufo - Fragmental	56
4.1.7	Tufisita	57
4.2	MINERALOGÍA	59
4.2.1	Minerales De Mena	59
4.3	ESTRUCTURAL	60
4.4	PETROGRAFÍA	62
4.5	ALTERACION HIDROTERMAL	65
4.5.1	Sílice Masiva	66
4.5.2	Sílice Masiva Oquerosa	66

4.5.3	Sílice Oquerosa	67
4.5.4	Argílica Avanzada	68
4.5.5	Argílica.	68
4.5.6	Propílica.	68
4.6	MINERALIZACIÓN	68
4.7	ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA EN ROCAS DE LA DIATREMA PUCAMARCA	82
4.8	TERMINOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN	83
4.9	RELACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN CON LA LITOLOGÍA	87
4.10	RELACIÓN CON LA MINERALIZACIÓN CON LAS ESTRUCTURAS	88
4.11	RESULTADOS DE EXPLORACIÓN – RESERVAS MINERALES	88
4.12	MODELO HIPOTÉTICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA DIATREMA PUCAMARCA	89
4.13	ESTUDIO COMPARATIVO DEL YACIMIENTO EPITERMAL PUCAMARCA CON OTROS SIMILARES EN EL PERÚ	91
4.13.1	Generalidades	91
4.13.2	Depósito Diseminado Epitermal de Alta Sulfuración de Arasi	92
4.13.3	Rasgos Geológicos del Yacimiento Epitermal de Quicay	93
4.14	CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO EPITERMAL DE PUCAMARCA DENTRO DE UN ESTILO DE ALTA SULFURACIÓN	94
4.14.1	Ambiente Estructural	94
4.14.2	Tamaño	95
4.14.3	Mineralogía Económica	95
4.14.4	Mineralogía de Ganga	95
4.14.5	Alteración	95
4.14.6	Ph	96
4.14.7	Textura	96
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	98
	BIBLIOGRAFÍA	99
	ANEXO	

## LISTA DE FIGURAS

N°	Descripción	Pag
01:	Depósitos epitermales.	9
02:	Depósitos de alta sulfuración.	12
03:	Marco volcánico – tectónico de sistema de baja sulfuración.	16
04:	Imagen satelital área de estudio.	29
05:	Vista panorámica del cerro Caldero, Checocollo y el volcán Tacora.	47
06:	Diatrema Pucamarca.	48
07:	Pórfido cuarcífero fracturado y brechado en matriz de sílice- hematita, pórfido cuarcífero con textura gusano.	53
08:	Textura gusano en pórfido de cuarzo en los testigos de perforación.	53
09:	Brecha híbrida; una mezcla heterogénea fuertemente obliterada por varios eventos diástróficos y de alteración.	54
10:	Brecha de pórfido; se nota varios fragmentos de roca sedimentaria, matriz de sílice y hematita.	54
11:	Tufo brecha con fragmentos de QP y volcánicos algunos son sub-redondeados.	55
12:	Tufo fragmental; los fragmentos son angulares y subangulares	57
13:	Tufisita; fácilmente deleznable, tamaño de grano sacaroide de color blanco gris.	58
14:	Tufisita; acuolas de 1-3 mm como resultado de la desgasificación.	59
15:	Estudio petrográfico de la muestra MN°-12.	62
16:	Estudio petrográfico de la muestra DDH-45 (155.50m).	63
17:	Estudios petrograficos de la muestra DDH 29 (206-208 m).	64
18:	Estudio mineragráfico de la muestra DDH-29 (206-208m).	71
19:	Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m).	72
		viii

20:	Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m).	73
21:	Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m).	74
22:	Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m).	75
23:	Difracción de rayos – X. Muestra DDH 29(206-208 m.).	76
24:	Estudio microscopía electrónica de barrido y microanálisis por EDX-Muestra DDH-130(210.50 m.).	77
25:	Estudio microscopía electrónica de barrido y microanálisis por EDX.	78
26:	Estudio microscopía electrónica de barrido y microanálisis por EDX Muestra DDH-130(210.50m).	79
27:	Estudio microscopía electrónica de barrido y microanálisis por EDX Muestra DDH-130(210.50m).	80
28:	Estudio microscopía electrónica de barrido y microanálisis por EDX DDH-130(210.50m).	81
29:	Esquema comparativo.	86
30:	Evolución geológica Oligoceno medio.	89
31:	Evolución geológica Mioceno medio.	90
32:	Evolución geológica Terciario.	90

**LISTA DE CUADROS**

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pag</b>
01:	Accesibilidad al yacimiento Pucamarca.	29
02:	Análisis de elementos químicos.	65
03:	Análisis Geoquímico.	82
04:	Minerales de mena en yacimientos auríferos de alta, Intermedia y baja sulfuración (frecuencia de abundancia).	85
05:	Minerales de ganga en yacimientos auríferos de alta, intermedia y baja sulfuración (frecuencia de abundancia).	87

**LISTA DE TABLAS**

<b>N°</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Pag</b>
01:	Comparativo de alta sulfuración y baja sulfuración.	17
02:	Columna estratigráfica local.	41

**LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS**

AMEC:	Acesoria mediambiental-consulting
Au:	Oro
Ag:	Plata
AS:	Alta sulfuración
Cu:	Cobre
C°:	Cerro
°C:	Grados centígrados
DDH:	Perforación diamantina
H+:	lixiviación ácida
INGEMMET:	Instituto Geológico Minero Metalúrgico
K:	Potasio
Km:	Kilómetros
Ma:	Millones de años
Msnm:	Metros sobre el nivel del mar
QSP:	Cuarzo – sericita – piritita
RC:	Aire reverso
SFI:	Sistema de fallas Incapuquio
IGN:	Instituto Geográfico Nacional

## RESUMEN

Al NE de Tacna, capital del departamento del mismo nombre se encuentra ubicado el yacimiento aurífero de Pucamarca. La mineralización es principalmente oro libre. Ocasionalmente se reporta galena, argentita, plata nativa, esfalerita y chalcopirita en los niveles más profundos, pero nunca alcanzaron valores importantes.

El total de sondajes perforados fue: 169 taladros en cerro Checocollo. El muestreo de trincheras tanto en cerro Checocollo como en cerro Caldero produjo resultados sorprendentes. Por ejemplo en cerro Checocollo se identificó un área de 160 x 140 metros de ancho con un promedio de 2.38 gr Au/Ton. En la ladera norte se logró identificar una zona de Morrena de 30-50 metros de potencia y 300 x 600 metros de largo. Esta ha sido sistemáticamente perforada con sistema aire reverso en centros espaciados de 50 metros.

La silicificación intensa y extensa acompañada de lixiviación ácida con generación de sílice oquerosa, la alteración argílica avanzada nos indican condiciones ácidas extremas de un ambiente de alta sulfuración.

La diatrema se formó contemporáneamente al ascenso del intrusivo pórfido de cuarzo acompañado de un proceso explosivo ácido en el cual se emplazan el tufo brecha, tufo fragmental y tufisita, poniendo así en marcha un flujo hidrotermal circulante en una diatrema a través de fracturas, en donde por pérdida de presión y temperatura estos fluidos precipitan parte de su carga silíceo junto a oro y los otros elementos propios de este ambiente.

Las características geológicas, mineralógicas, petrológicas, estructural nos permite determinar que corresponde a un yacimiento epitermal de alta sulfuración; que además está relacionada genéticamente con la formación de una diatrema, controlada estructuralmente por una falla regional.

**Palabra Clave:** Alta Sulfuración, Alteración Hidrotermal, Diatrema, Epitermal, Lixiviación.

## ABSTRACT

To NE of Tacna, capital of the department of the same name is located the gold deposit of Pucamarca. Mineralization is mainly free gold. Occasionally galena, argentita, native silver, sphalerite and chalcopirite are reported in the deepest levels, but never reached important values.

The total drilled holes were: 169 Drills in cerro Checocollo. The sampling of trenches in both cerro Checocollo and cerro Caldero produced surprising results. For example in cerro Checocollo an area of 160 x 140 meters wide was identified with an average of 2.38 gr Au / Ton. In the north slope was identified a morrena area of 30-50 meters of power and 300 x 600 meters in length. This has been systematically perforated with reverse air system in centers spaced 50 meters.

The intense and extensive silicification accompanied by acid leaching with the generation of silica oquerosa, the advanced argillic alteration indicates the extreme acidic conditions of a high sulphidation environment.

Diatrema was formed contemporaneously with the ascent of the intrusive quartz porphyry accompanied by an explosive acid process in which the breccia tuff, fragmental tuff, and tufisite are placed, thus initiating a circulating hydrothermal flow in a diatrema through fractures, where by loss of pressure and temperature these fluids precipitate part of their siliceous load with gold and the other elements proper to this environment.

The geological, mineralogical, petrological, structural characteristics allow us to determine that it corresponds to an epithermal deposit of high sulphuration; which is also genetically related to the formation of a diatrema, structurally controlled by a regional fault.

**Keywords:** High Sulfidation, Hydrothermal Alteration, Diatrema, Epithermal, Leaching.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El yacimiento Pucamarca tiene como límites aproximados hacia el norte al poblado de Caplina en las coordenadas 8046.000N; hacia el este el vecino país de Chile, hacia el sur el poblado de Vilaviláni con las coordenadas 8024.000N y hacia el oeste el poblado de Palca con las coordenadas 388.500E.

En agosto del 2001 se iniciaron los trabajos de prospección geoquímica de sedimentos fluviales en el sureste de Tacna, limítrofe con el vecino país de Chile, en observación de que esta área se mantenía inexplorada a pesar de ser parte de una franja mineralizada importante (Loayza, Dante 2004).

Estos estudios indicaron débiles anomalías por cobre en las cercanías del cerro Checocollo; identificado posteriormente el origen de la misma que se ubicaba en el mismo cerro mencionado. La exploración diamantina ejecutada luego definió los rasgos geológicos en profundidad, como son litología, alteración y mineralización

De esta manera que la empresa MINSUR S.A. ubica esta zona y la determina como área de interés por lo cual el año 2002 comenzó a realizar investigaciones en el área

confirmado la presencia de oro, fecha desde la cual la empresa decidió llevar a cabo una exploración local de mayor profundidad analítica incluyendo: Cartografía, trincheras y sondeos diamantinos, definiendo así los rasgos geológicos en profundidad como son litología, alteraciones hidrotermales, estructural y mineralización, estudios que simultáneamente fueron reforzados con estudios petrominerográficos.

Es así que el yacimiento Pucamarca situado en la región Tacna – Moquegua al noreste de la ciudad de Tacna. Específicamente se ubica en la Falla Incapuquio, una importante estructura regional que se extiende más de 100 kilómetros en dirección NW-SE y en cuyo entorno se encuentran muchos yacimientos minerales principalmente cupríferos.

En este yacimiento se observa la presencia de dos apófisis intrusivas; uno de composición de pórfido andesítico y el otro de pórfido de cuarzo, que podrían haber aportado las soluciones mineralizantes auroargentíferas, a través de una diatrema.

Las alteraciones en la diatrema y en la roca caja relacionadas con la mineralización, son principalmente silicificación intensa en la parte central gradando a argílica avanzada, argílica y propilitica hacia los bordes. La mineralización hidrotermal se habría depositado primero a través de una fase sulfúrica inicial de más alta temperatura, en la cual se depositaron sulfuros de cobre y hierro. Esta fase deposicional habría sido oxidada y parcialmente destruida por nuevas soluciones hidrotermales ascendentes que dieron lugar a la deposición de oro y plata en forma diseminada, en una fase deposicional de más de baja temperatura que la fase sulfídica inicial, y se caracteriza por la asociación de oro libre, oropimente, rejalgar-cinabrio y azufre nativo. Esta asociación es típica del ambiente epitermal, en la cual la plata se presenta algunas veces asociada al oro (electrum), como sulfosales y raramente plata nativa. Los resultados de los estudios llevados a cabo hasta

el momento llegan a la conclusión de que Pucamarca es un yacimiento epitermal de oro de alta sulfuración.

Es en esta trama que se encuentra circunscrita la presente investigación, ya que se considera que la productividad de un yacimiento se refleja entre otros en dos aspectos muy importantes.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

Es evidente que la prospección minera afianza los programas de exploración a una mínima etapa de recopilación de estudios realizados con anterioridad.

La demanda por encontrar Au - Ag surge la motivación para MINSUR S. A. investigar a profundidad las características del yacimiento aurífero de Pucamarca.

Si bien este tipo de yacimientos auríferos no ha sido estudiado profundamente en la zona sur del Perú, nos interesa el poder situarlo en un contexto de estudio y comparación con otros yacimientos auríferos epitermales alojados en diatremas en el Perú.

La franja volcánica del sur del Perú, enmarcada dentro del arco magmático principal en los Andes peruanos presenta un interesante potencial aurífero epitermal, cuyas manifestaciones son los actuales yacimientos auríferos epitermales.

Si bien este tipo de yacimiento no ha sido estudiado profundamente en el sur del Perú, nuestro interés, es identificar a partir de la caracterización geológica la ocurrencia de un estilo epitermal y poder situarlo en un contexto de estudio y comparación con otros yacimientos auríferos alojados en diatremas en el Perú.

De acuerdo al planteamiento de problema se formulan la siguiente interrogante.

- ¿Cuáles son las características geológicas del yacimiento aurífero de Pucamarca?
- ¿Qué características estructurales y alteraciones hidrotermales presenta el yacimiento Pucamarca?

## 1.2 ANTECEDENTES

El área fue visitada previamente por algunas Compañías Mineras como Newmont, Hoschscild, Southern Perú. Es muy probable que sus resultados no fueron lo suficiente interesantes en Au-Ag o en elementos rastreadores (pathfinders) como para denunciar el área.

- En el año 2001 Minsur realizó un reconocimiento regional de toda el área, trabajo que incluyó muestreo sistemático de sedimentos activos de quebrada y roca. No hubo resultados positivos a pesar de haber llegado con el muestreo de sedimentos de quebrada hasta la confluencia de la quebrada Checocollo con el río Uchusuma (1.5 kms del cerro Mineralizado).
- En el año 2002 el pequeño minero Ing. Percy Cuadros recolecta varias muestras del C° Checocollo y en sus resultados encuentra seis anomalías en oro (0.15-2.00 gr/ton Au). El 2 de mayo aplica por un petitorio de 600 hectáreas “Frontera Uno” que posteriormente lo ofrece a Minsur.
- A fines de mayo 2001 geólogos de Minsur se constituyen en terreno, recolectan muestras y en su evaluación preliminar concluyen que el área es de interés para la empresa. Se decide firmar una opción de transferencia a 36 meses con el Ing. Percy Cuadros.
- En el año 2002 se firma el contrato de opción y en la primera semana de agosto se inicia la perforación diamantina. Primero con una máquina en C° Caldero luego con dos y finalmente con diez y una de aire reverso.
- Inicialmente la perforación estuvo orientada a determinar recursos en C° Caldero. Varias muestras habían arrojado valores en el rango de 7 - 31 gt/Au, así como una débil anomalía de plata (10-15 gr ton/Ag).

- Históricamente no existe evidencia de actividad minera en el área; con excepción de los yacimientos de Toquepala, Quellaveco, Cuajone y pequeñas minas en las Zonas de Ilabaya y Tarata.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las justificaciones pueden abarcar las distintas formas, aspectos o distintas fuentes. Tales como: la demanda de los metales en el mercado internacional la cual insta a realizar estos estudios para encontrar nuevos puntos de recursos minerales.

La otra es que haciendo este estudio contribuyamos al desarrollo del conocimiento y por ende a la confrontación de ideas sobre el conocimiento existente, confrontar con otros trabajos ya existentes y de esa forma generar debates académicos, contrastar resultados, buscar y mostrar soluciones a un problema científico.

Así mismo poder contribuir en el desarrollo de las comunidades que están afectadas dentro del proyecto, generando nuevas fuentes de trabajo que ayuden a mejorar sus condiciones de vida.

Por lo anteriormente expuesto es de interés de empresa MINSUR S.A. determinar las características geológicas y establecer el potencial del yacimiento Pucamarca.

### **1.4 HIPÓTESIS**

#### **1.4.1 Hipótesis General.**

Los resultados obtenidos en base a la caracterización geológica durante el proceso de exploración del yacimiento aurífero de Pucamarca, nos ayudará a postular que se trata de un yacimiento tipo epitermal.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar las características geológicas, alteraciones hidrotermales, y aspectos estructurales del yacimiento Pucamarca.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Describir las características geológicas, petrográficas, estructurales mineralógicas del yacimiento.
- Determinar las alteraciones hidrotermales presentes en el yacimiento.

## **1.6 METODOLOGÍA**

### **1.6.1 Metodología descriptiva**

El presente trabajo de investigación está enmarcado en el campo cualitativo y aplica metodología descriptiva en relación a datos de campo, y correlacional por precisar muestreo geoquímico asociado a unidades litoestratigráficas, aplicando la metodología explicativa para las interpretaciones en base a la cartografía geológica elaborada, en esta sección se hace el desarrollo teórico y metodológico de las técnicas que han de utilizarse en la recolección de la información.

### **1.6.2 Etapas De Investigación**

#### **1.6.2.1 Recopilación de información**

El presente trabajo recopila gran parte de información geológica, mineralógica, alteraciones hidrotermales y estructurales de los trabajos de geología llevados a cabo por el equipo de geólogos de Minsur S.A. Así mismo información de reportes informes realizados por el departamento de geología de Minsur S.A.

En esta fase se trata de obtener toda la información disponible relacionada a los yacimientos epitermales.

Se recopiló también información de tesis y trabajos de investigación del área de estudio.

#### **1.6.2.2 Trabajo en campo**

El trabajo de campo se realizó revisando los trabajos anteriores y actualizando los mapeos a escala 1/2,500 Tales como son: mapeo geológico, mapeo de alteraciones, mapeo de estructural. Toma de datos estructurales, toma de muestras para realizar los estudios microscópicos, toma de fotografías de la zona de estudio.

Campaña de perforación diamantina, (2011) con LONGYEAR 44, logeo de los testigos de perforación, muestreos, para análisis químico.

#### **1.6.2.3 Trabajo en gabinete**

El trabajo en gabinete se ha centrado en la interpretación de los resultados de los muestreos superficiales (trincheras) y resultados de las perforaciones diamantinas.

La elaboración de los planos geológicos, estructural, alteraciones hidrotermales se han elaborado a una escala 1/2,500 y a su vez se han elaborado las secciones a una escala de 1/2,500.

Se ha realizado la elaboración de planos con diferentes Softwares tales como son el Auto CAD, ArcGIS. MineSig

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

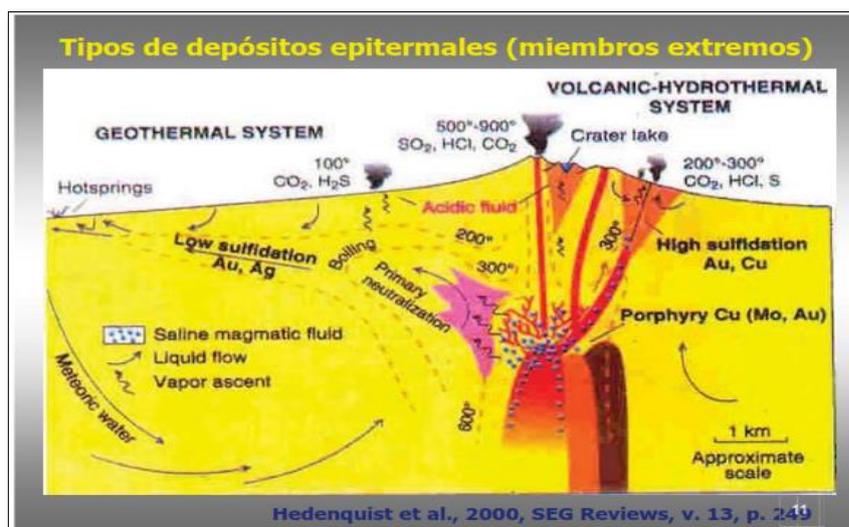
#### 2.1 YACIMIENTOS EPITERMALES

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  $<100^{\circ}\text{C}$  hasta unos  $320^{\circ}\text{C}$  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.

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 S en forma de  $\text{SO}_2$  (oxidado) y en los de baja sulfuración como  $\text{S}^{-2+}$  en forma de HS (reducido).

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.



**FIGURA 01:** Depósitos epitermales (Hedenquist, J. W. 2000).

### 2.1.1 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.

En ambos tipos de depósitos (BS y AS) los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización controlada estructuralmente), pero también pueden circular por niveles de rocas permeables y eventualmente mineralizar ciertos estratos. Los fluidos de BS

generalmente forman vetas de relleno con metales preciosos o series de vetas/vetillas más finas, denominadas “stockwork” o “sheeted-veins”. Los fluidos de AS más calientes y ácidos penetran más en las rocas huésped originando cuerpos mineralizados vetiformes, pero también diseminación en las rocas. Los depósitos de oro de BS pueden contener cantidades económicas de Ag y cantidades menores de Pb, Zn y Cu, mientras los de sistemas auríferos de AS a menudo producen cantidades económicas de Cu y algo de Ag. Otros minerales asociados con los de BS son cuarzo (incluyendo calcedonia), carbonato, pirita, esfalerita y galena, mientras los de AS contienen cuarzo, alunita, pirita y enargita. La exploración geoquímica de estos depósitos puede resultar en distintas anomalías geoquímicas, dependiendo de la mineralización involucrada. Los sistemas de BS tienden a ser más ricos en Zn y Pb, más bajos en Cu y con razones Ag/Au más altas. Los de AS pueden ser más ricos en As y Cu con razones Au/Ag más bajas. La fineza del oro ( $=\text{Au}/(\text{Au}+\text{Ag}) \times 1000$ ) en yacimientos epitermales es en general baja (promedio 685 en sistemas del Pacífico SW), es decir el oro contiene apreciables cantidades de plata (color amarillo pálido a blanco) y en muchos casos se presenta como electrum (aleación natural de oro y plata); en contraste los yacimientos de tipo pórfido o skarn presentan normalmente más alta fineza del oro (promedio 920). Los depósitos epitermales se presentan en muchos países incluyendo Japón, Indonesia, Chile y el oeste de EEUU, los que se encuentran en el “anillo de fuego” del Pacífico, que corresponde al área de volcanismo que rodea al Océano Pacífico desde Asia del Sur hasta el oeste de Sudamérica. La mayoría de los depósitos son del Cenozoico Superior, porque la preservación de estos depósitos formados cerca de la superficie es más improbable en rocas más antiguas, aunque en el norte de Chile existen depósitos epitermales de edad paleocén (El Guanaco, El Peñón) Los depósitos epitermales contribuyen significativamente a la producción

mundial de oro y constituyen blancos de exploración que deben ser evaluados cuidadosamente sobre la base de la cantidad de metal que pueden proveer y a que costo. Muchos depósitos epitermales se presentan en regiones remotas de países subdesarrollados y la construcción de infraestructura (caminos, líneas eléctricas, conductos de agua y plantas de tratamiento) puede ser necesaria previa a la explotación del depósito. Estos gastos aumentan el costo de una operación minera y deben considerarse al calcular la factibilidad económica de un depósito.

El método de minería y procesamiento del mineral son también factores importantes en la economía de un depósito. Dado que los depósitos epitermales se forman a profundidades de menos de 2 Km (menor profundidad si la erosión los ha exhumado), muchos son factibles de explotar a rajo abierto, lo que es menos costoso y permite la explotación de leyes menores.

