



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



**ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES DE LA**  
**VETA HUÁSCAR DEL YACIMIENTO AURÍFERO ALPACAY**  
**YANAQUIHUA – AREQUIPA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. HUGO WALTER CHOQUE CHOQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO - PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Se lo dedico a Dios quien me guía y me da fuerzas para seguir adelante, vencer las adversidades y permitir que logre éxitos y metas en mi vida.*

*Con inmenso amor y gratitud a mis padres Adolfo y Paola por todo su esfuerzo y consejos que me forjaron a formarme como profesional, por inculcarme que es la mejor manera para materializar los sueños y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.*

*A mi esposa Edith y mi hijo Marck Sebastián, por ser mi inspiración, fuente de amor y perseverancia. A mis hermanos, hermanas y familia en general por el apoyo incondicional que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria. Quienes me ayudaron a superarme en la vida.*

**WALTER CHOQUE**



## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado en cada paso que doy y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

Le doy gracias a mis padres Adolfo y Paola por ese apoyo incondicional que me brindaron en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación, por su perseverancia y comprensión me enseñó a que sea consecuente con mis ideales y firme con mis decisiones.

A mis hermanos y hermanas por apoyarme a lo largo de mi carrera, en aquellos momentos de necesidad, por su cariño y amistad. A todos ellos por llenar mi vida de grandes momentos que hemos compartido.

A mi asesor de tesis Ing. Luis V. Ortiz Gallegos, por la orientación y apoyo constante, por su minuciosa revisión y sugerencias finales, en la culminación de mi proyecto de tesis.

A la empresa Minera Yanaquihua S.A.C. U.P. Alpacay, quien es la empresa que me permitió realizar la investigación en su unidad, mi mayor muestra de gratitud y agradecimiento a la Jefatura de Geología Ing. Javier Murillo, por haberme dado facilidades en la elaboración final del presente trabajo de investigación, y compañeros de trabajo, por los debates críticas constructivas y sugerencias siempre valiosas, a quienes agradezco por el apoyo, me enseñaron lo maravilloso que puede ser esta profesión y me inspiran a seguir aprendiendo y capacitándome.

Deseo mostrar mi más sincero agradecimiento a mi Alma Mater, la Universidad Nacional del Altiplano, a todos los señores Ingenieros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por el abundante trasvase cognoscitivo que me brindaron a través de los años de estudio, años que generaron invaluable conocimientos y experiencias que perdurarán en mí, quienes han contribuido en mi formación profesional.

**WALTER CHOQUE**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 17**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 18**

**1.3 JUSTIFICACIÓN ..... 18**

1.3.1 Justificación teórica ..... 18

1.3.2 Justificación práctica ..... 18

**1.4 HIPÓTESIS ..... 18**

**1.5 OBJETIVOS..... 19**

1.5.1 Objetivo general ..... 19

1.5.2 Objetivos específicos..... 19

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES ..... 20**

**2.2 GEOLOGÍA REGIONAL..... 21**

2.2.1 Precámbrico..... 22

2.2.2 Mesozoico ..... 23

2.2.3 Cenozoico..... 24

2.2.4 Rocas intrusivas..... 32

**2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL ..... 36**

2.3.1 Unidades geomorfológicas ..... 36

2.3.2 Hidrografía ..... 40

2.3.3 Clima y vegetación ..... 41



<b>2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL .....</b>	<b>42</b>
2.4.1 Zona altamente deformada .....	42
2.4.2 Zona de pliegues y fallas .....	43
2.4.3 Zona de emplazamiento del Batolito e intrusivos menores.....	43
2.4.4 Zona de fallamiento en bloques.....	44
2.4.5 Zona poco deformada .....	45
2.4.6 Lineamientos y fallas.....	45
<b>2.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>46</b>
2.5.1 Concepto y origen de los yacimientos minerales .....	46
2.5.2 Yacimientos hidrotermales .....	47
2.5.3 Principio de los yacimientos hidrotermales.....	49
2.5.4 Características de las Soluciones.....	51
2.5.5 Abertura de las Rocas .....	51
A. Cavidades Primitivas .....	52
B. Cavidades Provocadas .....	53
2.5.6 Factores que afectan a la deposición .....	54
A. Cambios y reacciones químicas .....	54
B. Temperatura y presión .....	55
C. Alteración de la roca encajonante .....	56
D. Localización de la mineralización hidrotermal.....	58
E. Intrusión .....	58
F. Características de la roca encajonante .....	59
G. Rasgos estructurales.....	59
2.5.7 Tipos de depósitos hidrotermales .....	60
2.5.7.1 Depósitos Epitermales .....	61
2.5.7.2 Depósitos Mesotermales.....	62
2.5.7.3 Depósitos Filonianos (Vetas) .....	63
A. Variedades de filones.....	63
B. Cambios del Emplazamiento de un filón.....	64
C. Comportamiento de la longitud y profundidad de un filón .....	64
2.5.8 Mineral de mena .....	65
2.5.9 Mineral de ganga .....	65
2.5.10 Cubicación y cálculo de recursos y reservas .....	65



2.5.11	Métodos para la cubicación de recursos y reservas.....	67
A.	Métodos clásicos o geométricos .....	67
B.	Métodos modernos o geoestadísticos .....	68
2.5.12	Elementos de la cubicación de reservas .....	69
A.	Contacto geológico.....	69
B.	Contacto mineralógico.....	69
C.	Contacto económico.....	70
2.5.13	Inventario de recursos y reservas minerales.....	70
2.5.13.1	Definición.....	70
2.5.13.2	Finalidad.....	70
2.5.13.3	Importancia.....	71
2.5.13.4	Criterios .....	71
2.5.13.5	El código Jorc.....	72
A.	Principios del Código.....	74
a.1	Transparencia.....	74
a.2	Relevancia.....	74
a.3	Competencia .....	74
B.	Resultados de exploración .....	75
C.	Lista de verificación.....	75
D.	Reporte de reservas minerales .....	75
d.1	Nivel de confianza.....	75
a.	Reserva mineral probable .....	75
b.	Reserva mineral probado .....	75
2.5.13.6	Criterios de cubicación de recursos y reservas.....	76
A.	Recursos minerales .....	76
a.1	Recurso mineral medido .....	77
a.2	Recurso mineral indicado .....	78
a.3	Recurso mineral inferido .....	78
a.4	Mineral Potencial.....	79
B.	Reservas minerales .....	81
b.1	Clases de reservas minerales según certeza.....	82
b.1.1	Reserva mineral probado.....	82
b.1.2	Reserva mineral probable .....	83



b.2 Clases de reservas minerales según el valor.....	84
b.2.1 Reserva mineral de mena.....	84
b.2.2 Reserva mineral marginal.....	84
b.2.3 Mineral Submarginal.....	85
b.2.4 Mineral de baja ley.....	85
b.3 Clases de reservas minerales según accesibilidad.....	85
b.3.1 Reserva mineral accesible.....	86
b.3.2 Reserva mineral eventualmente accesible.....	86
b.3.3 Mineral Inaccesible.....	86
2.5.14 Alteración hidrotermal.....	87
2.5.14.1 Solución hidrotermal.....	88
2.5.14.2 Ascenso y acumulación de los fluidos hidrotermales.....	88
2.5.14.3 Tipos de alteración hidrotermal.....	89
A. Alteración Potásica.....	90
B. Silicificación.....	90
C. Sericitización.....	91
D. Alunitización.....	92
E. Argilización.....	92
F. Propilitización.....	93

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>95</b>
<b>3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>96</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

<b>4.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>98</b>
4.1.1 Ubicación.....	98
4.1.2 Accesibilidad.....	99
4.1.3 Propiedad minera.....	100
4.1.4 Clima y vegetación.....	101
<b>4.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>102</b>
4.2.1 Factores o agentes geomorfológicos.....	103
4.2.2 Unidades geomorfológicas.....	103



4.2.2.1	Sistema volcánico.....	103
4.2.2.2	Sistema fluvio - aluvial.....	104
4.2.2.3	Sistema antrópico .....	104
<b>4.3</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>105</b>
4.3.1	Estratigrafía .....	106
4.3.1.1	Formación moquegua superior (ts-mo ± 23 m.a.) .....	106
4.3.1.2	Volcánico sencca (ts-vsen ± 6.2 m.a.) .....	107
4.3.1.3	Volcánico barroso (qpl - vba ± 1.30 m.a.).....	108
4.3.1.4	Depósitos clásticos recientes (qh-al) .....	109
4.3.2	Rocas intrusivas plutónicas (ks-ti/gd, ks-in/to) .....	109
4.3.2.1	Tonalita (Ks-in/to 95 m.a.) .....	109
4.3.2.2	Granodiorita (Ks-ti/gd 60 m.a.) .....	110
4.3.3	Rocas intrusivas hipoabisales .....	111
4.3.3.1	Andesita (P-An 23.0 - 60.0 m.a.).....	111
<b>4.4</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL .....</b>	<b>114</b>
4.4.1	Sistemas de estructuras y clavos mineralizados .....	114
4.4.2	Sistema riedel (1929).....	116
<b>4.5</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>117</b>
4.5.1	Control de calidad .....	117
4.5.1.1	Muestras de control de calidad .....	119
4.5.1.2	Normas en control de calidad .....	121
4.5.2	Muestreo.....	123
4.5.3	Métodos de muestreo.....	124
A.	Muestreo por canales .....	124
B.	Muestreo por puntos .....	129
C.	Muestreo por astillas (Chip Sampling) .....	130
D.	Muestreo por perforación (Drill Sampling).....	132
4.5.4	Paragénesis y zoneamiento del yacimiento .....	134
4.5.5	Análisis petrográfico .....	137
4.5.5.1	Muestra 1 (Intrusivo).....	138
4.5.5.2	Muestra 2 (dique) .....	142
4.5.5.3	Muestra 3 (Veta de cuarzo) .....	147





## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

<b>5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, METALOGÉNICAS, MINERALÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE LA VETA HUÁSCAR. ....</b>	<b>150</b>
5.1.1 Metalogenia .....	150
5.1.2 Mineralogía del yacimiento .....	151
A. Minerales de Mena.....	151
B. Minerales de ganga .....	152
5.1.3 Tipo de yacimiento .....	152
5.1.4 Características de las estructuras mineralizadas.....	153
5.1.4.1 Veta Esperanza .....	153
5.1.4.2 Veta Despreciada.....	153
5.1.4.3 Veta Paola.....	154
5.1.4.4 Veta Huáscar .....	154
5.1.5 Controles de mineralización .....	155
5.1.5.1 Control litológico.....	155
5.1.5.2 Control mineralógico.....	155
5.1.5.3 Control estructural .....	156
5.1.6 Alteraciones hidrotermales.....	156
5.1.6.1 Alteración argílica .....	156
5.1.6.2 Alteración propilítica.....	157
5.1.6.3 Oxidación .....	157
5.1.7 Geología económica de veta Huáscar .....	158
5.1.7.1 Muestreo .....	158
5.1.7.2 Método de muestreo .....	159
5.1.7.3 Perforación diamantina en veta Huáscar .....	159
<b>5.2 ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES DE LA VETA HUÁSCAR.....</b>	<b>160</b>
5.2.1 Recursos minerales .....	162
A. Recurso mineral medido .....	162
B. Recurso Mineral indicado .....	162
C. Recurso mineral inferido .....	162
5.2.2 Reservas minerales .....	163



A. Clases de reservas minerales según certeza .....	163
B. Clases de reservas minerales según el valor .....	165
C. Clases de reservas minerales según accesibilidad .....	166
5.2.3 Otras consideraciones .....	167
A. Según la certeza .....	167
B. Según el valor .....	167
C. Según la accesibilidad.....	168
5.2.4 Parámetros de estimación .....	168
A. Elección de los bloques.....	168
B. Promedio de leyes de cada canal .....	169
C. Cálculo de leyes y correcciones .....	169
D. Leyes erráticas .....	170
E. Potencia.....	170
F. Ancho mínimo minable (AM) .....	171
G. Calificación de leyes canal por canal.....	171
H. Longitud mínima y máxima de bloque de mineral .....	172
I. Cálculo del ancho y leyes de muestras de un tramo .....	172
5.2.5 Dimensionamiento de bloques .....	173
5.2.6 Reservas y recursos de veta Huáscar.....	180
<b>VI CONCLUSIONES .....</b>	<b>182</b>
<b>VII RECOMENDACIONES .....</b>	<b>183</b>
<b>VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>184</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>189</b>

**Área:** Geología de minas

**Línea:** Estimación de Recursos y reservas

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de febrero de 2022



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Alteración de roca encajonante .....	58
<b>Tabla 2:</b> Método geoestadístico .....	69
<b>Tabla 3:</b> Coordenadas UTM (PSAD 56) (zona 18L).....	99
<b>Tabla 4:</b> Vías de acceso .....	99
<b>Tabla 5:</b> Concesiones de Mysac. ....	100
<b>Tabla 6:</b> Lista de minerales en muestra 1 .....	138
<b>Tabla 7:</b> Lista de minerales en muestra 2 .....	143
<b>Tabla 8:</b> Muestreo de testigos diamantinos .....	160
<b>Tabla 9:</b> Cartilla de muestro sistemático y modelo de tarjeta de bloqueo .....	177
<b>Tabla 10:</b> Procesamiento de bloques de cubicación .....	180
<b>Tabla 11:</b> Reserva mineral probado y probable .....	180
<b>Tabla 12:</b> Recurso mineral, medido, indicado, e inferido .....	180
<b>Tabla 13:</b> Reserva mineral según accesibilidad.....	180
<b>Tabla 14:</b> otras consideraciones .....	181
<b>Tabla 15:</b> Reserva probado y probable por bloques .....	181



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de yacimientos hidrotermales .....	49
<b>Figura 2:</b> Tipos de yacimientos hidrotermales .....	50
<b>Figura 3:</b> Esquema de soluciones hidrotermales .....	51
<b>Figura 4:</b> Elementos de cubicación de reservas.....	70
<b>Figura 5:</b> Relación entre resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales (código de Jorc).....	73
<b>Figura 6:</b> Mapa de ubicación y accesos .....	100
<b>Figura 7:</b> Propiedad minera .....	101
<b>Figura 8:</b> Diagrama de temperatura.....	102
<b>Figura 9:</b> Unidades geomorfológicas.....	105
<b>Figura 10:</b> Unidades litoestratigráficas visibles. ....	112
<b>Figura 11:</b> Columna estratigráfica local .....	113
<b>Figura 12:</b> Sistema de fallamiento local, sistema Riedel.....	117
<b>Figura 13:</b> Muestreo especial en labores .....	120
<b>Figura 14:</b> Características de minado .....	121
<b>Figura 15:</b> Marcado de estructuras .....	123
<b>Figura 16:</b> Muestreo por canales .....	125
<b>Figura 17:</b> Ubicación de canales en galerías y ventanas .....	126
Figura 18: Ubicación de canales en chimeneas y tajos.....	127
<b>Figura 19:</b> Espaciamiento de canales en galerías .....	128
<b>Figura 20:</b> Muestreo por puntos .....	130
Figura 21: Muestreo por astillas (chip).....	131
<b>Figura 22:</b> Muestreo de testigos diamantinos.....	134
<b>Figura 23:</b> Ensamble mineralógico. 01.....	135
<b>Figura 24:</b> Ensamble mineralógico. 02.....	136
<b>Figura 25:</b> Ensamble mineralógico. 03.....	136
<b>Figura 26:</b> Muestra 1, secciones pulidas “A” (Mysac.).....	139
<b>Figura 27:</b> Muestra 1, secciones pulidas “B” (Mysac.).....	140
<b>Figura 28:</b> Muestra 1, secciones pulidas “C” (Mysac.).....	140
Figura 29: Muestra 1, secciones pulidas “D” (Mysac.) .....	141
<b>Figura 30:</b> Muestra 1, secciones pulidas “E” (Mysac.) .....	142
<b>Figura 31:</b> Muestra 1, secciones pulidas “F” (Mysac.) .....	142



<b>Figura 32:</b> Muestra 2, secciones pulidas “A” (Mysac.).....	144
<b>Figura 33:</b> Muestra 2, secciones pulidas “B” (Mysac.).....	145
<b>Figura 34:</b> Muestra 2, secciones pulidas “C” (Mysac.).....	146
<b>Figura 35:</b> Muestra 2, secciones pulidas “D” (Mysac.).....	146
<b>Figura 36:</b> Muestra 2, secciones pulidas “E” (Mysac.) .....	146
<b>Figura 37:</b> Muestra 2, secciones pulidas “F” (Mysac.) .....	147
<b>Figura 38:</b> Muestra 3, secciones pulidas “A” (Mysac.).....	148
<b>Figura 39:</b> Muestra 3, secciones pulidas “B” (Mysac.).....	148
<b>Figura 40:</b> Muestra 3, secciones pulidas “C” (Mysac.).....	149
<b>Figura 41:</b> Afloramiento de la veta Huáscar en rocas granodioríticas. alteración argílica y propilitica .....	158
<b>Figura 42:</b> Afloramiento de la veta troncal, relleno de cuarzo, hematita, limonita. alteración argílica y oxidación. ....	158
<b>Figura 43:</b> Bloques probados.....	164
<b>Figura 44:</b> Bloques probables.....	165



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Ma.	Millones de años.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
Au.	Oro.
Ag.	Plata.
Cu.	Cobre.
Fe.	Hierro.
Mo.	Molibdeno.
g/t.	Gramos por tonelada.
TM/D	Tonelada métrica por día.
PSAD	Provisional South American.
UTM	Universal Transversal Mercator
NE.	Nor-Este.
NW.	Nor-Oeste.
SENAMHI.	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
S.M.R.L.	Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada.
M.Y.S.A.C.	Minera Yanaquihua Sociedad Anónima Cerrada.
A.M.S.	Analityca Mineral Services.
U.E.A.	Unidad Económica Administrativa.
Gl.	Galería.
Ch.	Chimenea.
Vt.	Ventana.
Tj.	Tajo.
Nv.	Nivel.
°C	Grado Centígrado.



## RESUMEN

El yacimiento Aurífero Alpacay geográficamente está situado a 308 Km al noroeste de la Ciudad de Arequipa, en el Distrito de Yanaquihua, Provincia de Condesuyos, Región Arequipa. entre altitudes que oscilan entre 1790 – 2400 m.s.n.m. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo estimar los recursos y reservas minerales de la veta Huáscar utilizando los métodos clásicos o geométricos (bloques). La metodología aplicada para esta investigación es de tipo descriptiva y explicativa, para lo cual se ha desarrollado diferentes etapas, en la etapa de Planificación se formula el problema y los objetivos del proyecto. En la etapa de revisión y recopilación de información se recopila la información bibliográfica de trabajos geológicos que se ha realizado en la zona. En la etapa de investigación en campo se desarrolló mapeo geológico y extracción de muestras. En la etapa de gabinete se realizó el análisis de datos, interpretación y elaboración de plano de recursos y reservas. El depósito Alpacay es un típico depósito mesothermal, filoniano, relacionado con mineralización aurífera en rocas intrusivas de las superunidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca-Ocoña. La mineralización es errática, se presenta en columnas de riqueza discontinua de pocos metros hasta más de 100 metros y su relleno es mayormente de cuarzo-óxidos de Fe, Au, pirita, con calcopirita-galena-esfalerita subordinados; en profundidad estos ensambles gradan débilmente a cuarzo-pirita-chalcopirita con indicios de minerales de molibdeno. Existe más de una época de mineralización. Se han reconocido hasta 3 sistemas de estructuras, uno tiene rumbo N70°-80°W, otro conjugada N70°-80°E y un tercer sistema tiene N45°E. Los clavos mineralizados siguen el patrón estructural distrital y forman corredores mineralizados. La alteración hidrotermal está dada por argílica y propilítica hacia el exterior. Finalmente, la estimación de la veta Huáscar en recursos dio como resultado 16,443.00 TM con una ley de 17.84 grAu/TM, y en reservas se tiene 10,937.00 TM con una ley de 13.64 grAu/TM. teniendo en consideración los procedimientos aplicables al Código JORC.

**Palabras Clave:** Características geológicas, estimación, recursos, reservas, muestreo.



## ABSTRACT

The Alpacay gold deposit is geographically located 308 km northwest of the City of Arequipa, in the Yanaquihua district, Condesuyos province, Arequipa region. between altitudes that oscillate between 1790 - 2400 m.s.n.m. The objective of this research work is to estimate the mineral resources and reserves of the Huáscar vein using classical or geometric methods (blocks). The methodology applied for this research is descriptive and explanatory, for which different stages have been developed, in the Planning stage, the problem and the objectives of the project are formulated. In the review and information gathering stage, the bibliographic information of geological works that has been carried out in the area is compiled. In the field investigation stage, geological mapping and sample extraction were carried out. In the cabinet stage, the data analysis, interpretation and preparation of the resources and reserves plan were carried out. The Alpacay deposit is a typical mesothermal, filonian deposit, related to gold mineralization in intrusive rocks of the Incahuasi and Tiabaya superunits of the Batholito de la Costa. This deposit occurs in what has been called the Nazca-Ocoña Gold Belt. The mineralization is erratic, it occurs in columns of discontinuous richness from a few meters to more than 100 meters and its filling is mostly quartz-oxides of Fe, Au, pyrite, with subordinate chalcopyrite-galena-sphalerite; at depth these assemblages weakly grade to quartz-pyrite-chalcopyrite with traces of molybdenum minerals. There is more than one epoch of mineralization. Up to 3 systems of structures have been recognized, one has strike N70°-80°W, another conjugate N70°-80°E and a third system has N45°E. Mineralized spikes follow the district structural pattern and form mineralized corridors. The hydrothermal alteration is given by argillic and propylitic towards the outside. Finally, the estimate of the Huáscar vein in resources resulted in 16,443.00 MT with a grade of 17.84 grAu/MT, and in reserver there are 10,937.00 MT with a grade of 13.64 grAu/MT. taking into consideration the procedures applicable to the JORC Code.

**Key Words:** Geological characteristics, estimation, resources, reserves, sampling.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente trabajo “estimación de recursos y reservas minerales de la veta Huáscar del yacimiento aurífero Alpacay Yanaquihua – Arequipa” es necesario resolver la problemática sobre la génesis, procesos geológicos y las características particulares del propio yacimiento; con ayuda del muestreo geoquímico de las labores subterráneas y superficiales, la misma que finalmente nos llevará a una estimación de recursos y reservas del depósito.

El avance tecnológico en los últimos años ha ocasionado la constante demanda de recursos mineros y el paulatino agotamiento de recursos en nuestro país, lo cual ha originado una constante actividad de programa de exploración de depósitos minerales, encaminadas a descubrir nuevas fuentes de recursos minerales, que sea suficientemente confiables para que lleguen a ser explotados, este hecho ha motivado a realizar trabajos de exploración minera en forma sistemática y selectiva con aplicación de nuevas herramientas y desarrollar nuevas técnicas que permitan obtener información geológica confiable y de calidad.

La estimación de reservas y recursos de un proyecto minero constituye el primer eslabón de la cadena del negocio minero. Es fundamental que los parámetros definidos para la evaluación de reservas y recursos aseguren una desviación razonable, que no impacte de manera desmedida los procesos posteriores.



## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

- a) ¿Qué características geológicas, mineralógicas, estructurales presenta la veta Huáscar del depósito aurífero Alpacay?
- b) ¿Qué cantidad de recursos y reservas se estima en la veta Huáscar?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Justificación teórica**

Cualquier tema de investigación está proclive a discusión académica, buscando en resolver un problema.

La presente investigación tiene por esencia buscar las soluciones y sustento de carácter científico, para categorizar y determinar principalmente la estimación de recursos y reservas minerales, el cual provendrá de la evaluación y estudio geológico que se propone.

### **1.3.2 Justificación práctica**

Con el empleo de la metodología de investigación se desarrolló la caracterización geológica del depósito aurífero; es de interés conocer este estudio para poder orientar adecuadamente las exploraciones a través de labores subterráneas y perforación diamantina, estableciendo la importancia económica del yacimiento, la misma que servirá de modelo para la búsqueda de nuevos horizontes mineros y contribuir de esta manera al amplio campo del conocimiento de la geología.

## **1.4 HIPÓTESIS**

La caracterización geológica del yacimiento, nos permitirá estimar las reservas y recursos del depósito aurífero.



## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Estimar los recursos y reservas minerales de la veta Huáscar del yacimiento aurífero Alpacay.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características geológicas, estructurales y mineralógicas de la veta Huáscar.
- Estimar los recursos y reservas minerales de la veta Huáscar en base a muestreo sistemático, utilizando los métodos clásicos o geométricos.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Los yacimientos auríferos de Alpacay fueron conocidos en tiempos de la Colonia y posteriormente descubiertas en el año 1,680 por los españoles, que establecieron en la zona una extracción de oro, principalmente en las vetas Encarna, Alpacay y Andaray, se tiene referencia que en el año 1,815 se trabajaba la veta el Rey (minas del Rey), minas que eran conocidas como filón de labores profundas y muy ricas.

Posteriormente habiéndose retirado las empresas exploradoras, las minas fueron invadidas por mineros informales. En 1,933 se constituyó la Compañía Minera Alpacay S.A. para explotar la concesión Júpiter 1 de 1,800has. Luego de tres años de reconocimiento y preparación se cubicó 33.200 TM con ley 17.33gr /TM DE AU en la veta el Rey.

En 1,939 se construyó la planta de flotación de 150TM por día que fue complementada por una planta de cianuración para tratar relaves y minerales oxidados exentos de cobre. Ese mismo año se construyó una planta de fuerza motriz a petróleo de 600 HP y posteriormente de 1000HP.

En 1,945 deja de funcionar la planta de flotación debido a los precios bajos del oro, a derrumbes e inundaciones. En 1948 se culminó la construcción de la cortada Cerro Rico, en 1950 las minas que se trabajaban eran Esperanza, Cerro Rico y consuelo. Entre los años 1939 y 1949 la producción de oro era de un promedio de 350 Kg de Au al año.



En la década del 70, se constituye la Empresa Minera Cervantes S.A. que compra la mina Charco e instala una pequeña planta de amalgamación y se asocia con Barmine S.A. Posteriormente se constituye Aurífera del Sur S.A. que se convirtió en propietaria de 12 concesiones mineras auríferas y 4 denuncios que totalizaban 6,882 Has. que posteriormente es transferida a CEDIMIN a fines de los noventa.

Minera Yanaquihua S.A.C. adquiere el 100% de la propiedad minera Alpacay en el año 2000 que hasta fines de la década de los años 90 fue operada por la empresa CEDIMIN. Este depósito es explotado actualmente por Minera Yanaquihua SAC. que posee 14 concesiones mineras que cubren 6,184 Hás. El mineral es procesado en una planta de cianuración, gravimetría y flotación a razón de 130 TM/d. con una ley promedio de 14.55 Au Grs/TM, Su producción ha sido 241 y 238 Kg de Au en el 2,009 y 2,010, mientras que, en el 2011, 2012 y 2,013 sobrepasó los 300 kg.

Para los próximos años Minera Yanaquihua S.A.C. tiene una campaña agresiva de exploraciones con laboreo minero y perforación diamantina, con los objetivos claros de incrementar las Reservas y Recursos minerales.

## **2.2 GEOLOGÍA REGIONAL**

Se describe la geología regional, tomando como fundamento la información geológica de los cuadrángulos de Caravelí, hoja 32-P y Chuquibamba, hoja 32-Q, publicada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, INGEMMET.

Dentro del contexto geológico regional se exponen diferentes unidades litológicas, de naturaleza, intrusiva, y volcánica, cuyas edades van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente.



Las rocas más antiguas de la región la constituyen los metasedimentos y las secuencias anfibolíticas y gneísicas del Precámbrico. Sobre éstas, en discordancia angular se emplaza una deposición sedimentaria de origen continental, correspondiente a la formación Moquegua del grupo Moquegua (Oligoceno-Mioceno), suprayacente en algunas zonas, se encuentra el volcánico Sencca, al que le corresponde una edad Terciario Superior (Plioceno Medio - Superior) (Salvador Mendivil 1965), constituido por rocas volcánicas ignimbríticas.

Se encuentra además la presencia del Grupo Barroso principalmente andesitas asociadas al estrato volcán Coropuna compuesto mayormente por dacitas a riódacitas, sobreyaciendo en discordancia erosional sobre el volcánico Sencca.

Intruyendo a las anteriores están las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa. Cubriendo toda la secuencia estratigráfica se encuentran los depósitos cuaternarios representados por depósitos aluviales, fluviales etc. Los cuales contienen materiales sueltos de composición muy heterogénea y de potencias variadas. (Ver ANEXOS, Mapa Geológico Regional Lámina 01)

### **2.2.1 Precámbrico**

#### **A. Complejo Basal de la Costa (PE-gn)**

Bellido (1960), denominó Complejo Basal a las rocas metamórficas que afloran en gran parte de la Cadena Costanera del Sur del Perú. Por tratarse de la misma serie metamórfica. El Complejo Basal está constituido por una gruesa secuencia de rocas metamórficas en la que destacan los gneises, anfibolitas metasedimentos. En muchos lugares se han separado los gneises de los metasedimentos, puesto que no se observa un contacto bien marcado.