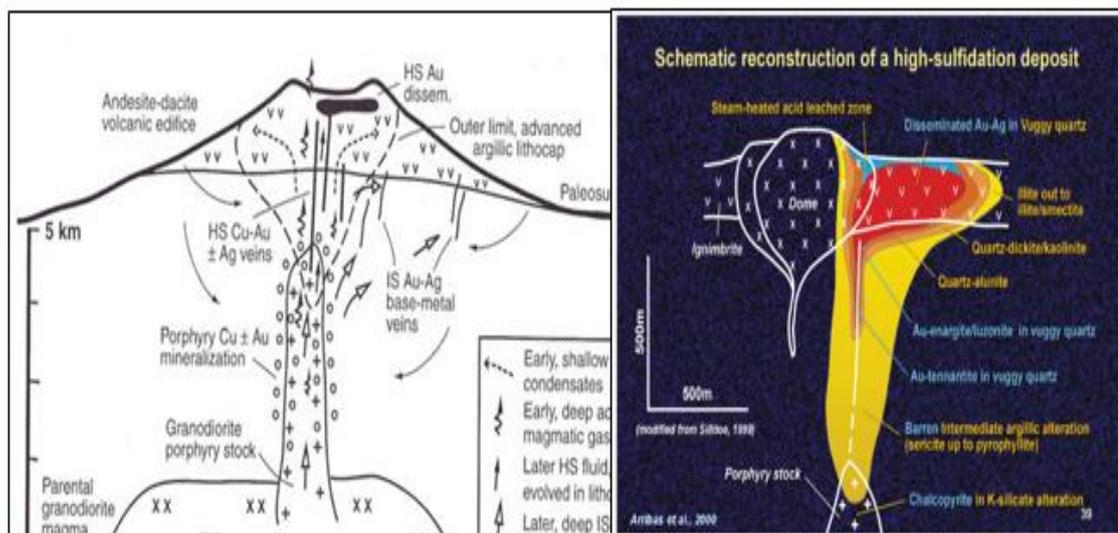
Los depósitos más profundos o controlados estructuralmente (vetas) pueden explotarse solamente por métodos subterráneos más caros y requieren de leyes mayores para constituir yacimientos económicos. Los métodos de recuperación para el oro epitermal pueden involucrar flotación, cianuración por agitación o cianuración en pilas. El costo del procesamiento va a aumentar si el oro está contenido en minerales que son difíciles de procesar, tales como la arsenopirita. El oro que presenta dificultades para su extracción metalúrgica se denomina “oro refractario” y es característico de menas sulfuradas, las que deben ser previamente oxidadas (tostación o biolixiviación) para poder recuperar el oro. (Hedenquist J.W. 1987).

### **2.1.2 Yacimientos Epitermales de Au-Ag-Cu de Alta Sulfuración**

Sinónimos: Epitermal tipo ácido-sulfato, Au cuarzo-alunita, argílica avanzada de alunita-caolinita ± pirofilita, tipo Nansatsu, oro enargita. Los depósitos son comúnmente

referidos como ácido-sulfato por la geoquímica de los fluidos hidrotermales, cuarzo-alunita o caolinita-alunita por su mineralogía de alteración, o tipo de alta sulfuración en referencia al estado de oxidación de los fluidos ácidos responsables de la alteración y mineralización. Sustancias (subproductos): Au, Ag, Cu (As, Sb)

Ejemplos: El Indio, La Coipa, El Guanaco, Choquelimpie en Chile; Goldfield y Paradise Peak (Nevada, USA), Summitville (Colorado, USA), Nansatsu (Japón); Temora (Australia); Lepanto y Nalesbitan (Filipinas); Pueblo Viejo (República Dominicana), Chinkuashih (Taiwan), Rodalquilar (España).



**FIGURA 02:** Depósitos de alta sulfuración (Henley y Ellis, 1983; Giggenbach, 1992; John, 2001, Sillitoe y Hedenquist, 2003).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Vetas, brechas con oquedades y reemplazos de sulfuros variando desde bolsones, hasta Lentas masivos en secuencias volcánicas asociadas a sistemas hidrotermales someros caracterizados por lixiviación ácida, alteración argílica avanzada y sílicea.

### **2.2.1 Marco Tectónico**

Marcos extensionales y transtensionales, comúnmente en arcos volcano-plutónicos de márgenes continentales, arcos de islas y atrás-arco. En zonas con emplazamiento magmático de alto nivel, donde los estratovolcanes y otros edificios volcánicos se construyen sobre plutones.

### **2.2.2 Ambiente de Depositación**

Subvolcánico a volcánico en calderas, complejos de domos de flujo, raramente en maares, bordes de diatremas y otras estructuras volcánicas; a menudo relacionados con stocks subvolcánicos, diques y brechas. Se postula que sobreyacen y están relacionados genéticamente con sistemas de pórfidos cupríferos en intrusiones mineralizadas que subyacen estratovolcanes.

### **2.2.3 Edad de Mineralización**

Terciario a Cuaternario; menos comúnmente Mesozoico y raros en fajas volcánicas Paleozoicas. La rara preservación de depósitos más viejos refleja rápidas tasas de erosión antes del enterramiento de volcanes subaéreos en arcos tectónicamente activos.

### **2.2.4 Tipos de Rocas Huésped/asociadas**

Rocas volcánicas piroclásticas y de flujos, comúnmente andesita a dacita subaérea y sus equivalentes intrusivos subvolcánicos. Unidades sedimentarias permeables intervolcánicas pueden estar mineralizadas.

### **2.2.5 Forma de los Depósitos**

Vetas y bolsones y lentes de reemplazos masivos de sulfuros, stockworks y brechas. Comúnmente las formas irregulares de los depósitos están determinadas por la permeabilidad de las rocas de caja y la geometría de las estructuras controladoras de la

mineralización. Son comunes múltiples vetas compuestas que se cortan unas a otras.

### **2.2.6 Textura y Estructura**

Es característica la sílice oquerosa que es un producto residual de lixiviación ácida (hidrólisis extrema). Cavidades con drusas, vetas bandeadas, brechas hidrotermales, reemplazos masivos de rocas de caja con cuarzo de grano fino.

### **2.2.7 Mineralogía de Menas**

Pirita, calcosina, covelina, bornita, oro, electrum, calcopirita, esfalerita, tetraedrita, galena, marcasita, arsenopirita, sulfosales de plata, y telururos dos tipos de menas están presentes comúnmente: enargita-pirita masiva y/o cuarzo-alunita-oro.

### **2.2.8 Mineralogía de Ganga**

Predomina el cuarzo y la pirita. Puede haber baritina; los carbonatos están ausentes.

Mineralogía de alteración (principal y subordinada). Cuarzo, caolinita/dickita, alunita, baritina, hematita; sericita/illita, arcillas amorfas y sílice, pirofilita, andalusita, diásporo, corindón, turmalina, dumortierita, topacio, zunyita, jarosita, sulfatos de Al-P y azufre nativo. La alteración argílica avanzada es característica y puede ser arealmente extensa y prominente visualmente. El cuarzo se presenta como reemplazos de grano fino y característicamente como sílice oquerosa residual en rocas con lixiviación ácida.

### **2.2.9 Meteorización**

Las rocas meteorizadas pueden contener abundante limonita (jarosita-goethita-hematita), generalmente en una masa fundamental de caolinita y cuarzo. Son comunes las vetas de alunita supergena de grano fino y nódulos.

### **2.2.10 Controles de Mineralización**

En edificios volcánicos – anillos de caldera y fracturas radiales; conjuntos de fracturas en domos resurgentes y complejos de domos de flujo, chimeneas de brechas hidrotermales y diatremas. Fallas y brechas en y alrededor de centros intrusivos. Litologías permeables, en algunos casos con cubiertas menos permeables de rocas alteradas u otras cubiertas rocosas. Los depósitos ocurren en rangos extendidos de profundidad, desde solfataras de alta temperatura en paleosuperficie hasta cúpulas de cuerpos intrusivos en profundidad.

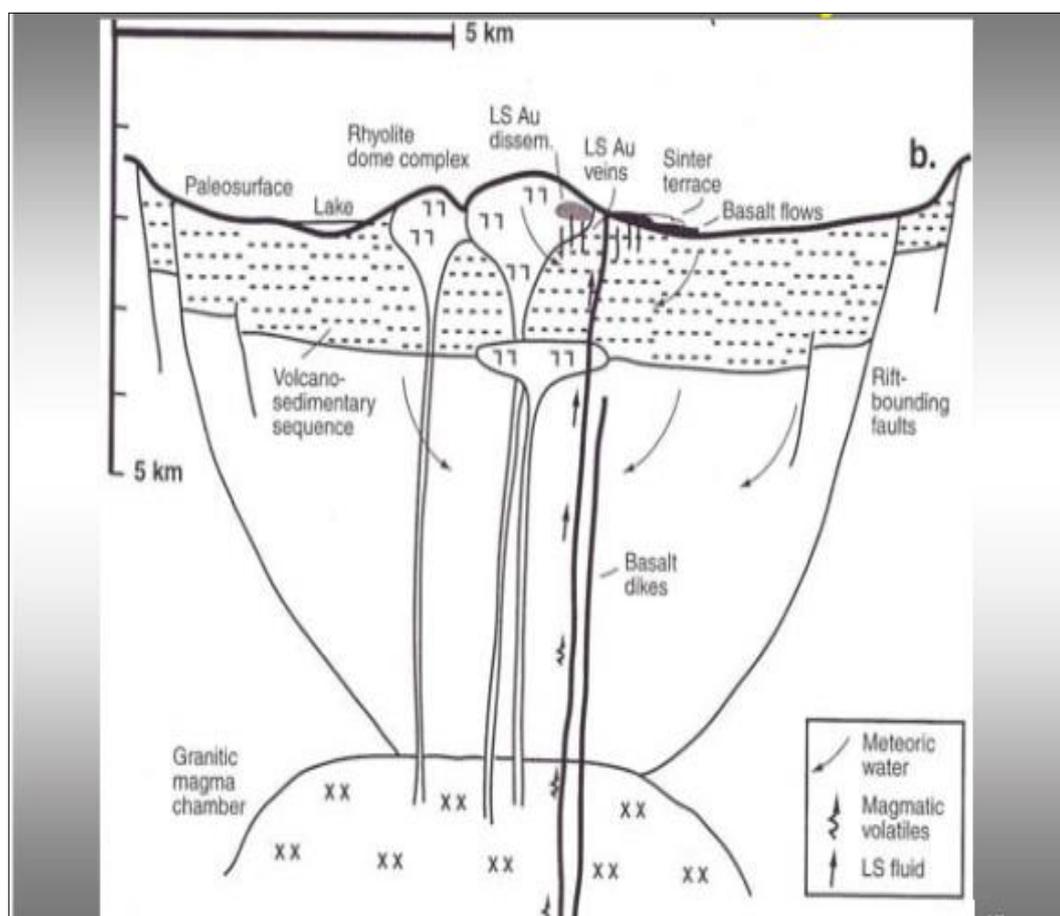
### **2.2.12 Modelo Genético**

Las investigaciones recientes, principalmente en el Pacífico SW y Los Andes, muestra que estos depósitos se forman en complejos volcánicos subaéreos o en volcanes compuestos de arcos de islas sobre cámaras magmáticas. Frecuentemente los depósitos pueden relacionarse genéticamente a intrusiones de alto nivel. Son comunes múltiples etapas de mineralización, presumiblemente relacionadas a tectonismo periódico, con actividad intrusiva relacionada y generación de fluidos hidrotermales.

## **2.3 YACIMIENTOS DE BAJA SULFURACIÓN**

Depósitos de baja-sulfuración se caracteriza por las texturas de reemplazamientos de adularia y calcita dentro de vetas de cuarzo con gradaciones hacia las rocas de caja a zonas de illita, illita-esmectita e illita-esmectita-clorita. Calcita también puede ocurrir dentro de la zona de alteración. La variación en alteraciones de arcilla hacia afuera de la mineralización es típicamente muy difícil de definir en el campo, pero podría ser detectado con el SWIR. Las características de estas zonas están bien descritas por numerosos autores, incluyendo White y Hedenquist (1990) y Sillitoe (1993). El ancho de las zonas de alteración varía de centímetros a metros. Las zonas calentadas por vapor

de alteración arcillosa avanzada podrían también tapar o desarrollarse lateralmente de mineralización de baja-sulfuración. (Hedenquist J.W.1987).



**FIGURA 03:** Marco volcánico – tectónico de sistema de baja sulfuración (Henley y Ellis, 1983; Giggenbach, 1992; John, 2001, Sillitoe y Hedenquist, 2003).

**TABLA 01**  
**Comparativo de alta sulfuración y baja sulfuración**

CARACTERISTICAS	ALTA SULFURACION	BAJA SULFURACION
<b>Marco estructural</b>	Estructuras domáticas, emplazadas generalmente en los márgenes de calderas	Ambientes volcánicos complejos; frecuentemente asociados con calderas
<b>Rocas volcánicas genéticamente relacionadas</b>	Principalmente andesitas y riódacitas	Andesitas-riódacitas-riolitas
<b>Extensión de la zona de alteración</b>	Area extensa (kilométrica) y visualmente prominente	Restringida y visualmente sutil
<b>Ensamblajes de alteración característicos</b>	Argílica avanzada a argílica, +/- sericita. Alunita hipógena cristalizada; pirofilita en profundidad	Sericítica a argílica. Sericita (oillita) y adularia; a veces cloritas. Alunita supérgena
<b>Tipo de minerales desilíce y texturas características</b>	Cuarzo vulgar (con frecuencia alberga el oro), fenocristales relictos, cuarzo masivo o de grano fino, text. de reemplazamiento	Relleno de fracturas y espacios abiertos por calcedonia o cuarzo con texturas: justificada, colorada y tipo cocada.
<b>Gangas de carbonato</b>	No ocurren	Ubicuas, con frecuencia mangíferas
<b>Otras gangas</b>	Baritina ampliamente distribuida; S nativo relleno de fracturas abiertas; canditas	Barita y/o fluorita presentes sólo localmente; baritina por lo general sobreyacente a la mena
<b>Presencia de sulfuros</b>	Abundantes y variados; por lo general de grano fino	Más escasos; principalmente pirita
<b>Forma de ocurrencia</b>	Diseminados, reemplazamientos; subordinados stockwork y venas	Relleno de fracturas y espacios abiertos; stockwork frecuente
<b>Sulfuros característicos</b>	Enargita, luzonita, calcocita, covelita, bornita, calcopirita	Esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y arsenopirita
<b>Principales metales</b>	Cu, Au, As, (Ag, Pb)	Au y/o Ag; (Zn, Pb, Cu)
<b>Metales accesorios</b>	Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te, (Hg)	Mo, Sb, As, (Te, Se, Hg)
<b>Temperatura</b>	200 a 300 °C	200 a 300 °C
<b>Tipo de fluido</b>	Acido; oxidado	pH casi neutro; reducido
<b>Salinidad</b>	1 a 24 wt% NaCl eq.	0 a 13 wt% NaCl eq.
<b>Fuente de los fluidos</b>	Dominantemente meteórico; posible componente magmático significativo	Dominantemente meteórico
<b>Fuente del azufre</b>	Origen profundo; probablemente magmático	Origen profundo; probablemente lixiviado de rocas encajonadas profundas
<b>Fuente del plomo</b>	Rocas volcánicas o fluidos magmáticos	Rocas precambrianas o fanerozoicas subyacentes a las volcánicas
<b>Otras denominaciones</b>	Adularia-sericita	Sulfato-ácido, Cuarzo-alunita

FUENTE: (Canchaya S. 1992)

## **2.4 ALTERACIONES**

Son los cambios que ocurren en la roca de caja en mineralogía y textura debido a los fluidos mineralizantes. La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral, para indicar el carácter de las soluciones asociadas de los minerales secundarios. La conversión de un ensamble de minerales primarios a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos (Petersen, U.1999).

### **2.4.1 Estilo de Alteración**

Los principales estilos de alteración son; penetrantes, selectivamente penetrantes y no penetrantes. La alteración penetrante es caracterizada por el reemplazamiento de la mayoría o todos los minerales originales formadores de roca. Esto resulta de la total o parcial alteración de la textura original. Alteración argílica avanzada. La alteración tipo penetrante selectiva se refiere al reemplazamiento de minerales específicos, por ejemplo, la clorita reemplaza a la biotita, o sericita reemplazando a las plagioclasas (Petersen, U.1999).

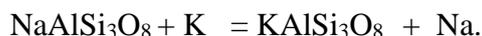
### **2.4.2 Tipos de Alteraciones**

Es importante reiterar que las alteraciones hidrotermales envuelven una serie de proceso metasomáticos y reacciones de cambio de base, por cuya razón el álcali. El metasomatismo del  $H^+$ , es de particular importancia, especialmente en los sistemas hidrotermales relacionados a rocas ígneas (Petersen, U.1999).

#### **2.4.2.1 Alteración Potásica**

Presenta un ensamble característico de ortoclasa – biotita – cuarzo, ortoclasa – clorita algunas veces ortoclasa – biotita – clorita, ortoclasa – biotita – magnetita; Acompañado

por cantidades variables de otros minerales como albita – sericita – anhidrita – apatito.



La alteración potásica es especialmente común e importante en los pórfidos y sistema de mineralización epitermal, donde ocurren en la zona de alta temperatura. Los minerales característicos de esta alteración son feldespatos potásicos y biotita en los pórfidos y adularia en los sistemas epitermales. La alteración potásica está usualmente acompañada por sulfuros (calcopirita, pirita, molibdenita) (Petersen, U.1999).

#### **2.4.2.2 Alteración Propilítica**

La alteración propilítica tiende a ser más penetrante hacia la zona interior de un depósito hidrotermal, o, en otras palabras, alrededor de una fuente hidrotermal caliente. La alteración propilítica gradada hacia el exterior a una roca no alterada, o donde el metamorfismo está presente hacia el interior (Petersen, U.1999).

#### **2.4.2.3 Alteración Fílica**

La alteración fílica o sericitización es típica de un ensamble cuarzo – sericita – pirita. Las fases minerales, asociadas con la alteración QSP son el feldespato potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita y apatito. Común en vetas hidrotermales, en los pórfidos de cobre que se producen a temperaturas de 200 – 300°C (Petersen, U. 1999).

#### **2.4.2.4 Alteración Argílica**

La alteración argílica está caracterizada por la formación de minerales arcillosos bajo un intenso metasomatismo de H<sup>+</sup> (lixiviación ácida) con temperaturas entre 100 - 300 C. Esta alteración gradada hacia el interior hacia una zona fílica, considerando hacia el exterior una gran zona propilítica. Este tipo de alteración es común en los sistemas porfídicos de depósitos de pórfidos de Cu Mo. Los ambientes epitermales son tipificados por una extensa lixiviación ácida.

La lixiviación básica de aluminio – silicatos pueden resultar en un enriquecimiento en sílice y de la alteración argílica, y pueden ser un gran factor para las zonas de enriquecimiento en sílice. Los minerales de arcillas reemplazan principalmente a las plagioclasas y a los minerales máficos (hornblenda, biotita). Las arcillas amorfas como la alófana están también presentes y reemplazan a las facies aluminio (Petersen, U.1999).

#### **2.4.2.5 La alteración Argílica Intermedia**

Es definida como la presencia de montmorillonita, illita (menor de 100C y pH 5 – 6). Clorita y arcillas del grupo de caolín (caolinita, dickita, halloysita, alófana toda ellas formadas a temperaturas menores de 300C y pH 3). Menor cantidad de sericita y de cuando en cuando el feldespato K puede estar como un remanente inalterado, con el K, Ca, Mg, Na, no lixiviados completamente. Las biotitas y cloritas pueden ser localmente importantes (Petersen, U.1999).

#### **2.4.2.6 La alteración Argílica Avanzada**

Es debida al intenso ataque ácido, y más o menos completa lixiviación de los cationes alcalinos con la completa destrucción de los feldespatos y fases de silicato máfico.

La alunita, dickita, caolinita, pirofilita, baritina y diáspora son las fases de minerales típicos de este tipo de alteración. Además, pueden estar presentes sulfuros, topacio, turmalina y un rango de arcillas amorfas. Los minerales de sulfuros pueden contener covelina, digenita y enargita (proporciones altas de sulfuros primarios).

#### **2.4.2.7 Silicificación**

Esta alteración involucra aumento de sílice en las rocas; sílice proveniente de las soluciones mineralizantes y soluciones residuales de las mismas rocas por lo que la resistencia de la roca es muy alta y se presenta con una coloración débilmente blanquecina mezclan con aguas meteóricas descendentes, transformándose en menos ácidas antes de

alcanzar la superficie.

Uno de las alteraciones más comunes y mejor conocidos en los procesos hidrotermales. Las formas más comunes de la sílice son el cuarzo -  $\alpha$  de baja temperatura, o cuarzo bajo es la forma más común, el cuarzo -  $\beta$  de alta temperatura o cuarzo alto (tridimita, cristobalita, ópalo, calcedonia) generalmente se encuentran en rocas volcánicas. La tridimita es especialmente común como un producto de desvitrificación de vidrios volcánicos, formando intercrecimientos con feldespatos alcalinos. El ópalo criptocristalino, está asociado a depósitos de tobas y costras de formas coloformes en cavidades de rocas volcánicas. La calcedonia es el componente principal del chert y el jaspe, y usualmente de color rojo a rojo parduzco. Durante los procesos hidrotermales la sílice puede ser introducida de los fluidos circulantes, o este puede ser dejado atrás en la forma de sílice residual después de la lixiviación de las bases.

La solubilidad de la sílice se incrementa con la temperatura y la presión, y si la solución experimenta una expansión adiabática la sílice precipita, así que en regiones de baja presión y temperatura éste es prontamente depositado. Muchos depósitos minerales epitermales, incluyendo a los de tipo Kuroko, están caracterizados por tobas, capas de sílice, brechas silicificadas, venas y silicificación de la roca encajonante (Petersen, U.1999).

## **2.5 YACIMIENTOS DE ALTA SULFURACIÓN EN EL SUR DEL PERÚ**

Desde 1990 en el Perú los conceptos en la exploración del oro han experimentado cambios considerables puesto que se ha reconocido el enorme potencial aurífero de depósitos epitermales principalmente en rocas volcánicas del Terciario. Es así que en el sur peruano y norte chileno dentro de esta franja magmática ocurren yacimientos epitermales auríferos de alta sulfuración como son Aruntani, Huilacollo y recientemente

Chucapaca en el lado peruano; presencia complementada con yacimientos como El Indio y Maricunga en el lado chileno. La edad de estos yacimientos se concentra en el Mioceno, coincidiendo posiblemente con una convergencia más rápida y menos oblicua de la corteza oceánica bajo la placa continental (Carlotto V. 2010).

## **2.6 AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN**

Sistemas hidrotermales de nivel alto, desde profundidades de ~1 Km. a fuentes termales superficiales. Sistemas de fallas regionales relacionadas a grabens, calderas resurgentes, complejos de domos de flujo y raramente en sistemas de maar-diatremas. Estructuras de extensión en campos volcánicos (fallas normales, ramificaciones de fallas, vetas y etc.) son comunes; localmente se presentan en rellenos clásticos de graben o de calderas.

## **2.7 BRECHAS TECTÓNICAS**

Son creadas cuando un proceso de deformación en medio frágil fragmenta una porción de la masa rocosa, las brechas más conocidas son aquellas asociadas a fallas, donde ellas forman un nuevo tipo de rocas, pero también existen brechas asociadas a pliegues (Machare, O. J.2001).

## **2.8 DIATREMA**

Conducto de emisión producido por una explosión volcánica” que subyace un mar o anillo de tobas (Daubrée, 1981). Conducto relleno con brecha de origen freatomagmático (Sillitoe, 1985). Manifestación volcánica generada en un evento explosivo, con forma de zanahoria, generalmente rellena por fragmentos angulosos de tamaño grueso inyectados por una fluidificación gaseosa (p.ej., kimberlitas).

Las diatremas por lo general cortan a terrenos no volcánicos y suelen contener fragmentos derivados de rocas a gran profundidad (Sillitoe, 1985).

### 2.8.1 Diatrema y sus Rocas de Caja

Desde arriba y hacia adentro, la porción de la pared de una diatrema está constituida por una roca fragmentada por impacto gradando a una roca agrietada o brecha de mosaico in situ, y hacia una brecha de bloques sedimentarios (o ígneos) encajados en forma suelta o apretada, desplazados hacia abajo por deslizamiento y colapso. Ambos tipos de brechas han sido expandidas e inyectadas por matriz tobácea desde el margen. En Hopi Buttes donde las rocas de caja son sedimentarias mesozoicas, coloreadas de naranja claro por la alteración, la matriz tobácea da paso hacia el interior a areniscas pulverizadas. (Sillitoe, 1985).

### 2.8.2 Desviaciones del Modelo Ideal de Diatrema

Muchas “diatremas” se desvían considerablemente del modelo ideal discutido anteriormente. La mayoría son substancialmente más simples, siendo a menudo una forma inicial abortada. Alternativamente la simpleza puede deberse a una exposición profunda que muestra una sección cercana a la zona de raíz. Comúnmente la forma inicial es de un embudo o un sistema fracturas con forma de cuña expandido relleno de brecha, toba, tufisita o lava, acompañado de megabloques de roca de caja levemente subsidentes (Cloos, 1942). Esto puede variar a un patrón ramificado de cuerpos tabulares de brecha (vetas o vetillas) gradando a un stockwork, incorporando grandes bloques de roca de caja en una posición relativamente no rotada (Ej. en la diatrema de State Island, Ontario; Sage, 1982). En otras partes grandes bloques de brecha tienen una matriz de toba o lava (Ej. Garnet Ridge, Arizona) gradando a una zona de brechas de impacto (Gold, 1972) constituida por un enrejado de vetas de material ígneo en rocas de caja expandidas y fragmentadas. (Sillitoe, 1985)

### 2.8.3 Mineralización Asociada con Sistemas de Diatremas

Existen diatremas o chimeneas de kimberlitas que contienen diamantes y diatremas relacionadas a rocas alcalinas o carbonatitas ricas en Nb, REE, Zr, Th, U y otros metales raros. Sin embargo, no es necesario extenderse aquí respecto a ellas (no se traduce lo referente a ellas). Las diatremas indirectamente sustentan mineralización condicionada a:

(a) porosidad y permeabilidad estructural que controla la migración de fluidos y depositación de mineralización. (Sillitoe, 1985).

## 2.9 ANÁLISIS QUÍMICOS

Permite conocer los elementos y entidades que forman parte de la sustancia mineral. El análisis químico presenta dos etapas. En primer lugar, se realiza el análisis cualitativo que sirve para determinar cuáles son los elementos y entidades presentes de la muestra. Posteriormente conviene realizar el análisis cuantitativo para determinar el contenido exacto de cada elemento o entidad. Es importante señalar que los caracteres analíticos no corresponden al conjunto de las entidades que forman la sustancia, si no a cada una de ella por separado. Por ejemplo, el anión cloruro presenta las mismas características analíticas independientemente de la sustancia en que se encuentre (salvo interferencias), pero los distintos minerales que contienen cloruros no deben presentar más caracteres analíticos comunes.

Muchos de los experimentos tempranos respecto a fluidos hidrotermales fueron influenciados por el concepto de “licor madre” con un origen plutónico concluyó que los volátiles en un sistema ígneo se concentran en un fluido residual durante la cristalización y que este fluido es ácido cuando se descarga, pero que se transforma en alcalino durante su ascenso y reacción con las rocas de caja realizó observaciones de terreno en las fuentes termales (Bowen 1933).

### 2.9.1 Ph

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración. La sigla significa 'potencial hidrógeno', 'potencial de hidrógeno'. Este término fue acuñado por el químico danés S. P. L. Sørensen (1868-1939), quien lo definió en 1909 como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es: Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno.

### 2.9.2 Límites de Eh-pH en la Naturaleza

Para que la geoquímica constituya una herramienta útil de verdad, debe tener un carácter predictivo, y para que esto ocurra debemos conocer, al menos de una manera general, las condiciones de Eh-pH que encontrarán las sustancias solubles en el medio natural.

Las soluciones más ácidas que podemos encontrar en la naturaleza se encuentran cerca de centros volcánicos donde se disuelven gases de origen magmático, y cerca de masas de sulfuros sujetos a procesos de oxidación. En dichos lugares las soluciones pueden alcanzar valores de pH menores a 0 ( $[H^+] > 1 \text{ M}$ ). Sin embargo, estos valores no perduran demasiado en el espacio ya que las soluciones reaccionan con las rocas del entorno (proceso de hidrólisis), generando un aumento del pH por consumo de hidrogeniones. Por ejemplo, analicemos la hidrólisis de un feldespato potásico, constituyente normal en una roca ígnea. El primer paso nos llevará a la formación de un mineral tipo mica potásica: Pero si hay abundancia de hidrogeniones (medio extraordinariamente ácido), esta fase no será estable, hidrolizándose a su vez, y dando como producto una fase mineral tipo arcilla

caolinítica:



Reconoceremos este proceso en el campo por un “blanqueo” muy conspicuo de las rocas.

Si además hay presentes especies oxidadas de hierro en el sistema (producto de la oxidación de sulfuros), las rocas adquirirán colores blancos y rojizos (agregado de arcillas caoliníticas y limonitas).

## 2.10 METALOGENIA

### 2.10.1 Franja de Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno (XXIII)

Se extiende en el dominio volcánico de la Cordillera Occidental del centro-sur del Perú ( $12^{\circ}30'18''$ ). La mineralización de Au-Ag está relacionada con actividad magmática Mio Pliocena. Sus controles estructurales son fallas NO-SE de los sistemas de fallas Chonta, Abancay-Condorama-Caylloma y Cincha-LLuta, así como fallas menores E-O. Las edades de mineralización de esta franja se registran entre 7 y 1 Ma, y está constituida principalmente por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración, con excepción del depósito de Ag-Au Arcata de baja sulfuración (5.4 Ma, Candiotti et al., 1990) y del depósito de PbZn-Ag de Recuperada de intermedia sulfuración (6.4 Ma, Noble y McKee, 1999). Los epitermales de Au-Ag de alta sulfuración que se distribuyen en esta franja son Tucari, Santa Rosa, **Pucamarca**, Pico Machay, Corihuarmi, Huamanrazo, Ccarhuaraso, Palla Palla, Baños del Indio y otros (Carlotto V. 2009).

## 2.14 PERFORACIÓN DIAMANTINA

La perforación o sondajes constituyen la culminación del proceso de exploración de minerales mediante el cual se define la tercera dimensión de un prospecto y su geometría en el subsuelo. La perforación proporciona la mayor parte de la información para la evaluación final de un prospecto y en última instancia, determinará si el prospecto es explotable económicamente. Los análisis químicos de las muestras de testigos sondajes son la base para determinar la ley media del depósito mineral. El cuidadoso registro de las muestras de testigos de sondajes ayuda a delinear la geometría y el cálculo del volumen de mineral y proporciona importantes datos estructurales. Los dos principales tipos de perforación son de diamantina (DDH) y los de aire reverso o circulación inversa (RC). (ROC DRILL 2013).

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN DE ÁREA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 UBICACIÓN

El proyecto Pucamarca se ubica aproximadamente a 1,050 km al SE de Lima y 55 km al NE de Tacna, capital del departamento del mismo nombre. El área pertenece a la comunidad de Vilavilani, distrito de Palca, provincia de Tacna. Las coordenadas aproximadas del centro del área son 414,000E y 8, 030,000N. El proyecto está ubicado cerca al hito 52 de la frontera peruano-chilena, al este del cerro Checocollo, el cual forma el límite oriental del proyecto. La ciudad de Tacna es accesible desde Lima por carretera (Panamericana Sur, distancia de 1,370 km) o por avión (vuelos diarios, 1.5 horas de viaje) (Anexo Plano 01).



**FIGURA 04:** Imagen satelital área de estudio.

### 3.2 ACCESIBILIDAD

La ciudad de Tacna es accesible desde Lima por carretera (Panamericana Sur, distancia de 1,370 km) o por avión (vuelos diarios, 1.5 horas de viaje). El acceso al proyecto desde Tacna dura aproximadamente 2 horas 10 minutos. La vía de acceso al área del proyecto es por la carretera Tacna – Alto Perú, pasando el poblado de Palca (altura del kilómetro 53) y luego continúa siguiendo la misma ruta por el camino que va al río Azufre hasta el Paso Huaylillas Norte, desde donde se seguirá por el nuevo acceso hasta el proyecto. Este recorrido tiene una distancia total de 102 Km.

#### **CUADRO 01: Accesibilidad al yacimiento Pucamarca.**

DE	A	DISTANCIA	VIA	TIEMPO	ELEVACION
Lima	Tacna	1040 km	Aérea	1.30 hr	30.00 m.
Tacna	Palca	53 km	Asfaltada	1.10 hr	1840 m.
Palca	Pucamarca	43 km	Afirmada	1.20 hr	4300

### **3.3 CLIMA**

Es fría y seco típico de la región cordillerana. La temperatura media anual en esta zona es alrededor de los 10° C. Las precipitaciones son escasas, menores a 100 mm. Por año, como lloviznas en los meses enero marzo. En el fondo de los valles del flanco andino el clima es templado y semiárido (AMEC Perú S.A, 2006).

### **3.4 GEOLOGIA REGIONAL**

#### **3.4.1 Estratigrafía**

##### **3.4.1.1 Formación Moquegua (PN-mo\_s)**

Sedimentitas conformada por conglomerados polimícticos, clasto soportado, guijas y areniscas gruesas, medianamente estratificadas, se intercalan algunos niveles de tobas grises blanquecinos en las secuencias superiores. Con espesor de 1500 m. Los clastos corresponden a andesitas y riolitas e intrusivos dioríticos. Estas secuencias presentan numerosas estructuras sedimentarias (Estratificación sesgada - gradada, canales de corte y relleno). en la localidad de Mirave - Ilabaya, esta unidad está compuesta por conglomerados redondeados (PN-mo\_i) clasto, polimícticos sin estratificación cuyos clastos presentan imbricación al SO el incremento de la matriz arenosa con reducción de los materiales gruesos en dirección SO, originando un cambio de facies laterales que gradan a las secuencias de arenas medias y lodolitas de la Formación Sotillo. Las tobas han sido datadas cerca al cerro Baúl en 25,3±0.8; Cerro Blanco; 22.7±0.8 (bt); Cerro Purgatorio; 23.25±0.8 (Tosdal, et.al. 1981) Ma. Es asignada al Oligoceno llegando al Mioceno Inferior (INGEMMET 1995).

#### **3.4.1.2 Formación Huaylillas (Nm-hu)**

Tobas-lapilli de composición química ríolítica a dacíticas de color grises, blanco a rosadas. Está compuesta por feldespatos fragmentados, biotitas con escasas hornblendas, fragmentos de pómez y líticos es frecuente, con un espesor de 100 m. (oriente)-350 m. (occidente). Los rangos generales van desde tobas blancas friables hasta niveles altamente soldadas, muchas de estas unidades presentan estructuras en fiamme de pómez aplastada y alterada. La denominada formación Chuntacala ha sido incluida dentro de esta unidad de acuerdo a las relaciones de campo y composiciones petrográficas similares observadas en los cuadrángulos de Locumba, Pachia, La Yarada, Huaylillas y Tacna. Debido a su dureza forman farallones y en superficie formas elongadas y redondeadas. Las dataciones (K-Ar), comprenden edades;  $22.8 \pm 0.7$ ; Tala - Coscori;  $17.6 \pm 0.6$ ; cerro Piedra labrada y Tala  $18.4 \pm 0.6$  (Tosdal, et.al. 1981), Ma. Sobreyace disconforme a la formación Moquegua e infrayace a la unidad Millo, es asignada al Mioceno (INGEMMET 1995).

#### **3.4.1.3 Formación Barroso (Tq-vbai/vbas)**

La secuencia volcánica terciaria de la región Andina; está ampliamente distribuidos en la Cordillera del Barroso, en un arco formado por una cadena de volcanes que se extiende desde el Norte de Chile hasta las proximidades de Abancay. Algunos de los volcanes de esta cadena siguieron activos aún después de la glaciación del Cuaternario Pleistocénico. Litológicamente el Barroso está compuesto por lavas, brechas de flujo, aglomerados y tobas andesíticas, traquiandesíticas y dacíticas. En partes presenta lavas andesítico-basálticas y en otras lavas hornblendicas. Las unidades litológicas del grupo Barroso son numerosas habiendo sido identificadas como formaciones o unidades volcánicas, a las cuales se dieron nombre local. Para cada lugar típico donde fuera descrita se establece su

nomenclatura. Las rocas del grupo Barroso constituyen un metalotecto de interés al haberse descubierto yacimientos epitermales auro-argentíferos (INGEMMET 1995).

### **3.4.2 Rocas Ígneas**

Son el fruto de la solidificación del magma, fragmentado o compacto, sobre o en el interior de la corteza terrestre. Esas temperaturas de cristalización oscilan así: para los magmas riolíticos 1000 °C, para los andesíticos 1150 °C y para los basálticos 1250 °C.

La composición mineralógica promedio de las rocas ígneas es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenos, 4% micas y 8% otros minerales.

Por el volumen en la corteza, las rocas ígneas representan el 95% contra el 5% de las sedimentarias, aunque estas últimas exhiben mayor afloramiento.

La acción del magma resulta ser la asimilación y fusión de la roca encajante o el fracturamiento y la intrusión de dicha roca. Al fluir a través de ella genera movimientos telúricos por la presión de los gases magmáticos o por la presión del magma mismo. (Escobar P. 2005).

#### **3.4.2.1 Granodiorita**

Es una roca intrusiva, holocristalina, fanerítica, que se pueden identificar porque tienen más de 10% de cuarzo y plagioclasas mayor a ortoclasa; la plagioclasa generalmente es sódica .el cuarzo presente alcanza porcentajes que llegan al 35%; la ortoclasa o feldespato potásico está presente en cantidades que oscilan entre 10 y 40%, la plagioclasas entre 25 y 45%. Pueden existir además biotita y horblenda.

La plagioclasa generalmente es la oligoclasa o andesina pudiendo aveces presentarse la labradorita, la ortoclasa esta presentada por la ortosa que muchas veces es blanca, o por la microclina; el cuarzo es anhídrico; los minerales accesorios presentes en una granodiorita son: biotita, horblenda y augita. Un ejemplo de granodiorita, viene dado por

la siguiente composición de minerales, que contiene:

Cuarzo. 25%, Plagioclasa. 45%, Ortoclasa. 10%, Horblenda 10%, Biotita 10%. (Soto, M. 2010).

#### **3.4.2.2 Monzonita**

Son rocas intrusivas alcalinas faneríticas y holocristalinas que tienen una composición mineralógica similar a la de las adamelitas, pero sin Cuarzo. El feldespato potásico (ortosa) alcanza niveles de 25 a 45%; los feldespatos plagioclasas son de carácter sódico andecisa u oligoclasa entre 30 y 50%. Pueden existir minerales accesorios como la horblenda, la biotita y la augita (hiperstena).

Por ejemplo; Ortoclasa 40%, Plagioclasa 35% y Horblenda 25% (Soto, M. 2010).

#### **3.4.2.3 Andesíta**

Son rocas volcánicas merocristalinas o de matriz afanítica, con una composición química y mineralógica muy similar a las dioritas, se consideran como sus equivalentes volcánicos. Las andesitas son muy comunes. El siguiente porcentaje puede servir de ejemplo de una andesita. Pasta afanítica 60%, plagioclasa sódica 25%, plagioclasa cálcica 5%, orblenda 5%, augita 5% (Soto, M. 2010).

#### **3.4.2.4 Riolitas**

Son rocas merocristalinas o de matriz afanítica conteniendo vidrio. La composición es similar a la del granito, por lo que se dice que es un correspondiente volcánico o extrusiva. Para la determinación de una riolita es necesario el uso de la micropetrografía.

No obstante, es posible lograr una determinación aproximada, describiendo y tomando el porcentaje de los minerales que se pueden distinguir. En una riolita puede observarse cristales de cuarzo, ortoclasa y plagioclasa (por qué cristalizan al último). La ortoclasa generalmente es la sanidina, aunque en zonas más profundas se observa ortosa y

anortoclasa; el cuarzo y los feldespatos alcalinos también se encuentran en la matriz afanítica, como microcristales.

Por ejemplo: Masa afanítica 60%, cuarzo 10%, ortoclasa 15%, plagioclasa 10%, biotita 5% (Soto, M. 2010).

### **3.4.3 Geología Estructural**

#### **3.4.3.1 Fallas Regionales**

Son fallas de grande extensiones centenares de kilómetros que afectan a toda la corteza.

Por una parte, En toda esta gama, un solo parámetro permanece constante: las rocas están sometidas a la vez a un acortamiento y a un alargamiento.

##### **a) El Sistema de Fallas de Incapuquio (SFI)**

Este sistema de fallas estudiado en el sur del Perú, dada su relación con importantes yacimientos cupríferos presenta tres elementos principales que son las fallas Incapuquio, Challaviento y Bellavista.

##### **b) Falla Incapuquio**

Esta falla hace su ingreso en el área de estudio por el cerro Herbabuena, al noroeste del poblado de Caplina, con rumbo sureste, perdiéndose en el intrusivo granodiorítico frente al caserío de Ataspaca. Cerca del cerro Herbabuena esta falla está relacionada a un dique riolítico de algunos centenares de metros de ancho.

Es posible que esta falla esté relacionada a la mineralización del prospecto de Ataspaca, que presenta características tipo pórfido de cobre, el mismo que fue explorado; es posible que estos trabajos estén incompletos.

El sistema de fallas de Incapuquio es un sistema estructural de carácter regional con rumbo Noroeste - Sureste. Se extiende sobre los departamentos de Tacna y Moquegua a

lo largo de 140 Km., con un ancho de 4 Km. como máximo.

Edad de Inicio de la Falla Incapuquio De acuerdo con las evidencias de campo, el Sistema de fallas Incapuquio (SFI) ya estaba activo durante la formación de la cuenca marginal, la cual profundizaba hacia el suroeste. Así mismo, hacia el noroeste de la zona de estudio (en el sector de Yura), la dirección que presenta una serie de fallas sin sedimentarias, generadas en el Jurásico inferior y medio, concuerda con la orientación del sistema de fallas Incapuquio y Challaviento, lo que también sugiere que el SFI estuvo activo durante el rifting (Pino, A. 2004).

Las observaciones a lo largo del SFI de dirección NO-SE, mantiene una sinuosidad, reflejado en bloques de componente transgresivo en las cercanías del cerro Baúl mirando al NE, observamos a una estructura en una zona de cizalla que controla una flor positiva como evidencia de deformación de contracción.

En general uno de los mecanismos de emplazamiento del magma fue a través de las fracturas se abren perpendiculares a  $\sigma_3$  y se propagan en el plano  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ , de esta manera la orientación de los diques puede ser vaticinada desde los campos de fuerzas locales y regionales, recíprocamente, la orientación de los diques solidificados puede ser usados para interpretar los campos de paleofuerzas (Nakamura, 1977; Meriaux y Lister, 2002).

### **c) El Sistema Transcurrente del Sistema de Fallas Incapuquio**

El presente estudio está enmarcado en los Andes Centrales de Sudamerica afectada por el ridge de Carnegie en el Norte Ecuador y por el Sur tenemos el Ridge de Nazca en Perú y el Ridge de Arica en Chile. Tectónicamente ubicado en un ambiente de placas convergentes en una zona de subducción de la corteza Oceánica debajo de la corteza continental derivando a una intensa deformación. “En Sudamérica el sentido de

oblicuidad cambia cerca de Arica, por consiguiente, el sentido de la rotación de bloques también cambia. Los estudios paleomagnéticos muestran que las rotaciones son una particularidad clave de la deformación, los resultados paleomagnéticos obtenidos en rocas mesozoicas y en rocas del paleoceno, muestran para el sur del Perú rotaciones antihorarias superiores a  $30^\circ$  sosteniendo la hipótesis de curvatura del oroclinal de los Andes centrales. Las evidencias se mostraron en el grupo Toquepala y Moquegua Inferior. En el sur del Perú. En la región de Arica no se ha encontrado ninguna evidencia de rotación significativa indicando que la curvatura oroclinal no es una estructura simétrica, caracterizándose por una gran rotación anti horaria del ante arco de todo el sur del Perú. Los resultados paleomagnéticos preliminares y los resultados precedentemente publicados sugieren una deformación oroclinal durante el intervalo 30 – 25 M.a. como un periodo de deformación importante en los Andes centrales” (Roperch et al. 2002) Las deformaciones más importantes parecen coincidir con el cambio de las velocidades de convergencia

El marco geotectónico fue desde inicios del Jurásico de margen continental activo con subducción de la placa oceánica debajo del continente sudamericano (arco cordillerano). Sin embargo, hay evidencias que indican un régimen global extensivo en la zona de subducción durante el Jurásico y Cretácico Inferior (margen convergente tipo Mariana), el cual cambió a un régimen de tipo comprensivo a partir del Cretácico Superior. (Margen de tipo chileno).

Durante los últimos movimientos en el cretácico inferior y superior los movimientos relativos entre los farallones oceánico (Previamente/Phoenix) y placa sudamericana a lo largo del margen central andino fue caracterizado por un periodo de alta convergencia (Jaillard et al. 2000; Larson 1991; Soler y Bonhomme 1990).

Respuesta a eventos de deformación compresiva que se correlacionan con etapas mayores de reorganización del sistema de placas oceánicas. Las variaciones de velocidad de convergencia, localmente del ángulo de subducción y de la estructura específica de la corteza continental determina una segmentación tectónica a lo largo de los Andes y los distintos segmentos presentan diferencias en el tipo de depósitos metálicos característicos.

La misma que repercute en la segmentación transversal en los Andes peruanos derivando corredores estructurales como es el caso del Sistema de Fallas Incapuquio (SFI) razón por la que se genera zonas de debilidad litosférica en la corteza lo que va a ser aprovechado por el ascenso perpendicular por emplazamiento magmático, para el Cretáceo Superior (Carlotto V. 2009).

Desde un punto de vista regional, la mineralización aurífera del yacimiento Pucamarca se ubica en la proyección SE de una falla regional NW perteneciente al sistema Incapuquio. La falla Incapuquio, bastante conocida en el sector Moquegua – Toquepala, se proyecta al SE por más de 150 kilómetros y en la zona de Caplina – Ataspaca se bifurca en varias fallas menores que controlan zonas de alteración hidrotermal. La falla Caplina-Charicahua y la más septentrional, Challaviento controlan la alteración-mineralización aurífera de Andamarca Huilacollo y hacia el sur la falla Ataspaca-Causuri intersecta sin expresión superficial en los volcánicos Huilacollo, la alteración y mineralización de los C° Caldero Huilacollo.

Al NW de Pucamarca, el sistema de fallas Incapuquio corta sedimentos del Jurásico Cretáceo (formaciones volcánicas Junerata Pelado) sedimentos del Jurásico-Cretáceo (formaciones volcánicas Junerata, Pelado, San Francisco, Ataspaca y Chachacumane) que se presentan a manera de un gran homoclinal con buzamientos de 30-50° al NE y rumbo

N10-25°W. Estos sedimentos son intruidos por cuerpos irregulares y stocks de granodiorita de sedimentos son intruidos por cuerpos irregulares y stocks de granodiorita del batolito Andino (Terciario Inferior). En los alrededores del C°Pucamarca y Checocollo afloran rocas del volcánico en los alrededores del C. Pucamarca y Checocollo afloran rocas del volcánico Huilacollo equivalentes al volcánico Tacaza de Arequipa – Puno intruidos por un pórfido cuarcífero y diques andesíticos.

Cubriendo a toda la secuencia Cretáceo – Terciaria aflora una extensa capa lavas y tobas riolíticas de la formación Huaylillas (Mioceno Superior). Esta unidad es continua desde Pucamarca y en dirección Sur - Oeste hasta la carretera Tacna – Arica, aproximadamente 70 kilómetros. En Chile y Bolivia la formación Huaylillas está presente al Este del volcán Caracarani con formación Huaylillas está presente al Este del volcán Caracarani con buzamientos al Este y Nor-Este. Esto sugiere una estructura tipo Caldera de rumbo NNW, la cual se le ha denominado “Caldera Parinacota”. Este centro volcánico tiene aproximadamente 20 a 25 kilómetros de largo y ha sido el centro de erupción de las lavas y tobas riolíticas que en algunos casos excede los 300 metros de potencia. Al Norte de esta estructura expone sedimentos lagunares de origen volcánico que se habrían formado sedimentos lagunares de origen volcánico que se habrían formado en las fases finales del volcanismo Miocénico (Anexo Plano 02).

## 3.5 GEOLOGÍA LOCAL

### 3.5.1 Geomorfología

#### 3.5.1.1 Unidades Geomorfológicas

El área estudiada se encuentra en la vertiente Pacífico y comprende sectores de la costa y la sierra del departamento de Tacna; de Este a Oeste se distinguen unidades geomorfológicas.

- Pampas Costaneras.
- Flanco de los Andes disectado.
- Superficie de Huaylillas.
- El Altiplano.

#### a) Pampas Costaneras

Esta unidad geomorfológica se desarrolla a manera de una faja paralela a la Costa desde el nivel del mar hasta una altitud aproximada variable entre 400 y 1,000 metros. Tiene una superficie más o menos llana, en la que destacan algunos cerros y colinas redondeadas, además de pequeñas quebradas, que drenan el terreno durante la temporada de lluvias.

Las pampas costaneras están constituidas por terrazas aluviales, dunas y mantos de arena.

#### b) Flanco Disectado de los Andes

Esta unidad se extiende entre las pampas costaneras y la superficie de Huaylillas, con altitudes que varían entre 1,000 y 4,000 msnm. Está esculpida sobre rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas y se caracteriza por estar disectada por numerosos valles con sección transversal en forma de “V”, pisos estrechos y fuerte gradiente del fondo de los valles; solo en sus tramos inferiores correspondientes a las pampas costaneras adquieren amplitud y sus cauces tienen pendientes moderadas.