Al norte y sur oeste del río Arma, entre Yachangillo, Huarangiyoc y el cerro Auñay, se encuentran rocas metamórficas cortadas por una granodiorita de grano medio; estas rocas están formando un complejo con una gran diversidad litológica entre las que se pueden reconocer gneises, anfibolitas, granulitas, tonalitas, granitos y migmatitas.

En la parte Oriental de Chuquibamba hasta la localidad de Pampacolca, los gneises están cubiertos por las tobas, siendo su coloración superficial de color gris oscuro. Existe un ligero predominio de bandas grises constituidas por anfíboles, sobre bandas blancas que son más delgadas y que están formadas por ortosas y plagioclasas.

La mayor parte de los gneises presentan estructuras lenticulares. Estas rocas y bandas irregulares han sido cortadas por numerosos diques y pequeñas intrusiones compuestas por tonalita, granodiorita, granito y pegmatitas. Antes de llegar a Huarangiyoc, el complejo está cortado por un cuerpo de granodiorita de color claro y de grano medio.

**Edad y Correlación.** - De acuerdo a algunas dataciones K/Ar practicadas en los gneises del Macizo del cuadrángulo de Arequipa (Vargas, 1970) y algunos isócronos Rb/Sr para el Macizo de Arequipa (Cobbing et. al. 1977), Skackleton 1979), establecen una edad precámbrica. Estas rocas también han sido reconocidas en el cuadrángulo de Aplao (Guizado, 1969).

### 2.2.2 Mesozoico

#### A. Formación Labra (Js-la)

Esta unidad estratigráfica se encuentra plegada y fallada. Su litología consiste principalmente de areniscas de coloraciones blanquecinas a gris claras, con una gradación inversa del tamaño de grano, siendo más fino hacia la base. Se reconocen muy pocos



horizontes de lutitas, las cuales se encuentran abigarradas y con coloraciones negras a gris verdosas, que se intercalan con las capas de areniscas.

Sus afloramientos se localizan en las inmediaciones de la quebrada Las Clavelinas, al sur del cerro Iquipi en el cuadrángulo de Caravelí, se observa pequeños afloramientos de areniscas cuarcíticas de color gris oscuro a negro, intercaladas con capas delgadas de pizarras negras, muy duras. Estos afloramientos constituyen remanentes de la formación Labra intruídos y metamorfizados por apófisis hipoabisales del complejo Bella Unión.

**Edad y correlación.** - De acuerdo con la edad de los fósiles recolectados durante los trabajos de campo y de los estudios de otros geólogos, a la formación Labra se le sitúa en el Jurásico superior Cretácico Inferior (Titoniano - Berriasiano). La formación Labra se correlaciona con la unidad homónima descrita en el área de Arequipa, (Benavides V. 1962).

### 2.2.3 Cenozoico

#### A. Formación Sotillo (P-so)

Con este nombre se denomina a una secuencia de areniscas arcósicas, conglomerados y arcillas no bien consolidadas de color rojo que aflora en el valle de Vitor cerca de Sotillo.

Esta unidad se encuentra descansando sobre una superficie de erosión en forma discordante encima del Grupo Yura y de las rocas del Batolito e infrayace en discordancia debajo de la Formación Millo.





Los afloramientos de esta unidad, se ubican en la parte Sur-Oeste del cuadrángulo de Chuquibamba. Tiene un espesor de 200 metros y sus inclinaciones varían entre 5° y 20°; esta formación se encuentra afectada por fallas.

La litología de la Formación Sotillo consiste principalmente de areniscas finas y conglomeráticas de coloraciones grises, blancas, amarillentas y rojizas, con predominio de estas últimas. Los sedimentos se encuentran semiconsolidados y tienen un alto contenido de material feldespático; existen algunas intercalaciones de capas de yeso que alcanzan hasta 15 cm. de espesor.

Las areniscas de esta unidad, son de origen continental, muestran poca deformación.

**Edad y correlación.** - No se han encontrado fósiles dentro de esta formación, sabemos que descansa sobre una superficie de erosión que fue originada después de la fase Incaica de fines del Oligoceno que afectó a las rocas del Cretáceo Superior-Terciario inferior; por esta consideración es que se le atribuye a la Formación Sotillo la edad Paleoceno medio a superior. (Jenks, 1948).

## **B. Formación Moquegua (Nm-mo)**

Esta formación de origen continental fue estudiada por J. Adams. 1906 y posteriormente por Steiman, en 1930; quien la subdividió en dos miembros: Superior e Inferior.

Los componentes de esta formación son de origen continental y está constituido por depósitos clásticos, los cuales se han acumulado a lo largo de una depresión de considerable amplitud, entre las estribaciones andinas y la Cordillera de la Costa.



Sus elementos litológicos son de variada composición, tanto en sentido vertical como horizontal, presentándose en capas y lentes irregulares; factores por lo que se le considera de origen continental, en el que predominó periodos de intensas y copiosas lluvias y una erosión muy acentuada, lapso en el cual hubo actividad volcánica (flujos ignimbriticos), habiendo sido erosionados y transportados por las aguas posteriormente.

Se halla en la zona de Encarna, próxima al Cerro Tiquimbro, donde los estratos que lo constituyen se extienden en forma subhorizontal. El contacto inferior se encuentra en no conformidad con el cuerpo intrusivo y en la parte superior suprayace en discordancia al volcánico Sencca.

Sobreyacen a los conglomerados algunos mantos de tufos riolíticos, con una potencia variable y de una coloración diversa, debido al intemperismo, generalmente de color gris verdosa, estos tufos se intercalan con areniscas tufáceas, lodolitas y areniscas, con lentes de conglomerados; presenta una potencia de 15 m. aproximadamente.

**Edad y correlación.** - Su edad se determina por correlación estratigráfica y litológica, debido a la ausencia de fósiles, la edad se basa en su posición estratigráfica, así, esta subrayace a la Formación Sotillo é infrayace a la Formación Paracas, por lo que se atribuye una edad del Mioceno-Oligoceno, (Benavides V. 1962).

### **C. Formación Pisco (Nm-pi)**

Nombre dado por J. Adams (1906) en la hoja de Ocoña. Litológicamente está constituido por arenas grises, feldespáticas con pequeños lentes de conglomerados, arenas tobáceas e intercalaciones de arcillitas y capitas de yeso.



Pisco es un miembro tobáceo que típicamente se encuentra cerca de la base de las secciones a lo largo de los valles de río Grande y río Ica en la parte central y sur de la cuenca.

Su exposición es muy restringida y pequeña y se localiza en el cerro Purimarca en el extremo Sur este de la zona a manera de una pequeña ventana geológica.

**Edad y correlación.** - En base a los fósiles encontrados, a esta formación se le asigna una edad Miocénica, pudiendo corresponder al Mioceno superior, se le correlaciona con la Formación Pisco del departamento de Ica.

#### **D. Formación Alpabamba (Nm-al)**

Guevara, C. y Dávila, D. (1983), denominaron en el cuadrángulo de Pausa, a una secuencia gruesa de tobas brechoides. Dávila, D. (inédito) describió a la misma secuencia en el cuadrángulo de Pacapausa.

Está compuesta por tobas dacíticas, lapillis, tobas brechoides; toda la secuencia tiene una coloración que varía de marrón blanquecino a marrón grisáceo y coloración violácea; estas coloraciones características, permiten que sea fácilmente identificable en el campo, casi en forma regional, asimismo en las fotografías aéreas donde se le puede seguir por varias decenas de km.

Parte de su afloramiento se encuentra al Nor Este de la Zona de estudio en el Cerro Calahuaito hasta la quebrada Piñog, continuando hacia el Cerro Gehuaypunco.

La Formación Alpabamba yace discordantemente sobre el Grupo Tacaza é infrayace discordantemente a la Formación Sencca y al Grupo Barroso; el espesor es variable, pero se estima en 800 m.



**Edad y correlación.** - La edad de la Formación Alfabamba se considera Mioceno superior a Plioceno, debido a que sobreyace al Grupo Tacaza de edad Mioceno inferior a medio, é infrayace a los volcánicos Sencca de edad Plioceno y en base a las dataciones realizadas por la Misión Japonesa (1986) que ha determinado una edad de  $4.8 \pm 0.1$  Ma, mediante el método K-Ar en tobas soldadas tomadas al Sur de la localidad de Alca.

### **E. Formación Huaylillas (Tm-hu)**

Litológicamente está conformado por tobas dacíticas y riolíticas de color grisáceo a blanco amarillento mayormente.

Esta unidad se le encuentra principalmente en el cuadrángulo de Chuquibamba hacia el flanco Pacífico, formando extensas pampas cuya superficie es sub-horizontal con una inclinación hacia el Sur. Se presenta cubriendo una superficie de erosión que ha sido labrada en las rocas batolíticas, así como también en las del Complejo Basal- Complejo Bella Unión, la Formación Caravelí, Grupo Tacaza.

Las rocas que constituyen esta unidad, son esencialmente piroclásticas, compuestas por tobas dacíticas y riolíticas de color grisáceo a blanco amarillento.

**Edad y correlación.** - En los cuadrángulos vecinos de Pausa y Caravelí (V. Pecho, 1983), considera a estos volcánicos de edad Mioceno superior, en base a una datación K-Ar de  $13.8 \pm 0.3$  M.a., obtenida en una toba que se encuentra en una parte alta al Oeste de Chuquibamba. De acuerdo a su posición estratigráfica y la datación mencionada se considera esta unidad del Mioceno inferior a medio, correlacionable con la parte superior del Grupo Moquegua. (Wilson y García, 1962).



## F. Formación Sencca (Np-se)

Esta formación fue establecida por S. Mendivil (1965). En ella describe a un conjunto de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica que afloran en la quebrada de Sencca, ubicada al SE de la hoja de Maure.

Las rocas que constituyen esta unidad, son esencialmente piroclásticas, compuestas por tobas dacíticas y riódacíticas cuyo color predominante es el gris, que puede variar a blanco amarillento y rosado, debido a la meteorización de los ferromagnesianos.

El grado de compactación de estas tobas es regular, mostrando una coherencia apreciable y textura homogénea, por otro lado, algunos son fácilmente disgregables dando lugar a una cobertura de material suelto de grano muy fino.

El mayor espesor se observa a ambos lados del río Arma, aguas arriba del pueblo de Salamanca; siendo de 150 m. En la zona de estudio, se presentan en forma de pequeños afloramientos aislados, cubriendo directamente las rocas del Batolito de la Costa.

La Fm. Sencca, ocurre en forma limitada al NE de Yanaquihua en las quebradas Piñog, la Tranca, Lucmayoc, Tapococha; generalmente cubren o rellenan parcialmente las partes altas de algunos cerros, tales como Charco, Quiroz y en mina se puede apreciar en Cerro Rico y Chiuca.

**Edad y correlación.** - En los cuadrángulos vecinos de Huambo y Orcopampa (Caldas, 1993), se le considera a esta formación volcánica de edad Pliocénica debido a determinaciones K-Ar practicadas en muestras tomadas en la parte alta de Umachulco, las cuales dieron una edad de  $6.2 \pm 0.2$  Ma. (Arenas, 1974); también en esta publicación se consideran otras dataciones, tales como el sillar de Arequipa con un promedio de 3 Ma.



Esta formación, por tanto, de acuerdo a sus relaciones de campo y a sus dataciones numéricas, se ubica en el Plioceno medio. La Formación Sencca ha sido ampliamente descrita en todo el Sur del Perú y ocurre en los cuadrángulos vecinos, tales como la Yesera, Orcopampa, Cháparra, Jaqui, Maure, Characato.

### **G. Grupo Barroso (Np-Ba)**

**Secuencia inferior.** La denominación de volcánico Barroso fue dada por Wilson y García (1962), a un conjunto volcánico estudiado en el cuadrángulo de Palca; posteriormente S. Mendivil (1965) lo considera como Grupo y lo describe como una serie de derrames lávicos y piroclásticos cuyos afloramientos se presentan conformando conos erosionados, que forman la Cordillera del Barroso.

Esta cordillera tiene dirección NO-SE y se extiende en los Departamentos de Tacna, Moquegua, Arequipa y parte de Ayacucho, constituyendo la Cordillera Volcánica del SO del Perú, pasando por las hojas de Chuquibamba-Cotahuasi terminando su recorrido en el volcán Sara-Sara.

El Grupo Barroso se encuentra presente en el cuadrángulo de Cotahuasi y al Norte del cuadrángulo de Chuquibamba. Se le encuentra formando grandes conos volcánicos tales como el Coropuna, Solimana, Firura, que en estos momentos se encuentran parcialmente cubiertos por nieves perpetuas, sobre todo el Coropuna que ocupa una gran extensión. Otros volcanes más pequeños, tales como el cerro Antapuna y Antapuna Chico, también han dado lugar a coladas de lava; estas lavas se circunscriben a los alrededores de los volcanes.

Las rocas del Barroso inferior cubren con discordancia angular a las rocas del Grupo Tacaza y con discordancia erosional a las Formaciones Alpabamba, Huaylillas y



Sencca; a su vez está cubierto por volcánicos posteriores, denominados aquí como secuencia superior del Grupo Barroso (ba-2) y depósitos morrénicos.

Al Oeste del nevado Coropuna, se encuentran las mismas lavas cuyos afloramientos presentan en su superficie una coloración rojiza por alteración. Están cubiertas por el volcánico reciente y cubren una superficie horizontal a subhorizontal labrada en las rocas del Grupo Tacaza. (Caldas, 1993).

**Edad y correlación.** -Kaneoka y Guevara (1984) reportan una edad de  $7.2 \pm 0.2$  Ma (método K/Ar) en el área de Juli – Puno; Tosdal et al. (1981) reportó  $5.3 \pm 0.3$  Ma en plagioclasa de andesita del nevado de Arundane y 0.7 Ma en biotita de dacita de rocas del volcánico Shila; Schildgen et al. (2007) reportó 2.26 Ma (método Ar/Ar) en andesitas cercas de la mina Arirahua en Arequipa. Por lo que le asignaron al Grupo Barroso una edad entre el Mioceno superior al Pleistoceno.

#### **H. Depósitos aluviales recientes (Q-al)**

Los depósitos recientes, cubren indistintamente pequeñas áreas en general están compuestos por suelos de arenas, gravas, limos y arcillas, se han formado como consecuencia de la intensa erosión y acarreados rellenando depresiones y zonas bajas, se han acumulado en el fondo de los ríos y quebradas, en algunos sectores conformando pequeñas terrazas.

Los valles de Chuquibamba, Cotahuasi y Arma, constituyen ejemplos de depósitos aluviales formados por arcillas, conglomerados y gravas; las terrazas aluviales, que se han formado en las laderas de los ríos y los depósitos fluviales que ocupan el lecho de los mismos.



En la zona de estudio se encuentran como cobertura en las planicies, lechos y laderas en las quebradas, que constituyen los centros agrícolas de Charco, Ispacas, Yanaquihua, Andaray, San Juan de Chorunga, Chiuca.

#### **2.2.4 Rocas intrusivas**

En el cuadrángulo de Chuquibamba la actividad magmática está comprendida por eventos plutónicos y subvolcánicos. Las rocas resultantes de los primeros se distribuyen con mayor amplitud al Sur y Oeste del cuadrángulo de Chuquibamba; los segundos están constituidos como cuerpos pequeños y aislados.

Los intrusivos plutónicos son mayormente granodioritas-tonalitas del Batolito de la Costa emplazadas durante el Cretácico-Terciario. También se encuentran tonalitas-dioritas, así como algunos subvolcánicos andesíticos; además existen algunos afloramientos del Complejo Bella Unión que son anteriores a los intrusivos del Batolito

##### **A. Batolito de la Costa**

Dos de las cinco Superunidades (Incahuasi y Tiabaya) que pertenecen al segmento Arequipa se encuentran en el área de estudio; afloran principalmente en el lado occidental de los nevados Coropuna y Solimana, se han emplazado en rocas metasedimentarias, gneises y rocas jurásicas del Grupo Yura y están cubiertos por volcánicos terciarios. (Cobbing, 1984).

##### **I. Superunidad Incahuasi (Ks-gd/mz-in)**

Está constituida por cuerpos granodioríticos-tonalíticos y monzogranitos.

**Granodioritas-tonalitas.** – Son las rocas más abundantes y extensas que se encuentran en la región de estudio, la roca es de color rosado claro, leucócrata de grano





medio; el porcentaje de la plagioclasa es mayor que la ortosa, cuarzo en menor proporción, biotita como accesorio y como minerales de alteración calcita, sericita y los cristales de hornblenda están alterándose a clorita.

**Monzogranitos.** - Ocurren en tres cuerpos separados uno de otro y alineados diagonalmente en la esquina Suroeste dentro de la hoja de Chuquibamba.

Superficialmente, estas rocas son de coloración rojiza a rosácea, pero en fractura fresca es de color rosado claro de grano medio con minerales de ortosa y plagioclasa. El tamaño de los cristales de ortosa es mayor de 0.5 mm., cuarzo y biotitas; la textura es holocristalina, inequigranular.

**Gabrodioritas.** - Los afloramientos de gabrodioritas se encuentran principalmente en la hoja de Chuquibamba y son cuerpos pequeños y aislados. En la Quebrada Chalhuane se encuentran bien fracturados y constituidos por ferromagnesianos de color verde oscuro; al NE de Yanaquihua.

**Edad de Emplazamiento.** - Los Drs. W. Pitcher y J. Cobbing, en base a mediciones radiométricas por el método K-Ar, asignaron una edad de 95 Ma a esta Superunidad, que corresponde al Cretáceo superior.

## II. Superunidad Tiabaya (Ks-to/gd-ti)

Esta unidad constituye la segunda en amplitud dentro del Batolito; las litologías más comunes son tonalitas y granodioritas. Sin embargo, se encuentran algunos cuerpos pequeños de gabrodioritas que están asociados espacialmente a esta superunidad.

**Tonalitas-Granodioritas.** - Se encuentran en la alineación de cerros comprendida entre el cerro El Privado y el cerro La Yesera con una orientación NO-SE e intruye al



complejo de granodiorita-tonalita Incahuasi, al Norte de Cerro Rico; contiene un remanente de un cuerpo pequeño de Complejo Bella Unión a manera de techo colgante, el cual se encuentra metamorfozando con diseminación de pirita, pero muy dispersa.

Su composición comprende la tonalita potásica gradando a granodiorita cuyo origen se podría deber a la cristalización fraccionada o a la migración de iones de potasio.

La tonalita en superficie es de color gris rojizo; en muchos lugares por meteorización se disgrega fácilmente, macroscópicamente es de grano medio, leucócrata inequigranular, hipidiomórfica. Los minerales constituyentes son: plagioclasa 50%, cuarzo 30%, hornblenda 10%, biotita 5% y otros 5%.

Al Sureste de la zona de estudio en la Quebrada Chila-Chila, afloran cuerpos de granodiorita de grano medio.

**Edad de Emplazamiento.** - Cobbing E. et. a., (1977) mediante el método K/Ar, determinaron la edad promedio de 80 m.a. para la Superunidad Tiabaya en general. V. Pecho (1983) en los cuadrángulos de Pausa y Caravelí, también lo considero así. Por otro lado, Max Weibelzolt Fejer (1977), determinó una edad de 97.4 M.A. en una muestra de intrusivo del campamento de Alpacay.

## **B. Intrusivos menores y subvolcánicos**

### **Rocas subvolcánicas**

En el área de estudio, ocurren stocks pequeños de composición variada como el Complejo de Bella Unión; algunos cuerpos andesíticos, tonalíticos y dacíticos terciarios y stocks dacíticos brechoides que nos hace suponer en un emplazamiento simultáneo o



inmediatamente posterior al emplazamiento del complejo Bella Unión, cuya edad probable se considera ubicada en el Cretáceo superior.

### **Complejo Bella Unión (Ks-bu)**

Se ha emplazado en los flancos del río Ocoña y sus tributarios, apareciendo como pequeñas ventanas en la zona circundante al área de estudio, conservando una dirección preferencial NO-SE, son rocas hipabisales de composición andesítica a dacítica, en su emplazamiento ha intruido a rocas del Complejo Basal de la Costa como a rocas sedimentarias del Grupo Yura, se presenta a manera de pequeños afloramientos, de grano medio y tonalidades gris verdosas a gris oscuras, están cortadas por rocas intrusivas de composición granodiorítica y textura porfirítica, contiene como minerales principales en promedio el 60% de fenocristales de plagioclasas, cuarzo en porcentaje del 20%, los minerales ferromagnesianos están constituidos de biotita, hornblenda, clorita y epidota.

Se le observa constituyendo pequeños cuerpos o stocks andesíticos a dacíticos, variando de una andesita afanítica a una dacita porfirítica, conserva una orientación preferencial de su afloramiento hacia el NO, siendo los que han originado la mineralización en el contacto con las rocas intrusionadas. Se fragmentan en bloques angulosos, como se exponen cortados por diques de composición ácida, los contactos con las rocas intrusivas del Batolito Costanero son bastante definidos y están limitados por fallas sub-verticales, las zonas de contacto por este motivo llegan a constituir áreas complejas debido al metamorfismo y al emplazamiento de estas rocas ácidas.

Debido a la acción del intemperismo y erosión presentan colinas irregulares, petrográficamente se observa que la roca está constituida en un 70% de fenocristales de plagioclasas dentro de una matriz cristalina, como minerales ferromagnesianos presenta



hornblenda principalmente, en presencia de rocas dacíticas los cristales de cuarzo son euhedrales.

De acuerdo a su posición estratigráfica y al estar cubiertos por rocas de la formación Caravelí del Terciario Inferior, se le asigna a este complejo una edad de intrusión del Cretáceo Medio a Superior.

## **2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

En el cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi el relieve muestra características propias de la zona; el modelado de la misma tiene control estructural y litológico, donde los factores climatológicos e hidrográficos han jugado un papel importante.

### **2.3.1 Unidades geomorfológicas**

El desarrollo geomorfológico nos muestra geformas suaves a moderadas en su mayor área y agreste en los valles.

El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario y en los procesos tectónicos que han ocasionado el alzamiento y hundimiento de bloques. La denudación fluvial probablemente Pre-Barroso, así como la actividad volcánica del Cuaternario ha controlado la morfología actual, esto ha permitido diferenciar seis unidades geomorfológicas que son: Casquete de Nieves Perpetuas, Conos Volcánicos, Altiplanicie, Superficie Huaylillas, Laderas disectadas y Valles. (INGEMMET, 1994)

#### **A. Casquete de Nieves Perpetuas**

En el área que abarca este informe, se nota claramente 3 zonas con nieves perpetuas que corresponden a los Volcanes-Nevados Firura, Solimana y Coropuna, con



altitudes de 5,498 6,093 y 6,377 m.s.n.m. respectivamente, siendo este último, el que ocupa mayor extensión.

En los últimos años, se ha evidenciado retroceso glacial en distintas y apartadas áreas del planeta, la presencia de estos glaciares es relativa y está sujeta a condiciones climatológicas. En esta zona, los glaciares se encuentran por encima de los 5,000 m.s.n.m. El control principal de la existencia de los casquetes de nieves es la altitud.

Estos nevados son un ejemplo de la relatividad de las condiciones en que se desarrollan los glaciares en el Perú.

## **B. Conos Volcánicos**

En las partes más altas entre Chuquibamba y Cotahuasi se tiene tres conos volcánicos formando un triángulo: regionalmente presentan dirección andina que gira hacia el Este-Oeste por lo que S. Mendivil (1965), la denominó Arco Volcánico del Barroso. Estos conos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geomorfológico de la zona, litológicamente consta de rocas volcánicas. Las formas cónicas fueron modificadas por glaciares que descendieron de los casquetes glaciares en forma radial, la morfología es agreste y empinada en la parte central y radialmente disminuye la pendiente.

## **C. Altiplanicie**

Es la unidad más extensa que ocupa la tercera parte del cuadrángulo de Chuquibamba. Las elevaciones varían entre 4,000 y 4,900 m.s.n.m. la topografía es moderada, localmente se tienen escarpas controladas por fallas; también existen pequeños conos volcánicos, así como morrenas y abundantes bofedales; esta unidad



geomorfológica se caracteriza por una planicie bien definida y algunos valles glaciarios de extensión local.

#### **D. Superficie Huaylillas**

Esta unidad geomorfológica es continuación de geoforma de amplitud regional y es reconocida en los cuadrángulos de Chala y Ocoña (Olchanski 1980 quien la denomina Meseta Costanera y que es la continuación hacia el Norte de la unidad llamada Penillanura Costanera en los cuadrángulos de Camaná y la Yesera (Pecho V. y Morales G., 1969). En Aplao, Guizado (1968) la describe como Planicie Costanera que ingresa al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba.

En Ocoña las altitudes varían entre 1,200 y 2,400 m.s.n.m.; en Chuquibamba, siguiendo la prolongación del cuadrángulo de La Yesera, la altura de la superficie Huaylillas va desde los 2,600 hasta los 3,800 m.s.n.m. y constituye una prolongación de las pampas de Cuno Cuno.

La superficie es sub horizontal con inclinación sur occidental y de aspecto cónico que tiende a desaparecer por la formación del valle de Ocoña. Está disectada por quebradas con dirección E-O, a diferencia de la parte Oriental donde las quebradas tienen dirección N-S.

#### **E. Laderas disectadas**

Esta unidad está constituida por cadenas de cerros que se alinean con una dirección NO-SE y en ella se hallan comprendidos los valles amplios de Chuquibamba y Pampacolca, que se han desarrollado en fallas regionales. Estas laderas presentan drenaje sub paralelos, que al disectar la peneplanicie costanera, dan lugar a valles amplios como los ya mencionados presentando una topografía de quebradas y elevaciones semiparalelas



que fueron modeladas por las diferentes etapas de erosión sobre rocas intrusivas Cretácico-Terciarias y rocas Precambrianas.

Al Oeste de la hoja de Chuquibamba, se caracteriza por presentar drenaje dendrítico, resultante de las quebradas menores que confluyen en el río Ocoña. Se denota una topografía moderada que es disectada por quebradas de magnitud considerable como la quebrada Chaluane y por el valle del río Churunga que sigue una dirección NE-SO.

## **F. Valles**

Hemos considerado tres tipos de valles principales: a) Valles de los ríos Cotahuasi y Arma, b) Valle del río Churunga y quebradas aledañas y c) Valles de los ríos Chuquibamba, Pampacolca y Viraco.

El primer tipo forma parte de la naciente del río Ocoña, cortan las altiplanicies andinas y tienen dirección E-O a NE-SO.

El valle de Cotahuasi tiene su origen en valles colgantes antiguos en forma de “U”, con restos volcánicos pleistocénicos y que luego fueron cortados por la erosión posterior; esto se puede ver al este de Firura y en el río Sumana.

Estos valles muestran una serie de pequeñas terrazas que están distintamente distribuidas y están en función de las irregularidades del curso del río las condiciones geológicas. En valle de Cotahuasi a lo largo de su extensión, presenta cambios siendo estrecho en su cauce desde la desembocadura al río Ocoña, yendo aguas arriba hasta las proximidades el pueblo de Cotahuasi, se nota un valle en “V” y a partir de esta zona hasta la localidad de Alca, se observa al valle con presencia de terrazas fluviales, donde pobladores del lugar desarrollan sus labores agrícolas. El valle del río Larjo, cuya



dirección es de N a S, se presenta encañonado siendo sus pendientes empinadas sin depósitos fluviales de consideración.

El segundo tipo son los valles del río Churunga y quebradas aledañas que drenan hacia el Oeste y son afluentes del río Ocoña, se caracterizan por su escasa pendiente y su clima desértico. Se determina un control principal estructural ya que muestran cambios de dirección de NE a E-O, debido a que a partir al cambio de dirección siguen fallas y/o fracturas de dirección similar.

El tercer tipo son los valles de los ríos Chuquibamba y Pampacolca-Viraco forman parte de afluentes del río Majes, tienen dirección SE y están controlados por fallas de dirección NO. En su nacimiento, el valle de Chuquibamba está representado por el área de deslizamiento de pendientes suaves y en la parte inferior profundiza su cauce dando lugar a una topografía abrupta.

### **2.3.2 Hidrografía**

Los ríos que se encuentran en el área, pertenecen a la cuenca hidrográfica del Pacífico y tienen un régimen estacional. Los ríos Cotahuasi, Arma y Chorunga drenan hacia el río Ocoña. Los ríos Grande de Chuquibamba y Jollpa drenan al río Majes.

El drenaje predominantemente es dendrítico, el mejor ejemplo es el río Arma, también se puede observar drenaje paralelo al Sur Oeste de Chuquibamba cuyo control es litológico; los afluentes del río Cotahuasi constituyen un drenaje transversal que sugiere un control estructural. En los alrededores de los principales conos volcánicos, el drenaje es radial centrífugo.





El modelado por acción fluvial nos indica que la mayor parte del área se encuentra en el estadio juvenil con fuerte pendiente y desarrollo de valles en V y valles encañonados. (Olchauski, 1994).

### **2.3.3 Clima y vegetación**

En el área del cuadrángulo de Chuquibamba, tanto el clima como la vegetación, varían con la altitud y su posición geográfica se observan las regiones climatológicas separadas por los volcanes Coropuna y Solimana; al sur de estos nevados el clima es de tipo desértico, por ende la vegetación es casi nula; al otro lado de los nevados mencionados en las zonas altas, el clima es semi-árido, frío y la vegetación mayormente es ichu, gramíneas y arbustos; aunque sobre los 4,000 m.s.n.m. es muy escasa y por arriba de los 5,000 m.s.n.m., normalmente está cubierto por nieve perpetua.

El clima está regido por los cambios estacionales, la estación lluviosa está comprendida entre los meses de diciembre y abril, la temperatura fluctúa entre 0°C y 10°C y en los valles la temperatura es mayor a 10°C, pero entre junio y agosto como consecuencia de la estación invernal la temperatura es inferior a 0°C.

La actividad humana tiene mayor desarrollo en los valles hasta una altitud de 3,800 m.s.n.m., en donde los pobladores se dedican principalmente a la agricultura y la ganadería. Se dedican al cultivo de cereales (cebada, trigo, maíz, papas) y frutales (vid, papaya, plátanos, pacaes, etc.); La actividad ganadera está orientada a la crianza de ganado vacuno incentivando la producción de leche que es utilizada para la fabricación de diversos derivados lácteos. Sobre los 4.000 m.s.n.m. las condiciones climatológicas sólo permiten la crianza de auquénidos y pastoreo de ganado ovino. (Cabos R., 2010).



## 2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

En esta zona del continente, han sucedido eventos tectónicos a través de toda la historia geológica, evidenciándose claramente en el territorio peruano, la relación morfológica con el desarrollo tectónico.

En el cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi, las estructuras guardan estrecha relación con los movimientos tectónicos de los ciclos Precámbrico y Andino. Se han diferenciado 5 zonas estructurales, según la intensidad y estilo de deformación sufrido por las unidades rocosas pre-existentes desde su origen hasta la actualidad; así tenemos: Zona altamente deformada, zona de pliegues y fallas, zona del emplazamiento del Batolito de la costa e intrusivos menores, zona de fallamiento en bloques y zona poco deformada. (INGEMMET, 1994)

### 2.4.1 Zona altamente deformada

Esta zona la constituyen gneises y esquistos correlacionales con las rocas metamórficas de la Cadena Costanera. Constituyen en el basamento de toda la secuencia estratigráfica, la misma que ha sido sometida en diferentes efectos producidos por la tectónica Herciniana y Andina. Su mejor representación está entre Río Grande y el valle de Pampacolca; en el SE de Chuquibamba las rocas metamórficas están cubiertas por depósitos pizarrosos del Grupo Ongoro asignado al Paleozoico inferior que han sufrido un metamorfismo regional de bajo grado (Olchanski, 1980); estas unidades están separadas por una discordancia angular. También se encuentran rocas precambrianas en el río Arma, donde se observa que han sido intruídas por la unidad Tiabaya, del Batolito de la Costa.



Las rocas precambrianas han sido afectadas por un intenso metamorfismo regional que ha producido bandeamientos, foliación o esquistosidad con dirección NO, resultado de la intensa polideformación asociada al metamorfismo regional que posteriormente originó las rocas del Complejo Basal de la Costa o Macizo de Arequipa. (INGEMMET, 1994)

#### **2.4.2 Zona de pliegues y fallas**

Las rocas que presentan esta deformación son sedimentitas y rocas carbonatadas del Mesozoico. Se considera que la deformación corresponde a la fase Peruana (G. Steinmann 1930), ocurrida durante el Cretácico terminal que afectó básicamente la Cordillera Occidental y el Altiplano. En los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, las unidades que presentan esta deformación son rocas mesozoicas como el Grupo Yura, Formación Murco, Formación Arcurquina como se puede observar a lo largo de los ríos Huayllapaña, Cotahuasi, al Este de Pampacolca y otros remanentes. Caracterizan a esta zona los pliegues moderados de formas simétricas, asimétricas y las fallas de dirección NO-SE.

El fallamiento en esta zona presenta una dirección andina y como resultado de los efectos comprensivos de la tectónica peruana. (INGEMMET, 1994)

#### **2.4.3 Zona de emplazamiento del Batolito e intrusivos menores**

En las postrimerías del Cretáceo y principios del Terciario inferior, tuvo lugar una intensa actividad magmática asociada y de actuación posterior a la deformación general de las rocas pre-batolíticas que presentan pliegues y fallamientos intensos que según Steinmann, corresponde al movimiento orogénico "Peruano"; posiblemente en las últimas fases de esta deformación surgen en la profundidad las pulsaciones magmáticas que viene



a originar el Batolito de la Costa. Las rocas constituyentes de este complejo batolítico tienen un rango de edades que varían entre  $102 \pm 26$  m.a. (Stewart & Snelling, 1971).

En la zona de trabajo, se observa la presencia de rocas intrusivas integradas por granodioritas, tonalitas, dioritas, que intrusionan al Complejo Metamórfico precambriano y a unidades Mesozoicas. Se les localiza en la parte Oeste del cuadrángulo de Chuquibamba y aflorando esporádicamente en tramos aislados, mayormente tienen características de ser postectónicas.

#### **2.4.4 Zona de fallamiento en bloques**

Se encuentra en la parte inferior Occidental de la zona de estudio. Ha afectado a rocas del Complejo Basal y a las unidades del Mesozoico.

Este fallamiento es difícilmente observable debido a la amplia cobertura volcánica terciaria; sin embargo, es evidente que esta zona ha actuado a modo de depresiones que han favorecido la acumulación de sedimentos continentales y levantados bloques de rocas antiguas que constituyen los pilares tectónicos hacia el Noreste.

Este fallamiento en bloques se observa en los movimientos relativos de las fallas con dirección NO y E-O que se encuentran en la pendiente Oeste de la Cordillera Occidental en el cuadrángulo de Chuquibamba hacia la Costa, fuera del área de estudio han determinado las cubetas donde se han acumulado los grupos Moquegua, Formación Camaná. (INGEMMET, 1994)



#### **2.4.5 Zona poco deformada**

Esta zona ocupa un 75% del área estudiada y en su mayor parte corresponde a rocas volcánicas y continentales post-mesozoicas, cuyas edades van desde el Terciario inferior al Cuaternario.

Con posterioridad a la fase peruana, sobrevino un intenso período de erosión de las rocas pre-existentes que dieron lugar a sedimentos continentales de la Formación Sotillo que se depositaron en zona Sur, sobre una superficie aproximadamente sub-horizontal. El levantamiento continuo de bloques dió lugar a una fase de plegamiento de menor intensidad que se habría originado en el Eoceno superior (Fase Incaica de Steinmann) con la consiguiente denudación, dando lugar a los depósitos de las Formaciones Caravelí, Paracas, que se encuentran al Sur del área. Estos depósitos continentales tectónicamente tienen poca deformación.

El Grupo Barroso ampliamente distribuido, presenta buzamiento sub-horizontal a horizontal, con escasos indicios de deformación. (INGEMMET, 1994)

#### **2.4.6 Lineamientos y fallas**

Muchas de las fallas y fracturas se han determinado en las fotografías aéreas, donde se observan alineamientos nítidos que se puede seguir por decenas de kilómetros.

Tres grandes fallas casi paralelas con dirección NO-SE, afectan el área del cuadrángulo de Chuquibamba. Ellas son la falla de Pampacolca que intercepta el mismo pueblo, tiene un desplazamiento vertical bastante considerable en donde el bloque sur ha subido y ha puesto en contacto a las rocas metamórficas del Complejo Basal con las formaciones Murco y Arcurquina de edad Cretácica. Esta falla se prolonga hacia los cuadrángulos de Huambo y Cotahuasi.



La falla Chuquibamba que recorre toda la quebrada de Chuquibamba, afecta rocas ígneas y metamórficas. Es una falla que ha tenido reactivación en el Cuaternario. El bloque situado al Norte es el que ha bajado. La otra falla estrechamente relacionada con las dos primeras es la de Acoypampa, la cual se observa mayormente dentro del volcánico terciario.

Fallas con dirección E-O son cortadas por las anteriores, su rumbo va variando de E-O a NE-SO, están afectando a las rocas del batolito, miden decenas de kilómetros y atraviesan los cuadrángulos de Chuquibamba y Caravelí.

La falla Toro de dirección NS, pone en contacto a las areniscas rojas de la Formación Murco con cuarcitas del Grupo Yura, es una falla normal. (INGEMMET, 1994)

## **2.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **2.5.1 Concepto y origen de los yacimientos minerales**

El origen de los yacimientos minerales puede ser tan variado como lo son los procesos geológicos, sin embargo, en las zonas donde las concentraciones son mayores constituyen los denominados yacimientos minerales y por su interés económico son rentables para su explotación, pero esto lo clasificamos según su abundancia y distribución en el planeta.

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o a la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas. Es durante el curso de esos procesos que los elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores



"normales" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones "anómalas" que de aquí en adelante denominaremos "yacimientos minerales".

El otro factor importante a considerar es el económico: esas concentraciones podrán ser o no de interés económico, lo que delimita el concepto de Yacimiento explotable o no explotable, en función a los factores muy variados, entre los que a primera vista destacan algunos como el valor económico del mineral o minerales extraídos, su concentración en ley, el volumen de las reservas, la mayor o menos proximidad de puntos de consumo, la evolución previsible del mercado, etc. (Tumialán, P. 2003).

### **2.5.2 Yacimientos hidrotermales**

A medida que un magma se solidifica se van formando los minerales propios de las rocas ígneas (silicatos y óxidos) mientras la fase líquida y gaseosa de esta mezcla se van enriqueciendo en agua con ciertos elementos y sustancias en solución (F, Cl, B, CO<sub>2</sub>, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca, etc.).

Estas fases son expulsadas del magma, principalmente durante su solidificación, a temperaturas intermedias de 400° a 800°C y a considerable presión, produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de caja.

El agua es expulsada de su fuente magmática se desplaza, lateralmente o verticalmente, para llegar finalmente a la superficie donde aflora como fuente o manantial de agua termal.

Desde la profundidad magmática hasta la superficie el agua pierde temperatura y presión, perdiendo en consecuencia la mayor parte de su poder disolvente. Por ello, casi la mayoría de las sustancias disueltas en el agua se precipitan "en el camino" originando concentraciones o depósitos minerales.



Los conductos por los cuales el agua se moviliza son, fundamentalmente, fallas y diaclasas, aunque localmente pueden tener importancia otros espacios abiertos como vesículas de lava, intersticios de sedimentos cuevas de disolución y brechas de colapso y de explosión.

Las fallas y diaclasas no solamente sirven como conductos, sino que, a medida que transcurre el proceso, se van rellinando con las sustancias que precipitan, este relleno se podría compararse con la forma como se deposita el sarro en una cañería, desde las paredes hacia el centro, hasta obstrucción total.

Los depósitos minerales que se producen por este mecanismo de relleno tienen la forma de conducto y, como la mayoría de los conductos son fallas y diaclasas, las formas más comunes son las vetas.

En ciertas condiciones, en especial cerca de la fuente magmática, las aguas calientes también pueden atacar a las rocas de caja, produciendo alteración, disolución y precipitación de nuevas sustancias en lugar de las disueltas (metasomatismo).

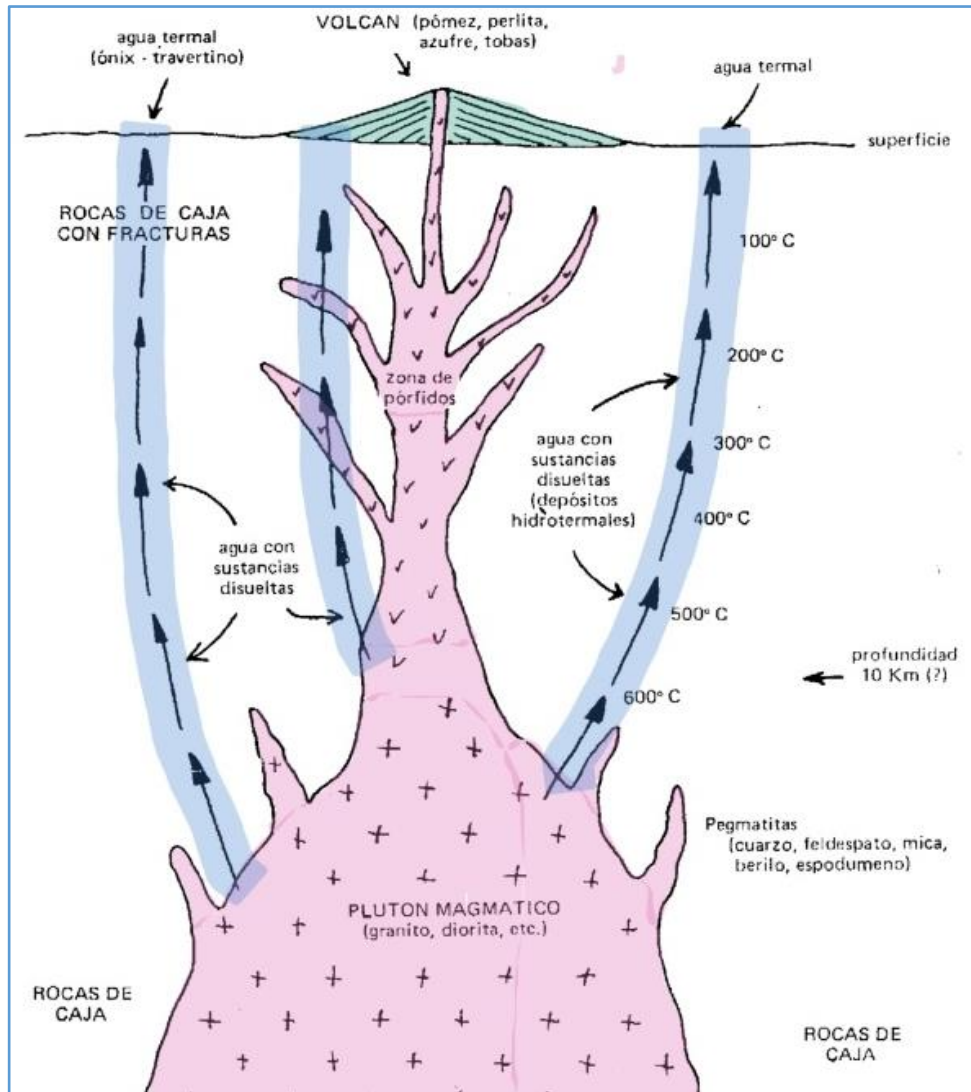
Cuando la mineralización ocurre en el inmediato contacto con la masa magmática. La concentración resultante se llama yacimiento "metasomático de contacto" o "piro-metasomático".

Si la mineralización se produce fuera de la zona de contacto, a medida que aumenta la distancia y disminuye la temperatura, los yacimientos resultantes se llaman "hipotermiales", cuando se forman a más de 300°C, mesotermiales, cuando lo hacen entre 150 y 300°C, y epitermales a menor temperatura.

Dejando de lado, por el momento, la influencia de presión, puede decirse, de manera general, que cada mineral tiene un determinado rango de temperaturas de



formación dentro del cual se produce su precipitación. Por eso, el hidrotermalismo tiene por la particularidad de presentar una “Zonación”, es decir una distribución en zonas con distintas mineralizaciones de acuerdo a la temperatura. (Lindgren, 1913)



**Figura 1:** Esquema de yacimientos hidrotermales

FUENTE: (Lindgren, 1913)

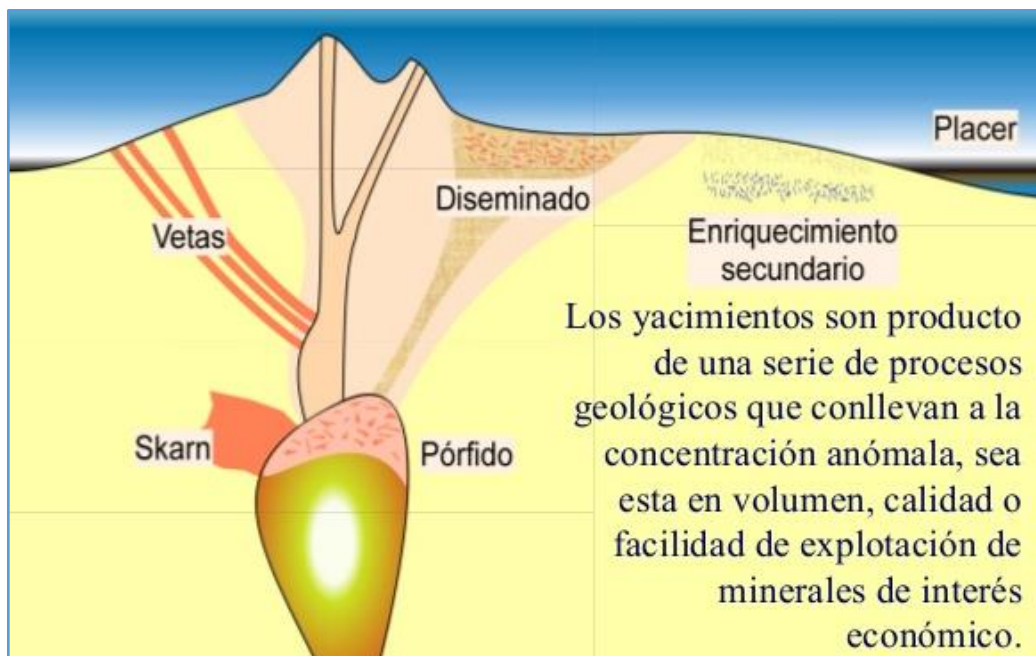
### 2.5.3 Principio de los yacimientos hidrotermales

Los geólogos atribuyen a los procesos hidrotermales la gran variedad de depósitos minerales metálicos que proporcionan la mayoría de nuestros útiles de uso común que son los metales y minerales.

De estos depósitos se obtienen la mayor parte los minerales como el oro, plata, cobre, plomo, zinc, mercurio, antimonio y molibdeno. Por consiguiente, estos depósitos han sido explotados, investigados y estudiados mucho más que los de ningún otro grupo. Ellos han dado origen a muchos de los grandes depósitos mineros del mundo.

Factores esenciales para la formación de depósitos hidrotermales son:

- Disponibilidad de soluciones mineralizadoras susceptibles de disolver y transportar materia mineral.
- Presencia de aberturas en las rocas las cuales puedan canalizarse las soluciones.
- Presencia de lugares emplazamiento para la deposición del contenido mineral.
- Reacción química cuyo resultado sea la deposición.
- Suficiente concentración de materia mineral depositada para llegar a constituir depósitos explotables.

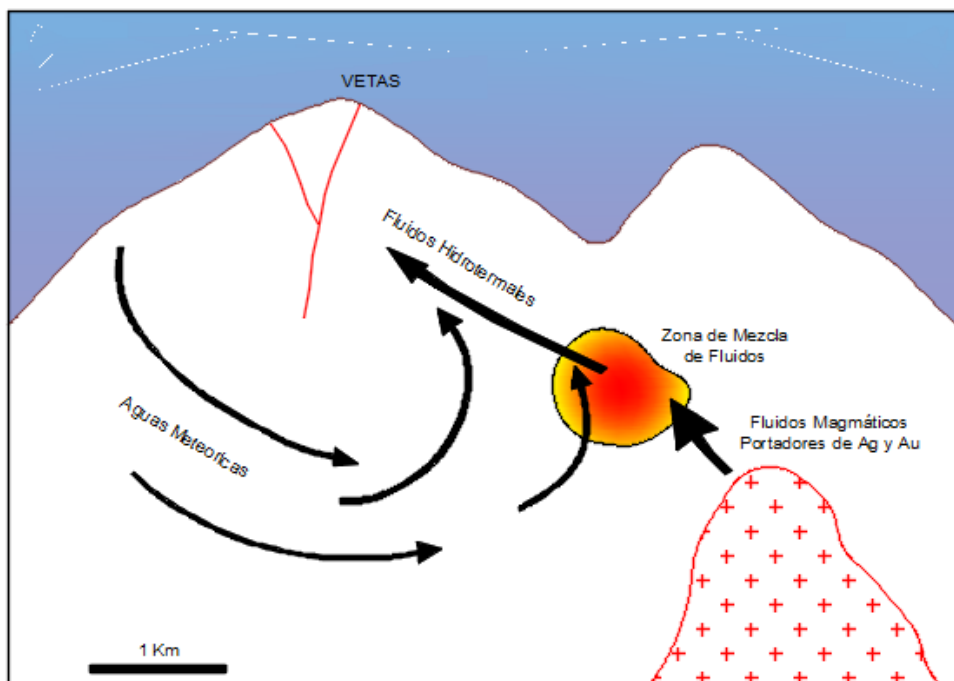


**Figura 2:** Tipos de yacimientos hidrotermales

FUENTE: INGEMMET (exposición Valencia Michel)

### 2.5.4 Características de las Soluciones

La naturaleza de las soluciones hidrotermales debe interpretarse por deducción y por analogía con ciertos tipos de manantiales termales. Su acción es evidentemente visible en la forma de depósitos minerales o como una alteración de la pared rocosa. Como implica la palabra hidrotermal, son aguas calientes cuya temperatura oscila probablemente entre los 500°C y 50°C. Las de temperatura elevada están también a presión elevada. (Tumialan, 2003)



**Figura 3:** Esquema de soluciones hidrotermales

FUENTE: (Tumialan, 2003)

### 2.5.5 Abertura de las Rocas

El desplazamiento de las soluciones hidrotermales desde su origen hasta el lugar de deposición depende en gran manera de las aberturas que se hallen disponibles en las rocas. Las deposiciones de grandes masas de minerales extraños implican la necesidad de una continua provisión de materia nueva, y esto significa que deben existir conductos de



tránsito. Las aberturas tienen que estar interconectadas. Además, es evidente que los depósitos de relleno de cavidades no pueden formarse a menos que existan cavidades susceptibles a ser rellenadas. (Tumialan, 2003)

Los diferentes tipos de aberturas en las masas rocosas que pueden servir de receptores para los minerales o permitir el desplazamiento de soluciones o de sus constituyentes a través de las rocas, pueden clasificarse del modo siguiente:

#### **A. Cavidades Primitivas**

- Retículos cristalinos: Los espacios existentes entre los átomos de cristal pueden permitir la difusión de iones de radios iónicos más pequeños. Esta difusión puede permitir que se produzcan substituciones o adiciones dentro de los cristales.
- Vesículas o burbujas de aire: Son aberturas producidas por vapores en dilatación, típicas de la parte superior de muchas corrientes de lava basáltica. Son de forma tubular, casi circulares en sección transversal y pueden estar separadas por espacios de 1,25 a 5 cm entre sí. Si las vesículas están llenas, la roca se denomina amigdaloides. Si están apiñadas, forman una roca celular como una esponja, llamada escoria.
- Conductos de expulsión de lavas: Se forman en las corrientes de las lavas cuando solidificado la parte exterior de ésta, y la lava líquida que queda en el centro se escurre hacia afuera dejando un tubo o túnel.
- Grietas de enfriamiento: Se forman como resultado de la contracción al enfriarse las rocas ígneas. Pueden ser juntas espaciadas regularmente que dividen a la roca en bloques, o bien fracturas lisas paralelas, o resquebrajaduras irregulares.
- Cavidades de brechas ígneas: Las brechas ígneas son de dos tipos:
  - ❖ Brechas volcánicas que forman conglomerados
  - ❖ Brechas de intrusión.



Ambas están formadas por fragmentos angulares y gruesos de rocas ígneas, con materiales más finos en los intersticios. Pueden ser totalmente permeables.

- Planos de estratificación: Son rasgos bien conocidos de todas las formaciones sedimentarias. Permiten la entrada de soluciones hidrotermales y la substitución de las paredes adyacentes por menas minerales. (Tumialan, 2003)

## **B. Cavidades Provocadas**

- Fisuras con fallas o sin ellas: Las fisuras son aberturas tabulares continuas en las rocas, generalmente de considerable longitud y profundidad. Las originan fuerzas de compresión, de tensión o torsión que actúan sobre las rocas y pueden o no ir acompañadas de fallas. Así, las fallas son fisuras, pero no todas las fisuras son necesariamente fallas. Pueden constituir conductos largos y continuos para las soluciones. Cuando están ocupadas por metal o minerales forman filones de fisura.
- Cavidades de zonas de cizallamiento: Las zonas de cizallamiento se producen cuando las fracturas, en lugar de estar concentradas en una o dos roturas individuales, se descomponen en distintas superficies de roturas y trituración, muy poco espaciadas entre sí a pesar de ser discontinuas, regularmente paralelas. Generalmente las fallas están presentes. Las aberturas delgadas y hojosas, en su mayoría de tamaño infinitesimal, son excelentes conductos para las soluciones, como lo demuestran las copiosas corrientes de agua que fluyen por ellas en los lugares donde forman túneles y minas. Por razón de las diminutas aberturas, sólo puede producirse en ellas una deposición menor en espacio descubierto, pero la gran superficie específica disponible hace que las zonas de cizallamiento sean favorables para la localización de depósitos de substitución.
- Chimeneas volcánicas: Cuando una actividad volcánica explosiva practica aberturas tubulares, las materias expulsadas pueden volver a caer o ser arrastradas de nuevo a la



abertura, formando una brecha angular con espacios entre los fragmentos. Estas aberturas constituyen excelentes conductos para el transporte de soluciones mineralizantes a partir de las cuales pueden formarse depósitos de relleno de cavidades o depósitos de sustitución.

- Brechas: Pueden formarse por la fragmentación de cualquier roca quebradiza reducida por plegamiento, fallas, intrusión u otras fuerzas tectónicas, en cuyo caso se forman las brechas tectónicas o bien por hundimiento de las rocas situadas encima de una abertura, en cuyo caso en estas se forman las brechas de hundimiento. Como en otras brechas, los espacios existentes entre los fragmentos angulares proporcionan espacio para circulación de soluciones, relleno de cavidades o sustitución.
- Aberturas de alteración de rocas: Las paredes rocosas que han sido alteradas por soluciones resultan ser (después de practicar en ellas pruebas adecuadas) generalmente más porosas que las rocas no alteradas y permiten la entrada de soluciones mineralizantes. (Tumialan, 2003)

### **2.5.6 Factores que afectan a la deposición**

Los que se refieren a la deposición a partir de soluciones hidrotermales son cambios predominantemente químicos en las soluciones, reacciones entre las soluciones y las paredes rocosas o los materiales de los filones, y cambios de temperatura presión.

#### **A. Cambios y reacciones químicas**

En su largo camino ascendente, las soluciones mineralizadoras tienen que experimentar inevitablemente algún cambio químico por su reacción con las rocas que atraviesan. Las rocas silicificadas las hacen alcalinas o más alcalinas. La concentración de iones hidrógeno (pH) se puede determinar cuándo ha de ocurrir la reacción con las rocas o la deposición.



En la substitución, puede producirse naturalmente la substitución de los minerales antiguos por otros nuevos, sólo por reacción entre la solución y un sólido. Paredes rocosas muy reactivas, como calizas, en desequilibrio con las soluciones producen un rápido cambio químico acompañado de deposición.

## **B. Temperatura y presión**

Los factores más importantes que provocan deposición hidrotermal a partir de estas soluciones son los cambios de temperatura y presión. En general, un descenso de temperatura hace disminuir solubilidad y produce la precipitación.

Las soluciones hidrotermales inician su camino con el calor proporcionado por el magma, calor que se pierde lentamente al ir atravesando las rocas. El descenso de temperatura depende mucho del ritmo de pérdida de calor en las paredes rocosas, lo cual depende a su vez de la cantidad de solución que las atraviese, de las reacciones exotérmicas y principalmente de la capacidad de la pared rocosa para absorber el calor. Cuanto mayor es la difusibilidad térmica de una roca más rápidamente absorberá el calor y mayor será el descenso de la temperatura en las soluciones. En las fases iniciales de circulación con paredes rocosas frías, el descenso de temperatura será relativamente rápido, pero la continua fluencia de soluciones calentará las rocas de las paredes hasta llegar a la temperatura de las soluciones, en cuyo momento disminuirá la pérdida de calor. La naturaleza de las aberturas rocosas afecta también a la pérdida del calor. La fluencia rápida a través de una fisura abierta de paredes rectas provocará menor pérdida de calor que la fluencia por las complicadas aberturas de una brecha que tenga gran superficie específica, donde el descenso inicial de temperatura será rápido. Sin embargo, una vez calentada, la brecha no absorberá mucho calor de la solución. Cuanto mayor sea el volumen de solución nueva que pase por un punto dado tanto mayor será la aportación de



nuevo calor, y más lento el descenso de temperatura de las soluciones. Así, en una fisura con constricciones y espacios abiertos característicos, la temperatura de las soluciones descenderá menos en las porciones angostas que en otras más amplias. Estos rasgos tienen también importancia en la determinación y localización de la deposición del mineral.