### **c) Superficie de Huaylillas**

Gran parte del área estudiada esta cubierta por los volcánicos Huaylillas ha sido nombrada superficie de Huaylillas. Esta superficie está formada por tufos blandos y compactos; desarrolla un drenaje paralelo con abundantes quebraditas muy características; su superficie tiene una pendiente uniforme; sus quebradas se tornan accidentadas. Su altura máxima es de aproximadamente 4,000 metros en contacto con el Altiplano.

### **d) El Altiplano**

Esta unidad se desarrolla en las porciones orientales, aproximadamente desde los 4,000 msnm, con una altura promedio entre 4,200 y 4,300 msnm.; con muchos conos volcánicos que superan los 5,000 metros de altitud formando la llamada Cordillera Barroso.

### **3.5.2 Litoestratigrafía**

La columna estratigráfica en las áreas mapeadas y reconocidas comprende una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que van desde el Precambriano hasta el Cuaternario Reciente (Tabla 02).

TABLA 02  
Columna estratigráfica local

ERA	SIST.	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS	INTRUSIVOS	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HALOCENO	Dep. de ceniza	[Yellow with volcanic symbols]		Cenizas y tufos volcánicos		
		PLEISTOCENO	Dep. fluviales	[White with dots]		Gravas, conglomerados y arenas		
			Dep. aluviales	[White with triangles]				
			Dep. fluvioglaciales	[White with circles]				
	TERCIARIO	PLIOCENO	Fm. Maure	[Orange]		Conglomerados y tufos riolíticos		
			Fm. Barroso	[Orange]		Lavas y tufos traquíticos		
			Fm. Huayillas	[Orange]		Tufos dacíticos y riolíticos		
		MIOCENO	Gpo. Chachani	Fm. Moquegua	[Yellow]		Conglomerados y areniscas	
				OLIGOCENO	Fm. Huilacollo	[Yellow]		Diatrema Pucamarca Pórfido de Cuarzo Pucamarca y Riollas Pórfido Andesítico Pucamarca Derrames y Piroclásticos Andesíticos
						[Yellow]		
	EOCENO				Monzonita Diorita Granodiorita			
	MESOZOICO	CRETÁCEO	Gpo. Toquepala	Fm. Tarata	[Yellow]		Conglomerados areniscas, tufos y brechas andesíticas	
				Fm. Toquepala	[Green]		Derrames y piroclásticos andesíticos	
				Fm. Chulluncane	[Green]		Areniscas y conglomerados	
JURÁSICO		SUPERIOR	Gpo. Yura	Fm. Chacacumane	[Yellow]		Cuarcitas	
				Fm. Ataspaca	[Blue]		Pizarras y areniscas	
		MEDIO	Fm. San Francisco	[Blue]		Areniscas, calizas y lutitas		
		INFERIOR	Fm. Pelado	[Cyan]		Calizas y lutitas		
V. Junereta		[Cyan]		Derrames andesíticos				
TRIÁSICO			Fm. Machani	[Cyan]		Lutitas conglomerados y areniscas		
PRECAMBRIANO							Gneis, esquistos, filitas, cuarcitas y volcánicos	
			Complejo basal de la costa					

Fuente: Minsur S, A, (2013).

### **3.5.2.1 Complejo Basal de la Costa.**

El gneis es un ortogneis granodiorítico de grano medio a grueso, de color gris claro, con distribución de diferentes minerales en forma paralela compuesto de hornblenda, mica feldespato y cuarzo. Frecuentemente se encuentran pequeños diques de pegmatita compuesto de ortosa, moscovita, cuarzo.

### **3.5.2.2 Formación Machani (Jr-ma)**

Secuencia de areniscas, conglomerados y lutitas negras (1,046m de espesor) que sobreyacen al gneis del Precambriano con discordancia angular y subyacen a los volcánicos de la formación Junerata.

### **3.5.2.3 Formación Junerata (Ji-vl)**

Está compuesta mayormente por bancos gruesos de andesita porfirítica gris verdosa y rojiza (1,000 m de espesor), con variaciones regionales a volcánicos ácidos de color claro; infrayace a la formación Pelado con discordancia paralela.

### **3.5.2.4 Formación Pelado (Ji-p)**

Alternancia de calizas, lutitas calcáreas, limolitas calcáreas, calizas arenosas y conglomerados de guijarros volcánicos (510 m. de espesor). Suele presentarse con discordancia paralela debajo de las rocas del grupo Yura del Cretáceo inferior.

### **3.5.2.5 Formación Ataspaca (Js-at)**

Secuencia de areniscas y cuarcitas intercaladas con lutitas oscuras y calizas erráticas (1,093 m de espesor); el contacto con la formación Chachacumane sobreyacente no es muy claro dada su variación gradacional.

### **3.5.2.6 Formación Chulluncane (KTI-Chu)**

Conformada por conglomerados y areniscas tufáceas (719 m. de espesor). Esta formación sobreyace a las cuarcitas blancas de la formación Chachacumane e infrayace a los volcánicos de la formación Huilacollo teniendo en cuenta que sus relaciones estratigráficas son discordancias angulares.

### **3.5.2.7 Formación Toquepala (KTI-ta)**

Presenta una litología variable; consiste en volcánicos intercalados con lentes de sedimentos (1,575 m. de espesor). Los volcánicos varían en composición entre riolitas y andesitas; los sedimentos intercalados son conglomerados y areniscas feldespáticas (arkosas).

### **3.5.2.8 Formación Tarata (KTI-ta)**

Alternancia de conglomerados, areniscas tufáceas, brechas volcánicas, lutitas verdosas y derrames andesíticos (1,398 m. de espesor). Suprayace a la formación Toquepala con discordancia angular.

### **3.5.2.9 Formación Huilacollo (TI-vh)**

Esta formación yace en discordancia paralela debajo de la formación Huaylillas e infrayace localmente a la formación Barroso con discordancia angular; es una unidad muy importante para el yacimiento Pucamarca, pues constituye la roca caja de la Diatrema Pucamarca. Consiste en derrames y piroclásticos volcánicos, con un predominio de brechas, aglomerados y tufos de grano grueso (1,000 m. de espesor). La mayor parte de la roca es de composición andesítica con algunas dacitas. Su ambiente de deposición es muy posiblemente continental.

#### **3.5.2.10 Formación Moquegua (Ts-mo)**

Compuesta en gran parte por conglomerados y cantidades menores de areniscas (400 m. de espesor). Los conglomerados son de fragmentos subredondeados de rocas volcánicas con poco contenido de material sedimentario.

#### **3.5.2.11 Formación Huaylillas (Ts-vhu)**

Unidad importante en el yacimiento Pucamarca, pues tendría relación con el intrusivo pórfido de cuarzo. Litológicamente consiste de tufos ácidos de composición dacítica y riolítica (600 m. de espesor), con cierta diferencia de color, textura y mineralogía.

#### **3.5.2.12 Formación Barroso (Ts-vba)**

Unidad importante en el sur del Perú; podría estar cubriendo eventos hidrotermales. Está conformada por bancos de tufos y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita (1,500 m. de espesor). Los tufos predominan sobre las lavas (INGEMMET 1995).

### **3.5.3 Geología Estructural**

En el área estudiada los rasgos estructurales guardan estrecha relación con la naturaleza de las rocas expuestas. Las rocas volcánico-sedimentarias se hallan fuertemente plegadas y falladas; en cambio las rocas volcánicas muestran un tectonismo más moderado. Las rocas intrusivas no se muestran muy disturbadas. La estructura dominante en el área de estudio es el Sistema de Fallas Incapuquio, además de un sistema al que llamaremos norte-sur, relacionado al tectonismo del norte del vecino país de Chile.

### **3.5.3.1 Sistema de Fallas Incapuquio**

Este sistema de fallas estudiado en el sur del Perú, dada su relación con importantes yacimientos cupríferos presenta tres elementos principales que son las fallas Incapuquio, Challaviento y Bellavista.

### **3.5.3.2 Falla Incapuquio**

Esta falla hace su ingreso en el área de estudio por el cerro Herbabuena, al noroeste del poblado de Caplina, con rumbo sureste, perdiéndose en el intrusivo granodiorítico frente al caserío de Ataspaca. Cerca del cerro Herbabuena esta falla está relacionada a un dique riolítico de algunos centenares de metros de ancho. Es posible que esta falla esté relacionada a la mineralización del prospecto de Ataspaca, que presenta características tipo pórfido de cobre, el mismo que fue explorado; es posible que estos trabajos estén incompletos.

### **3.5.3.3 Falla Challaviento**

La falla nace de la Falla Incapuquio, ingresa al área de estudio cerca del caserío de Charicahua, con rumbo sureste paralela a la Falla Incapuquio; al ingresar a territorio chileno tiende a colocarse en posición Este-Oeste. En el tramo cercano al poblado de Charicahua, la falla separa al intrusivo granodiorítico de la caliza y mármol de la formación Pelado, para luego más al sureste entrar nuevamente al intrusivo. En la traza de la falla al sureste del poblado de Charicahua se han reconocido afloramientos de aguas termales con segregación de rejalgar, además de fuerte lixiviación ácida en las rocas encajonantes.

#### **3.5.3.4 Falla Bellavista**

La falla sale de la falla Incapuquio, ingresa en el área de estudio a 2.5 km al norte del poblado de Palca, con rumbo sureste. Su efecto se da sobre las formaciones Junerata, Pelado y Ataspaca, dirigiéndose luego en dirección a la diatrema Pucamarca, con tendencia a posicionarse con rumbo Este-Oeste, continuando en territorio chileno.

#### **3.5.3.5 Sistema de Fallas Norte –Sur**

Este sistema aún en estudio obedece a un sistema de fallas regionales provenientes desde Chile precisamente con rumbo Norte- Sur, al ingresar al Perú después de atravesar la deflexión de Arica, continúa hacia el norte posiblemente como lineamientos más que como fallas. Se especula que este sistema al intersectarse con los sistemas andinos conocidos en el Perú, parecen favorecer la formación de centros mineralizantes; observaciones que quedan como motivo de futuros estudios estructurales en el sur del Perú. Un claro ejemplo de esto podría ser el esquema estructural del yacimiento Pucamarca.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

##### 4.1.1 Generalidades

El yacimiento de Pucamarca estaría genéticamente relacionado con la formación de una diatrema localizada en el cerro Checocollo.



**FIGURA 05:** Vista panorámica del cerro Caldero, Checocollo y el volcán Tacora.



**FIGURA 06:** Diatrema Pucamarca es una eminencia topográfica de forma piramidal, relativamente aislada (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

#### **4.1.2 Volcánicos Huilacollo**

Esta secuencia de derrames y piroclásticos de composición andesítica-dacítica sobre la cual, (Anexo Plano 04) por conjugación lito-estructural se ha formado la diatrema Pucamarca y otras estructuras, presenta una débil inclinación en forma concéntrica hacia el cerro Checocollo, quizás como consecuencia de un proceso de descarga magmática. Cerca de la diatrema estas rocas son afectadas por diferentes grados de alteración hidrotermal y mineralización de oro, controladas estructuralmente por fallas y fracturas que se entrecruzan en el cerro Checocollo.

#### **4.1.3 Pórfido Andesítico**

Expuesto en la ladera oeste del cerro Checocollo, presenta una textura típica de pórfido, de grano grueso, matriz gris oscura verdosa y ocasionalmente púrpura debido al contenido de hematita-limonita. En planta la geometría espacial de este cuerpo tiene forma tabular alargada en dirección noreste y buzamiento al noroeste. Su proyección hacia el suroeste estaría sugiriendo que la masa central, desde la que se derivó, está en las proximidades de las confluencias de las quebradas Uchusuma- Checocollo.

En el cerro Caldero, el pórfido ocurre como un stock irregular de forma cóncava. (Anexo Plano 09).

Las relaciones de campo y las evidencias recolectadas por la perforación diamantina, tanto en el cerro Checocollo como en el cerro Caldero, no permiten determinar la relación temporal del intrusivo de pórfido de cuarzo y del andesítico. No hay contacto entre ambas rocas o diques de una litología cortando a la otra. Sin embargo, teniendo en cuenta que la secuencia deposicional de las diferentes unidades volcánicas en el sur del Perú se inician

con un magmatismo de composición intermedia, que al evolucionar en el tiempo terminó en fase riolítica-dacítica; es muy posible que en el Checocollo-Caldero se haga evidente esta “diferenciación de la cámara magmática” (Rytuba, James. 1994, Goff and Gardner. 1991).

#### **4.1.4 Pórfido de Cuarzo-Pórfido Brecha-Brecha Híbrida**

Esta intrusión la principal en la diatrema Pucamarca, tiene la forma de una nariz orientada hacia el noroeste, teniendo una mejor extensión superficial en la ladera sur - sureste y este del cerro Checocollo. Suponemos que en su ascenso produjo una columna de brecha tanto de material de roca huésped (v. Huilacollo) como del pórfido. En efecto definir el contacto volcánico /pórfido de cuarzo es casi imposible y en la mayoría de casos, esto se hace en base del porcentaje de clastos y matriz predominante, ya sea del volcánico o el pórfido. La brecha de contacto es por lo tanto difícil de definir. En algunos casos puede alcanzar de cuatro a cinco metros o de 40 ó 50 metros.

En profundidad el aspecto brechoso del pórfido (Anexo Plano 04) es evidente y es muy frecuente encontrar una gradación a un pórfido de gris a gris oscuro, ligeramente verdoso que exhibe los mismos efectos de esfuerzo del intrusivo. Los fragmentos del pórfido son de naturaleza angular cerca de superficie y ocasionalmente alcanzan de 10 a 15 cm. de diámetro gradando a profundidad a formas de subangulares a subredondeadas. El contacto del pórfido brecha gris claro con el pórfido brecha gris oscuro, es transicional y no se ha podido definir como si fueran dos etapas de intrusión. La diferencia fundamental entre estos dos pórfidos además del color es su textura:

El pórfido gris claro es polimíctico, siendo sus fragmentos de pórfido y volcánicos de la Formación Huilacollo (5 a 10 %); mientras que:

El pórfido gris oscuro es monomítico (principalmente fragmentos de la formación Huilacollo en una matriz porfirítica gris por contaminación) fuertemente brechado, el tamaño de los fragmentos está en el rango de 0.5 a 5.0 cm. La matriz es sílice gris de aspecto sacaroide, con intervalos ocasionales de color crema debido a la pigmentación de jarosita. Los fragmentos son subredondeados y exhiben algunas veces orientación subvertical. Ocasionalmente se ha observado un incremento sustancial de material silíceo sacaroide, englobando fragmentos subangulares del pórfido gris oscuro; en otros casos este pórfido gris adopta una textura porosa muy irregular definida como “textura gusano”. Esta se caracteriza por presentar cavidades de lixiviación de la matriz, a manera de tubos de 0.3 a 0.8 cm de sección. Este proceso de lixiviación es total y no se ha encontrado minerales relictos ocupando esas cavidades, sílice sacaroide y menos frecuente alunita blanca, ocupan éstas cavidades, pero en ambos casos son minerales de deposición posterior. La textura gusano también se ha observado en los volcánicos Huilacollo, pero la presencia más frecuente es en el pórfido gris oscuro.

Es muy probable que el pórfido gris oscuro sea un cambio de facie, debido a efectos de presión temperatura durante la intrusión y la alteración hidrotermal subsecuente.

Para evitar problemas de simbología y descripción, el pórfido de cuarzo ha sido nombrado pórfido brecha y de esta manera se define su composición y textura. La relación fragmento/matriz es variable, en algunos intervalos la matriz excede a los fragmentos, pero en ningún caso se ha podido definir material de composición diferente al pórfido de cuarzo.

El Pórfido Brecha generalmente es monomítico, pero gradualmente pasa hacia arriba a una brecha polimítica (dominio de los fragmentos del pórfido de cuarzo-Volcánicos

Huilacollo sobre la matriz); en la cual se observa fragmentos angulares de la unidad volcánica suprayacente (volcánicos Huilacollo), así como fragmentos subangulares de pórfido de cuarzo. Esta unidad litológica se le denomina brecha híbrida y debe su nombre a la mezcla heterogénea fuertemente obliterada por varios eventos diastróficos y de alteración hidrotermal, principalmente varias etapas de silicificación. Esta brecha es polimíctica y los fragmentos son de tufo de grano fino, tufo de lapilli tufo de cristales, brecha y lavas de composición andesítica, así como de pórfido de cuarzo. La matriz que se encuentra fuertemente silicificada consiste en fragmentos de roca de composición andesítico- dacítico, envueltos en material molido (tamaño de arena a limo), de composición similar. La sílice es de grano fino ocasionalmente calcedónica, con fractura concoidal y menos frecuentemente granular. En el último caso el espacio intersticial es ocupado por un material blanco, que da la impresión de ser material arcilloso (montmorillonita- caolin etc). Sin embargo el análisis petrográfico de éste material indica ser sílice muy fina (polvo de roca), introducido durante la fase posterior a la intrusión del pórfido de cuarzo y a las diferentes fases de silicificación hidrotermal. El polvo de roca (milled rock) es en esencia sílice microgranular (150 a 200 mallas), que al paso de los fluidos (gases y líquidos) a lo largo de las fracturas ha lixiviado y luego depositado a diferentes niveles del sistema hidrotermal (Anexo Plano 04 y 06).



**FIGURA 07:** Pórfido cuarcífero fracturado y brechado en matriz de sílice- hematita. Pórfido cuarcífero con textura gusano (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 08:** Textura gusano en pórfido de cuarzo en los testigos de perforación (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 09:** Brecha híbrida; una mezcla heterogénea fuertemente obliterada por varios eventos diastróficos y de alteración (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 10:** Brecha de pórfido; se nota varios fragmentos de roca sedimentaria, matriz de sílice y hematita (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

#### 4.1.5 Tufo - Brecha

Como resultado de un posible proceso explosivo (Ocharan, Gladys.2003), después del emplazamiento del pórfido de cuarzo, se tiene el emplazamiento del tufo brecha en la parte central (Anexo Plano 04) del cerro Checocollo (Volfson y Yakovlev.1982). Esta unidad es de color blanco sucio a crema, dureza moderada con una relación matriz/fragmento sistemáticamente uniforme en el rango de 70/30 a 80/20. Es polimíctica, tamaño de fragmentos entre 3 a 8 mm. La matriz está compuesta por sílice sacaroide y fragmentos finos de roca volcánica (1 a 2 mm.) fuertemente silicificada. Sus afloramientos son escasos. Prácticamente se ha podido reconocer solamente tres siendo el más importante el que se ubica en la ladera oeste del cerro Checocollo. Sus dimensiones son 50 m x 60 m y está cortado tanto al este como al oeste por dos cuerpos subverticales de tufisita blanca. El otro afloramiento importante se ubica 30 m a 40 m. al noreste del anterior, tiene forma semicircular y sus dimensiones son 20 m x 25 m.



**FIGURA 11:** Tufo brecha con fragmentos de QP y volcánicos algunos son sub-redondeados (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

#### 4.1.6 Tufo - Fragmental

Comprendido también dentro del proceso explosivo magmático-hidrotermal (Ocharan, Gladys.2003) (Newhall and Dzurisin.1855), al fracturar el substratum produjo el emplazamiento de éste tipo de brecha en la matriz del pórfido de cuarzo (plano N° 04). La relación porcentual matriz/fragmentos es muy uniforme en casi todos los intervalos reportados por la perforación diamantina y fluctúa entre 70/30 a 80/20. Los fragmentos son de material volcánico, pórfido de cuarzo y muy raramente de rocas (cuarcitas y calizas fuertemente silicificadas). Los fragmentos son angulares a subangulares y ocasionalmente se observan fragmentos subredondeados (pebble dike). La matriz siempre conserva su aspecto tufáceo y el tamaño de grano es sacaroide y ocasionalmente limo. Prácticamente no existen minerales arcillosos, a pesar del tamaño reducido de la partícula que se observa en algunas muestras de mano. El análisis químico indica que el promedio de Si O<sub>2</sub> de estas rocas está en el rango de 97 a 99 % El aspecto “tufáceo” es variable (Volfson y Yakovlev.1982) pero en términos generales se incrementa y se hace más evidente en la periferia del sistema, adquiriendo ocasionalmente un color gris y la apariencia de un adobe. En este caso hay un predominio de los fragmentos de la roca caja (volcánico Huilacollo y/o pórfido de cuarzo) (Figura: 12).



**FIGURA 12:** Tufo fragmental; los fragmentos son angulares y subangulares (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

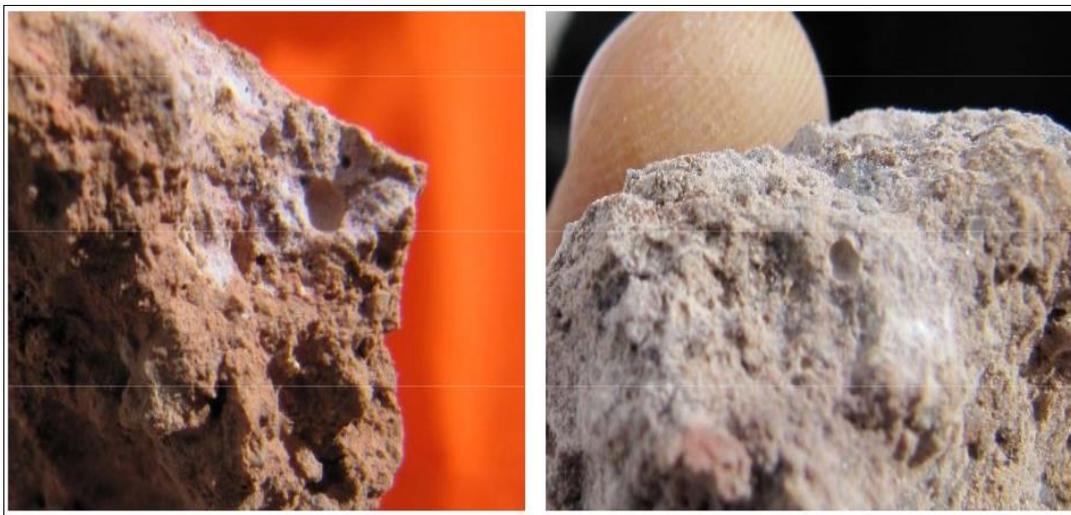
#### 4.1.7 Tufisita

Continuando también dentro de la fase explosiva, tenemos la tufisita fácilmente reconocible tanto en el campo como en el núcleo de perforación, por su aspecto tufáceo fácilmente deleznable, tamaño de grano sacaroide y su color blanco sucio. La característica principal de ésta es su contenido de vacuolas perfectamente esféricas de dimensiones variables encontrándose en el rango de 1 a 10 mm de diámetro. El contenido de vacuolas ocasionalmente alcanza 5 a 6 % del área de la sección estudiada.

En el campo de la especulación podría haberse formado por lixiviación de agregados cristalinos preexistentes. No hay evidencia de relictos que soporten tal posibilidad.

La única y la más aceptada es que durante el transporte ascendente de los tufos, estos estuvieron fuertemente cargados de volátiles que se quedaron atrapados durante su consolidación y posteriormente durante el enfriamiento, los gases migraron lentamente a las cajas, que fundamentalmente es sílice pulverulenta reducida a la fracción clástica de

“limo” (1/16 a 1/256 mm.). Parte importante de la tufisita, que corrobora su origen volcánico violento, es la ocurrencia de fragmentos angulosos a subredondeados de rocas de caja de diferentes tamaños (hasta 10 % de volumen). Estos fragmentos son de dos tipos: unos han sido arrancados de la roca caja y no han tenido mucho transporte vertical; mientras que hay otros de sílice negra y porosa, que parecen fueron transportados de niveles más profundos. Estos fragmentos a primera vista parecen ser escoria volcánica y/o roca de contacto de enfriamiento violento. Análisis petrográfico del material tobáceo pulverulento indican que gran parte de la sílice es cristobalita, lo que estaría indicando temperaturas de formación del orden de 900° C. Esto viene a corroborar que la tufisita (Figura: 13 y14) se emplazó a temperaturas muy altas y por lo tanto no fue un lugar favorable para la deposición de minerales de alteración hidrotermal en la fase temprana y de formación de yacimiento.



**FIGURA 13:** Tufisita; fácilmente deleznable, tamaño de grano sacaroide de color blanco gris. (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 14:** Tufisita; acuelas de 1-3 mm como resultado de la desgasificación (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

## 4.2 MINERALOGÍA

La mineralogía en el proyecto es lo siguiente:

### 4.2.1 Minerales De Mena

- **Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ )**

Se presenta en cristales subhedrales en masas microgranulares y tamaños menores a 0.2mm.

- **Pirita ( $\text{FeS}_2$ )**

Se muestra en los testigos de perforaciones diamantinas como parches en el cuarzo.

- **Galena(PbS<sub>2</sub>)**

Se presenta con formas anhedrales se han reportado en las partes más profundas, se hallan en niveles de trazas.