Las soluciones se inician a las altas presiones existentes en las grandes profundidades donde se originan. Su camino que hace, a través de zonas de baja presión, ya acompañado normalmente por un descenso de presión que provoca asimismo la precipitación. Pero también existen otros factores que pueden determinar cambios en la presión. Las angosturas de los conductos, el relleno parcial por deposición mineral, o los obstáculos, pueden provocar excesos de presión. El escape de las soluciones a espacios más abiertos por encima de las angosturas hace descender la presión y provoca la deposición. De este modo, los cambios de carácter físico de las aberturas por las cuales pasan las soluciones desempeñan un papel importante determinar y localizar la deposición de minerales a partir de la solución hidrotermal. (Garcés, H. 1984)

### **C. Alteración de la roca encajonante**

Los depósitos minerales hidrotermales van generalmente acompañados de una faja de alteración de las paredes rocosas, visible a simple vista. Por ejemplo, en un filón de fisura, la zona de alteración es paralela a las paredes de fisura, de anchura relativamente uniforme y varía en amplitud según el volumen del filón. La intensidad de la alteración depende también de la pared rocosa y del carácter químico, temperatura y presión de las soluciones mineralizantes. Si los filones están poco separados entre sí, el halo de alteración de una veta puede confundirse con el de otro, y el espacio comprendido entre ambos está enteramente alterado. Ello es particularmente sorprendente en el caso de los "cobres porfídicos" donde la roca huésped comprendida entre las numerosas vetas





pequeñas y angostas que se cortan entre sí ha sido alterada intensamente hasta distancias que alcanzan centenares de metros.

En un filón epitermal, la zona alterada visible es generalmente estrecha, y la alteración se descubre difícilmente, pero en uno mesotermal la zona será probablemente ancha e intensa, y se confundirá gradualmente con la roca nueva partiendo de la veta. En condiciones hipotermas, pueden formarse en las paredes rocosas minerales de alta temperatura tales como la turmalina, topacio, piroxenos y anfíboles.

La naturaleza de la alteración varia algo, también con la clase de la roca, pero es sorprendente que en el caso de un depósito de cobre mesotermal, el producto de la alteración de una monzonita cuarcífera se parece al derivado de una diorita o de un esquisto cristalino. Con la mayoría de las rocas salvo la caliza y la cuarcita, el producto final de la alteración es una roca formada en su mayor, parte por sericita y cuarzo. Los feldspatos, minerales ferromagnesianos y micas primarias se transforman en sericita y generalmente se les añade sílice. A esto se le denomina "sericitización".

Trabajos recientes han permitido descubrir que en muchos de los "cobres porfídicos" la zona exterior de alteración se caracteriza por la alteración arcillosa es decir: la formación de minerales arcillosos como dickita y montmorillonita.

En muchos lugares pueden superponerse dos fases de alteración de la roca donde la mineralización de cobre hipogénico estuvo acompañada de una amplia e intensa sericitización de las rocas huéspedes. (Garcés, H. 1984)

**Tabla 1:** Alteración de roca encajonante

YACIMIENTO	ROCA ENCAJONANTE	PRODUCTOS DE ALTERACIÓN
Epitermal	Caliza	Silicificación
	Lavas	Alunita, Clorita, Pirita, Sericita, Arcillas
	Ígneas, Intrusivas	Clorita, Epidota, Calcita, Cuarzo, Sericita, Arcillas
Mesotermal	Caliza	Silicificación, Jasperoide, Dolomitas
	Pizarras, Lavas	Silicificación, Arcillas
	<b>Ígneas sílicas</b>	<b>Sericita, Cuarzo, Arcillas</b>
	<b>Ígneas básicas</b>	<b>Serpentina, Epidota, Clorita</b>
Hipotermal	Rocas graníticas, esquistos	Greisen, Topacio, Turmalina, Piroxenos, Anfíboles

FUENTE: (Garcés, H. 1984)

#### D. Localización de la mineralización hidrotermal

La causa de la localización de los yacimientos hidrotermales tiene, a la vez, interés científico e importancia práctica. Naturalmente, varía en cada distrito, y puede ser debida a uno o más factores que hayan actuado conjuntamente. En la mayoría de las ocasiones depende del carácter químico y físico de la roca huésped, de los rasgos estructurales, de la intrusión, de la profundidad de la formación, de los cambios que experimenten las aberturas de las rocas o de una combinación de todos estos factores. En algunos casos se ve claramente definida la causa de la localización; en otros, es enigma. (Garcés, H. 1984)

#### E. Intrusión

Como la mayoría de soluciones hidrotermales son de procedencia magmática, la situación de la intrusión madre puede determinar la localización del mineral. Las cúpulas o las apófisis en las intrusiones pueden localizar el mineral en sus proximidades; los volcanes pueden hacer lo mismo.



## **F. Características de la roca encajonante**

Los depósitos hidrotermales pueden formarse en cualquier clase de roca huésped, pero algunas de ellas influyen en la deposición más que otras. En el caso de depósitos de relleno de cavidades, la localización de la abertura, más que el carácter de la roca contenedora, es lo que localiza el mineral, si bien la naturaleza física y química de la roca huésped puede determinar el emplazamiento y forma de la cavidad. Por ejemplo, las rocas quebradizas se desmenuzan más fácilmente que las no quebradizas, y por consiguiente localizan las fracturas y brechas; las rocas carbonatadas permiten la formación de aberturas para la solución. Prescindiendo de que una roca pueda ser químicamente favorable, la deposición de mineral no puede producirse a menos que existan aberturas en la roca que ofrezcan emplazamientos para el relleno de cavidades o que permitan la entrada de soluciones para la sustitución. Es necesaria la permeabilidad, y ésta le puede proporcionar el espacio poroso originario, la fisibilidad, los planos de exfoliación de los minerales, las brechas, las juntas, las pequeñas fracturas y otros factores. La influencia de la roca huésped en la localización del mineral puede ser, por lo tanto, química o física, o ambas cosas a la vez. También la superficie específica es un factor importante.

## **G. Rasgos estructurales**

Los rasgos estructurales son importantes localizadores de depósitos hidrotermales. Las fisuras sirven por, sí solas como emplazamientos, así como de conductos para el desplazamiento de los fluidos minerales hasta rocas susceptibles de sustitución. La intersección de fisuras con rocas favorables se utiliza en la búsqueda de depósitos de sustitución. Ambas son necesarias. Puede existir una caliza favorable a la sustitución, pero no podrá producirse sustitución alguna en ella si las soluciones no pueden llegar a la misma, y al revés: puede existir un excelente conducto de fisura, pero si sus paredes



son desfavorables, no se producirá ninguna sustitución. Es necesaria la coincidencia de ambas cosas. Así, en muchos distritos mineros, hasta las más pequeñas fisuras son seguidas con taladros hasta llegar a capas favorables ya conocidas, con la esperanza de descubrir depósitos explotables en tales emplazamientos.

Las fisuras múltiples y las zonas de cizallamiento localizan los depósitos minerales de un modo parecido a las fisuras.

Las intersecciones fisuradas son emplazamientos particularmente favorables a la deposición de mineral. Los plegamientos juntos e inclinados y los plegamientos de arrastre fueron importantes localizadores para depósitos de sustitución. Las brechas son emplazamientos muy favorables, tanto para los depósitos de relleno de cavidades como para los de sustitución. Los rasgos se deben a sedimentación, como planos de estratificación, laminación o capas permeables continuas, irregularidades del terreno o capas impermeables superyacentes, pueden influir en la localización de depósitos, proporcionando conductos para las soluciones mineralizadoras. (Charles F. edición omega s.a., Casanova – Barcelona)

### **2.5.7 Tipos de depósitos hidrotermales**

De acuerdo con la temperatura de formación los yacimientos hidrotermales fueron clasificados por W. Lindgren, 1931, como: hipotermales (400-300°C), mesotermales (300-200°C), epitermales (200-100°C) y teletermales (100-0°C). Evidentemente, se trata de una clasificación complicada y rígida, ya que en la naturaleza es difícil que los yacimientos minerales respondan a intervalos de temperatura tan definidos. En una revisión de los mayores yacimientos hidrotermales según (Broken Hill, Sullivan, Noranda, Timmins, etc.), realizada en el año 2001, la clasificación de los yacimientos hidrotermales quedó de la siguiente manera.



- Hipotermales.....Desaparecen.
- Mesotermales.
  - Pórfidos de cobre, molibdeno, oro, estaño.
  - Filones de cordillera.
  - Ígneos metamórficos.
  - Cobre, oro, hierro.
  - **Intrusión relacionada con Au.**
- Epitermales.
  - Alta sulfuración.
  - Baja sulfuración.
- Removilización de soluciones.
  - Tipo Mississippi valley.
  - Cobre, oro, fierro, uranio.

### 2.5.7.1 Depósitos Epitermales

Los depósitos epitermales se forman a profundidades menores a 1 km, en temperaturas entre 50 a 200°C, y estos son característicos de las regiones de actividad ígnea donde la erosión no los ha removido. Los depósitos son en general en forma de vetas, fisuras irregulares o clastos de brechas. Los depósitos epitermales incluyen sulfosales de plata, teluros de plata y oro, estibina, cinabrio y cobre nativo. La alteración de las rocas cajas es a menudo extensiva e incluyen muscovita, clorita, alunita, ceolitas, adularia, sílice y pirita.

Ambiente: Hipógeno - Supérgeno.



Los minerales primarios o Hipógenos son aquellos que se forman por procesos al interior de la tierra. Estos minerales sufren diferentes alteraciones cerca de la superficie por efecto de aguas meteóricas o aguas superficiales oxigenadas dando lugar a minerales secundarias o supérgenos.

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 al neutro y los fluidos de "alta sulfuración" los cuales son más oxidados y ácidos.

Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1996) y Hedenquist et al. (2000) que se refieren al estado de oxidación del azufre, en los de alta sulfuración el azufre se presenta como  $S_{4+}$  en forma de  $H_2S$  y los de baja sulfuración como  $S_2$  en forma de  $H_2S$  (reducido).

#### **2.5.7.2 Depósitos Mesotermales**

Los depósitos mesotermales comprenden yacimientos formados, como su nombre lo denomina, a moderadas presiones y temperaturas. Se les asigna unas temperaturas de formación de 175 a 300° C según Lindgren.

Generalmente estos depósitos están asociados a rocas ígneas intrusivas que varían entre ácidas (silíceas), básicas (máficos) e intermedias.

Los minerales más predominantes en condiciones mesotermales son: **oro**, plata, cobre, plomo, zinc, molibdeno, con gangas de cuarzo, pirita y minerales de carbonatos.



### **2.5.7.3 Depósitos Filonianos (Vetas)**

La formación de los filones tiene características muy relevantes y complejas, por lo que su génesis es un poco complicada, ya que está íntimamente relacionada a la geología estructural, la que condiciona a estos yacimientos en su formación.

La formación de un filón implica dos constantes que son: la formación de la fisura misma y los procesos de formación del mineral, ambos factores pueden estar separados por un largo intervalo de tiempo, ninguno de los anteriores puede determinar la formación de una veta de fisura por sí mismo, por lo que se necesita la coincidencia de ambos.

Las fisuras pueden formarse por virtud de tensiones (formación de fallas normales debido al tectonismo pre-mineral), así mismo pueden formarse o ampliarse en el momento de la mineralización por fuerza intrusiva de las soluciones mineralizantes que actúan desde abajo, separando las rocas por las zonas de debilidad.

Se sabe también que la fuerza de los cristales al aumentar de volumen puede separar como cuña las paredes de las grietas.

Los filones tienen la particularidad de tener como agente principal al tectonismo, porque gracias a él se forman la falla pre-mineral, que posteriormente serán rellenadas por fluidos mineralizantes, que pueden tener varias pulsaciones de acuerdo al relleno del filón (Garcés, H. 1984).

#### **A. Variedades de filones**

Son por lo general por la competencia y los tipos de rocas donde llegan a emplazarse, los filones llegan a tener muchas formas variadas; de tal modo, las variedades



de filones pueden ser: simples, compuestos, eslabonado, ojoso, dilatado y de cámara, cada una de ellas puede ser compacta o modificada.

El filón simple ocupa una sola fisura, cuyas cajas son rectas y paralelas; cuando las cajas son irregulares o forman brechas debido a la formación de carga ligera y cerca de la superficie se denomina con frecuencia filón de cámara.

Generalmente se encuentran varias a la vez a modo de sarta de salchichas, pero pueden estar sueltos, formando lentejones escalonados, esto mayormente se debe al hinchamiento o dilatación, por la presión transmitida por las soluciones mineralizantes, algunas son debido a la fragmentación de un filón pre-existentes durante el metamorfismo posterior a las rocas encajonantes.

Un grupo de fracturas cercanas, que están delimitadas y paralelas es un filón laminado, cada fractura es rellenada por mineral y separado por cajas de roca estéril y el conjunto se explota como un solo filón. (Garcés, H. 1984).

### **B. Cambios del Emplazamiento de un filón**

Los filones cuando pasan de un tipo de roca a otro, cambian de manera brusca en la dirección de sus diaclasamientos y como en su relleno, esto es debido al diferente comportamiento físico de la roca con respecto a otra roca, debido principalmente a los movimientos tensionales de estas.

### **C. Comportamiento de la longitud y profundidad de un filón**

Las longitudes de los filones son variadas de acuerdo a las dimensiones de las rocas que las albergan, es decir un filón puede tener desde decenas hasta centenares de metros, pero son pocos los que llegan a tener dimensiones superiores al kilómetro, esto





ocurre quizá debido a la competencia de la roca que recibe la mineralización, por lo tanto muchos filones pueden estar en forma paralela y desaparecer uno antes del otro o pueden ser limitados por fallas locales que rompen su secuencia de emplazamiento. (Garcés, H. 1984).

### **2.5.8 Mineral de mena**

Es el mineral, cuya explotación presenta interés, en general, es un término que se refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento químico de interés (Cu de la calcopirita, Hg del cinabrio, Sn de la casiterita entre otros muchos más).

Un mineral es mena de un metal, que mediante la minería es posible extraer ese mineral de un yacimiento y luego mediante procesos metalúrgicos se obtiene el metal o el elemento químico de interés económico.

### **2.5.9 Mineral de ganga**

Ganga es el material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por no tener valor económico o ser demasiado costoso su aprovechamiento. Es posible que un mineral que se considere ganga en un yacimiento sea de interés en otro, o que la mejora en las técnicas extractivas o los usos industriales haga rentable el procesamiento de materiales anteriormente considerados ganga.

### **2.5.10 Cubicación y cálculo de recursos y reservas**

Una vez extraído y analizado las muestras tomadas con sus respectivas leyes medias correspondientes, se procede a la delicada fase de estimación de las reservas del



yacimiento (cubicación). En lo cual consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral existente en el yacimiento.

Las reservas que se estiman en esta fase inicial son las geológicas o *in situ*, posteriormente se tienen en cuenta las condiciones como son los factores de diseño de explotación, método de explotación, recuperación, dilución, elementos traza, etc.

El grado de dificultad implícito se incrementa con la extensión del yacimiento a explorar, si se sobreestiman se pueden empezar trabajos mineros que no resulten rentables, si se subestiman se puede decidir el abandono de un prospecto que era rentable.

**Recurso.** - Es toda concentración u ocurrencia de mineral contenida en un área específica dentro de la corteza terrestre, cuyo límite y características geológicas, así como tonelaje y ley, se establecen bajo razonables consideraciones técnicas, que justifica un probable beneficio económico, bajo métodos y técnicas conocidas, así como consideraciones de precios que se asuman puedan soportar dicho beneficio. Este mineral es, asumido con proyecciones futuristas. “Todos los metales, minerales y, rocas, que pueden ser utilizados por el hombre y que existen en el suelo y subsuelo.

**Reserva.** - Es la parte económicamente minable de un Recurso mineral, puede ser Medido o Indicado. Es el resultado de la aplicación de los correspondientes “Factores de Modificación”, que incluyen principalmente, material diluido y, pérdidas toleradas durante la explotación, todo ello de acuerdo a un escenario productivo, tecnológico y de sustentabilidad. Otra definición: Reserva, es todo material mineral que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales.



### 2.5.11 Métodos para la cubicación de recursos y reservas

Existen dos tipos de métodos usados para la estimación de recursos y reservas, cuya aplicación depende de las características del yacimiento, estos métodos son los siguientes.

#### A. Métodos clásicos o geométricos

Son los que se usan tradicionalmente, se basan fundamentalmente en los principios de interpretación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo, lo que desarrolla la construcción de los bloques geométricos a los que se le asignan las leyes medias para la estimación de recursos (Oyarzun R. 2011).

Las características principales de este método son sencillos, se basan en criterios comúnmente geométricos, están siendo superados por los métodos modernos, la variabilidad es extrema.

Los principios de interpretación de este método son los siguientes:

- El principio de los cambios graduales presupone que los valores de una variable (ancho, ley, etc.) varían gradual y continuamente a lo largo de la línea recta que une dos puntos de muestreo contiguos.
- El principio de muestras vecinas más cercanas admite que el valor de la variable de interés en un punto no muestreado es igual al valor de la variable en el punto más próximo.
- El último de los principios permite la extrapolación de los valores conocidos en los puntos de muestreo a puntos o zonas alejadas sobre la base del conocimiento geológico o por analogía con yacimientos similares.



Todos estos principios de interpretación son utilizados para la subdivisión del yacimiento mineral en bloques o sectores, de los cuales son evaluados individualmente y posteriormente integrados para determinar los recursos totales del yacimiento.

Los tipos de métodos clásicos o geométricos que se utilizan para la estimación de recursos y reservas son:

- Media aritmética.
- Bloques geológicos.
- Bloques de explotación.
- Perfiles
- Polígonos
- Triángulos.

#### **B. Métodos modernos o geoestadísticos**

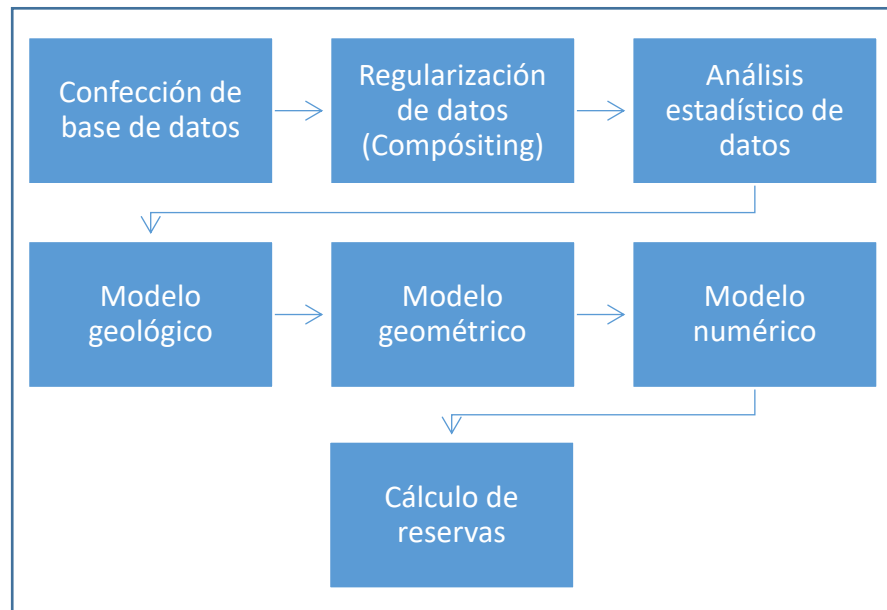
Los métodos modernos o geoestadísticos son más exactos y ofrecen una información más completa que los métodos clásicos. De modo que, se requiere una formación académica especializada, software adecuado lo cual permiten realizar estimaciones en bloques más pequeños, se basan en procedimientos matemáticos de interpolación local y emplean datos de los sondeos y calicatas.

Las características de los métodos modernos son las siguientes:

- Se han desarrollado ampliamente en los últimos años.
- Están dirigidos a informatizar los métodos clásicos.
- Con el uso de la geoestadística, los métodos son más potentes.
- Realizar estimaciones en bloques más pequeños.
- Procedimientos matemáticos de interpolación local.

La secuencia del uso de este método se debe adecuarse a los siguientes pasos:

**Tabla 2:** Método geoestadístico



FUENTE: Elaboración Propia.

### 2.5.12 Elementos de la cubicación de reservas

Es el conjunto de consideraciones que permiten aproximar con mayor certeza la cantidad de mineral susceptible de explotación económica. (Evans, A. 1993).

#### A. Contacto geológico.

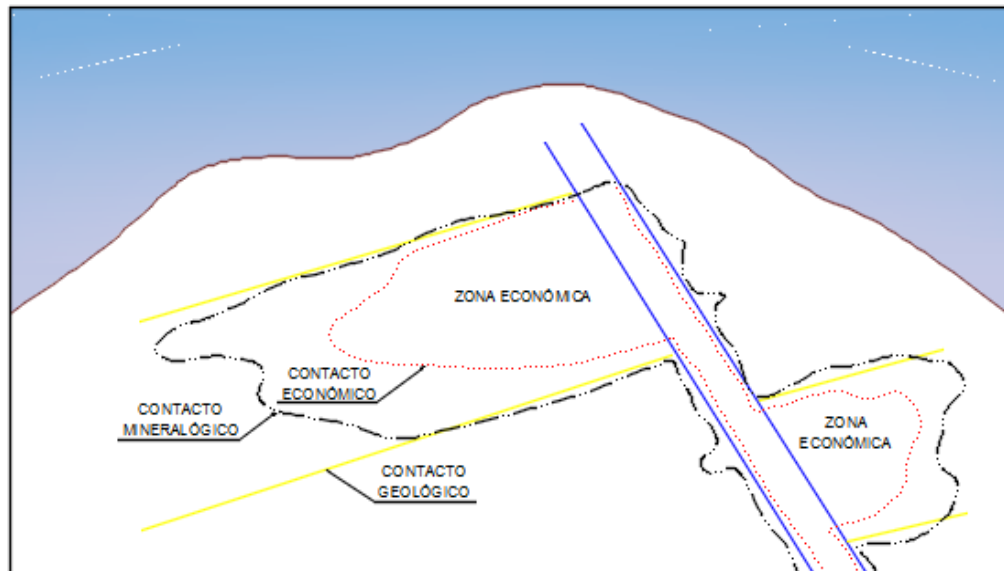
Define los límites litológicos y/o estructurales de una determinada zona de mineralización.

#### B. Contacto mineralógico.

Se define por la extensión de la masa mineral, entendida como recurso “geológico” que en algunos casos no coincide con contactos geológicos o económico al incluir puntos donde las leyes pueden ser subeconómicas.

### C. Contacto económico.

Define los límites del material a partir del cual se pueden obtener ganancias (cut off grade).



**Figura 4:** Elementos de cubicación de reservas

FUENTE: Oyarzun R. (2011)

#### 2.5.13 Inventario de recursos y reservas minerales

##### 2.5.13.1 Definición

El inventario de minerales es la estimación cuantitativa de los tonelajes y leyes de un yacimiento de acuerdo a su valor, certeza y accesibilidad que incluye a los minerales de interés económico, tales como las reservas minerales y recursos minerales, así como a otros que no lo tienen en el momento de la estimación.

##### 2.5.13.2 Finalidad

Tiene por objeto definir las reservas, recursos y otros minerales de un yacimiento, así como su distribución, a fin de planear su explotación o ampliar la escala de producción



para un tiempo determinado cuando se trata de reservas minerales. La estimación de recursos minerales es importante porque con un estudio de factibilidad pueden convertirse en reservas que posteriormente procede a su explotación. La estimación de otros minerales, pues no tienen valor económico, es necesaria, porque una subida de los precios y el uso de nuevas tecnologías puede convertirlos en reservas, por lo tanto, estarán sujetos a explotarse o permitir una ampliación.

### **2.5.13.3 Importancia**

La importancia radica en que las reservas minerales y recursos minerales pueden garantizar, además la vida de la mina, un mayor financiamiento para una posible ampliación u optimización de la operación con la inversión en compra de equipos de mina o planta.

### **2.5.13.4 Criterios**

Para desarrollar y evaluar activos mineros es necesario una plataforma común de conceptos claros y una nomenclatura estándar sobre criterios y prácticas que respalden los procesos de exploración y explotación de yacimientos.

Los términos, recursos y reservas minerales son a menudo confundidos, pero desde un punto de vista geológico se entiende por recursos a un material que se sabe que existe en la corteza terrestre o que de inferencia geológica bien documentada se considera probable que exista.

Las reservas se definen como un material minero que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales.



Tradicionalmente se han clasificado las reservas siguiendo unas veces criterios geométricos y otros, criterios que se consideran en las relaciones espaciales; aspectos geológicos tales como hábito, tipo y mineralogía del yacimiento; fuente de los datos, grado de conocimiento geológico y finalmente el tipo de razonamiento inductivo o deductivo que ha sido utilizado en el análisis de los datos.

Para evitar la propagación de reportes geológicos sin sustento técnico, la comunidad especializada ha creado reglas de juego precisas para hacer la estimación de recursos y reservas mineras de manera aceptable para el mercado internacional principalmente bursátil con la aplicación denominada, El Código, el cual viene a ser el código JORC como también el uso de servicios de profesionales calificados para la elaboración de dichos reportes.

#### **2.5.13.5 El código Jorc**

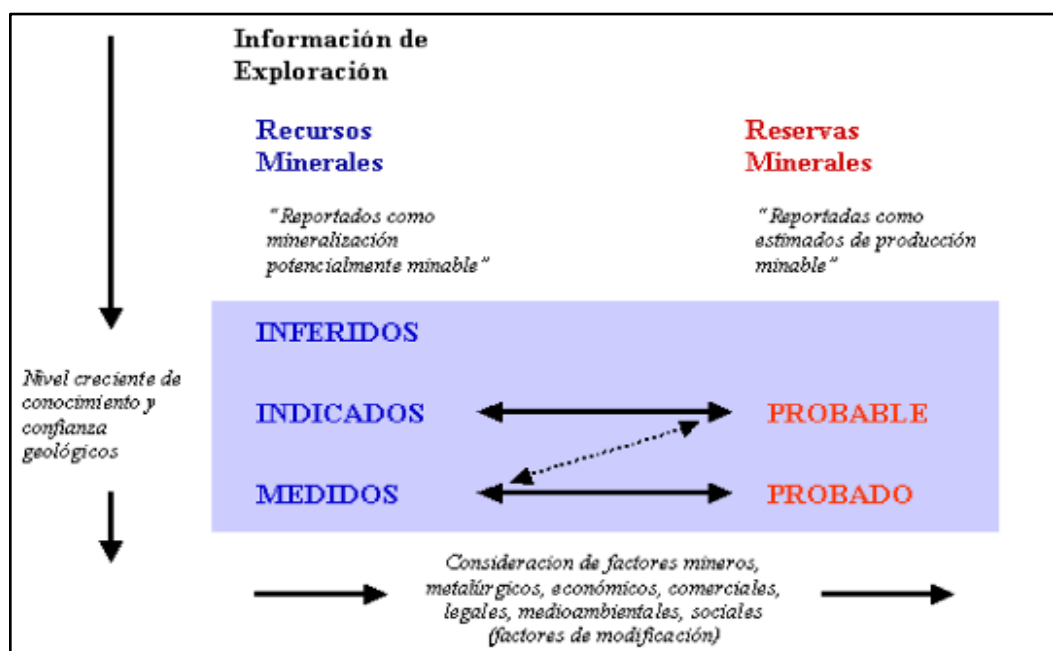
El Código australiano JORC establece los estándares mínimos, recomendaciones y normas para la edición de Informes de Dominio Público sobre los resultados de las Exploraciones, Recursos Minerales y Reservas de Mena, y que fue principalmente adoptado en Australia (1999) mediante el Reglamento del Instituto Australiano de Minería y Metalurgia (AIMM). Así mismo, recientemente, también instituciones profesionales del Perú (BVL, CONASEV, SGP y el IIMP) han adoptado el Código Jorc como normativa recomendada para editar los Informes de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas minerales, cuya finalidad es comunicar debidamente a las empresas, inversionistas potenciales y sus asesores.

En el cuadro inferior se muestra la relación secuencial que existe entre la Información de Exploración, Recursos y Reservas minerales. La clasificación de los



estimados debe tomar este marco de referencia, de modo tal que reflejen los diferentes niveles de confianza geológica y los diferentes grados de evaluación técnica y económica.

Conforme aumenta el conocimiento geológico, es posible que la Información de la Exploración llegue a ser la suficiente como para estimar un Recurso Mineral. Conforme aumenta la información económica, es posible que parte del total de un Recurso Mineral se convierta en una Reserva Mineral. Las flechas de doble sentido indican que los cambios en los factores pueden hacer que el mineral estimado anteriormente como reserva, pueda volver a ser un recurso por causas económicas, legales y/o ambientales, como resulta ser el caso de Minera Yanaquihua S.A.C. UP Alpacay.



**Figura 5:** Relación entre resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales (código de Jorc)



## **A. Principios del Código**

Los principios del código JORC son las siguientes:

### **a.1 Transparencia**

Exige que se le proporcione al lector un informe de dominio público con suficiente información, cuya presentación sea clara y no ambigua, para que el interesado pueda comprender el informe y no sea inducido a error

### **a.2 Relevancia**

Exige que un informe de dominio público contenga toda la información relevante, tal que los inversionistas y sus asesores profesionales pudieran requerir, y que esperarían encontrar en el informe un juicio razonado y balanceado acerca de la mineralización.

### **a.3 Competencia**

Exige que un informe de dominio público se base en un trabajo que es responsabilidad de una persona debidamente calificada y experimentada sujeta a un código de ética profesional.

El código se debe aplicarse a todos los minerales de uso comercial, incluyendo piedras preciosas y carbón, para lo cual la Bolsa de Valores de Lima requiere la presentación de informes de dominio público con los resultados de exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales.



## **B. Resultados de exploración**

Contiene información sobre tonelaje/ley, información relevante como intervalos de muestreo y métodos, ubicación de muestras, datos de ensayos, análisis de laboratorio, etc.

## **C. Lista de verificación**

Se considera la situación de la pertenencia minera y propiedad del terreno, exploración realizada por otras partes, geología, relación entre los anchos y longitudes de minerales, informe equilibrado, datos sustentados de exploración.

## **D. Reporte de reservas minerales**

### **d.1 Nivel de confianza**

Incluyen los materiales de dilución y tolerancias que puedan producirse por pérdidas en la explotación del material.

#### **a. Reserva mineral probable**

Parte económica explotable de un recurso mineral indicado y en algunas circunstancias recurso mineral medido.

#### **b. Reserva mineral probado**

Parte económica explotable de un recurso mineral medido. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen consideración y modificación por factores de minería, metalurgia, económicos, mercados, ambientales, sociales y gubernamentales.



### 2.5.13.6 Criterios de cubicación de recursos y reservas

#### A. Recursos minerales

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco dentro o fuera de la corteza terrestre en tal forma que por la calidad y cantidad haya una perspectiva razonable de una eventual explotación económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y de continuidad de un recurso mineral son conocidas, estimadas o interpretadas en base a evidencias y conocimientos geológicos específicos.

Los recursos minerales se subdividen en orden de confianza geológica decreciente en categorías de medido, indicado e inferido. Estas categorías sólo indican la certeza. Deben incluirse en un recurso mineral las porciones de un yacimiento que no tienen perspectivas razonables de una eventual explotación económica.

El término recurso mineral abarca la mineralización identificada y estimada mediante exploración y muestreo.

El término “perspectiva razonable de una eventual explotación económica” implica un criterio de valor económico, aunque sea preliminar a nivel de perfil, por parte de la persona competente con respecto a los factores técnicos y económicos que podrían influir en la perspectiva de explotación económica, incluyendo los parámetros mineros aproximados.

En otras palabras, un recurso mineral no es un inventario de toda la mineralización perforada o muestreada, cualquiera que sea la ley de corte (Cut-Off), las probables escalas de producción, ubicación y continuidad. En un inventario realista del yacimiento mineral que, bajo condiciones técnicas y económicas asumidas y justificables, podría, total o



parcialmente, llegar a ser económicamente explotable, de tal modo se le asume como valores de mena o marginal. Oyarzun R. (2011).

Los recursos minerales se les clasifican de la siguiente manera:

### **a.1 Recurso mineral medido**

Es aquella parte de un recurso mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un alto nivel de confianza. Se basa en una detallada y confiable información de exploración, muestreo y exámenes obtenidos por medio de técnicas apropiadas en zonas como afloramientos, trincheras, tajos, labores y sondajes. Los lugares de la toma de información (muestreo mediciones y otros), están suficientemente cercanos como para confirmar una continuidad geológica y de ley.

Parte de un yacimiento explorado y desarrollado puede ser clasificado como recurso mineral medido cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales que como para no dejar ninguna duda razonable, en opinión de la persona competente que determina el recurso mineral, que el tonelaje y ley de la mineralización puede ser estimado dentro de estrechos límites y cualquier variación de lo estimado no afectaría significativamente la posible viabilidad económica.

Esta categoría requiere de un alto nivel de confianza en el entendimiento de, la geología y los controles de yacimiento.

La confianza en la estimación es suficiente como para permitir la aplicación de parámetros técnicos y económicos, y hacer posible una evaluación de la viabilidad económica, la cual tiene un mayor grado de certeza que una evaluación basada en un recurso mineral indicado.



## **a.2 Recurso mineral indicado**

Es aquella parte de un recurso mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características geológicas pueden ser estimadas con un razonable nivel de confianza. Su estimación se basa en información de exploración, muestreo y examen obtenidos mediante técnicas apropiadas en lugares indicados como afloramientos, trincheras, tajos, labores y sondajes. Los lugares de la toma de información (muestreo, mediciones y otros) están tan espaciados o inapropiadamente espaciadas como para confirmar una continuidad geológica y de ley, pero este espaciamiento es suficiente como para asumir dicha continuidad. El grado de confianza es suficientemente alto como para asumir la continuidad.

Parte de un recurso mineral puede ser clasificado como un recurso mineral indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales como para realizar una interpretación confiable del aspecto geológico y asumir la continuidad de la mineralización.

La confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación de parámetros técnicos y económicos, y una evaluación de viabilidad económica.

## **a.3 Recurso mineral inferido**

Es aquella parte de un recurso mineral cuyo tonelaje y ley puede ser estimado con un bajo nivel de confianza. Es estimado e inferido a partir de evidencias geológicas, la continuidad geológica y la ley es asumida pero no verificada. Está basado en la información obtenida, por medio de apropiadas técnicas, de afloramientos, trincheras, tajos, labores y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confianza inciertas.



La categoría de inferido tiene la intención de informar situaciones donde una concentración y ocurrencia de mineral ha sido determinada, y se ha completado limitadas mediciones y muestreos, pero donde los datos son insuficientes para permitir la continuidad geológica y de ley, sea interpretado confiablemente. Comúnmente sería razonable esperar que la mayoría de los recursos minerales inferidos pudieran pasar a ser recursos minerales indicados con una exploración continua. Sin embargo, debido a la incertidumbre del recurso mineral inferido, no se asumirá que tal cambio siempre ocurrirá.

La confianza en la estimación de recursos minerales inferidos usualmente no es suficiente como para permitir que los resultados de la aplicación de los parámetros técnicos y económicos sean usados en un planeamiento detallado. Por esta razón no hay relación directa entre un recurso inferido y alguna categoría de reservas minerales.

La estimación de este recurso se basa también en la continuidad asumida o de repetición de evidencias geológicas favorables que a continuación se dan:

- a) Diagramas de curvas de isovalores
- b) Aislados sondajes.
- c) Áreas de influencia de recursos indicados o de reservas probables.
- d) Indicios de buena valorización en afloramientos con muestreos muy espaciados en trincheras, labores, tajos, etc.

#### **a.4 Mineral Potencial**

Es aquella parte de un yacimiento mineral cuyo tonelaje y ley puede ser estimado con bastante bajo nivel de confianza menor que el del recurso mineral inferido. Su estimación se basa mayormente en el conocimiento geológico del yacimiento, es decir



muchas veces no depende de la exposición directa de la mineralización económica, sino de indicaciones indirectas tales como:

- a) Presencia de recurso mineral inferido en cuya extensión puede dimensionarse
- b) Curvas de isovalores y rangos verticales de mineralización que se extiendan fuera del recurso inferido
- c) Controles lito estructurales
- d) Anomalías geofísicas y geoquímicas que se correlacionan bien con la geología superficial
- e) Relación con minas vecinas o estructuras cercanas mineralizadas desarrolladas, etc.

Muchas veces su estimación depende de la información geológica y del muestreo de los afloramientos, que sin tener valores de mena o marginal, tienen: óxidos de fierro, ensambles y alteraciones favorables, valores anómalos interesantes y estructuralmente sean de interés y correlación con anomalías geofísicas y geoquímicas. En este caso se puede asumir la presencia de mineral potencial en profundidad con mineralización económica y marginal.

A veces se les dimensionan a partir de los afloramientos de estructuras, cuyos muestreos arrojan bajos valores, pero anómalos, pero estructural y mineralógicamente interesantes, y a la vez sean paralelas a otras estructuras de similares características mineralógicas y estructurales en superficie, las cuales fueron ya reconocidas suficientemente y cuentan con reservas y recursos. Entonces el bloque de mineral potencial se ubicará debajo de los afloramientos con anomalías y tendrá el mismo rango vertical de las reservas + recursos de las estructuras paralelas ya determinadas, y estará a una profundidad similar que el de las reservas y recursos de esas estructuras y no se estimará la ley. En este caso se tiene que asumir la profundidad de óxidos de fierro.





En los casos que se delimiten en la extensión del recurso mineral inferido la altura de los bloques puede ser igual a la altura de dicho recurso, siempre y cuando no se tenga un criterio geológico que de otra altura (curvas de isovalores, interpretación geoestadística, profundización de estructuras, etc.). En este caso la ley será de los recursos minerales inferidos correspondientes.

Cuando se estima a partir de afloramientos cuyos muestreos muy espaciados dan valores de interés económico, la altura media desde superficie del bloque correspondiente, puede ser igual a la longitud de la mineralización de interés o igual a la altura de la mineralización de estructuras vecinas que contienen reservas y recursos, salvo otros criterios geológicos den otra altura. La ley será el promedio de los afloramientos correspondientes.

Ocasionalmente puede dimensionarse a partir de un sondaje muy aislado. En este caso si la estructura es angosta y en forma de rosario en los que los clavos mineralizados son verticales o subverticales, se dimensionan bloques potenciales a partir del sondaje, con anchos igual al promedio de anchos de los clavos mineralizados conocidos, y altura igual a la mitad del promedio de las alturas de los clavos respectivos.

No hay mineral potencial con valores de submarginal ni de baja ley.

## **B. Reservas minerales**

Es la parte de un yacimiento mineral, cuya explotación es posible o razonablemente justificable desde el punto de vista económico y legal al momento de su determinación. Para su estimación se considera haberse llevado a cabo evaluaciones apropiadas que podrían incluir estudios de factibilidad en los cuales se tiene en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, ambientales, de mercado, sociales y



gubernamentales. En la estimación se incluye solamente mineral recuperable y diluido, expresado en tonelaje y leyes.

El término “económicamente minable” implica que la extracción de las reservas minerales ha sido demostrada ser viable bajo razonables asunciones de inversión.

Por lo general se expresa en términos de mineral cuando se trata de mineral metálico. Normalmente, para la estimación de reservas minerales es necesario determinar una ley mínima explotable (Cut Off), cuyo cálculo está directamente justificada al costo total, resultados metalúrgicos, condiciones de comercialización y precio de los metales. Una vez determinado el Cut-Off, el yacimiento ya explorado y desarrollado se separa en bloques de mineral de acuerdo a su valor, certeza y accesibilidad, con lo que se definirán que bloques de una o varias estructuras mineralizadas constituyen las reservas minerales.

Las reservas minerales se clasifican de la siguiente forma:

### **b.1 Clases de reservas minerales según certeza**

De acuerdo a la certeza las reservas se clasifican como sigue:

#### **b.1.1 Reserva mineral probado**

Es aquella reserva cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un alto nivel de confianza. Su estimación se basa en una detallada y confiable información de exploración, muestreo y exámenes obtenida mediante técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, tajos, labores subterráneas y sondajes. Los tonelajes y leyes son estimados en base a los resultados de un detallado muestreo en los cuales las muestras y mediciones están estrecha y sistemáticamente espaciadas, y en donde las características geológicas están tan bien



definidas de modo que el tamaño, forma y contenido de las reservas están bien determinados.

En estas reservas no existe virtualmente riesgo de discontinuidad de la mineralización.

La categoría de reserva mineral probado implica el más alto grado de confianza y certeza en la estimación, con las expectativas consiguientes que se puedan formar los lectores del informe.

En caso de estructuras tabulares y cuerpos mineralizados elongados, cuando el yacimiento ha sido desarrollado mediante labores subterráneas, para la estimación de reservas, se separa en bloques de mineral. Puede haber bloques de uno (incluye afloramiento) o más caras muestreadas, el cual depende de la cantidad de labores con que se dimensiona cada bloque.

### **b.1.2 Reserva mineral probable**

Es aquella reserva cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un razonable nivel de confianza. Su estimación se basa en informaciones de exploración, muestreos y evaluaciones obtenidos mediante técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, tajos, labores subterráneas y sondajes. Los tonelajes y leyes son estimados en base a los resultados de las muestras que están más separados que en el caso de reservas probadas o inapropiadamente espaciadas como para confirmar la continuidad geológica y/o de ley, pero este espaciamiento es suficiente como para asumir dicha continuidad.

El grado de confianza y de certeza es lo suficientemente alto para asumir la continuidad, pero el riesgo de discontinuidad es mayor que el del mineral probado.



El coeficiente de certeza aplicable al tonelaje de la reserva mineral probable es más bajo que el de los minerales probados pero lo suficientemente alto para asumir su continuidad. Para los efectos de nuestras estimaciones se consideran entre 90% y 100%, siempre y cuando la altura del bloque sea igual que el del probado correspondiente; esto depende de la regularidad de la mineralización.

## **b.2 Clases de reservas minerales según el valor**

De acuerdo al valor las reservas minerales se clasifican como sigue:

### **b.2.1 Reserva mineral de mena**

Es una reserva mineral que siempre genera utilidades, cuyo valor excede todos los siguientes gastos:

- a) Costo de producción (incluye depreciación y amortización).
- b) Gastos de venta.
- c) Gastos administrativos.
- d) Gastos financieros.
- e) Regalías.

Se tiene que definir el Cut-Off para determinar los bloques de mena.

### **b.2.2 Reserva mineral marginal**

Es el mineral que forma parte de la reserva, que en el momento de su determinación bordea ser económicamente explotable. Este mineral, por sí solo no genera utilidades, pero si ayuda a generarla, al explotarse junto al mineral de mena, pues además los gastos de desarrollo, de infraestructura, de servicios, etc., ya son cubiertos por el mineral de mena.



Este mineral puede fácilmente convertirse en mineral de mena con mejoras en los parámetros económicos. Cubre el 90% de los costos de producción, el 100% de los gastos de venta y el 20% de los gastos administrativos y financieros, y también cubre las regalías correspondientes.

### **b.2.3 Mineral Submarginal**

Es aquel mineral no económico cuyo valor sólo cubre los costos de producción y las regalías correspondientes, por lo que no debe explotarse aún bajo mejores condiciones previsibles en el mediano plazo, porque su valor no alcanzaría a cubrir los otros gastos. Se requerirá variaciones favorables más allá de lo previsible en los parámetros económicos para transformarse en mineral económicamente explotable. Aunque puedan tener mayor grado de confianza, continuidad y de certeza, en su estimación, similares a los correspondientes a reservas probadas y probables, esto no es suficiente para considerarlas como reservas minerales, No hay mineral inferido ni mineral potencial para mineral submarginal.

### **b.2.4 Mineral de baja ley**

Es aquel mineral no económico cuyo valor es inferior al del mineral submarginal y cuyo límite mínimo es menor que el costo de producción.

No hay mineral inferido ni mineral potencial para este mineral

### **b.3 Clases de reservas minerales según accesibilidad**

De acuerdo a la accesibilidad las reservas se clasifican como sigue:



### **b.3.1 Reserva mineral accesible**

Es aquella reserva constituida por bloques minerales que han sido reconocidos y desarrollados por labores subterráneas (galerías, chimeneas, sub-niveles) y complementados por sondajes, que generalmente están listos para entrar a la etapa de preparación y su consiguiente explotación de mineral económicamente.

### **b.3.2 Reserva mineral eventualmente accesible**

Es aquella reserva que no se encuentra expedita para su inmediata explotación, y está constituida por bloques minerales que comúnmente se hallan en la parte inferior del nivel más bajo, alejados de labores de desarrollo, o con acceso truncado por derrumbes, bóvedas vacías, etc., por lo que, requieren la apertura de nuevas labores o de rehabilitación de las existentes antes de iniciar su preparación.

Estos minerales constituyen reservas pues las inversiones adicionales en desarrollo y rehabilitación (costos de desarrollo) para hacerlos accesibles, están cubiertos por el saldo entre el valor de dichos bloques y los costos totales.

### **b.3.3 Mineral Inaccesible**

Es aquel mineral cuya ubicación en el espacio es similar a lo indicado para el mineral eventualmente accesible, pero que la ejecución de las labores o rehabilitaciones para hacerlos accesibles es evidentemente muy costosa, de tal modo que el caso de bloques aislados, bloques que en conjunto son de poco tonelaje o los situados en zonas cuya explotación afectará a instalaciones cercanas, etc.

Este mineral no constituye reserva mineral, aunque su valor sea de mena o marginal; pero puede ser considerado un recurso mineral si el tonelaje es considerable



(con bloques no aislados), porque una subida de precios o bajada de costos podría hacer económico su explotación, en cuyo caso se convertiría en reserva mineral. Además, puede haber bloques submarginales y de baja ley inaccesibles, los cuales no constituyen ni reservas ni recursos minerales.

#### **2.5.14 Alteración hidrotermal**

La alteración hidrotermal es un término general que define la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. A pesar que la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

La característica fundamental de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal.



#### **2.5.14.1 Solución hidrotermal**

Se considera un fluido hidrotermal cuando el agua ya tiene unos 50°C. La alteración hidrotermal ocurre entre los 50°C a 500°C, a una temperatura crítica del agua (374°C) se habla de fase acuosa.

Existen muchas situaciones dinámicas geológicas por las cuales las aguas frías se calientan.

El agua atrapada en los poros de acumulación de sedimentos y en capas de minerales hidratados o hidroxilos empiezan a calentarse en la etapa de enterramiento.

Las soluciones hidrotermales también pueden generarse por la deshidratación de minerales hidratados durante el metamorfismo.

Para precipitar sulfuros desde la solución hidrotermal se tiene que estar el azufre presente en la solución, el azufre proviene de los magmas y una prueba de que los magmas contienen azufre son las fumarolas asociadas a los volcanes con contenido de azufre nativo en los alrededores de los orificios.

Para que se forme un yacimiento mineral debe existir;

- La fuente de los metales.
- Transporte o migración.
- Entrampamiento.
- Preservación.

#### **2.5.14.2 Ascenso y acumulación de los fluidos hidrotermales**

Separada la fase hidrotermal esta ascendería por medio del mismo sistema magmático, desde profundidades del orden de 2.0 a 2.5 Km., el ascenso la acumulación,





dispersión de los fluidos hidrotermales, estará controlado por condiciones de permeabilidad primaria y secundaria.

Cabe destacar que en etapas tempranas de intrusión sub volcánica el contraste de temperaturas entre intrusión roca hospedante es muy elevado.

En la medida que la roca hospedante es afectada por sucesivas intrusiones la temperatura asciende, provocando una anomalía isotérmica y desplazándose de esta forma las isothermas hacia la superficie.

#### **2.5.14.3 Tipos de alteración hidrotermal**

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. El mismo hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

Aunque esta nomenclatura simple se designa comúnmente, en realidad los minerales de alteración no se presentan individualmente, sino que forman ciertos grupos o asociaciones de minerales de alteración.

Es más práctico determinar las alteraciones hidrotermales por la asociación de minerales de alteración presentes en las rocas. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido.



## **A. Alteración Potásica**

Esta alteración se forma a una alta temperatura de 300°C a 500°C, mineralógicamente se observa reemplazamiento de plagioclasa por ortosa (feldespato potásico), reemplazamiento de hornblenda o clorita por biotita, muscovita. La alteración potásica se presenta en los yacimientos porfiríticos de cobre en el sur del Perú, asociados al Batolito de la Costa, como en Toquepala, Quellaveco, Cuajone, Cerro Verde, Santa Rosa, Cerro Negro. En los pórfidos de cobre en el norte del Perú en la franja sedimentaria mesozoica, como en Cerro Corona, La Granja, Michiquillay, Galeno, Minas Conga y otros pórfidos que actualmente se encuentran en plena exploración.

En los pórfidos de cobre en el centro del Perú, en la franja sedimentaria mesozoica de la Cordillera Occidental, entre ellos, Toro Mocho, Chancas, Antapacay (antiguamente Atalaya).

En este caso la zona de alteración hipógena, corresponde a la parte central del pórfido generalmente circular a ovoide, que representa el sector de mayor temperatura del pórfido rodeado concéntricamente con un anillo de sericitización o alteración fílica de menor temperatura, en la parte externa un anillo concéntrico de propilitización de menor temperatura que las anteriores.

Su reconocimiento es realizado por su ensamble mineralógico y por su posición dentro del área del afloramiento del pórfido de cobre. Físicamente el color y la estabilidad de la roca original no varía.

## **B. Silicificación**

Está representada por una fina diseminación de sílice en la roca encajonante debida al aporte de la solución mineralizante a una temperatura de 300°C a 500°C. Su



potencia de alteración varía de 0,1 m a 2,0 m; se observa adyacente a la caja de la veta, particularmente en vetas hidrotermales tipo cordillerano en los diferentes ambientes geológicos del Perú. En la mayoría de los yacimientos, la silicificación se observa con mayor frecuencia dentro de las vetas en clastos brechosos de la roca encajonante, este aspecto es más común.

En el Batolito de la Costa ocurren clastos silicificados entre Nazca y Ocoña. En la franja volcánica cenozoica, tenemos silicificación en las vetas de Casapalca, Venturosa.

En la franja sedimentaria mesozoica, existen clastos silicificados dentro de las vetas en varios distritos mineros, silicificación en vetas de rocas volcánicas del Pérmico en Morococha. En la Cordillera Oriental, ocurren clastos silificados dentro de las vetas en los yacimientos de oro del batolito de Pataz. En estos yacimientos la silicificación es de alta temperatura. En los yacimientos epitermales de disseminación de oro de baja ley en la franja volcánica cenozoica, explorados desde 1985 hasta la actualidad, tal como en Yanacocha (Cajamarca) y Pierina (Ancash) yacimientos disseminados de oro de alta sulfuración, en los que se observa volcánicos silicificados porosos conocidos como vuggy sílica, que se emplazan en la parte superior del yacimiento disseminado de oro hasta una profundidad de 50 m y 150°C de temperatura.

### **C. Sericitización**

Es conocida además como alteración fílica, es común en las vetas hidrotermales, como en Pasto Bueno (vetas de tungsteno, Ancash), en los pórfidos de cobre antes mencionados. Esta alteración se produce a temperaturas de 200°C a 300°.

Mineralógicamente se tiene sericita (muscovita fina) producida por alteración de los feldespatos. El ancho de alteración en las vetas varía de 0, 10 m a 2,0 m. En los



pórfidos de cobre se encuentra como una franja concéntrica rodeando al área de alteración potásica, la potencia de esta franja concéntrica está dada en función de la dimensión del pórfido, pudiendo ser dicho ancho del orden de centenares de metros. En los yacimientos diseminados de oro, a profundidad se observa una ligera sericitización. La sericitización se reconoce por su aspecto blanquecino, la cuchilla lo raya, es untuoso al tacto, algo brillante. La roca sericitizada, físicamente es blanquecina, es más incompetente por lo que se requiere sostenimiento en labores mineras subterráneas.

#### **D. Alunitización**

Mineralógicamente la alunita es un sulfato hidratado de aluminio y potasio, se forma de 200°C a 250°C. Se observa en cuerpos mineralizados de cobre formados por reemplazamiento hidrotermal en calizas en el distrito minero de Hualgayoc (Cajamarca), acompañado por argilización. Su presencia es mayor en los yacimientos diseminados de oro de Yanacocha (Cajamarca) y de Pierina (Ancash). La potencia de alteración varía de 0,10 m a 2,0 m en los cuerpos referidos. En los yacimientos diseminados de oro la distancia vertical varía de 10 m a 70 m, acompañado de manera subordinada por argilización.

Se reconoce por su coloración blanquecina, se raya con la cuchilla, y por la presencia de la alunita. La roca alunitizada es más clara, es una roca incompetente.

#### **E. Argilización**

Es una alteración hipógena común en yacimientos hidrotermales del Perú. Se caracteriza por la presencia de diferentes tipos de arcillas, las cuales se forman por la alteración de los feldspatos de las rocas enajenantes a temperaturas entre 200°C y 250°C.



La argilización se observa en estructuras filoneanas; en cuerpos mineralizados producidos por relleno y reemplazamiento de calizas por soluciones hidrotermales; en cuerpos tipo skarn con fracturas, fallas, brechas como un metamorfismo retrogresivo.

En las vetas varían de 0,10 m a decenas de metros. La argilización está presente en las vetas de los yacimientos de oro en el Batolito de la Costa entre Nazca y Ocoña.

En la franja volcánica cenozoica, la argilización aflora en las vetas tipo cordillerano, como en Madrigal (Arequipa), Pacococha (Lima), Hércules (Ancash). En vetas de plata en dicha franja volcánica, como en Santa Bárbara (Puno), Arcata, Cailloma, Orcopampa (Arequipa), San Juan de Lucanas (Ayacucho), San Genaro, Julcani (Huancavelica). En los yacimientos diseminados de oro de alta sulfuración se emplaza debajo de la alunitización en una distancia vertical de 10 m a 70 m.

En las vetas de la franja sedimentaria mesozoica, la argilización es común en los distritos mineros de Hualgayoc y Sayapullo (Cajamarca), en los distritos mineros de Raura, Morococha (Lima), Atacocha, Colquijirca (Paseo), Marta (Huancavelica).

En la Cordillera Oriental, la argilización se observa en el yacimiento filoniano de oro de Poderosa.

Su reconocimiento se realiza por la identificación de la arcilla diseminada, se raya con la cuchilla y es de coloración blanquecina. La roca argilizada es más clara y es menos competente.

## **F. Propilitización**

Es igualmente una alteración hipógena común en yacimientos hidrotermales del Perú. Esta presente clorita, epidota, calcita por alteración hidrotermal de los minerales



ferromagnesianos de la roca encajonante. Este tipo de alteración hipógena se produce en el rango de 180°C a 220°C.

La propilitización se aprecia en las estructuras filoneanas, en los pórfidos de cobre se emplaza en la parte externa de la alteración como fílica o sericítica, como otra franja concéntrica cuyo ancho es de varios cientos de metros.

En las estructuras filoneanas, se observa propilitización en las vetas de oro de Ocoña, en el Batolito de la Costa.

En la franja volcánica cenozoica, la propilitización está presente en las vetas de plata de Coriminas (Arequipa), en las vetas de plata de Santa Catalina (Lima) y en las vetas de plata de Millotingo (Lima).

En la Cordillera Oriental, la propilitización se observa en las vetas de los yacimientos de oro de Marsa y Horizonte (La Libertad), (Tumialán, 2003).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Para efectuar este proyecto de investigación fue necesario hacer el uso de diferentes materiales y equipos en cada etapa, tanto en campo y gabinete que a continuación se detallan.

- Laptop.
- Chaleco de geólogo.
- Libreta de campo.
- GPS.
- Brújula.
- Picota o martillo de geólogo.
- Flexómetro.
- Wincha métrica.
- Lápices de colores.
- Tablero.
- Cámara fotográfica.
- Lupa.
- Lápiz de dureza.
- Ácido clorhídrico.
- Bolsas de muestreo.
- Mochilas de muestreo.
- Talonarios de muestreo.



- Cinceles.
- Combas de 4 Lbs.
- Pintura y/o spray.
- Materiales para muestreo y otros.

### **3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación tendrá una metodología descriptiva y explicativa, mediante el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en las distintas fases durante la investigación.

**Planificación:** Formulación del Problema y los objetivos del proyecto.

#### **Etapas de revisión y recopilación de información**

Para realizar este proyecto de investigación se recopiló información bibliográfica de trabajos geológicos que se han realizado en la zona, la búsqueda de información consistirá en recurrir a diversas fuentes (bibliotecas, hemerotecas, planotecas, informes públicos y privados); así como la búsqueda de temas relacionados a las disciplinas geológicas a través de internet.

#### **Etapas de investigación en campo**

Esta etapa consistió en recolección de datos y análisis de todas las características a través de los siguientes trabajos:

- Mapeo geológico a escala 1:250 y 1:500 (mineralógico, litológico y estructural)
- Muestreo sistemático de labores de exploración.
- Perforación diamantina (LTK-48)





### **Etapa de laboratorio**

- Codificación de muestras
- Análisis de muestras

### **Etapa de gabinete**

- Análisis e interpretación de planos geológicos y todos los resultados del trabajo en campo.
- Elaboración e interpretación de sección transversal y plano de recursos y reservas minerales, para determinar la posición y el trayecto del flujo mineralizante.
- Logueo de testigos de perforación diamantina e interpretación.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 GENERALIDADES

Los yacimientos auríferos de Alpacay fueron conocidos en tiempos de la Colonia y posteriormente descubierta en el año 1,680 por los españoles, que establecieron en la zona una extracción intensa de oro, principalmente en las vetas Andaray, Encarna y Alpacay.