- **Plata nativa (Ag)**

La plata nativa se encuentra en forma de láminas delgadas anhedrales que no sobrepasan las 30 micras.

- **Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

La hematita rellena micooquedades, reemplaza algunos pseudomorfos de pirita. En ciertas áreas la hematita está asociada a cuarzo eudral.

#### 4.3 ESTRUCTURAL

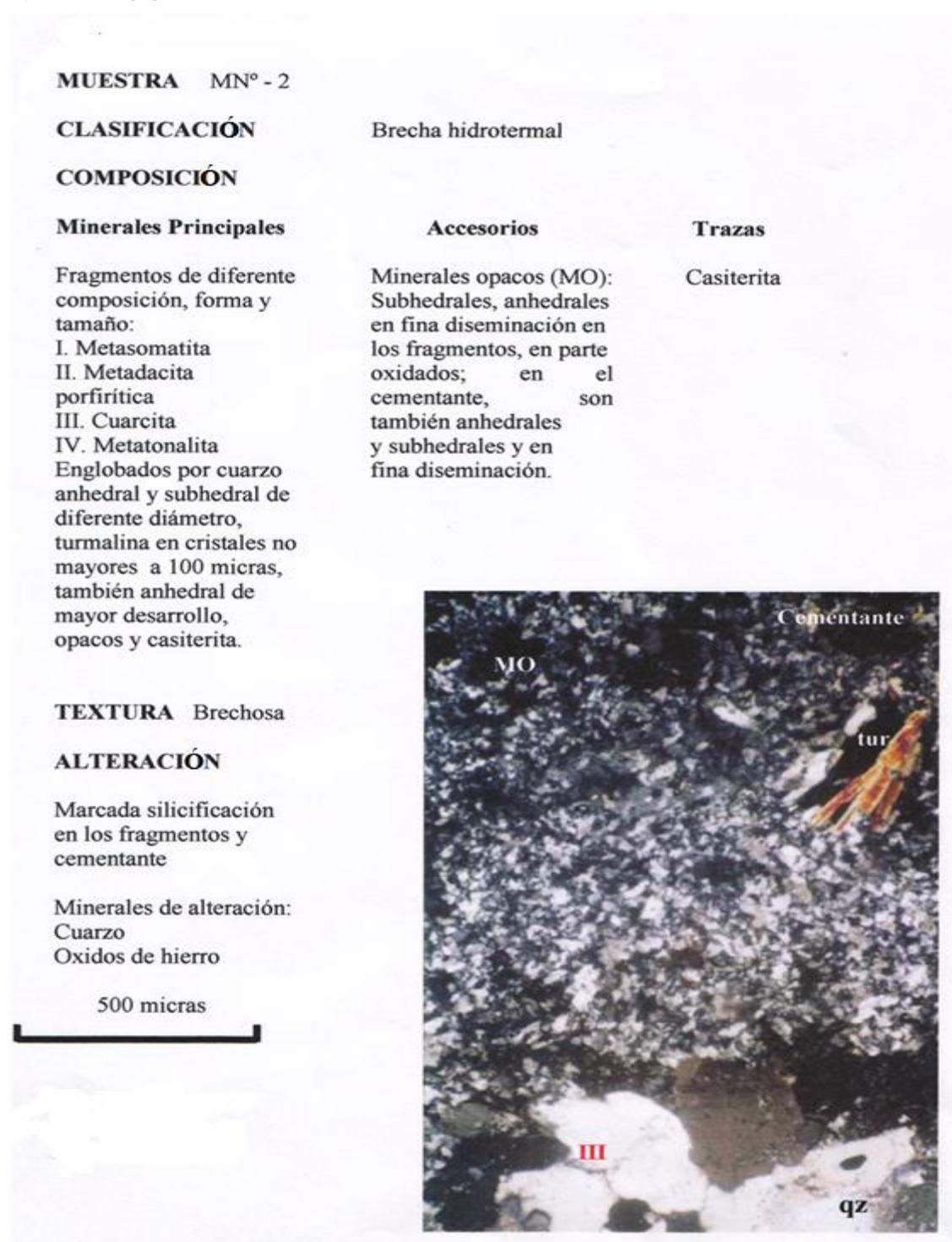
El rasgo estructural más importante del área Checocollo-Caldero y sus alrededores lo conforma el Sistema de Fallas Incapuquio, manifiesto en el área como Falla Bellavista, subsidiaria de la misma. Ingresa con rumbo N75° W, con buzamiento 72° NE, movimiento sinistral-inverso. Esta falla se enmascara en el cerro Checocollo, pero en fotografías satelitales tiene continuidad hacia territorio chileno. Los indicios se ven claramente que los dos cuerpos intrusivos están perfectamente alineados en su traza.

El segundo sistema importante es el denominado Norte-Sur, presente en el área en el sector este del cerro Caldero, con rumbo Norte-Sur y buzamiento 80° al este, con movimiento vertical inverso. Hacia el sur de Checocollo en los alrededores del cerro Challampa, en la traza de la falla se ha reconocido otros intrusivos de composición granodiorítica y pórfido de cuarzo.

El tercer sistema presente es de rumbo N 30° - 60° E, con buzamientos de 75 a 80° sureste-noroeste y movimientos indistintos; tiene mejor expresión en el sector Suroeste del cerro Checocollo en donde se observa crestones silicificados, débilmente mineralizados.

En forma conjunta la diatrema presenta un fracturamiento circular divergente reconocido en el terreno e interpretado como una expresión de esfuerzos verticales profundos en sentido ascendente tipo “pistón”. Todo el molde estructural en el cerro Checocollo tiene igual importancia en los procesos de alteración-mineralización, como puede verse en los planos geológicos, pero podría especularse que el sistema de fallas Incapuquio facilitó el emplazamiento de grandes masas intrusivas pero los sistemas SW-NE y Norte-Sur favorecieron el desarrollo de los sistemas hidrotermales quizás debido a sus características más de tensión que de compresión (Anexo Plano 12).

#### 4.4 PETROGRAFÍA



**FIGURA 15:** Estudio petrográfico de la muestra MN°-12 (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

**MUESTRA** DDH - 45  
(157.50 m)

Riolita porfírica

**CLASIFICACIÓN**

**COMPOSICIÓN**

**Minerales Principales**

Cuarzo (qz): Fenocristales de gran desarrollo con bordes de reacción, microfracturados; algunos con notable extensión ondulante y contienen diminutas inclusiones fluidas, apatito, opacos y rutilo.

Sanidina : Fenocristales bien conformados subordinada a la ocurrencia del cuarzo, pro de similar tamaño.

**TEXTURA**

Porfírica con matriz desvitrificada

**ALTERACIÓN**

Marcada silicificación y desvitrificación; ligera oxidación.

Minerales de alteración:  
Cuarzo  
Oxidos de hierro

500 micras



**Accesorios**

Minerales opacos (MO): Subhedrales, anhedrales y en fina disseminación.

**Trazas**

Escasos pseudomorfos de ferromagnesianos, reemplazados por cuarzo, leucoxeno y opacos oxidados.

Rutilo: Finos cristales y en inclusiones en el cuarzo.

Muscovita  
Apatito  
Leucoxeno  
Zircon  
Oxidos de hierro

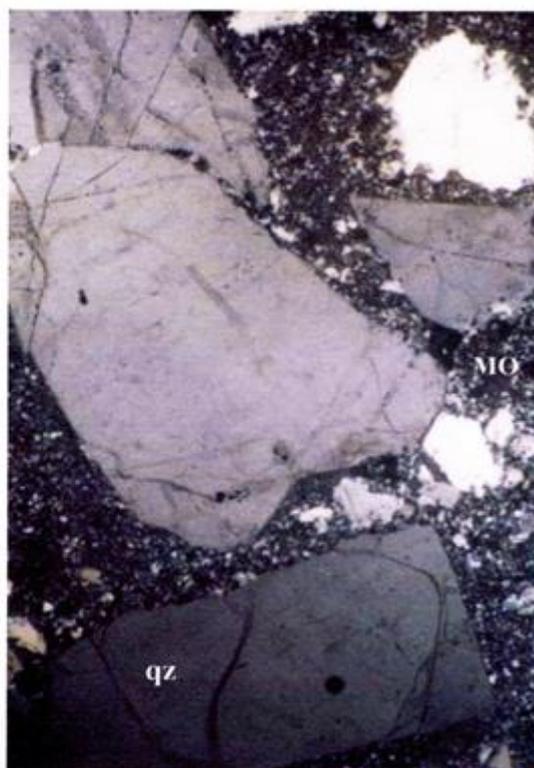


FIGURA 16 Estudio petrográfico de la muestra DDH-45 (155.50m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

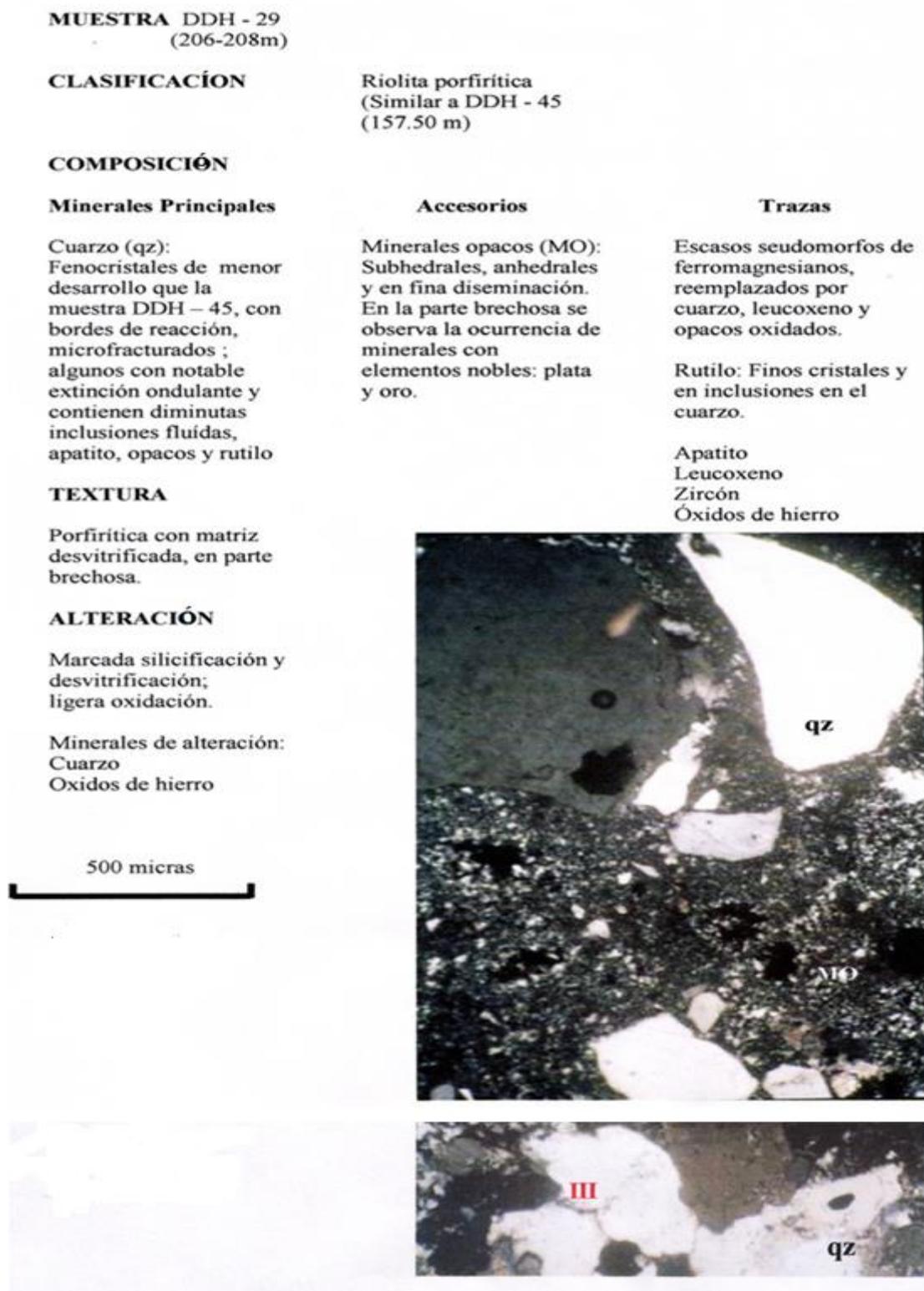


FIGURA 17: Estudios petrograficos de la muestra DDH 29 (206-208 m.)  
(Dep. Exploraciones Minsur S.A.)

#### 4.5 ALTERACION HIDROTHERMAL

La alteración en el cerro Checocollo no es típica de un sistema ácido- sulfato (alta sulfuración) (Volkert, Mc Ewan y Garay, 1999), sin embargo la alteración es intensa para la silicificación (Cuadro 02), siendo ésta, parte de un patrón zonal, con sílice porosa y sílice masiva en la parte central que gradúa hacia los bordes a sílice-alunita (argílica avanzada), arcilla-caolinita y sílice, clorita, piritita y calcita (propílica).

El análisis por elementos químicos principales de rocas, en muestras de reconocimiento tomadas en el cerro Checocollo en donde se encuentra la diatrema de Pucamarca, (Cuadro 02), indican altos porcentajes de SiO<sub>2</sub> que se observan incluso en las rocas de los volcánicos Huilacollo (cajas) indican las condiciones de extrema acidez de los fluidos hidrotermales que actuaron durante los procesos de alteración hidrotermal en la diatrema en donde se encuentra el yacimiento epitermal de Pucamarca (AMEC Perú SA.2006) (Anexo Plano 13,14y15).

#### CUADRO 02: Análisis de elementos químicos.

Unidad	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	LO	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Volcánico Huilacollo	0.34	0	<0.01	1.15	0.02	0.06	<0.01	0.04	0.02	96.4	0.6	0	98.95
Tufo Fragmental	1.19	0.1	<0.01	0.89	0.07	0.13	0.01	0.07	0.02	94.6	0.5	1	98.41
Tufo Brecha	0.27	0	0.02	0.95	0.02	0.07	<0.01	0.04	0.01	95.4	0.5	1	98.31
Brecha (Pórfido de Cuarzo)	0.37	0	0.03	1.59	0.02	0.07	0.01	0.04	0.02	95.6	0.6	0	98.64
Brecha Híbrida	0.21	0	0.01	0.49	0.01	0.06	<0.01	0.03	0.01	97.2	0.4	0	98.86

Fuente: AMEC (Perú) SA. 2006.

#### **4.5.1 Sílice Masiva**

Alteración que le da a la roca una textura microcristalina y densa de color gris claro; ha sido reconocida superficialmente en la cumbre oeste-suroeste del cerro Checocollo, concordante más con el mayor fracturamiento que con el aspecto litológico, pues afecta a todas las rocas sin excepción. Se piensa que ésta sílice se produce por interacción de aguas meteóricas frías de baja acidez, con fluidos ascendentes ácidos a alta temperatura (Sillitoe, R. 1996); lo que podría estar indicando la existencia de un nivel freático en esta área relacionado posiblemente a un ambiente lagunar existente entre los volcánicos Huilacollo y los volcánicos Huaylillas (litología más permeable), restos consistentes en tobas dacíticas finamente bandeadas reconocidas en el cerro Caldero y en algunas zonas del cerro Checocollo; razón por la cual esta sílice no profundiza como puede verse en las secciones, quedándose colgadas como un cascarón.

Esta alteración va asociada a minerales como el cinabrio, rejalgar, azufre nativo, alunita blanca y algo de hematita (Anexo Plano 13).

#### **4.5.2 Sílice Masiva Oquerosa**

Tipo de sílice variante entre la sílice masiva y la oquerosa gris, reconocida únicamente en la cumbre del cerro Checocollo y ubicada cerca de la nariz del intrusivo pórfido de cuarzo y concordante a su vez con el centro de la diatrema en donde se tiene el principal canal alimentador de fluidos, como se puede ver en la sección adjunta, que profundiza en dirección Este-sureste, hacia territorio chileno.

Su asociación con otros minerales es similar a la sílice masiva, aunque predominan en mayor cantidad dada su característica más porosa, pero minerales como el rejalgar, cinabrio y azufre tienden a declinar a profundidad.

### 4.5.3 Sílice Oquerosa

Proceso más importante en la diatrema Pucamarca; manifiesta principalmente hacia los bordes de la misma afectando también a las cajas de la misma; tiende claramente a profundizar. Se piensa que se forma cuando los fluidos magmáticos ascendentes se condensan al entrar en contacto con rocas saturadas con agua, que originan fluidos ácidos y como consecuencia lixivian la roca.

Este proceso ha obliterado todas las unidades litológicas presentes dificultando muchas veces la identificación de las rocas. Un corte idealizado desde el centro de la máxima alteración hidrotermal hacia sus bordes presenta a la brecha híbrida y al pórfido de cuarzo fuertemente silicificados y fracturados, distribuidos a manera de un casquete en forma de cono invertido, descansando en el pórfido de cuarzo. El tufo brecha que es el pulso más antiguo de la estructura diatrema, muestra clara evidencia de la silicificación en menor intensidad que la observada a otras unidades. Los diques de tufisita y la brecha fragmental exhiben una mayor silicificación y es por ello que se considera a la silicificación un proceso intermitente, que, habiendo actuado desde la fase final de la consolidación del pórfido de cuarzo, decayó en intensidad, hasta prácticamente ser mínima durante el emplazamiento de los diques de tufisita. La excepción la constituyen algunos diques (0.5 m a 1.5 m.) de sílice de color crema de aspecto masivo que posiblemente fueron de tufisita y posteriormente silicificada. La silicificación continuada y la actividad tectónica intermitente produjeron inicialmente brechamiento y luego silicificación. Un examen detallado de 80 secciones delgadas ha permitido establecer siete fases de brechamiento-silicificación. Hacia fuera la diatrema está en contacto con los volcánicos de la formación Huilacollo, la silicificación es menor que en el tufo brecha o en la brecha híbrida.

Esta sílice se asocia con oropimente, rejalgar, cinabrio, azufre nativo y jarosita, con tendencia a predominar a profundidad únicamente jarosita.

#### **4.5.4 Argílica Avanzada**

Este tipo de alteración (alunita-caolinita- montmorillonita-pirita) escasa en el cerro Checocollo pero abundante en el cerro Caldero ambos presentan un color blanco, se ubica principalmente como marginal a la sílice, en la caja de la diatrema (volcánico Huilacollo) y en el pórfido andesítico. Frecuentemente también se le ubica en el pórfido de cuarzo y en el tufo fragmental. (Anexo Plano 13,)

#### **4.5.5 Argílica**

Se presenta debajo de la zona de alunita, asociada principalmente a arcillas y algo de pirita cristalizada como pequeños parches. Se le ha reconocido más abundante en el cerro Caldero, pero también existe en el cerro Checocollo, principalmente en los volcánicos Huilacollo y en el pórfido andesítico.

#### **4.5.6 Propílica**

La zona argílica grada hacia las márgenes del sistema, a un ensamble verdoso compuesto de clorita, pirita, calcita, epídota y algo de sílice. Está ubicada en la caja de la diatrema, principalmente en los volcánicos Huilacollo y en el pórfido andesítico.

### **4.6 MINERALIZACIÓN**

La mineralización es principalmente oro libre y plata. Ocasionalmente se reporta galena, argentita, plata nativa, esfalerita y chalcopirita en los niveles más profundos, pero nunca alcanzaron valores importantes. Como parte del sistema hidrotermal también se presenta oropimente – rejalgar, azufre nativo y cinabrio (?) pero en cantidades traza Como curiosidad mineralógica se reporta la presencia, pero en cantidades traza. Como

curiosidad mineralógica se reporta la presencia de bindheimita un antimonato de plomo de color amarillo, pulverulento en las fracturas de la brecha híbrida, dando la apariencia de ser una mezcla de jarosita azufre nativo. Este es un mineral de formación muy reciente, se presenta en los cortes de carretera de acceso y nunca se ha observado en los testigos de perforación.

La mineralización observada en el yacimiento Pucamarca es de dos tipos: sulfuros y metales preciosos en la fase de óxidos. La mineralización sulfídica ocurre principalmente en el cerro Caldero; mientras que el 90 % del mineral oxidado se encuentra en el cerro Checocollo.

En el cerro Checocollo la mineralización de sulfuros se presenta como parches aislados de calcocita-bornita-covelita y pirita subordinada. Esta ocurrencia no es frecuente, y en los núcleos de perforación observados, no excede los 10-15 mm. de sección. Los valores de oro se incrementan en presencia de los sulfuros de cobre, lo que ha originado la hipótesis de una mineralización de sulfuros más extensa, la que posteriormente habría sido oxidada y los valores de oro redistribuidos en todo el sistema. El análisis de los elementos traza sugiere una correlación directa entre Au y As, Sb y Hg. Estos elementos son típicos en ambiente epitermal y no son frecuentes en el sistema pórfido cobre-oro-molibdeno. Por lo tanto, es un tanto arriesgado querer encontrar una relación del oro-plata con un facie sulfídica inicial. Se acepta sin embargo que inicialmente existió una fase de más alta temperatura, en la cual se depositó los sulfuros de cobre y hierro en forma discontinua y restringida, principalmente a las unidades litológicas: Brecha híbrida, v olcánicos Huilacollo, Pórfido Andesítico y ocasionalmente Tufo-Brecha. Esta fase deposicional habría sido oxidada y parcialmente destruida por las soluciones hidrotermales ascendentes que dieron lugar a la deposición del oro y la plata. No se ha

observado el ensamble de sulfuros en las tufisitas o en el pórfido de cuarzo.

La mineralización de metales preciosos, fundamentalmente oro y plata, es del tipo diseminado, está asociada a una fase deposicional de más baja temperatura que la sulfídica y se caracteriza por la asociación de oro libre, oropimente-rejalgar-cinabrio y azufre nativo.

Ésta asociación es típica del ambiente epitermal (Heyl y Wayne.1999), en la cual la plata se presenta algunas veces asociada al oro (electrum). Como sulfosales y raramente plata nativa (Ocharan, G. 2003).

**MUESTRA** DDH -29 (206-208m)

**MINERALIZACIÓN** Fe(Cu-Sb-As-Ag-Au), moderada-débil

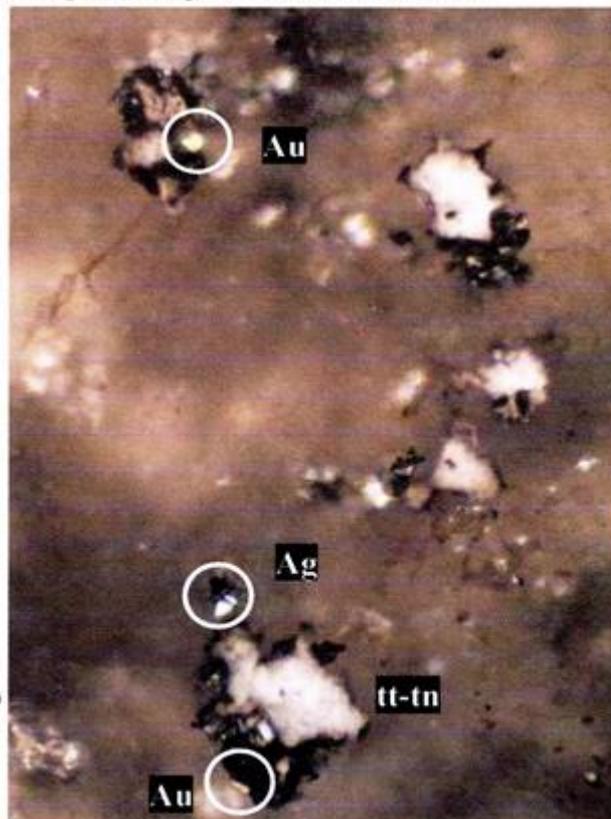
**COMPOSICIÓN**

Minerales Principales	Accesorios	Trazas
Hematina	Pirita (py) Rutilo (ru)	Calcopirita Tennantita-Tetraedrita (tttn) Digenita Oro Nativo (Au) Plata Nativa (Ag) (Pirargirita-Proustita)

**OBSERVACIONES**

Mineralización de hematita que rellena microquedades, reemplaza algunos pseudomorfos de pirita; y en ciertas áreas la ganga está caracterizada por una fina diseminación de hematita y óxidos de titanio que son el producto de alteración de una titanomagnetita precedente.

En ciertas áreas, la hematita está asociada a cuarzo euhedral y oro libre que no supera a las 20 micras. La pirita en forma de aislados y pequeños agregados que están asociados con trazas de calcopirita. Localmente se observa abundantes reflejos internos de color rojizo asociados con los cobres grises. Estos pueden indicar una fina diseminación de pirargirita-proustita cuya identificación microscópica no es posible sin microanálisis por sus dimensiones muy diminutas (Por SEM se ha determinado que estas no sobrepasan a las 5 micras). La mineralización ha sufrido una alteración supérgena incipiente que se manifiesta en el reemplazamiento de los sulfuros primarios de cobre por digenita.



**FIGURA 18:** Estudio minerográfico de la muestra DDH-29 (206-208m) (Dep. de Exploraciones Minsur).

MUESTRA: DDH -29 (206-208m)



500 micras



MUESTRA: DDH -29 (206-208m)



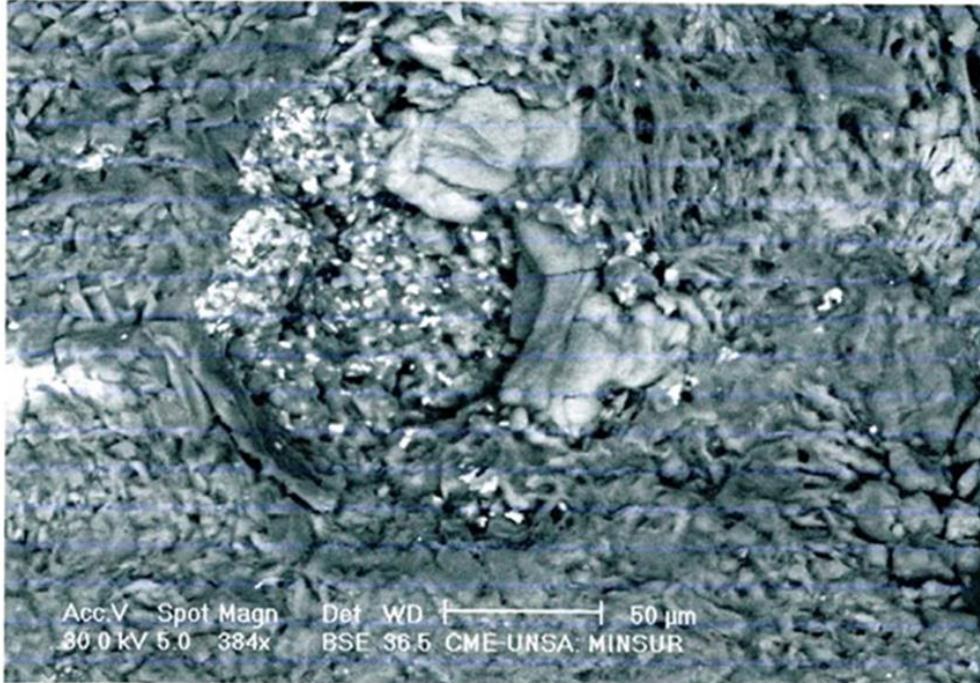
500 micras



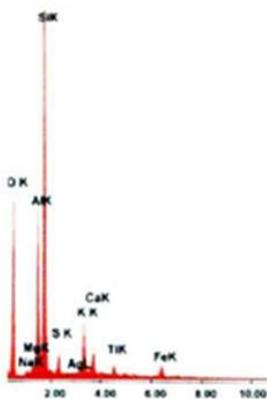
Fig 18.- Estudio minerográfico de la muestra DDH – 29 (206-208 m)

**FIGURA 19:** Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

**MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y MICROANÁLISIS**



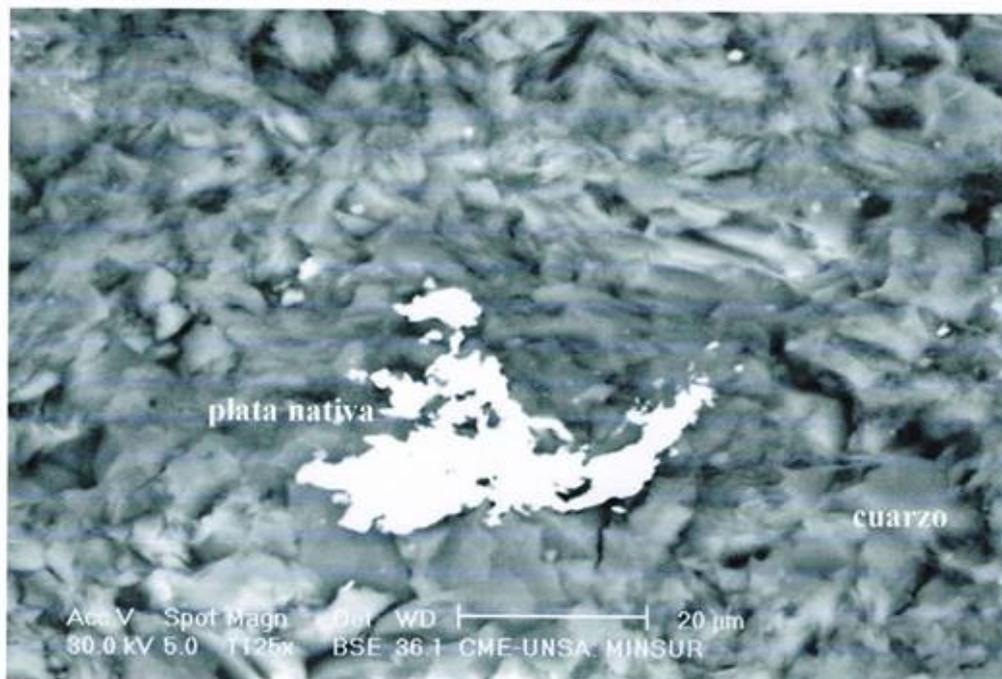
Se ha efectuado el estudio de la muestra de testigo de perforación DDH -29 (206-208m), en un Microscopio Electrónico de Barrido con sistema de microanálisis, modelo SEM XL20 + EDX del Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad de San Agustín de Arequipa y en un en un ESEM XL30+EDX del Centro Nacional de Rehabilitación-DF-México; ambos de FEI COMPANY. Los microanálisis areales y puntuales en diferentes zonas de la muestra determinan una composición predominante de cuarzo de tres generaciones que presentan diferente forma y tamaño, con cantidades subordinadas de montmorillonita, illita, rutilo, leucoxeno y óxidos de hierro (identificados como hematita). Con trazas de baritina, pirita, calcopirita, plata nativa, tennantita con



Elemento	Wt%	Descripción
O	42.80	hematita con cuarzo euhedral asociada a granos de oro que no sobrepasa a las 10 micras.
Na	0.57	La plata nativa ocurre en forma de delgadas laminillas anhedrales que no sobrepasan a las 30 micras, pero también se la observa como delgadas y finísimas laminillas.
Mg	0.69	Las platas rojas (pirargirita) son escasas y sus tamaños oscilan entre una micra a no más de 5 micras.
Al	9.95	Algunos granos diseminados de calcopirita presenta en sus bordes con digenita, lo que indica una alteración supérgena.
Si	36.08	
S	1.68	
Ag	0.54	
K	3.51	
Ti	1.01	
Fe	1.50	

**FIGURA 20:** Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

**MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y MICROANÁLISIS**



**Análisis puntual de plata nativa +cuarzo**

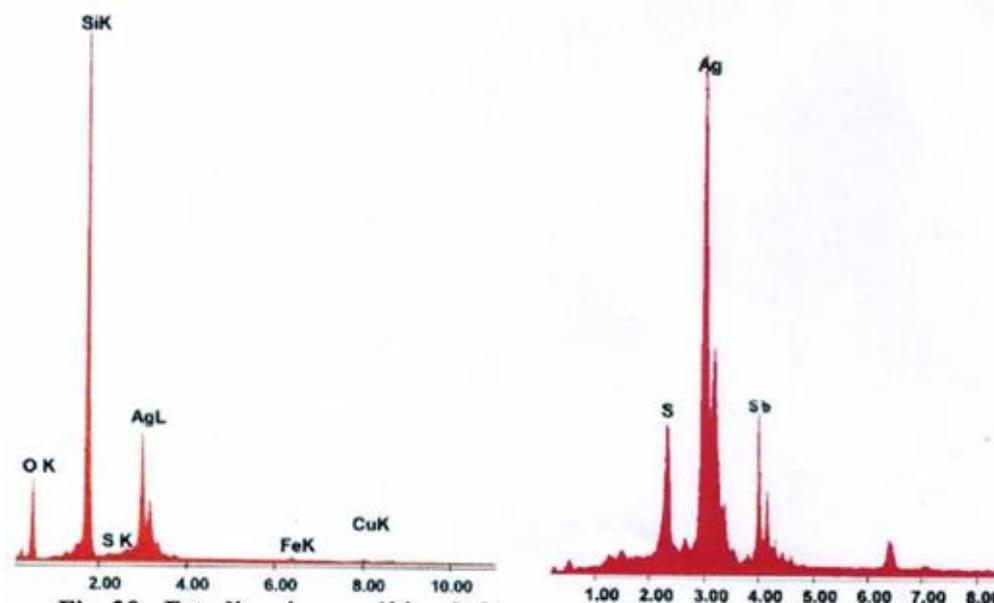
Elemento Wt%

O 32.57  
Si 38.99  
S 0.59  
Ag 26.80  
Fe 0.54  
Cu 0.51

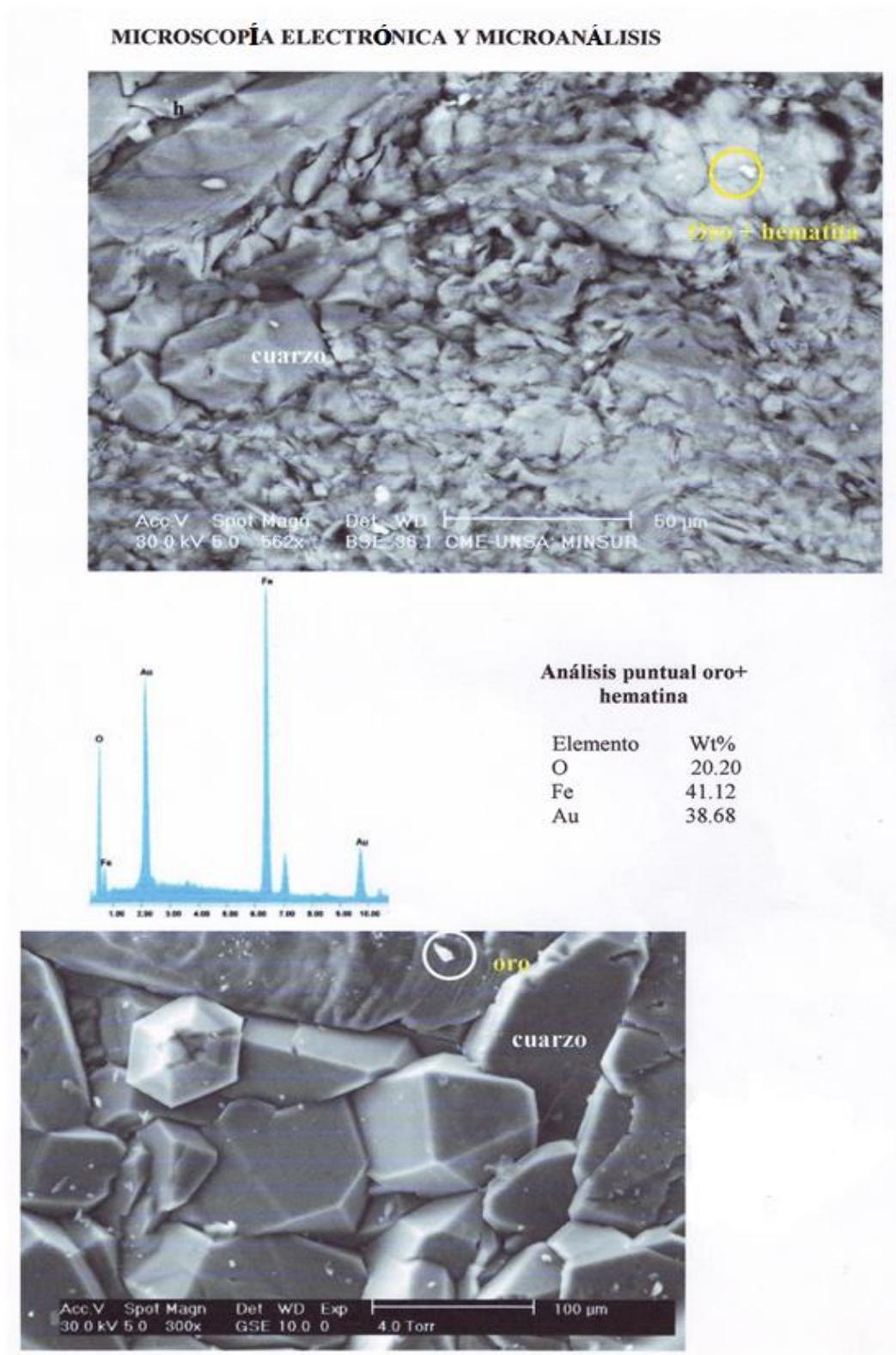
**Análisis puntual de pirargirita**

Elemento Wt%

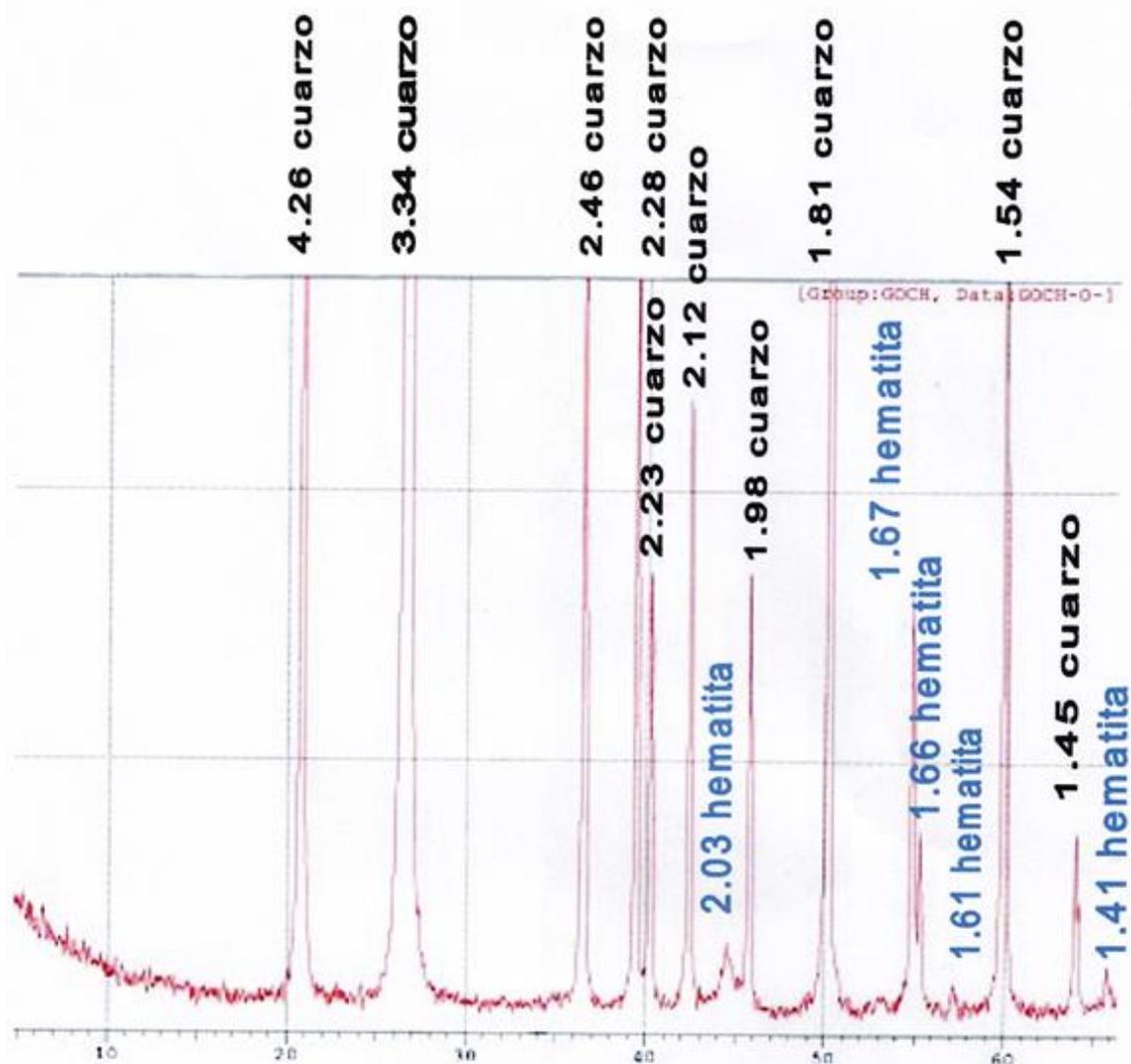
S 18.79  
Ag 59.34  
Sb 21.87



**FIGURA 21:** Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m)  
(Dep. de Exploraciones Minsur S.A.)

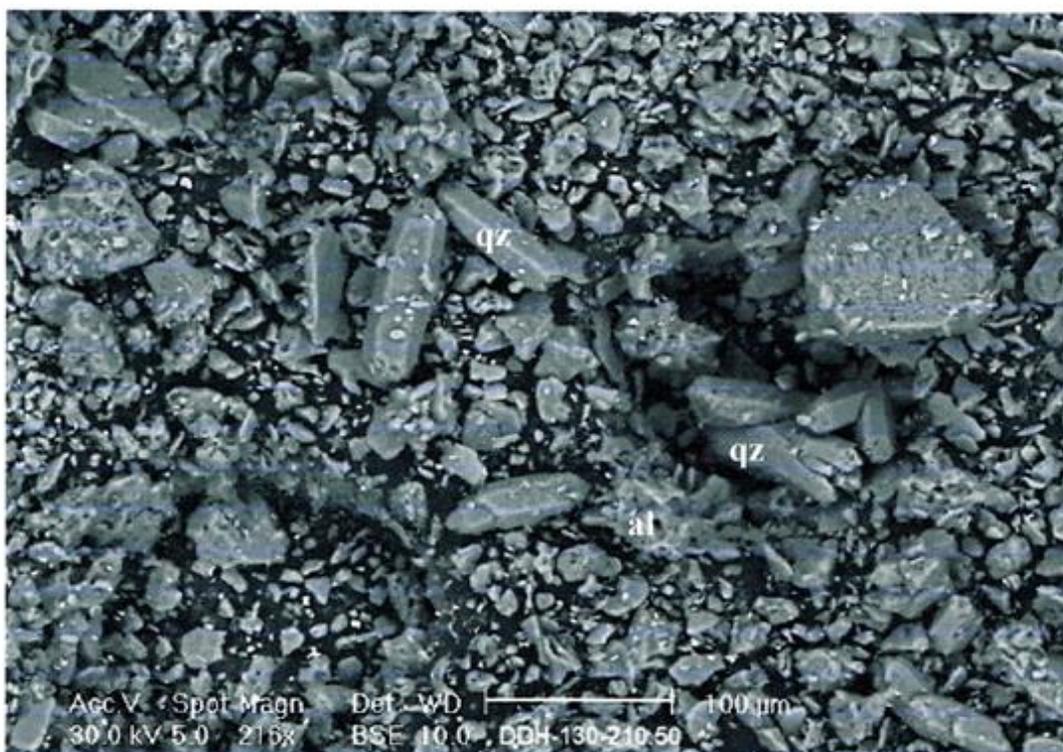


**FIGURA 22:** Estudio microanalítico de la muestra DDH-29 (206-208m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**Muestra DDH-29(206-208m).** El diagrama de rayos - X, determina que mayoritariamente la muestra está constituida por cuarzo en aproximadamente un 90% y subordinadamente cantidades accesorias de hematita.

**FIGURA 23:** Difracción de rayos – X. Muestra DDH 29(206-208 m.) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

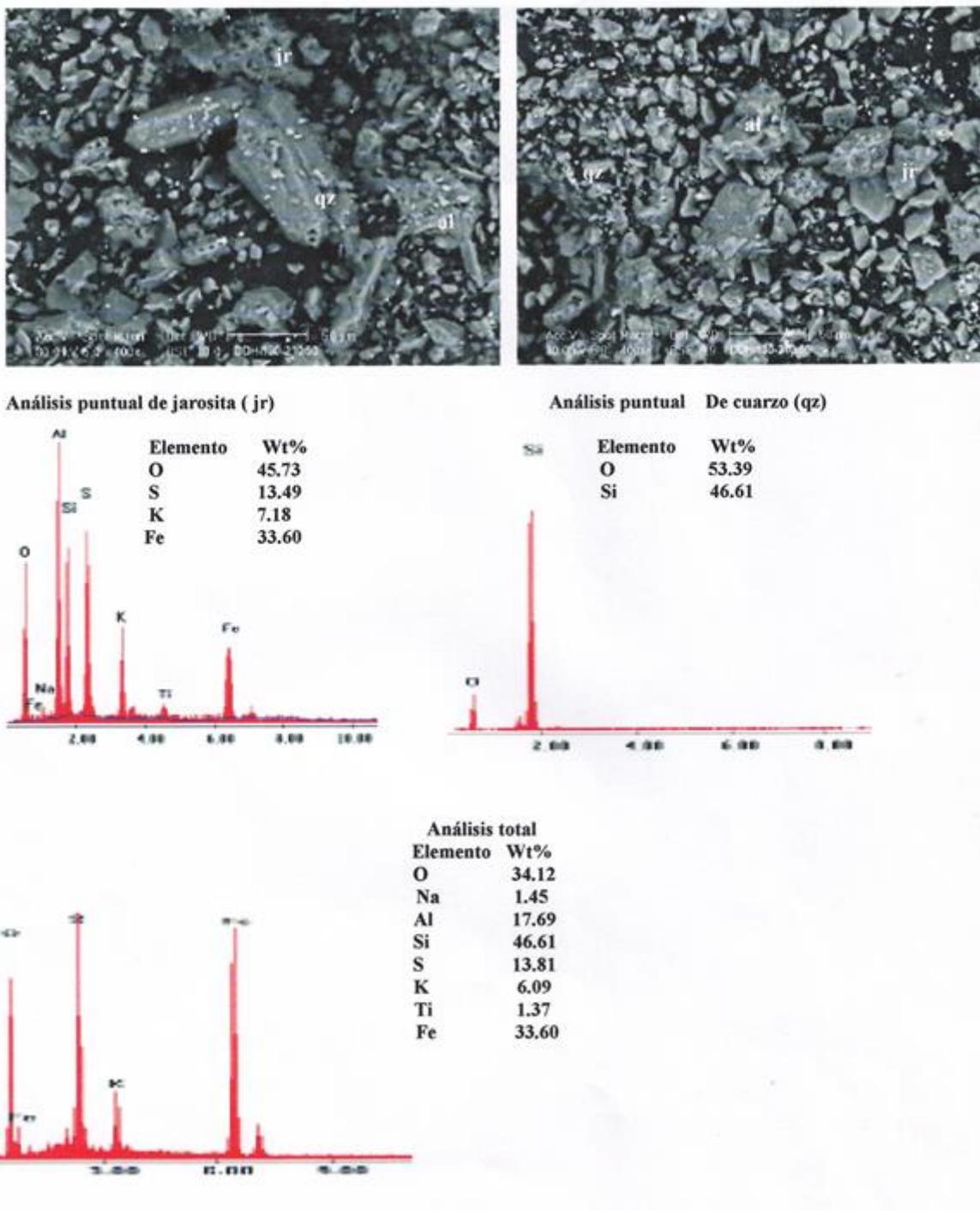


La muestra fue analizada en un microscopio electrónico de barrido, modelo (ESEM XL30 + EDX4i), de FEI Company; del Centro Nacional de Rehabilitación-Distrito Federal México.

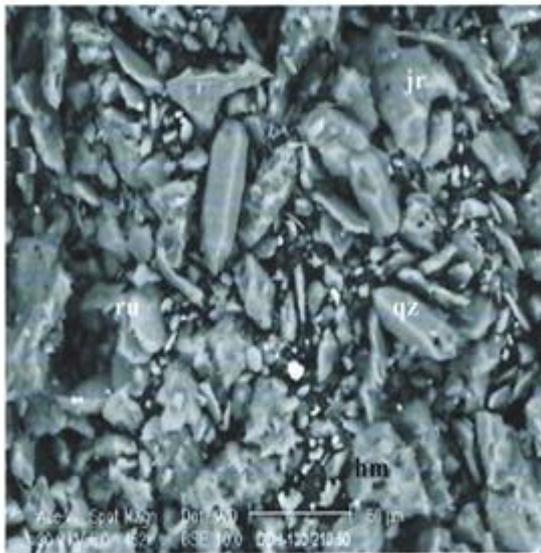
Para los análisis areales y puntuales en diferentes áreas de la muestra, se usó el detector de electrones retrodispersados (BSE); cabe indicar que este es un análisis elemental no destructivo y repetitivo (simultáneamente analiza 85 elementos comprendidos entre el boro y el uranio), que fue efectuado para determinar la presencia de oro y otros elementos que al estén relacionados con él. Los valores son dados en porcentaje de peso atómico de cada elemento (Wt%).