Minera Yanaquihua S.A.C. UP Alpacay es un Yacimiento aurífero, mesotermal, filoniano, relacionado con la mineralización aurífera en rocas intrusivas de las superunidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca Ocoña que alberga innumerables minas y depósitos en vetas angostas como Arirahua, San Juan de Chorunga, Chalhuane, Las Clavelinas, María Eugenia, entre otros.

##### 4.1.1 Ubicación

Minera Yanaquihua SAC. Opera la unidad de producción Alpacay. Esta unidad políticamente se encuentra ubicada en la región Arequipa, provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua a 308 km por carretera al Nor Oeste de la ciudad de Arequipa - Perú. (Ver lamina N° 02).



**Tabla 3:** Coordenadas UTM (PSAD 56) (zona 18L)

VÉRTICE	ESTE	NORTE
01	714,500	8'248,500
02	714,500	8'256,250
03	726,000	8'256,250
04	726,000	8'248,500

FUENTE: Elaboración Propia.

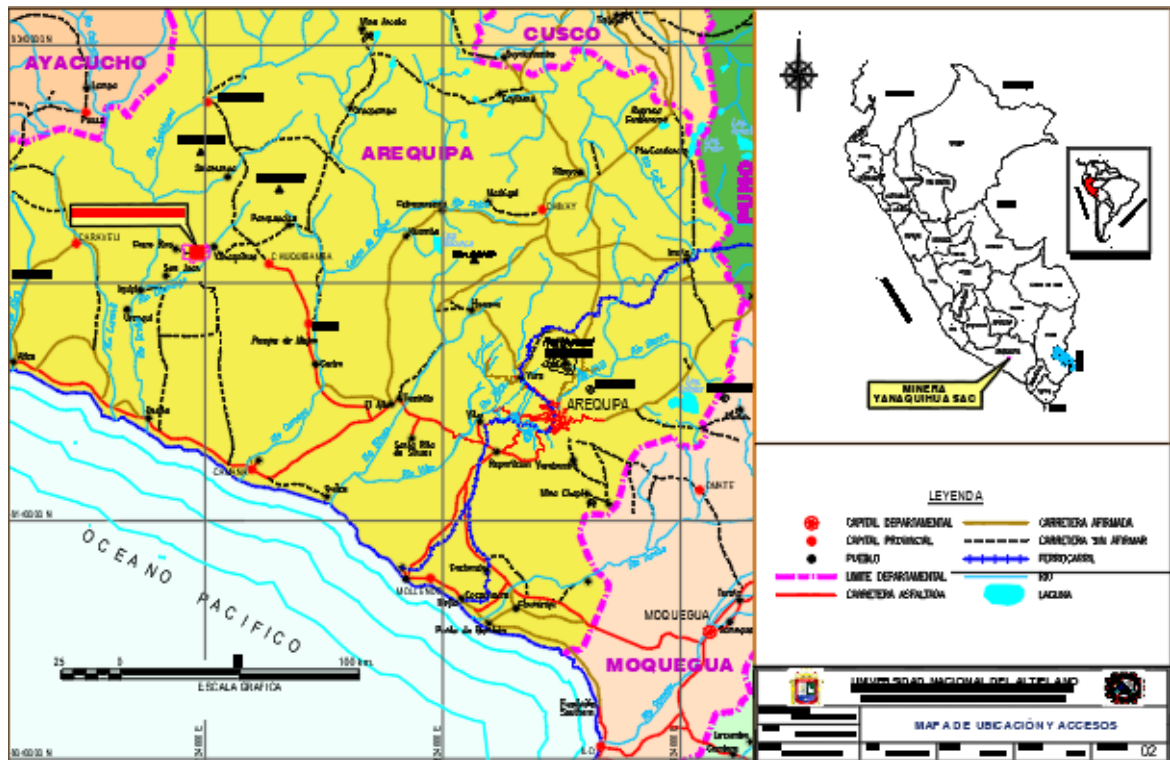
#### 4.1.2 Accesibilidad

El acceso principal a Minera Yanaquihua se puede realizar a través de las siguientes vías (Ver tabla 4).

**Tabla 4:** Vías de acceso

RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Horas)	TIPO DE VIA
Arequipa-Corire (valle de Majes)	154.00	3.0	Carretera Asfaltada (Panamericana sur)
Corire – Chuquibamba	73.00	1.5	Carretera Asfaltada
Chuquibamba – Yanaquihua	61.00	2.0	Carretera Afirmada
Yanaquihua – Campamento	20.00	0.5	Carretera Afirmada
<b>Total</b>	<b>308.00</b>	<b>7.0</b>	

FUENTE: Elaboración Propia.



**Figura 6:** Mapa de ubicación y accesos

FUENTE: Elaboración propia

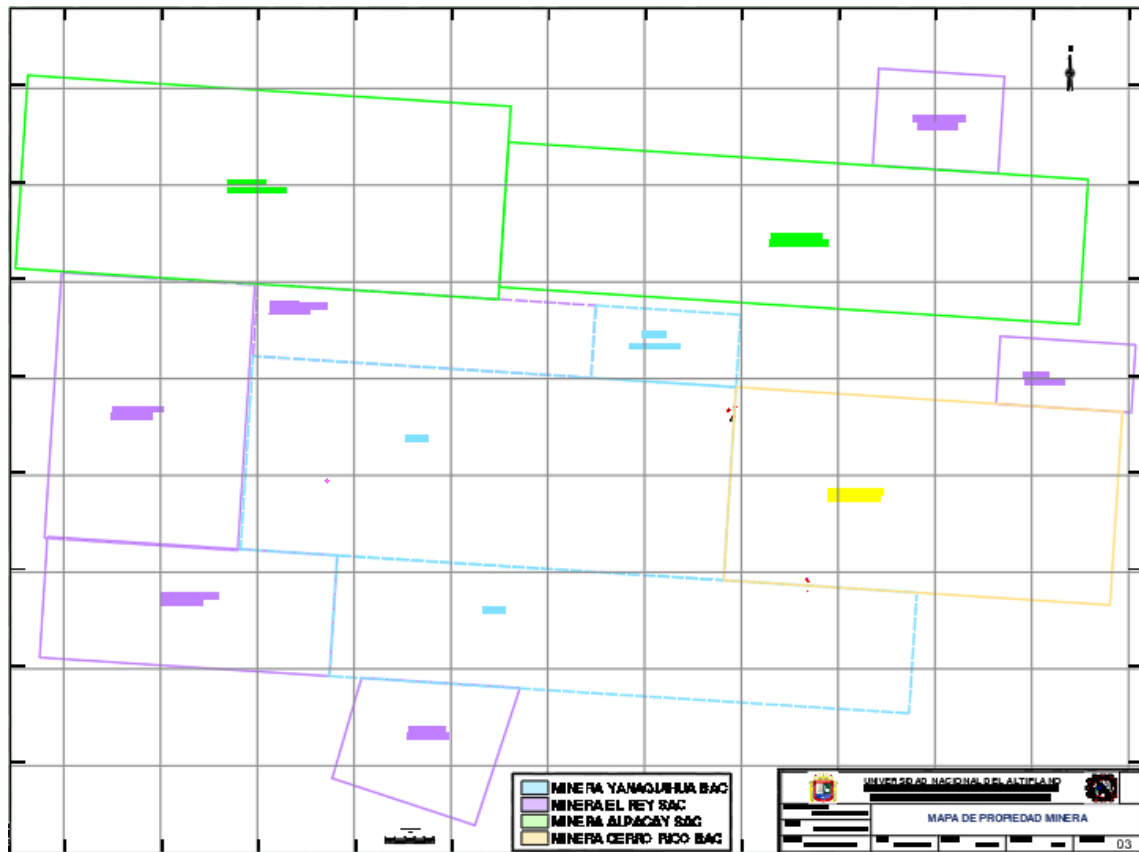
### 4.1.3 Propiedad minera

Minera Yanacocha S.A.C. UP Alpacay es propietario de 6,184 hectáreas; conformada por las concesiones siguientes:

**Tabla 5:** Concesiones de Mysac.

CONCESIONES	HECTARIAS
MINERA YANAQUIHUA	1839.1
MINERA EL REY SAC	1646.5
MINERA ALPACAY SAC	1898.8
CERRO RICO SAC	799.6
<b>TOTAL</b>	<b>6,184.00</b>

FUENTE: Elaboración Propia.



**Figura 7:** Propiedad minera

FUENTE: MYSAC.

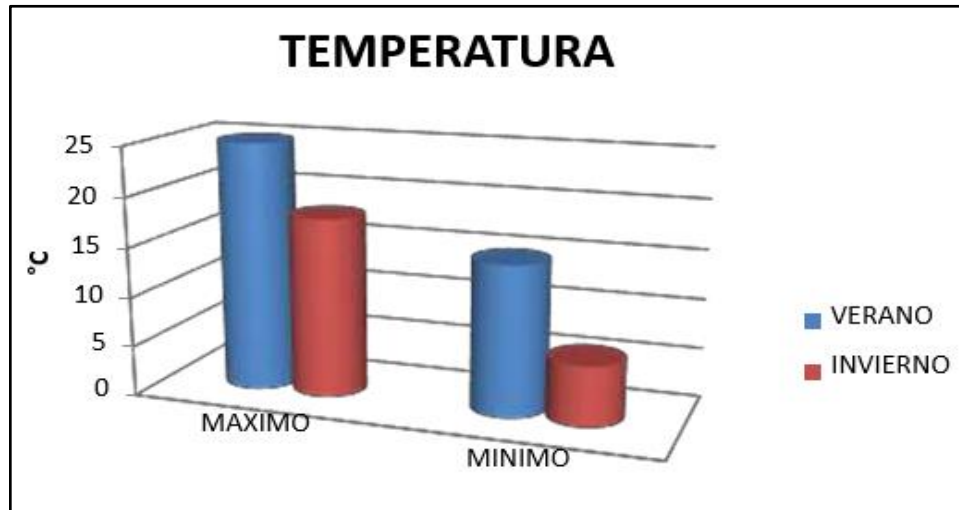
#### 4.1.4 Clima y vegetación

En el área que comprende el proyecto tanto el clima como la vegetación varía de acuerdo a la altitud, el clima es del tipo desértico, de tal modo que la vegetación es casi nula, el clima es per-árido y semi-cálido, propio del clima sub-tropical costanero.

La temperatura media anual registrada en la estación meteorológica de Ispacas es 12.7 °C. El mes más caluroso del año con un promedio de 25 °C es febrero. El mes más frío del año con 6 °C es el mes de julio. Esta información meteorológica es obtenida de la información publicada por SENAMHI La variación de la temperatura es:

- Máxima en Verano: 25°C
- Mínima en Verano: 15°C

- Máxima en Invierno: 18°C
- Mínima en Invierno: 6°C



**Figura 8:** Diagrama de temperatura

FUENTE: SENAMHI.

La vegetación aumenta en los periodos de lluvia (enero, febrero, marzo), y está constituida de cactus, pequeños arbustos, helechos en forma reducida, se observa claramente en Alpacay y Chiuca que se encuentran algunos árboles frutales, eucaliptos. La actividad humana tiene mayor desarrollo en los valles hasta una altitud de 3,800 m.s.n.m. en donde los pobladores se dedican a la agricultura y ganadería.

## 4.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario y a los procesos tectónicos que ocasionaron el alzamiento y hundimiento de bloques. La denudación fluvial es probablemente post Barroso, así como el fracturamiento de los volcánicos han controlado la morfología actual.



La estructuración de la superficie terrestre es una continua lucha entre las fuerzas endógenas y exógenas y por la continua interacción entre movimientos tectónicos, meteorización, erosión y sedimentación. La geomorfología que presenta la zona se encuentra comprendida dentro de la unidad morfoestructural de la Cordillera de Occidental de los Andes. (Ver ANEXOS, Mapa Geomorfológico Local-Lámina N ° 04)

#### **4.2.1 Factores o agentes geomorfológicos**

El relieve terrestre está en constante evolución o modificación mediante una serie de procesos geomorfológicos ya sea constructivos o destructivos, durante el tiempo geológico y lo agrupamos en cinco factores:

- Litológico.
- Hydroclimáticos.
- Tectonismo.
- Vulcanismo.
- Antrópicos.

#### **4.2.2 Unidades geomorfológicas**

Dentro de las unidades geomorfológicas se puede clasificar en tres sistemas:

##### **4.2.2.1 Sistema volcánico**

Son geoformas de gran pendiente o elevación considerable; constituida por una cadena de cerros, originados por la edificación tectónica y volcánica.



La acumulación de material heterogéneo e inconsolidado está constituido por cantos, arenas, limos y arcillas se encuentran considerados como depósitos de pie de monte.

#### **4.2.2.2 Sistema fluvio - aluvial**

Son depresiones de la superficie de forma longitudinal definidas por la acción del agua corriente y que se van profundizando y ensanchando durante el desarrollo de las quebradas o valles.

Los depósitos de materiales de grava y arenas que han sido transportados por los corrientes de agua van contribuyendo el ascenso de la masa continental.

#### **4.2.2.3 Sistema antrópico**

Comprende la construcción de viviendas rurales, obras de bienestar social, y asimismo en la zona se desarrolla la ganadería y agricultura, dependiendo básicamente de las condiciones climáticas.

La construcción de las vías es inducida por el hombre la cual forma parte de modificación geomorfológico, es decir las trochas carrozables, los caminos de herradura y otros.





**Figura 9:** Unidades geomorfológicas

### 4.3 GEOLOGÍA LOCAL

Localmente, el contexto geológico que abarca desde el litoral hasta la Cordillera Occidental se caracteriza por presentar amplias exposiciones de rocas intrusivas y volcánicas, las cuales sus edades abarcan desde el Paleozoico Inferior hasta el cuaternario reciente.

Las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa están cubiertas por toda la secuencia estratigráfica están las unidades de rocas volcánicas lávicas y tufáceas del Cuaternario.



### 4.3.1 Estratigrafía

#### 4.3.1.1 Formación moquegua superior (ts-mo ± 23 m.a.)

Esta formación de origen continental fue estudiada por J. Adams. 1906 y posteriormente por Steiman, en 1930; quien la subdividió en dos miembros: Superior e Inferior.

Los componentes de esta formación son de origen continental y está constituido por depósitos clásticos, los cuales se han depositado a lo largo de una depresión de considerable amplitud, entre las estribaciones andinas y la Cordillera de la Costa.

Sus elementos litológicos son de variada composición, tanto en sentido vertical como horizontal, presentándose en capas y lentes irregulares; factores por lo que se le considera de origen continental, en el que predominó periodos de intensas y copiosas lluvias y una erosión muy acentuada, lapso en el cual hubo actividad volcánica (derrames alternados), habiendo sido erosionados y transportados por las aguas posteriormente.

Se halla en la zona de Encarna, próxima al Cerro Tiquimbro, donde los estratos que lo constituyen se extienden en forma subhorizontal.

El contacto inferior se observa en inconformidad con el cuerpo intrusivo y en la parte superior infrayace en discordancia al volcánico Sencca.

Conglomerados, algunos mantos de tufos riolíticos, con un ancho variable. De una coloración diversa, debido al intemperismo, generalmente de color gris verdosa, estos tufos se intercalan con areniscas tufáceas, lodolitas y areniscas, con lentes de conglomerados; presenta una potencia de 15 m. aproximadamente.



Su edad se determina por correlación estratigráfica regional, debido a la ausencia de fósiles. Si consideramos que esta formación aflora en forma continua en la faja Costanera Sur Peruana, donde se observa que se ubica entre el Volcánico Toquepala; del Cretáceo-Terciario Inferior (Cuadrángulo Punta de Bombón – Cledesí 1963), y el Volcánico Sencca del Plioceno (Cuadrángulo de Mollendo y La Joya 196B), se llega a la conclusión que su edad varía de fines del Mioceno al Plioceno.

#### **4.3.1.2 Volcánico sencca (ts-vsen ± 6.2 m.a.)**

En la zona se hacen presentes las rocas volcánicas, representadas por el Volcánico Sencca, presentándose en forma de pequeños afloramientos aislados, cubriendo directamente las rocas del Batolito de la Costa.

Es de edad Terciario Superior, (Plioceno), fue estudiado por Salvador Mendivil en 1965, quien le asigna ese nombre; son rocas volcánicas de naturaleza tufácea.

Este volcánico se expone en el Cerro Chiuca, Cerro Apacheta y Cerro Tiquimbro cubriendo en parte las rocas del batolito de la costa.

Litológicamente está constituido por tufos de composición dacítica o riolítica, de color gris claro y rojizo, poseen textura homogénea con una cohesión apreciable, macroscópicamente se han determinado los siguientes minerales:

- Fenocristales de cuarzo
- Plagioclasa sódica
- Ortosa
- Mica
- Matriz afanítica



Se presenta al N-E de la Bocamina de Cerro Rico, en la quebrada de Chiuca y al N-W de la intersección de la quebrada Chifle y de la quebrada de Sesirne, el espesor es variable, va desde pocos metros hasta 50 m.

Al volcánico se le denomina una edad de 3.5 Ma entre el Plioceno Medio a Superior, fue estudiado por Salvador Mendivil en 1965, quien le asigna ese nombre; son rocas volcánicas de naturaleza tufácea.

#### **4.3.1.3 Volcánico barroso (qpl - vba ± 1.30 m.a.)**

La asignación de Formación Barroso fue dada por Wilson y García (1962), a un conjunto volcánico estudiado en el cuadrángulo de Palca; posteriormente S. Mendivil (1965) lo considera como Grupo y lo describe como una serie de derrames piroclásticos y coladas lávicas cuyos afloramientos se presentan conformando conos, cúpulas irregulares y bancos de posición horizontal y sub horizontal.

La formación Barroso en el área del presente estudio está representada por volcánicos que afloran al N - W de la planta de la unidad minera Yanaquihua, en la quebrada Sambullay con un espesor aproximado de 20m.

Estos se encuentran en inconformidad Erosional sobre el volcánico Sencca y se caracteriza por presentar una litología formado por lavas andesíticas de color verdoso y textura porfídica, riolitas de color marrón textura afanítica y de ignimbritas de color marrón claro.

Unidades similares se encuentran en los cuadrángulos de Moquegua, Tarata y se le ha dado una edad Plio-pleistocénica (Wilson y García 1962).



#### **4.3.1.4 Depósitos clásticos recientes (qh-al)**

Bajo esta denominación se conoce al conjunto o mezcla de rocas no consolidadas que han sido conformadas por elementos aluviales, coluviales, fluviales y eluviales.

Litológicamente están compuestas por acumulaciones de arcilla, limo, gravas, arenas aluviales, eluviales, material detrítico, depósitos de pie de monte, etc.

Dichos depósitos recientes se observan en las desembocaduras de las quebradas de toda la zona de Estudio y alrededores.

#### **4.3.2 Rocas intrusivas plutónicas (ks-ti/gd, ks-in/to)**

En toda la zona en general y en áreas circundantes afloran las rocas intrusivas filonianas, siendo su distribución amplia. Los tipos de rocas que afloran, están representados por granodiorita, tonalita, sienita, etc.

Los diques andesíticos - dacíticos que se encuentran intrusionando a la diorita-granodiorita, son de grano fino (afanítica) a veces porfirítico, presentando potencias variables; están relacionadas a la mineralización.

##### **4.3.2.1 Tonalita (Ks-in/to 95 m.a.)**

Constituye una roca magmática, intrusiva, plutónica leucócrata, holocristalina, fanerítica, de grano grueso, es una roca saturada, se encuentran como pequeños cuerpos homogéneos y están generalmente asociados a granitos, granodioritas y dioritas, está delimitado por pequeños diques ácidos.

Compuesto por plagioclasas y cuarzo, en menores proporciones feldespato potásico, minerales ferromagnesianos de biotita, hornblenda y minerales accesorios tipo



epidota. La textura es porfirítica, de forma euhedral a sub-euhedrales. Un pequeño intrusivo tonalítico se emplaza al Sur Oeste del campamento de Alpacay.

#### **4.3.2.2 Granodiorita (Ks-ti/gd 60 m.a.)**

Que gradualmente pasa a tonalita y diorita de acuerdo al porcentaje de cuarzo que va disminuyendo al igual que el contenido de ortosa que es menor en las rocas con poco índice de cuarzo. Presenta una textura fanero-cristalina con un 30% de minerales oscuros (roca leucócrata) con colores grises parduscos en superficie intemperizada y grises blanquecinos en superficie fresca, textura granítica. Sus minerales son observados macroscópicamente, puesto que se presentan grano medio a grueso y van de subhedrales a euhedrales; los componentes mineralógicos que se aprecian son:

- Cuarzo
- Plagioclasa
- Biotita
- Hornblenda
- Ortosa

Algo de epidota en superficie de intemperización en donde ha existido alto grado de erosión.

Esta roca está conformando las cajas de los sistemas de vetas y en algunas zonas ha sido afectada por diversas alteraciones como propilitización, seritización, argilización, etc.

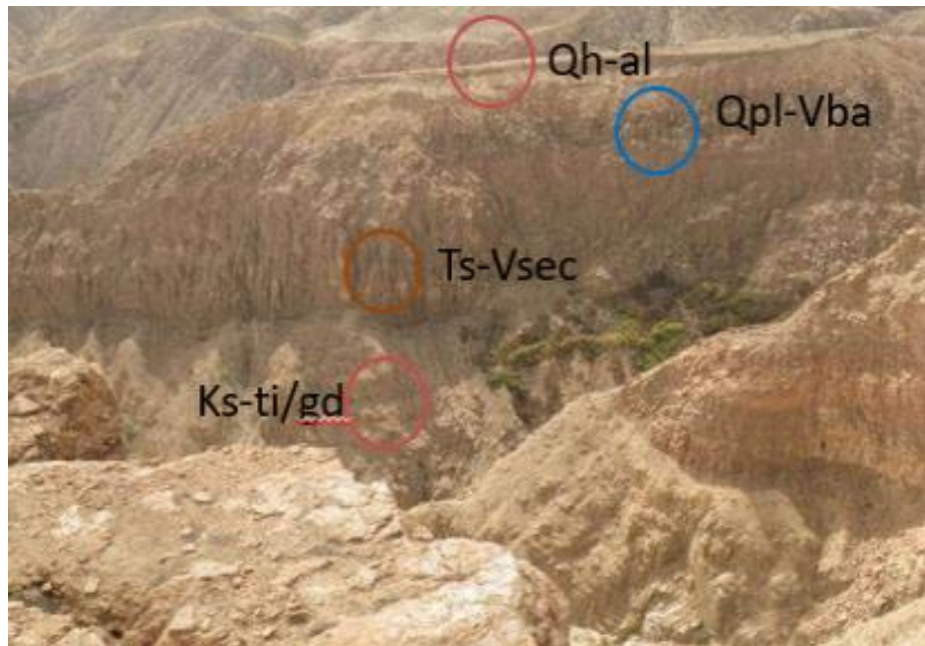


### **4.3.3 Rocas intrusivas hipoabisales**

#### **4.3.3.1 Andesita (P-An 23.0 - 60.0 m.a.)**

En la zona de estudio se ha podido determinar rocas intrusivas hipoabisales, conformando diques de composición andesítica de longitudes y anchos variables, de direcciones NW y E-W e inclinaciones al NE o SW, se encuentran intruyendo a la granodiorita, son de textura afanítica, se presentan relacionadas con la mineralización.

Estos diques lamprofídicos según Shand, son considerados como rocas mesócratas a melanocráticas, (de acuerdo al color), en su mayor proporción presenta minerales oscuros, constituye una roca volcánica de composición intermedia, con contenido de plagioclasa y minerales ferromagnesianos de biotita, hornblenda y piroxenos, con cristales de plagioclasa dentro de una matriz de granos de minerales finos o vidrio, presenta una tonalidad gris verdosa claro. Se emplazan con direcciones casi paralelas entre sí, ocasionalmente están asociados a estructuras mineralizadas de oro, ha sufrido una fuerte alteración propilítica presentando tonalidades verde opacos, en las zonas de mineralización se comporta como cajas de las vetas. La edad de estos diques han sido determinadas entre 23.0 y 60.0 m.a, y se encuentran cortando tales rocas y han sido afectadas por la erosión que dio el relieve de erosión sobre la cual se depositaron las capas inferiores del grupo Moquegua del Terciario Superior, por lo expuesto se le asigna una edad del Terciario medio.



**Figura 10:** Unidades litoestratigráficas visibles.



EON	ERA	PERIODO	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	SÍMBOLO	POT.(m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depositos: Aluviales	Q-AI	15		Depositos aluviales conglomerados y guijarros sub redondeados, arenas, gruesas y limo.		
				Eluviales	Q-EI					
				Coluviales	Q-Co					
		NEOGENO	PLEISTOCENO	VOLCANICO BARROSO	Estrato volcan Coropuna	NQp-ba	20		Tobas daciticas a riodaciticas.	
						Discordancia erosional				
						PLIOCENO				Fm. Sencca
Discordancia angular										
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Super Unidad Tiabaya Super Unidad Incahuasi	Ka-ti/ga Ks-ln/fo	?		Andesita Granodioritas, tonalitas del batolito de la costa color blanco rosácio. Superunidades Tiabaya, Incahuasi.			
								MIOCENO	Fm. Moquegua Superior	Nm-mo

**Figura 11:** Columna estratigráfica local

FUENTE: MYSAC.

(Ver ANEXOS, Mapa Geológico Local-Lámina N° 05)

#### 4.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El área comprendida entre Chuquibamba y San Juan, en el que se circunscribe el Yacimiento Alpacay, muestra fuertes lineamientos de orientación NW similares al sistema de fallas Iquipi – Clavelinas (Orogenia Andina). Una de estas fallas sería la gran Falla Chuquibamba mencionada en el estudio de Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi.

Transversal al sistema anterior existe un sistema de fallamiento local de orientación NE-SW, sistema al que está relacionado la zona metalífera de Alpacay. Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero han jugado un rol importante en la conformación del ambiente estructural receptor de la mineralización.

Las vetas se alinean a 2 sistemas estructurales importantes. Uno tiene un rumbo N70°-80°E mientras que el otro sistema muestra un alineamiento N70°-80°W; ambos sistemas se entrecruzan en forma de X sin producir mayor desplazamiento entre ellos. y un tercer sistema N45°E. En las vetas se observa más de un evento hidrotermal que ha dado lugar a rellenos mineralógicos sobrepuestos. (Ver ANEXOS, Mapa Estructural Local- Lámina N° 06)

##### 4.4.1 Sistemas de estructuras y clavos mineralizados

Se han reconocido hasta 3 sistemas de estructuras, una tiene rumbo N70°-80°W, otra conjugada N70°-80°E y una tercera tiene N45°E. En el Sector de Esperanza, existen sistemas de estructuras que no habían sido interpretados con claridad, pero su comprensión podría ayudar a evitar que las exploraciones y desarrollos dejen de lado la estructura principal y que sigan vetas secundarias o splits de poca significancia.



Tradicionalmente se ha creído que las vetas de la zona Esperanza tienen una orientación  $N70^{\circ}W$  con cambios a E-W y a veces incluso a NE. Se creía que de esta veta se desprendían una serie de splits que a veces se encontraban enriquecidos. Un análisis más detallado de las estructuras, su mineralización, y sus inflexiones ha permitido establecer que en Santa Teresita existen 2 sistemas estructurales bien marcados, uno de orientación  $N75^{\circ}W$  y otro conjugado de orientación  $N75^{\circ}E$ . Ambos sistemas se entrecruzan sin producir mayor desplazamiento entre ellos a la manera de una “X” con su eje mayor en dirección N-S.

Otro sistema de fallas menor tiene un rumbo  $N 30^{\circ}- 40^{\circ} E$  donde se emplazan las vetas Rivera, Huáscar, San Fernando, María Jesús y El Rey. El encuentro de los 2 sistemas estructurales predominantes se produce por lo general sin desplazamiento; los clavos mineralizados se encuentran en ambos sistemas estructurales.

El caso más interesante es el de la veta Despreciada donde existen los 2 sistemas y los clavos de ambos se entrecruzan. Una situación similar ocurre en la veta Silvana donde ocurren igualmente los 2 sistemas sin embargo no se ha explorado los clavos más allá de su intersección.

Por otro lado, es fácil pasar de un sistema a otro sin percatarse de ello, sin explorar la “X” completamente, separando porciones importantes de la veta sin investigar. Esta observación es importante porque los clavos mineralizados se encuentran en ambos sistemas de estructuras. Al parecer la ocurrencia de 2 sistemas estructurales en las vetas de Esperanza, en forma de X, son similares a las fallas conjugadas que ocurren entre dos fallas principales de rumbo en el modelo de Riedel (1929).

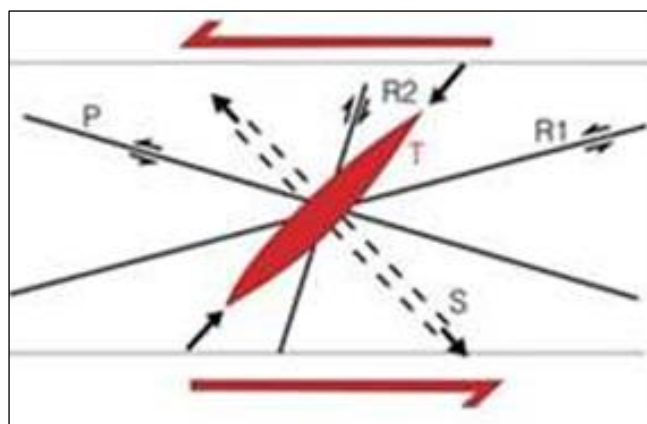
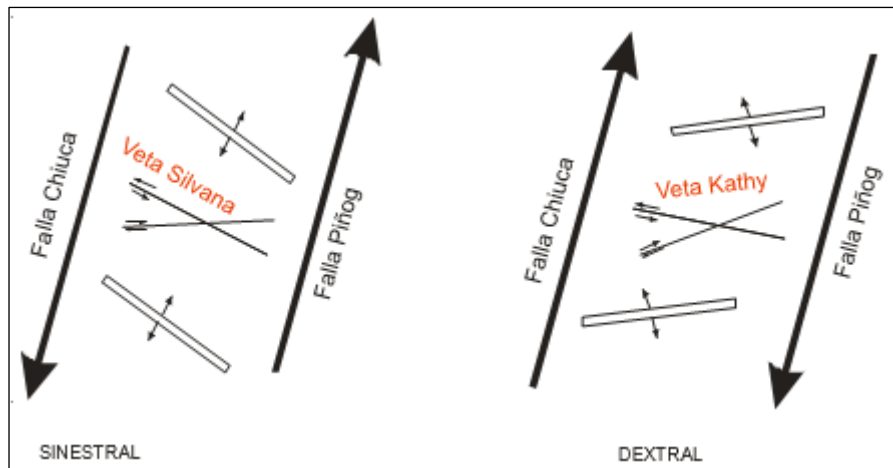


#### 4.4.2 Sistema riedel (1929)

Según Riedel las estructuras tectónicas a causa de dos fallas de rumbo (fallas principales) son:

- 1.- Fallas conjugadas (dextral o sinistral) las fallas que corren entre los dos sistemas principales.
2. Estructuras de compresión: Cabalgamientos, fallas inversas.
3. Estructuras de distensión: Diques, vetas, fallas normales, graben y horts.

En nuestro caso las 2 fallas de rumbo principales serían las fallas Chiuca y Piñog. Entre ellas se forman las vetas conjugadas en forma de X en la zona de Consuelo por eso es importante evaluar cada estructura más allá de las intersecciones de los 2 sistemas, tal como se ve en la figura 12. La consecuencia de esta observación es que probablemente, se han omitido porciones importantes de estructuras que van a ser investigadas con perforación diamantina.



**Figura 12:** Sistema de fallamiento local, sistema Riedel

FUENTE: MYSAC.

## 4.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 4.5.1 Control de calidad

En el yacimiento aurífero MYSAC, el “control de calidad” es una actividad mediante el cual se dirige y supervisa estrictamente el proceso productivo de la mina a fin de obtener productos metálicos comerciales con valor económico. Esta actividad incluye el desarrollo y explotación en mina y el tratamiento en planta. En este caso nos vamos a referir a la parte correspondiente a geología en la etapa de desarrollo y explotación.



Esta etapa el muestreo tiene un rol importante en el “control de calidad” en relación al mineral extraído, explotado y beneficiado. En este caso para que el trabajo sea efectuado eficientemente es necesario discutirlo y coordinarlo entre los departamentos de geología, minas y planta.

Comúnmente hay discrepancias y oscilaciones entre la ley del mineral producido y la ley que reporta la planta de procesos, motivo por el cual esta implementado un Control de Calidad en la mina por tratarse de un yacimiento aurífero irregular.

A continuación, se muestran puntos resaltantes del proceso de control de calidad realizados en la unidad Alpacay.

**Precisión.** - La habilidad de repetir consistentemente los resultados de una medición en condiciones similares. Vinculadas a errores aleatorios, su elevación exige reproducir la medición en condiciones tan cercanas como sea posible a las existentes en el momento en que tuvo lugar la medición original.

**Exactitud.** - La proximidad de una medición a un valor “real” o aceptado como “apropiado”. El concepto de exactitud está indisolublemente vinculado al valor real.

**Contaminación.** - Al preparar o analizar algunas muestras, particularmente las muy mineralizadas, es posible que cierta porción de una muestra o de una solución quede retenida accidentalmente en el equipo y contamine las siguientes muestras.

Teniendo en cuenta que en los yacimientos de Au y/o Ag, el Au pueda presentarse muy fino o también grueso, debe implementarse “Control de Calidad” en operaciones mineras de la empresa que aún no la tienen, o si la tienen, mejorarlos para lo cual se tendrá en cuenta:



- Preparar los protocolos de muestreos por canales de mina (ya que en todos los yacimientos auríferos filonianos se emplea este método), muestreo de canchas y muestreo de lotes (volquetes), enviados a planta de procesos.
- Establecer procedimientos para verificar altas leyes, erraticidad del muestreo.
- Protocolos de preparación de muestras, en cuya área, la muestra está generalmente expuesta a contaminación.
- Evaluar los diferentes procesos en la mina: labores del personal de geología, muestreo, control del marcado de tajos, control de la dilución.
- La responsabilidad de la sección de control de calidad estará a cargo de un Geólogo, quien hará el seguimiento y control de los procesos planificados (muestreos en tajos, labores de exploraciones y desarrollos, preparación, canchas y otros). Él procesará las muestras de los tajos y determinará en coordinación con los Geólogos de Sección y el Jefe de Departamento las partes del tajo que serán enviadas como mineral. Realizará labores de control de dilución en el terreno de modo que el personal de mina explote dentro de la dilución estimada para cada tajo, para lo cual se tendrá en cuenta la estabilidad de las cajas considerando el buzamiento de la veta, fallas, inclinación de los taladros, etc.

#### **4.5.1.1 Muestras de control de calidad**

Son aquellas muestras que se insertan en los lotes de muestras, que se envían al laboratorio para su análisis, con el objetivo de detectar y controlar los errores de los procesos de muestreo y remuestreo en el laboratorio, preparación mecánica y análisis de muestras geoquímicas.

**Muestras Gemelas.** - Se obtiene al dividir nuevamente a la mitad las muestras de medio testigo, de modo que un cuarto representa la muestra original, y otro cuarto representa la muestra gemela; ambas muestras deben ser preparadas en el mismo laboratorio y analizadas con diferente número en el mismo lote. Las muestras gemelas se usan para evaluar el error del muestrero.

**Muestras Blancos Gruesos.** - Son muestras de material estéril, con granulometría gruesa, que deben ser sometidas a todo el proceso de separación en conjunto con las demás muestras ordinarias, puesto que deben ser preparadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas. Los blancos gruesos permiten evaluar si se produce contaminación durante la preparación.



**Figura 13:** Muestreo especial en labores



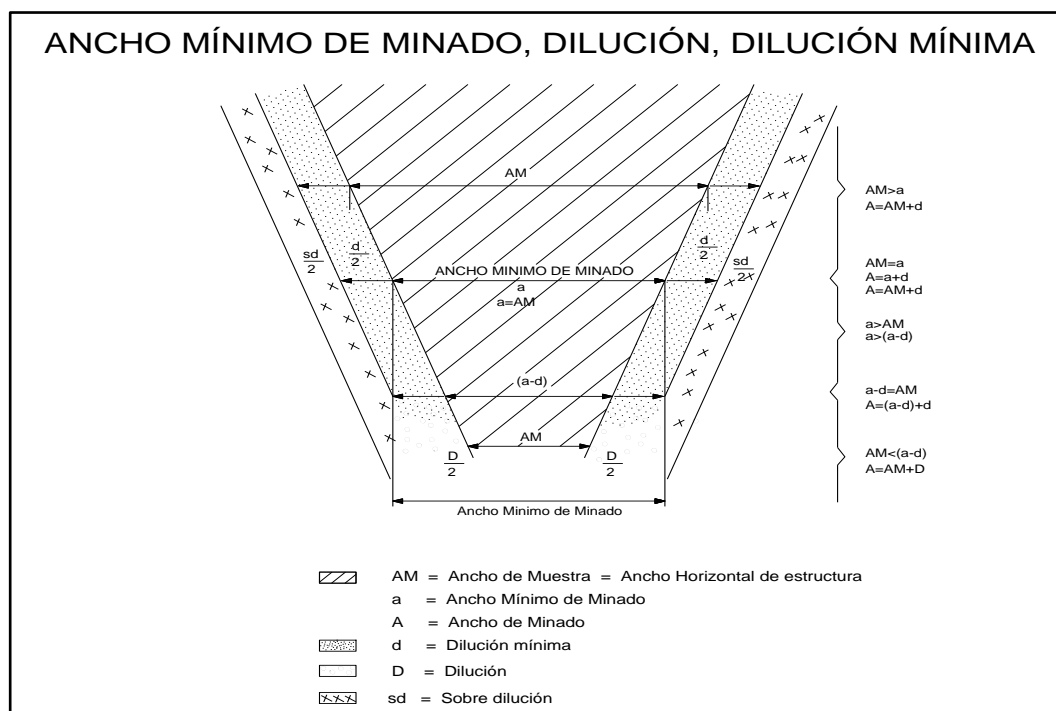
#### 4.5.1.2 Normas en control de calidad

##### Ancho de minado

Durante la explotación de una estructura mineralizada, de acuerdo al método de explotación que es el de corte y relleno ascendente, el tipo de equipo que se usa y la dilución en que se incurre, se tiene un ancho de minado.

El ancho de minado también denominado ancho mínimo de minado, es aquel que permite el minado en un ancho lo más angosto posible de manera que el colaborador o el equipo puedan accionar libremente durante la explotación. Ya que mucho depende del ancho de la estructura mineralizada y del equipo que se usa.

En MYSAC, el ancho mínimo de minado es de 0.30 metros, debido a las estructuras angostas, este ancho mínimo de minado ha sido propuesto y aprobado entre las áreas operativas (geología, mina, planeamiento).



**Figura 14:** Características de minado

FUENTE: Elaboración propia



## **Dilución mínima**

Dilución es la cantidad de material estéril que necesariamente se mezcla con el mineral de mena durante la explotación. Hay siempre una “dilución mínima”, la cual ocurre cuando la mezcla inevitable de material pobre al explotarse una estructura cuyo ancho es mayor o igual que la diferencia entre ancho mínimo de minado y dicha dilución.

Esta dilución mínima depende de la potencia de la estructura y de la naturaleza de las rocas cajas. En las rocas cajas deleznable o brechadas habrá mayor dilución.

En MYSAC, la dilución mínima es de 0.05 metros, debido a las estructuras angostas y el equipo que emplean para la explotación deterioran las rocas cajas (perforadora neumática), esta dilución mínima de minado ha sido aprobado entre las áreas operativas (geología, mina, planeamiento).

## **Marcado de áreas mineralizadas y control de dilución**

Con la información de las leyes de muestras de canales y/o puntos, el personal de control de calidad debe marcar en los tajos el contorno de los límites económicos de la mineralización, para que, en base a esto, los perforistas de minas orienten mejor su perforación para disparos, considerando, además, la orientación de los taladros de acuerdo a los buzamientos de las estructuras y contactos. Por ningún motivo se perforará fuera de los contornos ni con otra inclinación diferente al buzamiento.

De esta manera se evitará una sobre dilución. Además, se pintará en las paredes del tajo las leyes promedias por sectores o tramos, todo esto, a fin que la dilución sea mínima.



**Figura 15:** Marcado de estructuras

#### 4.5.2 Muestreo

El muestreo en minería, es una de las actividades más importantes y necesarias para el Ing. geólogo, quien, en base a los resultados de los ensayos de las muestras, evalúa si un yacimiento es económicamente explotable o no. Procesando los resultados de muestreo se planea y controla una adecuada exploración, explotación y tratamiento metalúrgico. Un muestreo cuidadoso y preciso garantiza los resultados de los ensayos obtenidos para el cálculo de reservas. En la etapa de exploraciones, la evaluación de los resultados del muestreo conjuntamente con una buena interpretación geológica permita obtener la bondad de un yacimiento y su consiguiente exploración. De manera similar para adquirir o vender un yacimiento que esté en explotación o exploración, se hará una buena evaluación de las reservas, lo cual dependerá mucho de un muestreo confiable, porque un mal muestreo o muestras contaminadas conllevarán a definiciones desastrosas.

La ejecución de Muestreo conlleva a una organización del personal de muestreos, con la participación de geólogos y la implementación de equipos. En el proceso de la



toma de muestras, desde su ejecución hasta obtener los resultados de los análisis respectivos, participan desde el ayudante de muestrero (Maestro Muestrero, Capataz de Muestreo, Geólogo de Sección y Geólogo de Control de Calidad) hasta el Jefe de Departamento de Geología o el Jefe de Brownfield, o Jefe de Proyectos de Exploraciones Greenfield.

Proyecto Brownfield es aquel que se encuentra dentro de un radio de 30 Km de una mina en producción; y proyecto Greenfield es aquel que se encuentra fuera de ese ámbito. (Ver ANEXOS, Plano de muestreo sistemático -Lámina N° 07)

#### **4.5.3 Métodos de muestreo**

Los métodos de muestreo que se utilizan dependen del tipo de yacimiento, principalmente de la forma: Vetas, mantos, cuerpos mineralizados, pórfidos, etc. Entre los métodos de muestreo que comúnmente se usan por la forma de las estructuras mineralizadas que se tiene en el yacimiento aurífero.

##### **A. Muestreo por canales**

Este método de muestreo se usa prácticamente en todas las minas del Perú, cuando se trata de vetas definidas, angostas y también irregulares con o sin orientación de la mineralización. Es el de más uso para la estimación de reservas, por lo que todo muestrero, primero debe dominar su aplicación.

El método consiste en extraer muestras en canales rectangulares previamente marcados en el terreno, en forma transversal al rumbo de las estructuras continuas o cuerpos elongados a intervalos regulares. En el caso de MYSAC. el canal, además de ser transversal a la estructura, debe ser horizontal en cualquier tipo de labor subterránea o afloramientos o en trincheras de afloramientos cubiertos, a excepción de mantos donde el

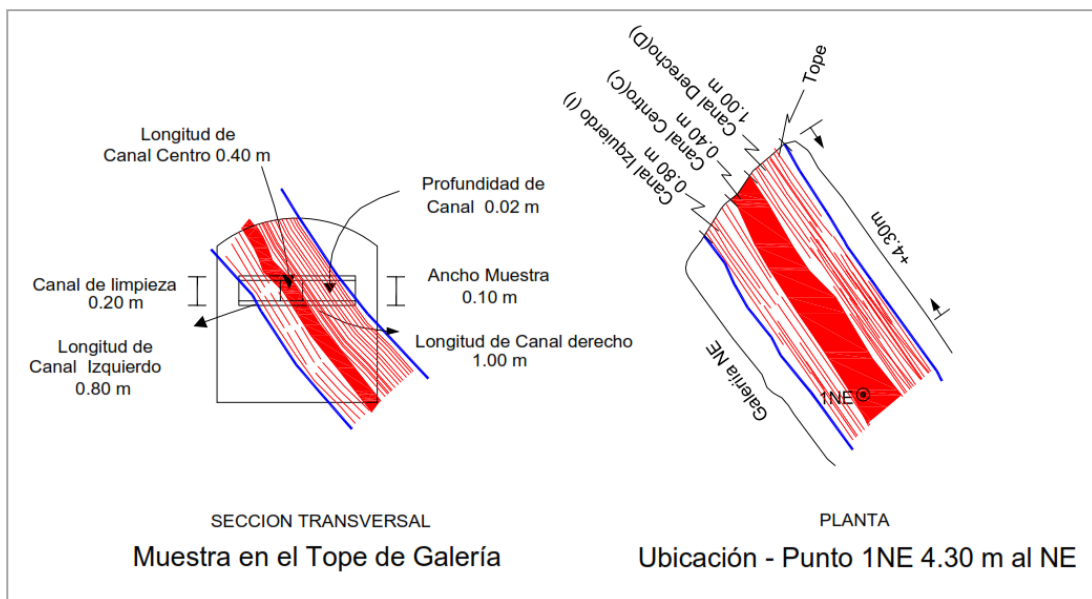
canal debe ser vertical, así como en las zanjas (trincheras en canchas) o pozos que se hacen en canchas nuevas o antiguas.

### Dimensiones.

Las dimensiones del canal dependerán del tipo de mineralización y del ancho de la estructura, pudiendo tenerse más de un canal contiguo en una misma ubicación.

En mineralización de oro, las dimensiones de las muestras de canales serán:

Ancho:	Canal de limpieza	0.45 m
	Canal de muestreo (mínimo)	0.10 m
	Canal de muestreo (máximo)	0.40 m
Profundidad de canal:	Mínimo	0.02 m
	Máximo	0.05 m
Longitud de canal:	(Máxima)	1.00 m
	(Mínima)	0.10 m
Peso mínimo/m:	2.0 Kg.	

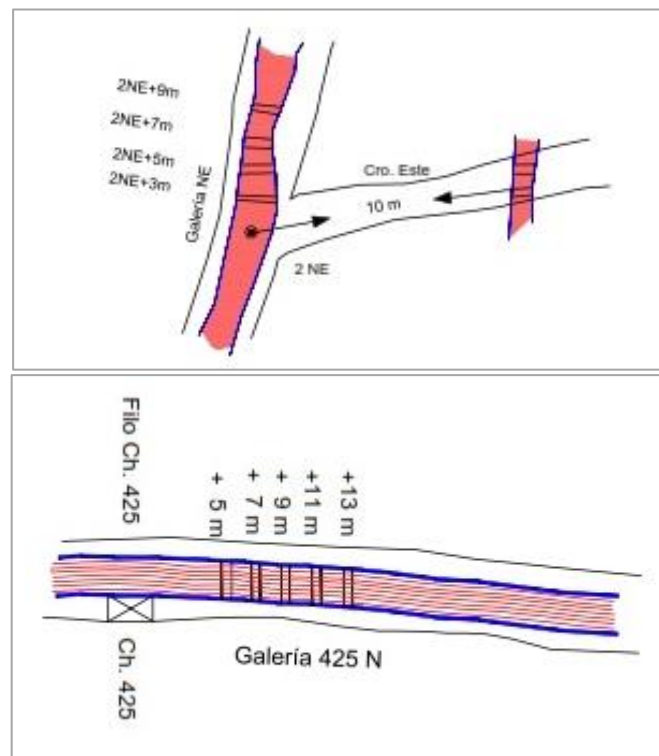


**Figura 16:** Muestreo por canales

FUENTE: Elaboración Propia

## Ubicación.

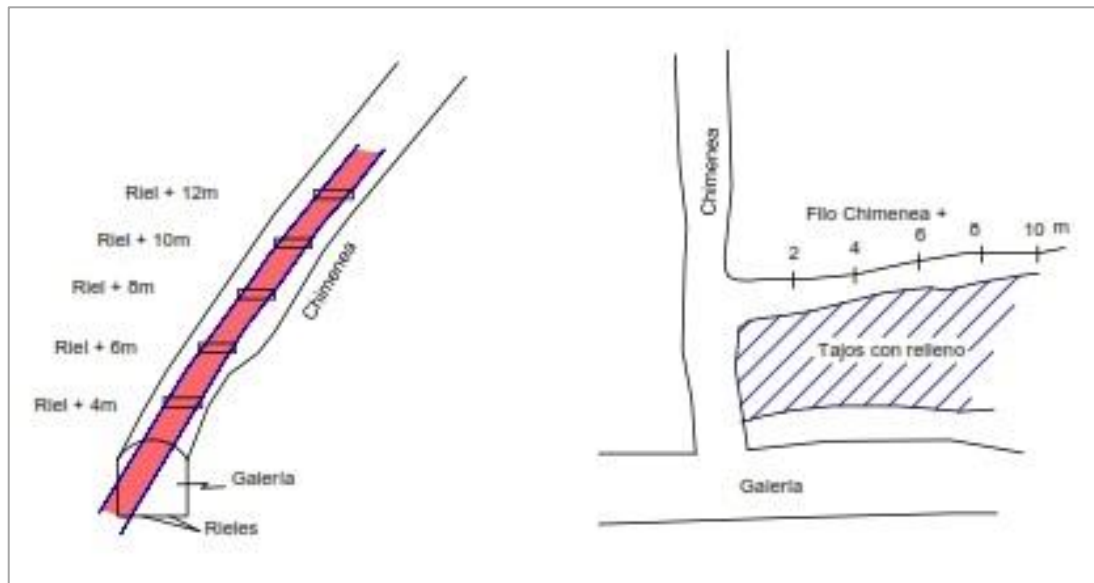
La ubicación de los canales en galerías y cruceros debe estar referido a puntos topográficos. En caso que no se tenga esta información, las referencias serán las chimeneas, etc.



**Figura 17:** Ubicación de canales en galerías y ventanas

FUENTE: Elaboración propia

En las chimeneas las ubicaciones de los canales están referidos al techo de labor, filo riel, piso de labor. En tajos la referencia será un echadero o una chimenea de acceso, pero además se mide la altura de la corona con levantamiento a brújula.



**Figura 18:** Ubicación de canales en chimeneas y tajos

FUENTE: Elaboración propia

En el caso de ventanas, las referencias pueden ser el inicio desde una galería, by pass, etc. En muchas ocasiones por el mal terreno en mina no es posible tomar muestras en ninguna labor porque se ponen mallas, cuadros, etc., lo que limita el muestreo. En este caso la información de ensayos se obtiene mediante el muestreo de los frentes y de sondajes debidamente espaciados.

### Espaciamiento

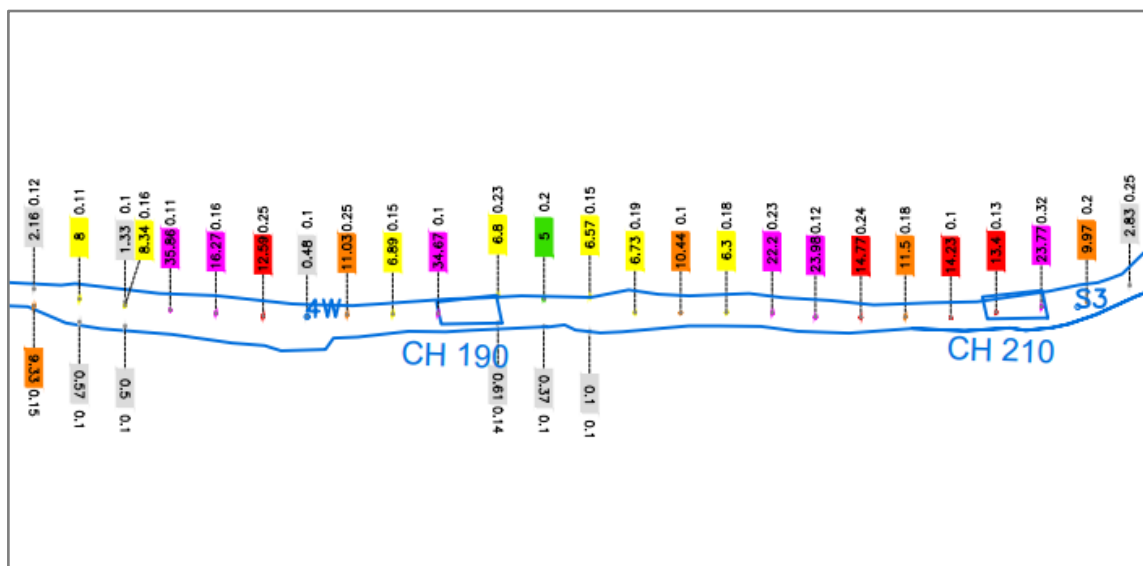
Es el intervalo de distancia entre canales. Depende de la regularidad de la mineralización y del tipo de labor. En MYSAC. se ha establecido un espaciamiento de 2.00 metros en todas sus labores tales como: galerías y chimeneas que siguen sobre estructuras mineralizadas, en caso de que la mineralización sea irregular y angosta los canales tendrán un espaciamiento de 1.00 metro.

En general, en estructuras con bandas de diferente mineralización, el canal debe ser HORIZONTAL y se subdividirán en varios canales, debiendo tener cada división una longitud mínima de 0.10 metros y máximo de 0.40 metros en galerías.

En chimeneas la ubicación de canales (también horizontales) es en ambas caras de la labor. En este caso el espaciamiento es cada 1.00 metro, pero los canales estarán intercalados entre los de una cara con respecto a la otra.

En cruces (cortadas) y ventanas se toman uno o más muestras contiguas en ambas paredes si la estructura tiene un ancho mayor a 0.10 metros si la estructura tiene bandas con diferentes características se realizan canales contiguos en todo el ancho de la estructura.

En los tajeos, el espaciamiento entre canales se ha establecido en 2.00, se efectuará el muestreo cada dos o tres cortes, y hasta un máximo de dos cortes en mineralización irregular.



**Figura 19:** Espaciamiento de canales en galerías

FUENTE: Elaboración propia





## **B. Muestreo por puntos**

El método de muestreo por puntos es aquel que se emplea muchas veces tanto en superficie como en labores subterráneas, para muestrear vetas de mineralización irregular y/o con mineralización diseminada o irregular, en los cuales no se observan alguna distribución orientada de la mineralización. El muestreo por puntos, muchas veces se utiliza para muestrear las cajas de las estructuras mineralizadas cuando hay diseminaciones o venilleo irregular de mineral.

### **Dimensiones**

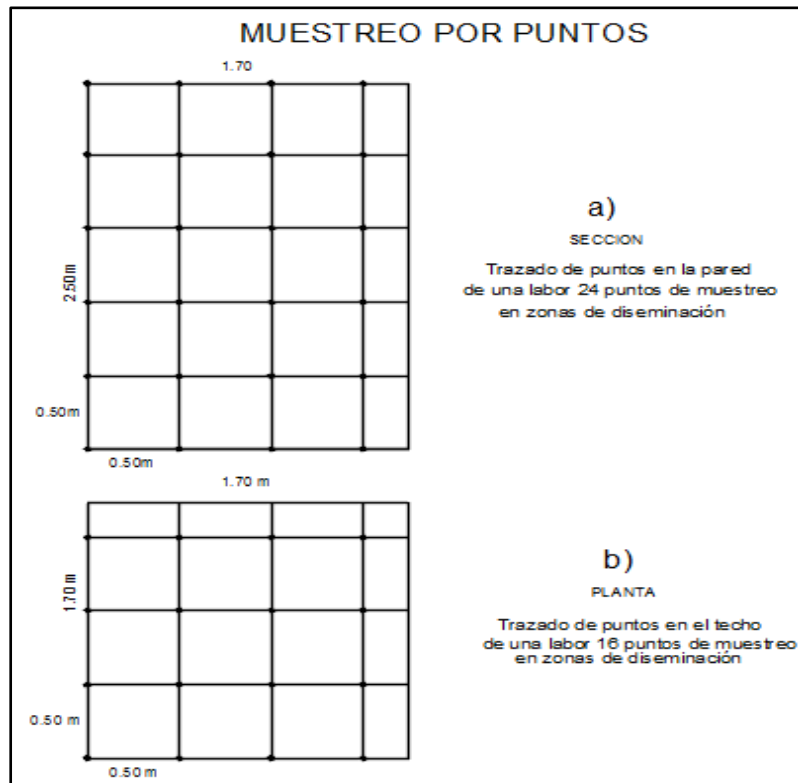
La dimensión para este tipo de muestreo es definida según el área de mineralización, específicamente se emplea en la prospección superficial del yacimiento que contenga estructuras diseminadas o alteraciones asociadas a las vetas que tengan un ancho mayor a 5.00 metros, para el muestreo se definirá la orientación de la malla apropiada.

### **Ubicación**

En el muestreo de estructuras mineralizadas y las alteraciones en superficie, la ubicación se realiza en columnas que se orientan en sentido del rumbo de la estructura y otras se disponen perpendicularmente a la orientación de la estructura formando una especie de malla, en labores subterráneas se realiza de la misma manera en las paredes y en el techo de labor

## Espaciamiento

Los reticulados de columnas se realizan de acuerdo a la dimensión de la estructura mineralizada pudiendo ser desde 0.50 X 0.50 metros hasta 1.00 X 1.00 metros, este espaciamiento es para muestreo en superficie y labores subterráneas.