La muestra corresponde a material deleznable, está constituida mayoritariamente (71.30 %) por cuarzo que se presenta en forma de partículas libres de diferentes tamaños, son de formas anhedral y subhedral con un buen porcentaje en cristales euhedrales; con alunite (20.23%) accesoria, en forma subhedral y anhedral de similar tamaño que el cuarzo, subordinadamente en un porcentaje que no supera el 5.23% de jarosita (jr) y kaolinita (kao); con trazas en un porcentaje que no supera el 3.24% de hematita (hm), goethita (goe), rutilo (ru). Las asociaciones de alunite con metales nobles no ha sido determinada, pero no se descarta su presencia en este tipo de muestras.

**FIGURA 24:** Estudio microscopia electrónica de barrido y microanálisis por EDX- Muestra DDH-130(210.50 m.) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

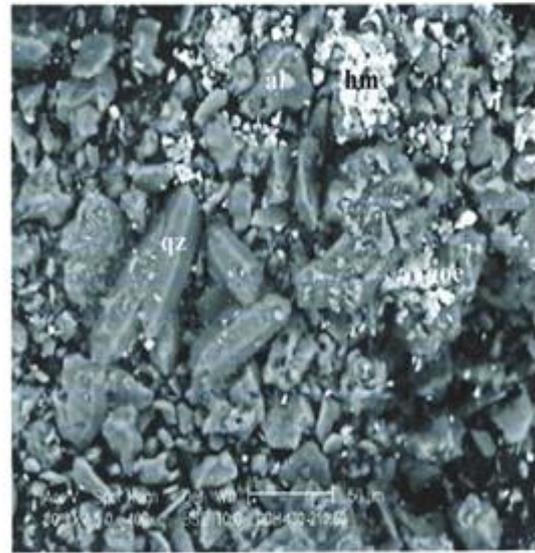
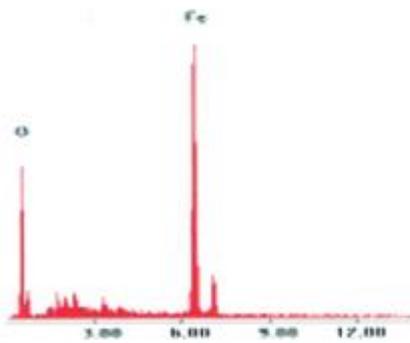


**FIGURA 25:** Estudio microscopia electrónica de barrido y microanálisis por EDX (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



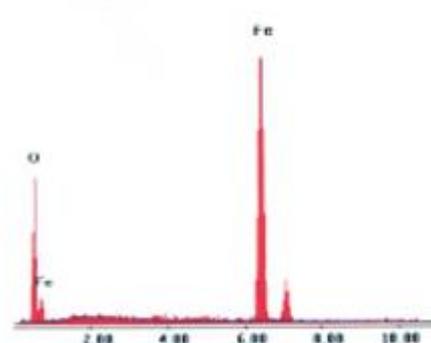
**Análisis puntual de goethita (goe)**

Elemento	Wt%
O	36.98
Fe	63.02

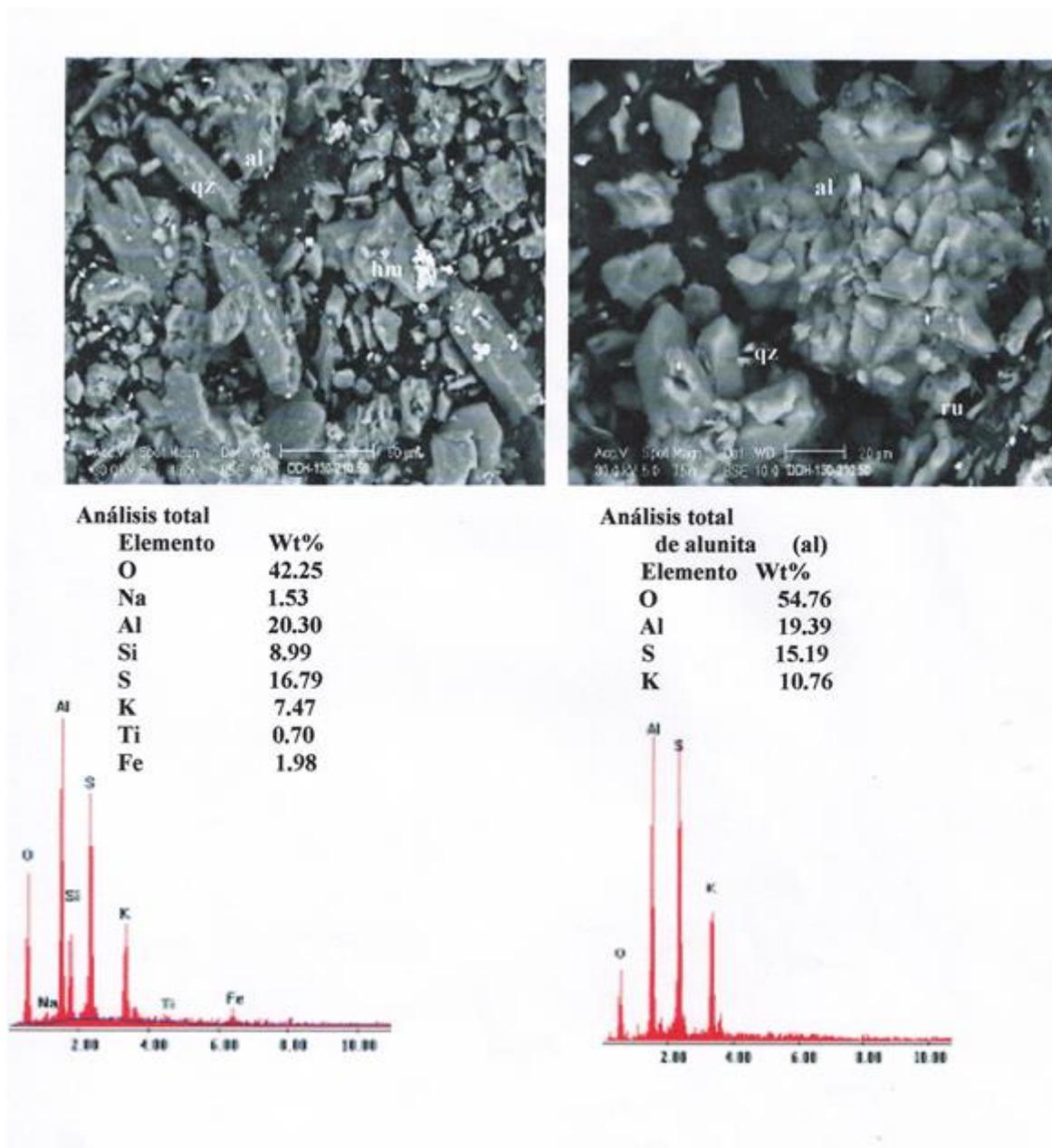


**Análisis puntual de hematita (hm)**

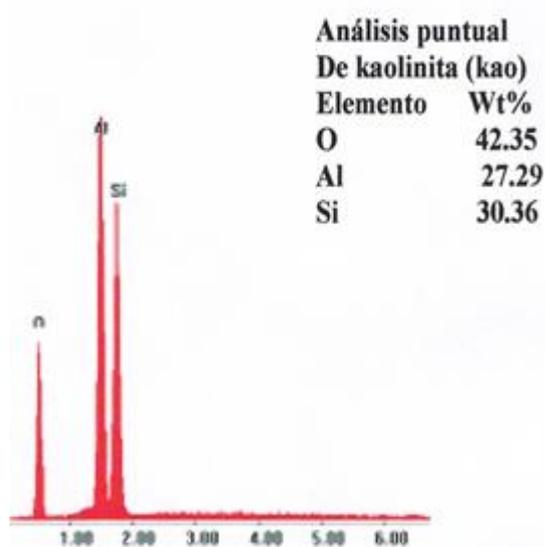
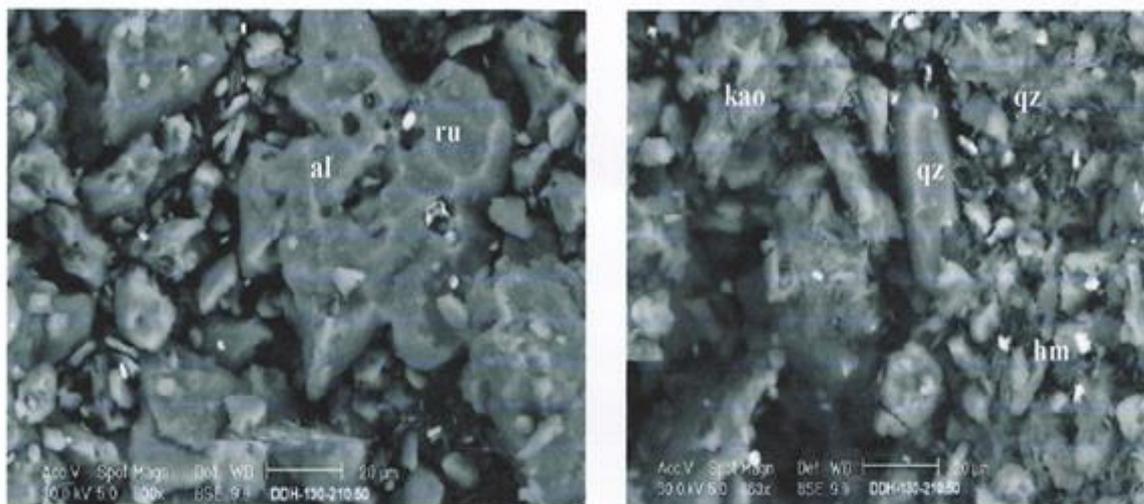
Elemento	Wt%
O	31.05
Fe	69.95



**FIGURA 26:** Estudio microscopia electrónica de barrido y microanálisis por EDX Muestra DDH-130(210.50m (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 27:** Estudio microscopia electrónica de barrido y microanálisis por EDX Muestra DDH-130(210.50m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).



**FIGURA 28:** Estudio microscopia electrónica de barrido y microanálisis por EDX DDH-130(210.50m) (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

#### 4.7 ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA EN ROCAS DE LA DIATREMA

##### PUCAMARCA

El análisis geoquímico por algunos elementos traza tomados en muestras de reconocimiento (AMEC Perú S.A. 2006) en rocas de la diatrema Pucamarca indican valores anómalos para elementos como Ag, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb y W.

**CUADRO 03: Análisis Geoquímico**

Unidad	Ag mg/l	Ba mg/l	Co mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Ga mg/l	La mg/l	Mo mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Sr mg/l	Ti mg/l	U	V	W	Zn mg/l
													mg/l	mg/l	mg/l	
Volcánico Huillacollo	2	66.1	1.2	40	54	1	2.2	50	29	145	13.2	<0.5	1.1	24	73	20
Tufo Fragmental	4	778	71	10	458	2.1	2.9	10	158	220	40.3	<0.5	2.45	32	1730	44
Tufo Brecha	16	159	1.2	30	41	2.6	1.8	11	12	62	11	<0.5	1.34	32	32	33
Brecha (Pórfido de Cuarzo)	4	197	1.9	100	60	1.4	1.9	32	38	72	10.6	<0.5	1	29	54	65
Brecha Híbrida	6	94.8	1.2	70	27	0.8	1.5	11	10	14	8	<0.5	0.63	18	13	20

Fuente: AMEC Perú SA. 2006

Los valores de arsénico a nivel del promedio local (background) están en el rango de 200 a 250 ppm y se reportan valores altos como 1,000 a 2,000 ppm y ocasionalmente otros que llegan a 10,000 ppm. Un examen cuidadoso indica que estos valores altos de arsénico no están relacionados a mineralización cuprífera (enargita).

El comportamiento del mercurio es similar. En algunos intervalos el cinabrio es visible y en algunos ensayos el mercurio llega hasta 57 ppm de Hg. El valor promedio local para

el yacimiento está en el rango de 1 a 2 ppm de Hg y el valor umbral alrededor de 5 a 6 ppm.

El molibdeno elemento siderófilo con gran afinidad por la sílice se presenta en Checocollo en cantidades que varían entre 1 y 20 ppm. El valor promedio local (background) está en el rango de 1 a 2 ppm y el umbral (threshold) es 5 a 6 ppm. No se ha observado molibdenita

El antimonio reporta sistemáticamente valores por debajo de 25 ppm.

#### **4.8 TERMINOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN**

La denominación de los términos de alta y baja sulfuración fue propuesta por Hedenquist (1985) en base al estado de oxidación-reducción (ó sulfuración) del azufre en los fluidos de sistemas geotérmicos actuales.

Recientemente se han redefinido los tipos de depósitos epitermales, introduciéndose el término de sulfuración intermedia (Hedenquist, J.W., Arribas, A.R., y Gonzáles – Urien, E., 2000). Los depósitos del subtipo de sulfuración intermedia son estructuralmente muy similares a los de baja sulfuración, pues no en balde ambos conforman el conjunto de epitermales alcalinos, aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas en sulfuración intermedia suelen guardar una mayor afinidad con los depósitos de alta sulfuración.

Las mineralizaciones en diatremas dentro del ámbito de alta y baja sulfuración están asociados con fluidos ácidos que se generan en el ambiente magmático hidrotermal adyacente a volcánicos activos. Las características de estas asociaciones mineralógicas indican estados de oxidación similares a aquellos medidos en sistemas magmáticohidrotermales activos. En los fluidos hidrotermales los componentes reactivos

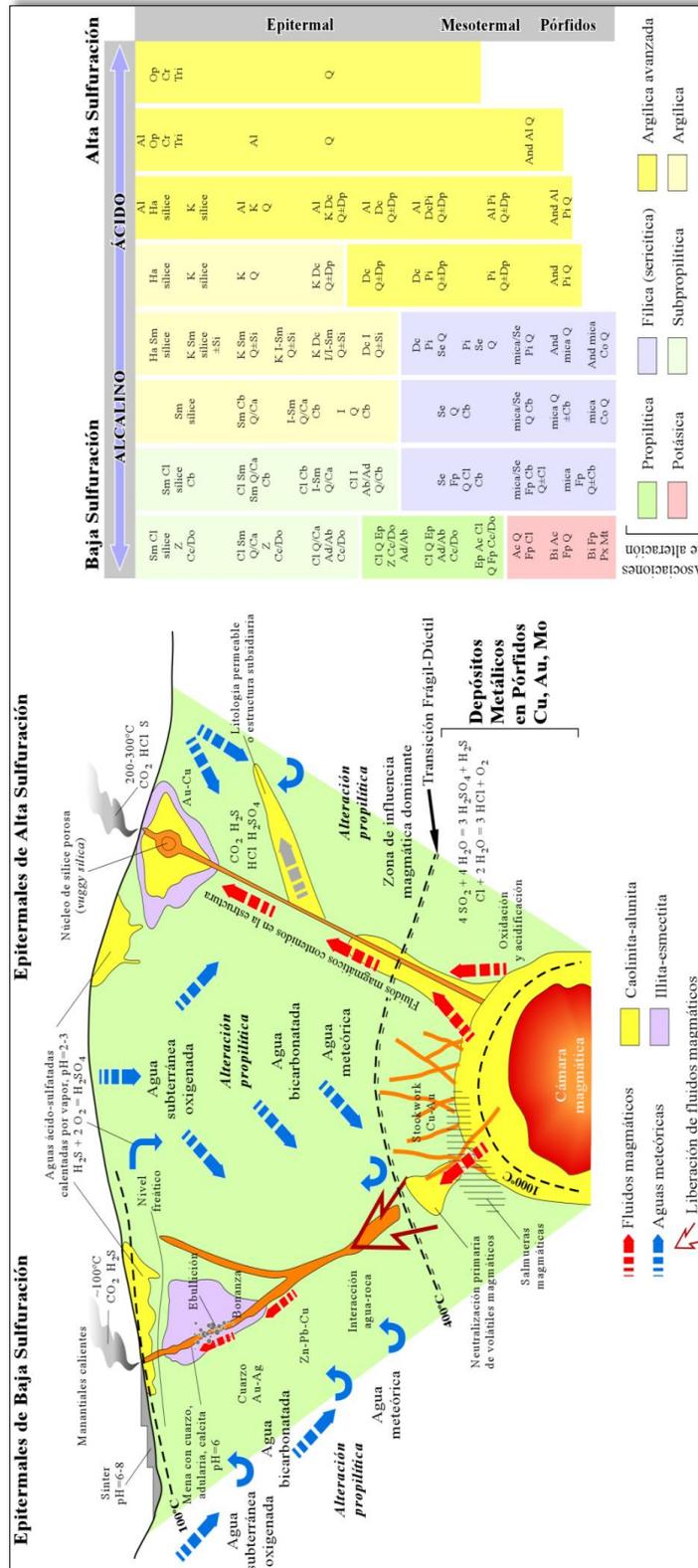
derivados de la fuente magmática relativamente oxidada ascienden hasta cerca de la superficie con muy poca interacción agua-roca en profundidad. El vapor rico en SO y HCl puede ser absorbido por el agua subterránea causando SO<sub>2</sub> a desproporcionar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>S, seguido por la disolución del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HCl. El agua caliente resultante (200 a 300° C) altamente ácida (pH 0 a 2) y oxidante, reacciona fuertemente con la roca ambiente a profundidad hasta alterarla (Hedenquist, J. W., 1995). Hay diferencias claras de mineralogía económica, alguna de las cuales reflejan las distintas condiciones redox de los fluidos hidrotermales. Una distinción es la presencia común de esfalerita y de arsenopirita en yacimientos de sulfuración baja a intermedia, mientras que la esfalerita es escasa y la arsenopirita es rara en los yacimientos de alta sulfuración. A diferencia de los ejemplos de sulfuración baja ó intermedia, los yacimientos de alta sulfuración comúnmente contienen minerales arsenicales de cobre, especialmente las sulfosales de alta sulfuración enargita y luzonita. Dichos sulfuros incluyendo los del estado de sulfuración relativamente alta, tenantita y tetrahedrita son relativamente raros o están ausentes en yacimientos de baja sulfuración. La abundancia total de minerales sulfurados (dominantemente pirita) no es significativa, porque puede estar en cualquiera de los estilos, alta intermedia o baja (White, Noel C; Hedenquist, Jeffrey W.1995).

Los minerales de ganga asociados a la mineralización epitermal muestran una considerable superposición, aunque también hay claras diferencias que reflejan la reacción pH del fluido cambiante. El cuarzo es común en los tres tipos de yacimientos epitermales. La adularia y la calcita, ambas indicando condiciones de pH cercanas a neutro, son minerales comunes en yacimientos de baja sulfuración, pero están ausentes en yacimientos de sulfuración alta e intermedia (Cuadro 03).

**CUADRO 04: Minerales de mena en yacimientos auríferos de alta, Intermedia y baja sulfuración (frecuencia de abundancia).**

Minerales	Alta sulf.	Sulf.intermedia	Baja sulf.
Pirita	abundante	abundante	abundante
Esfalerita	común	común	común
Galena	común	común	común
Calcopirita	común	común	común
Enargita-luzonita	abundante	común	raro
Tenantita-tetrahedrita	común	común	común
Covelita	común	común	poco común
Estibnita	raro	común	poco común
Oropimente	raro	raro	raro
Rejalgar	raro	raro	raro
Arsenopirita	raro	común	común
Cinabrio	raro	común	poco común
Electrum	poco común	común	común
Oro nativo	común	común	común
Telururos-Seleniuros	poco común	común	común

Fuente: (White, N. C. 1999; Hedenquist, J. W. 1995).



**FIGURA 29:** Esquema comparativo.

Esquema comparativo de la estructura, procesos, tipos de alteración, volátiles liberados, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas en la formación de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración. Igualmente se muestra su relación con las rocas magmáticas como fuente de calor, fluidos y componentes químicos para estos depósitos, comprendiendo desde una cámara magmática en proceso de enfriamiento, la formación de depósitos metálicos relacionados a pórfidos (cupríferos, auríferos, o molibdeníferos.) (Hedenquist, J. W. 1992).

**CUADRO 05: Minerales de ganga en yacimientos auríferos de alta, intermedia y baja sulfuración (frecuencia de abundancia).**

Minerales	Alta sulf.	Sulf. Intermedia	Baja sulf.
Cuarzo	abundante	abundante	abundante
Calcedonia	poco común	pococomún	poco común
Calcita	ausente	rara	común
Adularia	ausente	común	común
Illita	poco común	común	común
Caolinita	común	común	rara
Pirofilita-diáspora	común	común	ausente
Alunita	común	común	ausente
Baritina	común	común	común

Fuente: (White, N. C. 1999; Hedenquist, J. W. 1995)

#### 4.9 RELACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN CON LA LITOLOGÍA

La distribución de oro se da en la parte superior y central del cerro Checocollo, siendo este un núcleo de alta ley (2.38 gr. Au/TM) y las rocas receptoras son la brecha híbrida, el tufo brecha y la tufisita, en su conducto central. Hay otros cuerpos de menor ley que se presentan alrededor de éste y se proyectan a profundidades por 200 a 250 metros. Estos cuerpos son de forma tabular y otros cilíndricos.

Los diques de tufisitas tienen un comportamiento dual en cuanto al contenido aurífero. Hay intervalos mineralizados (0.5 a 2.0 gr Au/TM) pero de igual manera existen otros que son totalmente estériles o tienen valores por debajo de 0.5gr Au/TM.

#### **4.10 RELACIÓN CON LA MINERALIZACIÓN CON LAS ESTRUCTURAS**

Considerando la diatrema como una estructura, tenemos la distribución del oro, en la parte superior y central del cerro Checocollo, tiene la forma de un cono invertido que penetra en forma subvertical hasta la cota 4400 m, esto es a 130 metros de profundidad. Es a partir de este nivel base y hacia arriba, por los siguientes 250 a 300 metros, que la mineralización auro-argentífera se depositó. En profundidad existe por lo menos 8 a 10 centros o canales que parecen fueron los canales alimentadores. Otro factor importante que podría haber favorecido la deposición mineral, es el efecto “tapón” del pórfido de cuarzo ayudado por la posición de “casarón” que presenta la sílice masiva, interactuando como factor litológico.

#### **4.11 RESULTADOS DE EXPLORACIÓN – RESERVAS MINERALES**

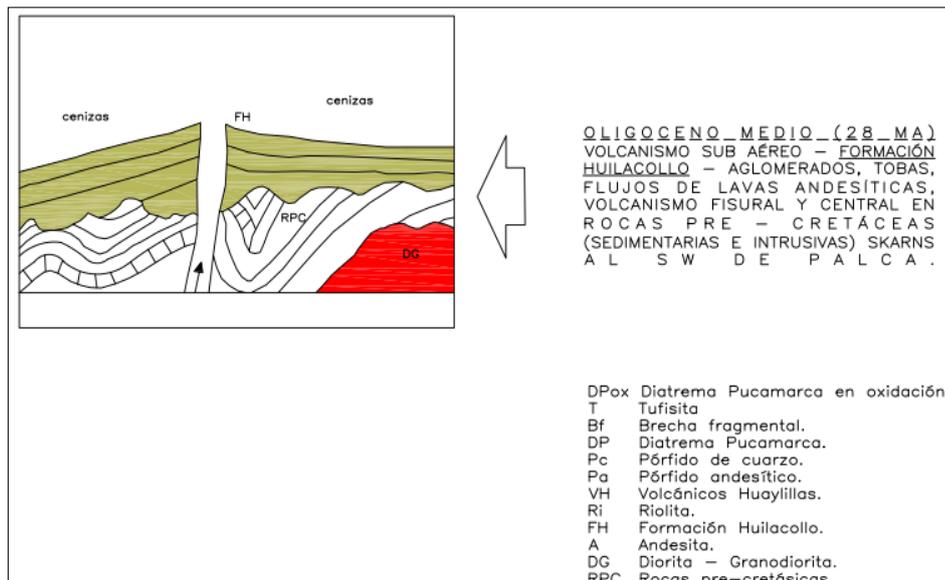
El total de sondajes perforados fue: 169 Taladros en cerro Checocollo. El muestreo de trincheras tanto en cerro Checocollo como en cerro Caldero produjo resultados sorprendentes. Así por ejemplo en Checocollo se identificó un área de 160 x 140 metros con un área total de 22400m<sup>2</sup>. Con una ley promedio de 2.38 gr Au/Tm. Y 0.5 OzAg /Tm. En la ladera norte se logró identificar una zona de Morrena de 30-50 metros de potencia y 300 x 600 metros de largo. Esta ha sido sistemáticamente perforada con sistema aire reverso en centros espaciados de 50 metros. Existe un recurso importante tanto en ley como en tonelaje en la morrena mencionada.

El recurso identificado en los cerros Checocollo, Caldero y la morrena de ladera norte excede el millón de onzas de oro. Con una ley promedio de 0.9 grAu/Ton.

#### 4.12 MODELO HIPOTÉTICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA DIATREMA PUCAMARCA

La evolución geológica de Pucamarca, está genéticamente relacionada a dos tipos de eventos magmáticos, el primero de naturaleza volcánica con la deposición de aglomerados, tobas, flujos de lavas andesíticas, volcanismo fisural y central en rocas postcretáceas que pertenecen a la Formación Huilacollo. El segundo tipo intrusivo se da con emplazamientos sucesivos de cuerpos mayores de diorita-granodiorita (geología regional), seguida de pequeños cuerpos de pórfido andesítico y pórfido de cuarzo (no datados).

Posteriormente se tiene el desarrollo de la diatrema en facies multicíclicas terminando con la fase hidrotermal que depositó la mineralización de oro y plata. Finalmente se tiene la erosión y deposición de la morrena adyacente, además del proceso de oxidación del sistema hidrotermal.



**FIGURA 30:** Evolución geológica Oligoceno medio (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

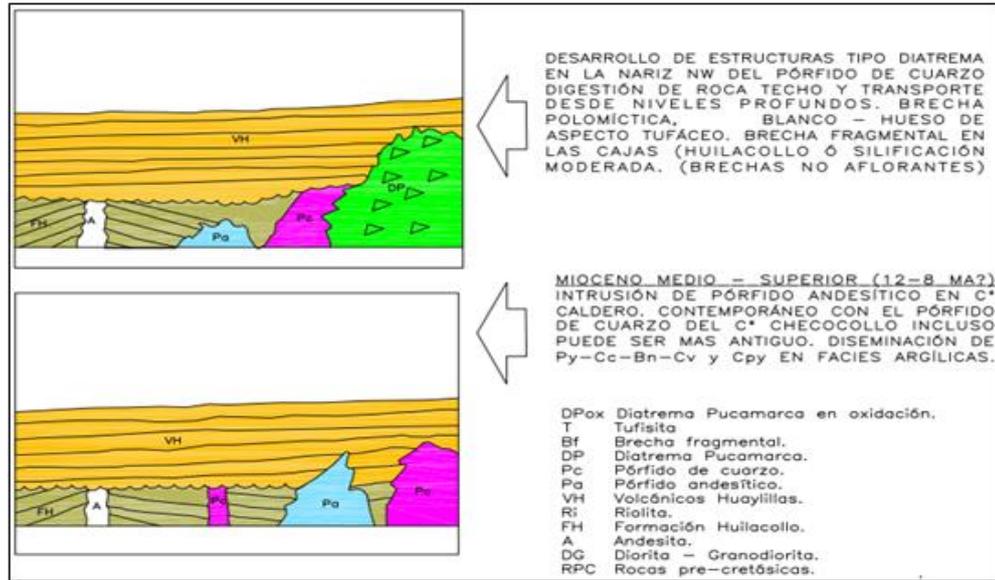


FIGURA 31: Evolución geológica Mioceno medio (Dep. de Exploraciones Minsur S.A.).

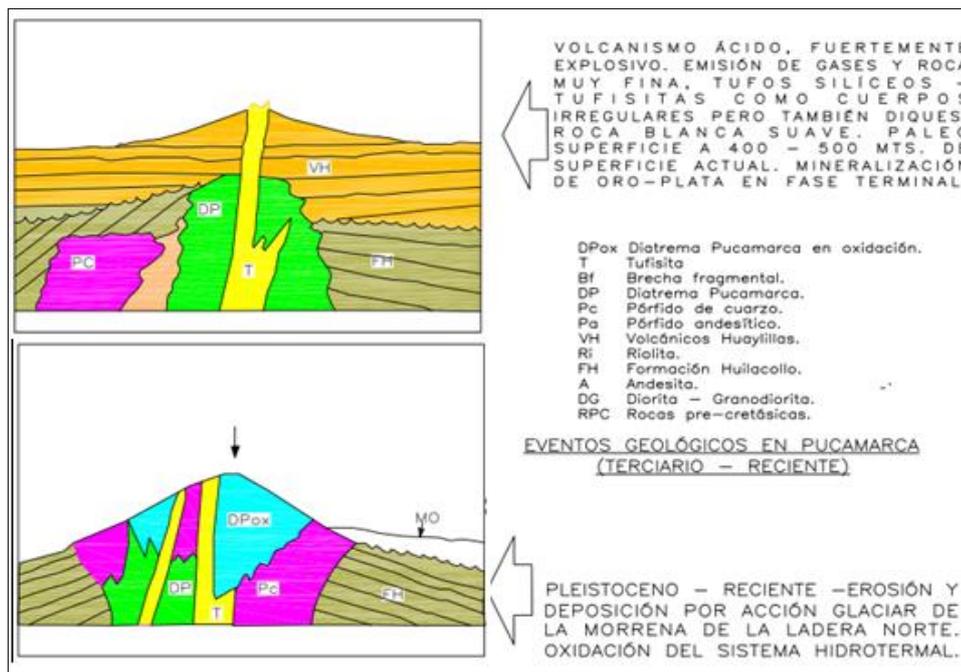


FIGURA 32: Evolucion geológica Terciario reciente (Dep. Exploraciones Minsur S.A.).

### **4.13 ESTUDIO COMPARATIVO DEL YACIMIENTO EPITERMAL PUCAMARCA CON OTROS SIMILARES EN EL PERÚ**

#### **4.13.1 Generalidades**

La presencia de un yacimiento aurífero epitermal emplazado en una diatrema, como es el caso de Pucamarca, justifica un estudio comparativo con otros similares en el Perú y. La similitud de dichas características con depósitos peruanos surge un potencial económico aún no debidamente evaluado para este tipo de yacimientos.

En el Perú los yacimientos de oro ocurren a lo largo de todo el país, preferentemente en la cordillera Occidental de los Andes y casi siempre asociados a extensas zonas de alteración hidrotermal. A lo largo de todo el eje volcánico de los Andes existen numerosos centros volcánicos de diferente composición: Calcoalcalinos y shoshoníticos se distribuyen en lineamientos NW- SE, relacionados a fallas regionales por lo general a lo largo de la Divisoria Continental. Las edades detectadas en estos centros volcánicos varían desde el Terciario (Mioceno inferior, Mioceno superior, con 15 a 10 Ma) Pleistoceno.

Las lavas y intrusivos subvolcanicos han producido productos de diferente composición, sobreyaciendo a rocas sedimentarias terciarias, batolíticas e untrusivos subvolcanicos. Como por ejemplo mina Tucary y Santa Rosa.

Los volcanes más antiguos han intruido a diferentes clases de roca preexistente del Mioceno. Presentan conos intensamente erosionados, con coladas, en la mayoría de los casos la erosión ya ha descubierto un núcleo de alteración hidrotermal solfatárica o alteración argílica avanzada que es lo que identifica en superficie a los yacimientos minerales epitermales.

En el mundo la mayoría de los depósitos epitermales están situados alrededor del margen Circun-Pacífico y en Los Cárpatos, asociados a la Orogénesis Alpina.

Con el fin de realizar el análisis comparativo, se recopiló diferentes estudios de yacimientos similares en el Perú, destacando los trabajos recientes, publicados en eventos especializados en difundir informaciones al servicio del desarrollo minero-geológico del Perú.

#### **4.13 2 Depósito Diseminado Epitermal de Alta Sulfuración de Arasi**

Depósito diseminado epitermal de alta sulfuración, corresponde a un cuerpo elongado E-W de 1,100 m de largo por 200 m de ancho.

Litología: Andesitas porfiríticas grises pertenecientes al Fm Sillapaca (14 Ma). Estas secuencias de rocas volcánicas fueron cortadas por brechas hidrotermales y freáticas.

Alteración: Fuertemente silicificado, predominando la sílice masiva, granular y vuggy sílica. Afloramientos de sílice alunita y sílice clay se observan en los bordes del cuerpo mineralizado.

Controles estructurales: Dominado por estructuras N70-80°E, trasandino, cortando a estructuras N30° W, paralelas al rumbo andino.

Mineralización: Se concentra principalmente en brechas hidrotermales con matriz rellena de óxidos de Fe (jarosita, goethita) que actúan como alimentadores de Au del cuerpo mineralizado. Presencia de cristales de baritina también tienen buena relación con el Au.

#### 4.13.3 Rasgos Geológicos del Yacimiento Epitermal de Quicay

Este yacimiento se encuentra ubicado a 20 km al SW de la ciudad de Cerro de Pasco, emplazado en la Cordillera Central a una altura de 4300 msnm. Regionalmente afloran rocas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico conocidas como las Formaciones y Grupos Excelsior, Mitu, Pucará, Condorsinga, Goyllarizquizga, Jumasha y Calera. La actividad ígnea se presenta como stocks, domos, diatremas y chimeneas volcánicas, derrames; con rocas intrusivas de composición granodiorítica, cuarzo monzonita, diorita y riocacita; las rocas volcánicas son andesitas, dacitas, aglomerados y tufos. El emplazamiento de los intrusivos y estructuras volcánicas obedece a la intersección de fallas de rumbo N 20° a 50° W y buzamiento 85° NE, y fallas de rumbo N 50° a 60° E y buzamiento 85° NW; aunque regionalmente destaca el control del fallamiento Norte-Sur importante en la ubicación de la diatrema de Cerro de Pasco. El yacimiento está emplazado en una estructura volcánica tipo diatrema que probablemente se inició con una primera fase piroclástica; luego se produjo el emplazamiento de las lavas de composición andesíticas y dacíticas; la etapa final sería la inyección de rocas intrusivas dioríticas y del pórfido monzodiorítico cuarcífero.

Localmente las rocas ígneas cubren el basamento sedimentario. Quicay presenta las siguientes características de los depósitos del tipo ácido sulfato:

- a) Una zona central de alteración argílica avanzada (cuarzo-alunita, 6.8 Ma) que grada a sericita-cuarzo-argilita, y en la zona exterior la alteración propílica.
- b) Mineralización de Au-Ag-Cu (covelita). Es probable a mayor profundidad la presencia de enargita-luzonita.

c) Asociación con un vulcanismo calcoalcalino. La mineralización de oro está asociada a la zona de alteración argílica avanzada, los más altos valores se presentan en los cuerpos de sílice, en brechas silíceas y también con los óxidos de fierro como hematita, limonita y jarosita. La baritina se presenta en los afloramientos de sílice. Se estima un potencial de 500,000 onzas de oro (Alvarez, C. A. 1996).

#### **4.14 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO EPITERMAL DE PUCAMARCA DENTRO DE UN ESTILO DE ALTA SULFURACIÓN**

La evaluación efectiva de un yacimiento epitermal de oro requiere establecer, si es de un estilo de alta o baja sulfuración. Los distintos orígenes de los estilos resultan en diferencias en las características geoquímicas de la mineralización; es por ello que, usando estas diferencias químicas generalizadas, guiando el esfuerzo de estudios geoquímicos, la correcta aplicación del zonamiento de alteración, el escenario geológico y condiciones hidrológicas podemos acercarnos a ubicar un yacimiento dentro de un estilo de mineralización.

En tal sentido después de haber descrito las características geológicas del yacimiento epitermal de Pucamarca dentro de un ámbito regional y local además de presentar avances en su geoquímica podemos postular que Pucamarca es un yacimiento epitermal de alta sulfuración por las siguientes razones:

##### **4.14.1 Ambiente Estructural**

Pucamarca está ubicada en un centro intrusivo ubicado dentro de un sistema de fallamiento regional, indicando una relación proximal subvolcánica diferente a relaciones más distales en baja sulfuración.

#### 4.14.2 Tamaño

El tamaño de la zona mineralizada es de: 650 x 450 con un área total de 292500 m<sup>2</sup> aproximadamente.

#### 4.14.3 Mineralogía Económica

- Oro (Au): Se presenta en forma diseminada microscópica.
- Argentita (Ag<sub>2</sub>S): Se presenta como parches en el cuarzo
- Electrum (Ag Au): Se muestra finamente cuyas partículas tienen tamaños menores de 2 micras.
- Enargita (Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>): Se presenta cristales alargados tabulares con rayado vertical, columnares, en hojas o también masivo.

#### 4.14.4 Mineralogía de Ganga

Alunita, caolinita, illita, montmorillonita nos indican condiciones ácidas de un ambiente de alta sulfuración.

#### 4.14.5 Alteración

La silicificación intensa y extensa acompañada de lixiviación ácida con generación de sílice oquerosa, la alteración argílica avanzada- argílica (argílica-alunita), nos indican condiciones ácidas extremas de un ambiente de alta sulfuración. Ausencia de adularia y calcita (baja sulfuración) corroboran estas condiciones (Anexo Plano 14,15).

#### **4.14.6 Ph**

La intensa silicificación - lixiviación ácida nos indica condiciones de Ph acida típico de los yacimientos de alta sulfuración (Cuadro 04).

#### **4.14.7 Textura**

En el yacimiento no existen estructuras vetiformes, por lo tanto, texturas de relleno como son bandeamientos y crustificación no están presentes ya que ellas normalmente no son observables en alta sulfuración. Existiendo la textura vuggy - silica.

## CONCLUSIONES

Por las características geológicas, mineralógicas, petrológicas, estructurales nos permite clasificar al yacimiento Pucamarca, corresponde a un yacimiento epitermal de alta sulfuración; relacionada genéticamente con la formación de una diatrema, controlada estructuralmente por una falla regional.

El yacimiento aurífero epitermal de Pucamarca está relacionado espacial y temporalmente a rocas producto del vulcanismo terciario regional y local, suprayacentes a rocas mesozoicas que conforman el basamento regional y las intrusiones ígneas a las que se asocia; la mineralización está controlada por un fracturamiento regional.

La mineralización de oro fino ocurre en forma diseminada asociado al ensamble cuarzo alunita y pirita enargita, además incrementando los valores de Au, cuando aumenta los tenores de Cu.

Las alteraciones hidrotermales muestran una distribución semicircular, con un núcleo intensamente silicificado con un diámetro promedio de 600x250 metros, rodeado por un halo de alteración argílica avanzada, con fuerte presencia de alunita; se tiene otro halo periférico de alteración argílica, y estas a su vez están rodeado por un halo de alteración propilitica.

## RECOMENDACIONES

Continuar con las exploraciones alrededor de la diatrema Pucamarca tanto en superficie como en profundidad, buscando nuevos potenciales teniendo en cuenta los indicios geológicos y estructuras.

Las características geológicas del Yacimiento Pucamarca puedan servir de modelo para la ubicación de otros yacimientos similares, teniendo en cuenta que los volcánicos del Grupo Barroso son las últimas erupciones volcánicas que pueden estar ocultando centros mineralizados.

Deberá de hacerse una nueva evaluación geológica en el cerro Caldero para realizar una nueva campaña de perforación diamantina.

Las relaciones comunitarias con las comunidades adyacentes son buenas; manejadas por la empresa MINSUR SA. Por lo que se recomienda continuar con el objetivo de llevar progreso y desarrollo sostenible en las comunidades vinculadas al proyecto.

**BIBLIOGRAFIA**

- Álvarez, C. Á. (1996). Informe privado de CENTROMÍN PERÚ SA. Págs. 24, 25 y 26.
- Andre, P.; Victor, M. K. (2006). Advanced argillic alteration in bonanza volcanic rocks, northern Vancouver Island - lithologic and permeability controls.
- AMEC, (Perú) S.A. (2006). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Pucamarca. Informe privado de MINSUR S.A., Págs. 1 a 200.
- Atkinson, W. S.; Milka, A.; Stern, C. (2007). Departamento de Geología. Universidad de Colorado en Boulder. Seminario de Brechas Hidrotermales. CIP-Lima-Capítulo de Ingeniería Geológica,
- Bradford, J. (1999). Poracota: Un yacimiento Epitermal de Oro de alta sulfuración en el Sur del Perú. Pro EXPLO - Lima-Perú. Luis Hoshschild Plaut, Págs. 49 a 59.
- Ceballos, J, (1992). Metales preciosos y volcanismo cenozoico en los Andes Chilenos. Revisión actualizada-Seminario Taller-Procesos Formadores de depósitos epitermales de metales preciosos-Santiago de Chile, Págs. 83 a 90.
- Camprubí, A. y Albinson T. (2006). Depósitos epitermales en México: Actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. “Volumen conmemorativo del Centenario”. Revisión de algunas tipologías de Depósitos Minerales de México. Tomo LVIII, núm. 1, Págs. 27 a 81.
- Canchaya, S. (1992) Ensamblajes mineralógicos típicos en ambientes sericitadularia y sulfato-ácido. - Resúmenes Seminario Yacimientos Epitermales de Oro en el Perú, FIGMM - U.N.I.

- Candiotti, H.; Guerrero T. (1999). Yacimiento Sipán: Exploración, Características Geológicas, Mineralógicas y Geoquímicas-Pro EXPLO - Lima Perú, Luis Hoshschild Plaut,
- Carlotto, V.; Acosta G.; Rivera, R.; Valencia, M.; Chirif, H.; Huanacuni, D., Rodríguez, I.; Villarreal, E.; Paico, D.; Santisteban. A. (2009) MEMORIA MAPA METALOGÉNICO DEL PERÚ
- Davies, A.; David, R.; Bruce S.; Kirstie A. (2008). Diatreme Breccias at the Kelian Gold Mine, Kalimantan, Indonesia: Precursors to Epithermal Gold Mineralization. Society of Economic Geologist, Inc. Economic Geology, V. 103, Págs. 689 a 716.
- Davies, A.; Cooke, D.; Bruce J. (2008). Hidrotermal Breccias and Veins at the Kelian Gold Mine, Kalimantan, Indonesia: Genesis of a Large Epithermal Gold Deposit. Society of Economic Geologist, Inc. Economic Geology, v. 103, Págs. 717 a 757.
- Flores, B. (2001) Aspectos Generales de la Geología del Yacimiento Aurífero de Quicay. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Alcides Carrión, Págs. 82 a 107.
- Gardeweg, M. (1992). El volcanismo cenozoico superior del Norte de Chile: Una revisión de las formas volcánicas-Seminario Taller-Procesos Formadores de Depósitos Epitermales de Metales Preciosos-Santiago de Chile, Págs... 73 a 82.
- Goff, F. and Gardner, J. (1991). Evolution of a Mineralized Geothermal System, Valles Caldera, New Mexico-Economics Geology-Vol 89, Págs.1803 an 1832.
- Hedenquist, J. W. (1995). The ascent, of magmatic fluid: discharge versus mineralization, in Thompson, J.F.H. ed. Magmas, fluids and ore deposits:

Mineralogical association of Canada Short Course, v.23, and p.263-289.

- Hedenquist J. W. (1987). Arribas, A.R., y González, U. E. (2000). Exploration for Epithermal Gold Deposits. Review in Economic Geology, Special Issue on Gold Deposit, 7: 33p.
- Hernández, S. R.; Fernández, C. C.; Baptista, L. (2006). Metodología de la investigación-México, Págs.849.
- Henley y Ellis, 1983; Giggenbach, 1992; John, 2001, Sillitoe y Hedenquist, 2003). Depósitos epitermales.
- Heyl, D.; Livingston, W. (1999). El yacimiento tres cruces y la evolución de sus modelos genéticos de geología económica-Pro EXPLO - Lima-Perú, v. Luis Hoshschild Plaut, Págs. 61 a 71.
- INGEMMET (1995). Geología del Peru; Boletín N°55, Fimart S.A. Lima.
- Loayza, D. (2004). Aruntani-nuevo gran distrito minero de tipo epitermal aurífero en el mundo minero, ed. 227, Pág. 54.
- López, D.; Olarte, J. (2001). Evaluación estadística de la sismicidad en la Región sur occidental del Perú. CISMID/UNI. Lima.Págs. 1 a 40.
- Machare, O. J. (2001) Geología estructural en la Exploración y Desarrollo de Yacimientos Minerales.
- Mayta, O. (1999). Yacimiento aurífero Chipmo-Pro EXPLO´ Lima-Perú, V. Luis Hoshschild Plaut, Págs. 37 a 48.
- MINSUR SA. (2006). Informe departamento de exploraciones.
- Newhall, C.; Dzurisin. (1955). Historical Unrest At large Calderas of the World-U.S. Geological Survey Bulletin, v. 1, Pág. 9.
- Ocharan, G. (2003). Estudio petrográfico, mineralógico y microanalítico de cuatro

muestras, MN°-1, MN°-2, DDH-29 (206-208m), DDH-45 (157.50m). MINSUR SA. Págs.1 a 11.

- Ocharan, G. (2005). Estudio mineralógico de la muestra DDH-130 (210.50m). MINSUR SA. Págs.1 a 6.
- Petersen, U. (1999). Magmatismo y Yacimientos Hidrotermales en los Andes Centrales-Pro EXPLO´ Lima-Perú, v. Luis Hoshschild Plaut, Págs... 5 a 12.
- Pool, N. C.; Hedenquist, J. W. 1996, 1995. Yacimientos Epitermales de Oro, estilos, características y exploración. Publicación en: Newsletter, N° 23, Págs 1 a 13.
- Rytuba, J. (1994) Evolution of volcanic and tectonic features in caldera settings and their importance the localization of ore deposits-Economics Geology-vol.89 Págs... 1687 a 1696.
- Roc Drill (2013) Conceptos de perforaciones diamantias.
- Silva, M. (2010). Petrología alteraciones y oclusiones fluidas (SGM Boletín),
- Sillitoe, R.H.; Carlos E.; Escobar P. (1985). Epitermal Models: genetic tipos, geometrical controls and shallows features, en kirkam, Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canadá Special Paper, 40,403-417.
- Soto, G. M. (2010). Texto universitario de petrología de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.
- Tumialán de la Cruz, P.H. (2003). Compendio de yacimientos minerales del Perú. Boletin No 10-Serie B: Geología Económica.INGEMMET.Págs.619.
- Vidal, C. E.; Ligarda, R. (2004). Depósitos de Enargita-Au en Marcapunta, Distrito Minero Colquijirca, Perú Central: Zonamiento mineralógico y geoquímica en depósitos de reemplazamiento en calizas subvolcánicas tipo

epitermal de alta sulfuración. XII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. pags. 743 a 791.

- Volfson, F.; Yakovlev, P. (1982). Estructuras de los campos y yacimientos metalíferos editorial MIR- Moscú-MIR. Págs. 86 a 94.
- Volkert, C. D.; Ewan, J.A.; Garay, Enrique. (1999). Pierina Au-Ag Deposit Cordillera Negra North-Central Perú-Pro EXPLOR´ Lima-Perú, v. Luis Hoshschild Plaut, Págs. 23 a 25.
- Wallier, S.; Rey R.; Kouzmanov, K.; Pettke, T., (2006). Magmatic Fluids in the Breccia Hosted Epithermal Au-Ag Deposit of Rosia Montana, Romania. Society of Economic Geologist, Inc. Economic Geology, v. 101. Págs. 923 a 954.

### PÁGINAS WEB

- <<http://dep.cie.geo/geologiaestructural.com/index.shtml>>.
- <<http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/29.pdf>>.
- [www.una.med.edu.10/~rrodriguez/metalogenia/factoresetalogenia%20andina.htm](http://www.una.med.edu.10/~rrodriguez/metalogenia/factoresetalogenia%20andina.htm)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica>
- <[www.rocdrill.com.pe](http://www.rocdrill.com.pe)>
- [www. Ingemmet .gob .pe](http://www.Ingemmet.gob.pe)

## ANEXO

**LISTA DE PLANOS**

PLANO N°	DESCRIPCION
01	UBICACION
02	PLANO GEOLOGICO REGIONAL
03	SECCION PLANO REGIONAL FINAL
04	PLANO GEOLOGICO CHECOCOLLO-A2
05	NIVEL 4550-A3
06	NIVEL 4500-A3
07	NIVEL 4400-A3
08	NIVEL 4300-A3
09	SECCION A - Á -A3
10	SECCION B - B'-A3
11	SECCION C- C' - A3
12	PL. ESTRUCTURAL
13	PLANO DE ALTERACIONES - A3
14	P ALT. SECCION A - A´
15	P ALT. SECCION B - B´