**Figura 20:** Muestreo por puntos

FUENTE: Elaboración propia

### C. Muestreo por astillas (Chip Sampling)

Este método se aplica mayormente en superficie cuando se trata de estructuras anchas poco definidas, de manera muy preliminar en una prospección. Es de carácter estrictamente referencial por su extracción rápida en forma discontinua, y se hace para tener una idea si hay anomalías interesantes en el prospecto con miras a efectuar trabajos a más detalle. No sirve para evaluar un yacimiento ni para hacer programas posteriores

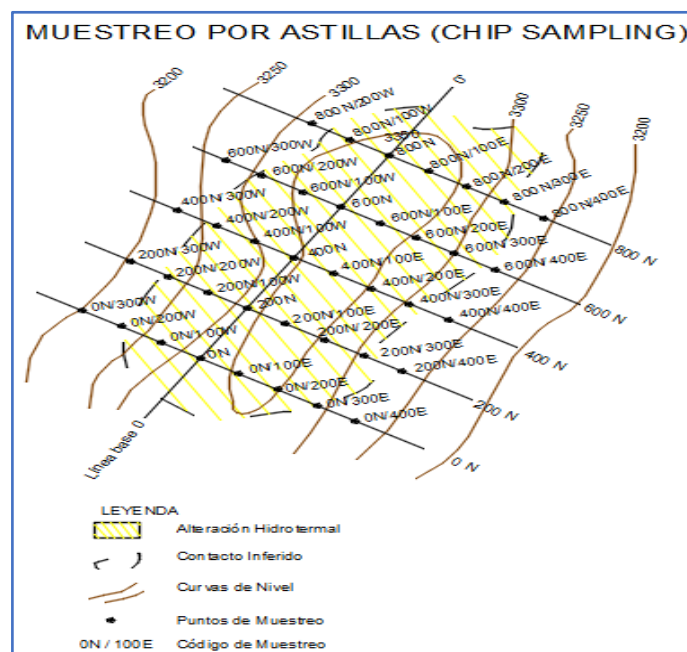
de sondajes ni otro tipo de exploración. Sería un error descartar un yacimiento con sólo esta información. En labores subterráneas se usa ocasionalmente en zonas de alteración y estructuras con venilleo. Consiste en extraer fragmentos de material a lo largo de una línea que cubre transversalmente a la estructura. El mismo representa al eje de un supuesto canal de muestreo.

## Ubicación

Para ubicar las muestras en labores subterráneas se utilizan los puntos y detalles topográficos y para el muestreo en superficie se usa el GPS o puntos de referencia. Para representar en planos se plotea los puntos en las líneas correspondientes, ubicando las separaciones de las muestras.

## Espaciamiento

El espaciamiento y orientación de este método de muestreo para superficie y labor subterránea dependen del criterio geológico.



**Figura 21:** Muestreo por astillas (chip)

FUENTE: Elaboración propia



#### **D. Muestreo por perforación (Drill Sampling)**

Es un método que consiste en la ejecución de sondajes para tomar muestras en estructuras mineralizadas mediante el uso de máquinas de perforación con brocas diamantinas para obtener testigos a la vez sirven para obtener información geológica.

En la perforación diamantina se obtendrá muestras cilíndricas (testigos de perforación).

##### **Muestreo de testigos**

Los testigos de perforación diamantina son estudiados detalladamente desde el punto de vista geológico, luego de lo cual se escogen los tramos mineralizados o los de interés para análisis geoquímicos. La perforación diamantina se hace para evaluar grandes y pequeños depósitos desde superficie o interior mina (vetas, cuerpos, mineralización diseminada, etc.)

Los testigos de perforación, previamente registrados desde la óptica geológica, son separados en tramos de acuerdo a sus características mineralógicas, estructurales y/o de alteración. Los tramos de interés que deben ser escogidos para los análisis correspondientes constituyen las muestras. Cada tramo se cortará por la mitad cuidadosamente a lo largo del testigo con una cortadora de discos diamantados. Cuando los testigos tienen diámetros menores a 1" se debe enviar toda la muestra al laboratorio previa toma de la fotografía correspondiente.

Una de las mitades, que viene a ser la muestra, se llena en doble bolsa de plástico y se etiqueta con el número del talón respectivo, para luego sellarla y enviarla al laboratorio analítico para su análisis convencional o geoquímico. Algunas veces se toman pequeñas muestras para estudio microscópico, antes de efectuar la preparación para el



envío el cortador de muestras debe limpiarse después de cada tramo. La otra mitad se queda como archivo. Cuando hay caballo entre tramos mineralizados, siempre debe marcarse la muestra de esos caballos.

La confianza de los resultados, depende de la recuperación y el corte apropiado del testigo.

### **Ubicación**

La ubicación de las muestras de testigos corresponde a la distancia que se mide desde el inicio del agujero de perforación hasta el tramo correspondiente (estructura interceptada).

La ubicación de la muestra siempre se plotea, tanto en la sección del sondaje como en la sección longitudinal de la estructura mineralizada correspondiente. Puede ubicarse en el espacio, en el caso de modelamiento obtenidos por software determinados.

### **Dimensiones**

La longitud máxima de muestra será de 0.50 metros y la mínima de 0.10 metros. En ambos casos las longitudes estarán de acuerdo a las variaciones de la mineralización (similar al muestreo por canales).



**Figura 22:** Muestreo de testigos diamantinos.

#### 4.5.4 Paragénesis y zoneamiento del yacimiento

El orden cronológico de deposición mineral se conoce como la secuencia paragenética o paragénesis de un depósito mineral, mientras que la distribución espacial se conoce como zoneamiento

**Paragénesis.** - Se han definido tres épocas principales de mineralización que son:

- 1) Chalcopirita-molibdenita-cuarzo
- 2) Pirita-cuarzo-oro,



3) Pirita-cuarzo-calcita oro-chalcopirita, esfalerita-galena.

El ensamble de Cu-Mo es anterior a la mineralización aurífera.

**Zoneamiento.** - Se ha identificado una variabilidad lateral (zonación) de norte a sur en las ocurrencias de Au y Cu en las estructuras mineralizadas, al norte se observa mayor presencia de óxidos de cobre y valores bajos en oro, al sur la presencia de óxidos de cobre disminuye notablemente así también los valores de oro aumentan progresivamente.

Referente a la zonación vertical se tiene poca información, pero algunos indicios de movimiento en bloques en la veta Huáscar exponen la siguiente secuencia: niveles someros ensambles de hematita-gohetita-jarosita-sílice, seguido una zona mixta de ensambles de hematita-gohetita, pirita-calcopirita y neotocita-covelita-óxidos de manganeso; finalmente se observa un ensamble de magnetita-pirita-calcopirita-covelita (sulfuros primarios, mayor profundidad).

1) Ensamble calcopirita, molibdenita, cuarzo, anterior al cuarzo - oro



**Figura 23:** Ensamble mineralógico. 01

2) Ensamble Pirita, cuarzo – oro



**Figura 24:** Ensamble mineralógico. 02

3) Ensamble. Pirita-cuarzo-calcita oro-chalcopirita, esfalerita-galena. (Veta de cuarzo, pirita, hematita junto a caja techo).



**Figura 25:** Ensamble mineralógico. 03





#### 4.5.5 Análisis petrográfico

Se realizó análisis en secciones pulidas a tres muestras representativas y se obtuvo los siguientes resultados:

- ✓ Los porcentajes de los minerales se obtienen por estimación visual con patrones gráficos y están considerados en volumen
- ✓ En algunos casos colocamos entre paréntesis la cantidad estimada del mineral antes de la alteración
- ✓ La siguiente es la lista de minerales presentes, así como de las abreviaturas usadas en las fotografías

Cuarzo	$\text{Si O}_2$	qz
Ortosa	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	or
Plagioclasa	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	pl
Anfíbol		anf
Hornblenda	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5 \text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	hb
Sericita	Moscovita de grano microscópico	ser
Clorita	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	cl
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	mos
Biotita	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	bio
Zoisita	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	zs
Epídota	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	ep
Ortopiroxeno	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$	opx
Apatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$	ap
Esfena	$\text{CaTiSiO}_5$	esf
Calcita	$\text{CO}_3 \text{Ca}$	ca
Siderita	$\text{FeCO}_3$	sid
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	mg

#### 4.5.5.1 Muestra 1 (Intrusivo)

**Macroscopía.** - Ensamble de plagioclasa y masas de cuarzo milimétrico. biotita y hornblenda dispersas, magnetita en partes de la muestra y algo de material blanquecino pulverulento de alteración argílica.

**Microscopía.** - Asociación de cristales milimétricos de plagioclasa, cuarzo en granos policristalinos y ortosa intersticial en menores dimensiones. Hornblenda y biotita de pocos milímetros y magnetita asociada a estos y en ubicaciones intersticiales.

**Tabla 6:** Lista de minerales en muestra 1

Const. / %	Forma / tamaño	Características
<b>PRIMARIOS 91</b>		
Plagioclasa (58) 53	Euhedral 1 a 3 mm	Frecuentemente zonada, moderada sericitización.
Cuarzo 16	Cristales anhedrales ≤ 1 mm	Forma masas de hasta 6 mm, con cristales a veces subhedrales. Moderado tectonismo: cierta extinción ondulante y frecuentes fisuras muy finas.
Ortosa (12) 10	Anhedral < 2 mm	Moderada alteración a sericita. En parte posterior
Hornblenda 06	Euhedral e irregular 0,3 a 4 mm	En parte englobada por biotita. A veces remobilizada hacia fisuras de la roca,
Biotita 05	Subhedral < 4 mm	Escasamente reemplaza a Hornblenda, a la que también englobe.
Magnetita 01	Subhedral < 0,5 mm	Asociada a máficos, dispersa, tardía e intersticial
Apatito < 1	Acicular < 0,4 mm	Cristales incluidos en feldespatos.
<b>HIDROTERMALES 08</b>		
Sericita 08	Hojuelas microscópicas	Moderada alteración de feldespatos.
Carbonato < 1	Irregular microscópico	Siderita reemplaza a anfíbol y en menor proporción calcita reemplaza a plagioclasa
Clorita < 1	Irregular microscópico	Alteración incipiente de máficos.
Epídota < 0,1	Microgranular	Asociada a Hornblenda, magnetita y apatito.
Esfena < 0,1	Subhedral microscópico	Inclusión en Hornblenda con apatito.

FUENTE. MYSAC.

**Textura:** Granular

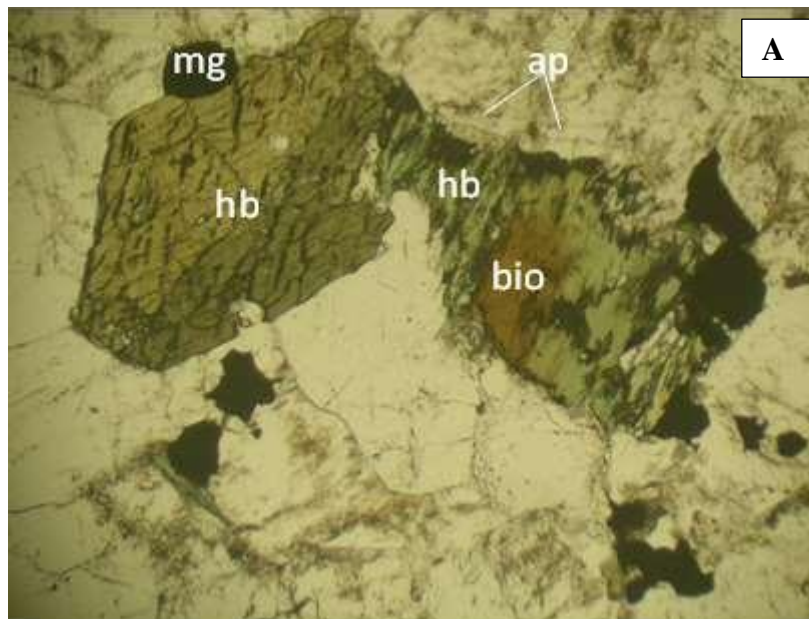
**Ambiente:** Plutónico

**Denominación:** Límite entre monzo - diorita y granodiorita

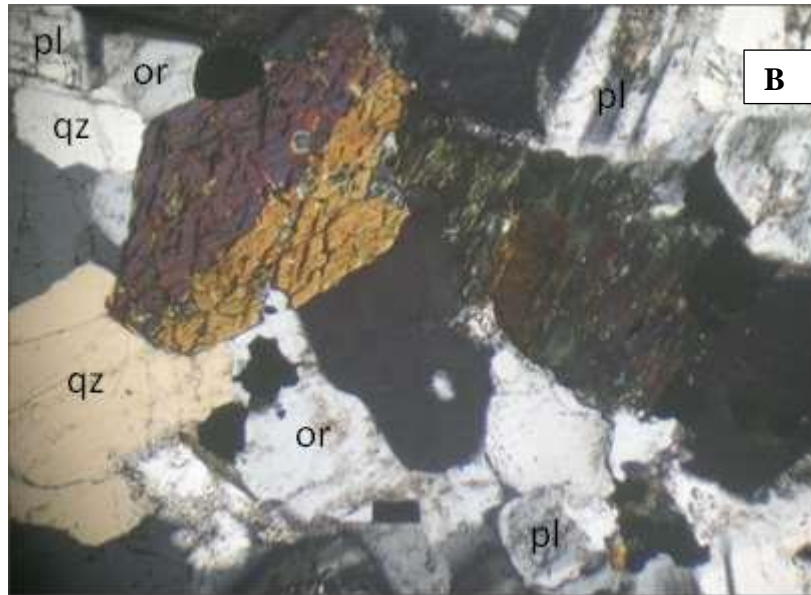
**Observación:** Moderada alteración a sericita y escasa a otros silicatos y carbonatos

**Fotomicrografía. –**

Hornblenda euhedral e irregular, poco remplazada por biotita. Granos subhedrales de magnetita asociados al máfico e intersticiales, cuarzo en cristales pequeños y masas grandes, ortosa tardía y apatito acicular en plagioclasa. **A)** 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (mg = magnetita, hb = Hornblenda, ap = apatito, bio = biotita). **B)** 40 x, largo de la segunda foto = 1,9 mm. (pl = plagioclasa, or = ortosa, qz = cuarzo).

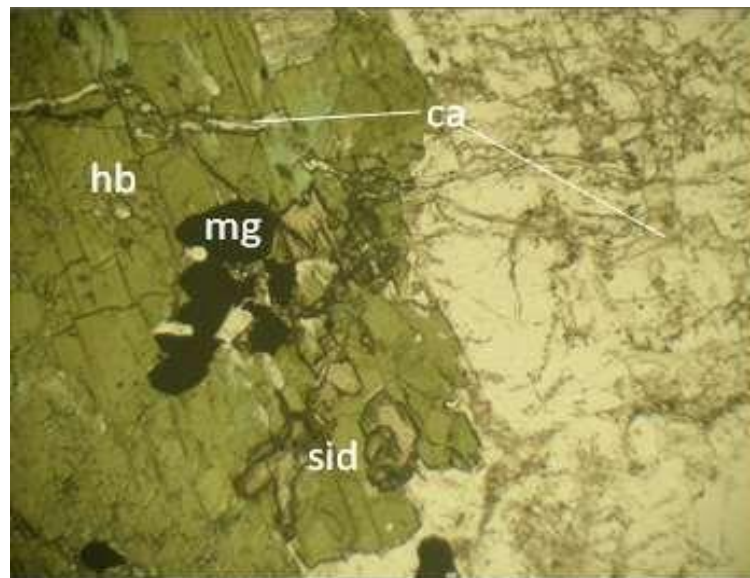


**Figura 26:** Muestra 1, secciones pulidas “A” (Mysac.)



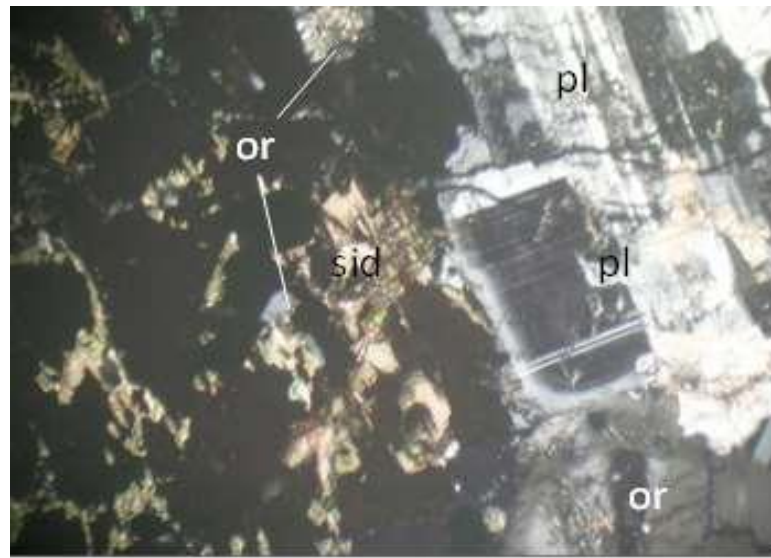
**Figura 27:** Muestra 1, secciones pulidas “B” (Mysac.)

Cristales de plagioclasa con borde de albitización y hornblenda, la primera con moderado remplazamiento por sericita (turbidez en la primera foto) y algo de calcita. 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (hb = hornblenda, ca = calcita, sid = siderita).



**Figura 28:** Muestra 1, secciones pulidas “C” (Mysac.)

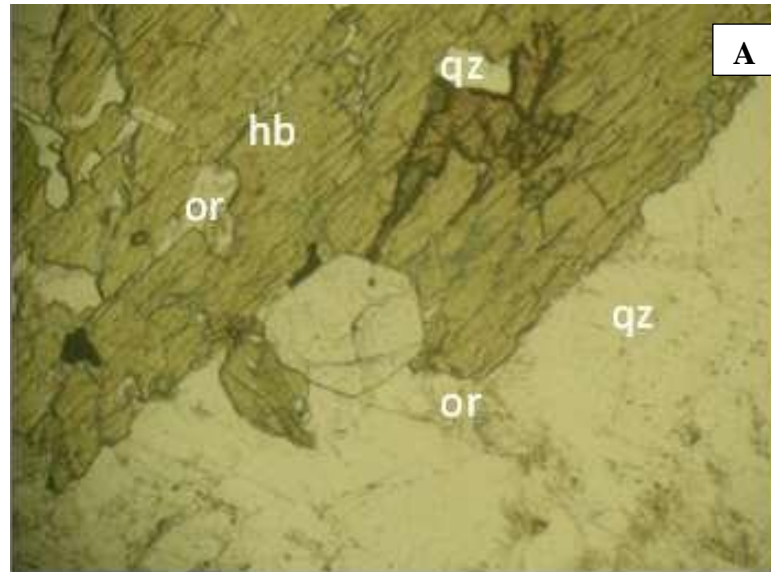
Mientras que la segunda tiene un pequeño remplazamiento por calcita, siderita y ortosa. Cristales de magnetita incluidos en hornblenda. En la parte derecha inferior se observa un pequeño cristal de ortosa con macla en mitades. 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (or = ortosa, pl = plagioclasa, sid = siderita).



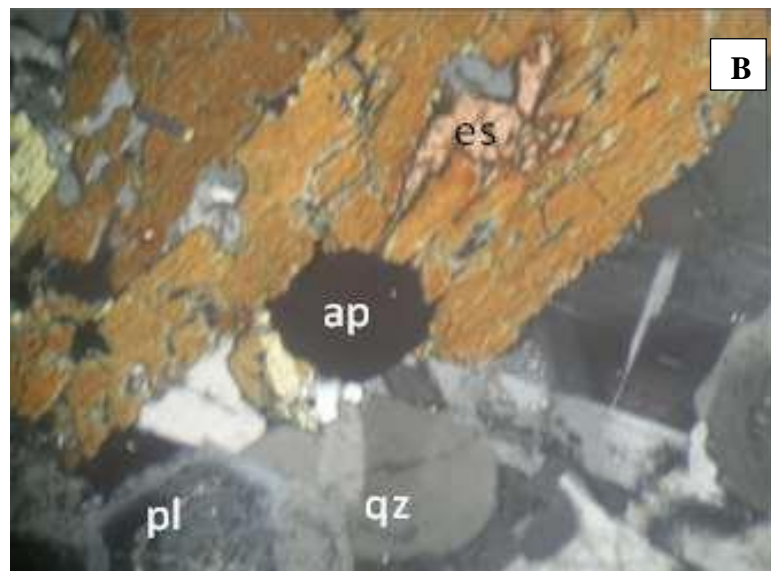
**Figura 29:** Muestra 1, secciones pulidas “D” (Mysac.)

Hornblenda con pequeños rellenos de esfena, ortosa y cuarzo, adyacentes aparecen un cristal de apatito, plagioclasa zonada y masas de cristales de cuarzo con cierta extinción ondulante, entre los que hay ortosa pequeña e intersticial con tenue alteración a sericita. **A)** 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (or = ortosa, hb = hornblenda, qz = cuarzo). **B)** 40 x, largo de la segunda foto = 1,9 mm. (ap = apatito, pl = plagioclasa, es= esfena, qz = cuarzo).





**Figura 30:** Muestra 1, secciones pulidas “E” (Mysac.)



**Figura 31:** Muestra 1, secciones pulidas “F” (Mysac.)

#### 4.5.5.2 Muestra 2 (dique)

**Macroscopía.** - Fenocristales < 4 mm de plagioclasa a veces zonada, también máfico y cuarzo irregular. Pasta algo oscura y puntos muy finos metálicos dispersos. Magnetita en toda la muestra.



**Microscopía.** - Fenocristales de plagioclasa de hasta pocos milímetros y ortosa en menores dimensiones, ambas con aspecto turbio por la moderada alteración submicroscópica. Ortopiroxeno en cristales dispersos en tamaños variados. La pasta, formada por los mismos minerales, constituye un 20 % de la roca y contiene visiblemente cuarzo, además de una mayor proporción de ortosa que en los fenocristales.

**Tabla 7:** Lista de minerales en muestra 2

Const. / %	Forma / tamaño	Característic
<b>PRIMARIOS 78</b>		
Plagioclasa (55) 46	Euhedral 0,5 a 4 mm	Moderado remplazamiento por zoisita, moscovita pequeña y probablemente escasa Arcilla.
Ortosa (16) 13	Subhedral < 3 mm	Plano de macla (en mitades) en parte curvo, significando alguna deformación. Remplazamiento moderado de sericita y probablemente escasa arcilla
Ortopiroxeno (16) 10	Prismas 0,1 a 2 mm	Mediano remplazamiento por clorita
Magnetita 04	Subhedral Microscópico a 2 mm	A veces euhedral. Tardía, en relación a ortopiroxeno y plagioclasa; rellena los intersticios
Cuarzo 04	Irregular microscópico	Sólo ocurre en la matriz
Anfíbol (03) 01	Prismas subhedrales < 2 mm	Disperso, parcialmente remplazado por clorita
<b>HIDROTERMALES 21</b>		
Clorita 12	Irregular y pseudomorfa Hasta 1 mm	Remplazamiento a veces amplio a cristales de piroxeno y escasamente a plagioclasa. Rellenos en la matriz
Sericita – moscovita 05	Hojuelas microscópicas	Remplazamiento de plagioclasa y ortosa.
Zoisita? 04	Microgranular a submicroscópica	Remplazamiento a plagioclasa y escasamente a ortosa.
Epídota 02	Microgranular	Dispersa, asociada a clorita. En dimensiones finas da una turbidez a plagioclasa

FUENTE: MYSAC.

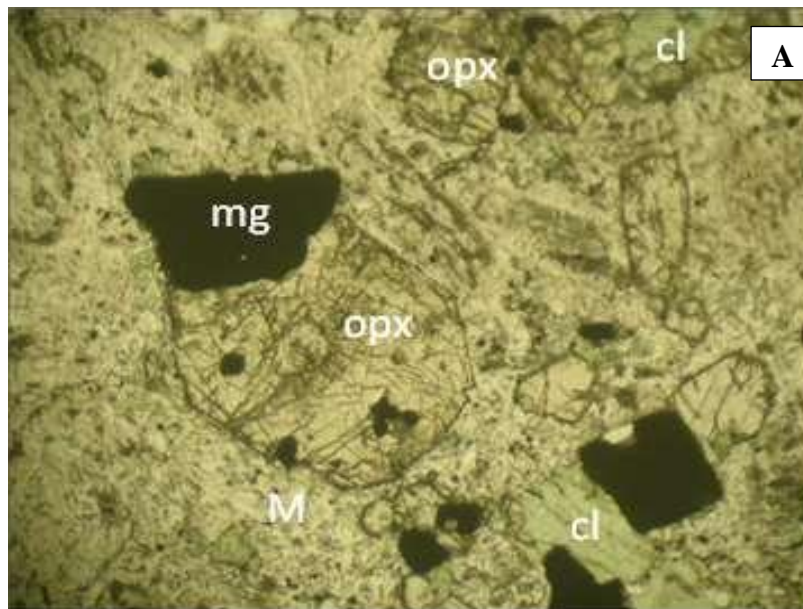
**Textura:** Porfirítica seriada

**Ambiente:** Sub volcánico

**Denominación:** Lati - andesita (calco alcalino) con ortopiroxeno

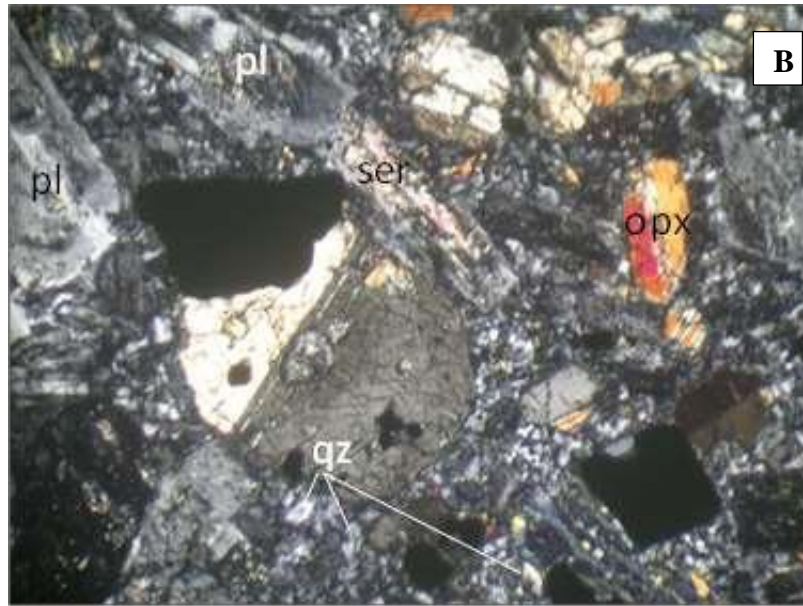
### Fotomicrografía.

Fenocristales en tamaños variados de piroxeno y plagioclasa moderadamente sericitizada. Magnetita notablemente asociada al máfico, que a veces tiene un fuerte remplazamiento por clorita. Matriz escasa muy fina de piroxeno, plagioclasa, ortosa y cuarzo. **A)** 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (opx = piroxeno, mg = magnetita, cl= clorita, M = mafico). **B)** 40 x, largo de la segunda foto = 1,9 mm. (opx = piroxeno, pl = plagioclasa, ser= sericita, qz = cuarzo).



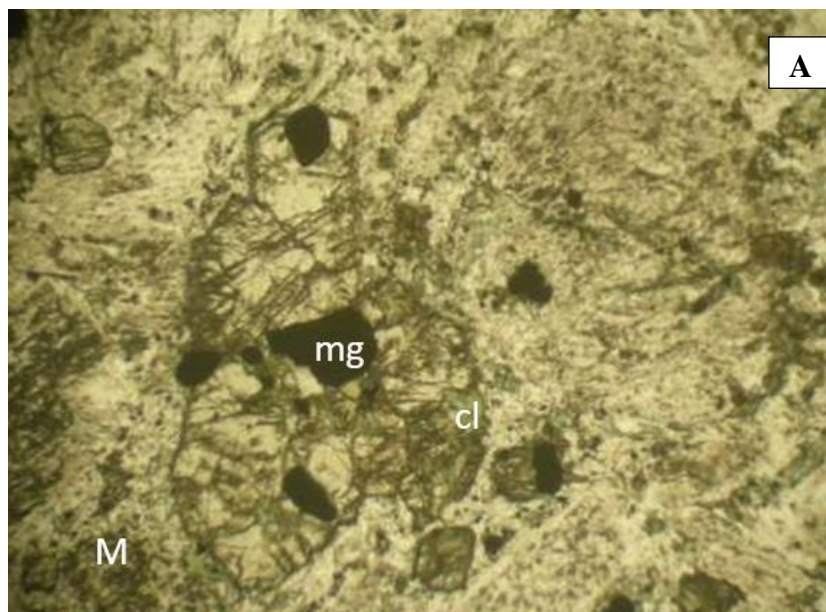
**Figura 32:** Muestra 2, secciones pulidas “A” (Mysac.)



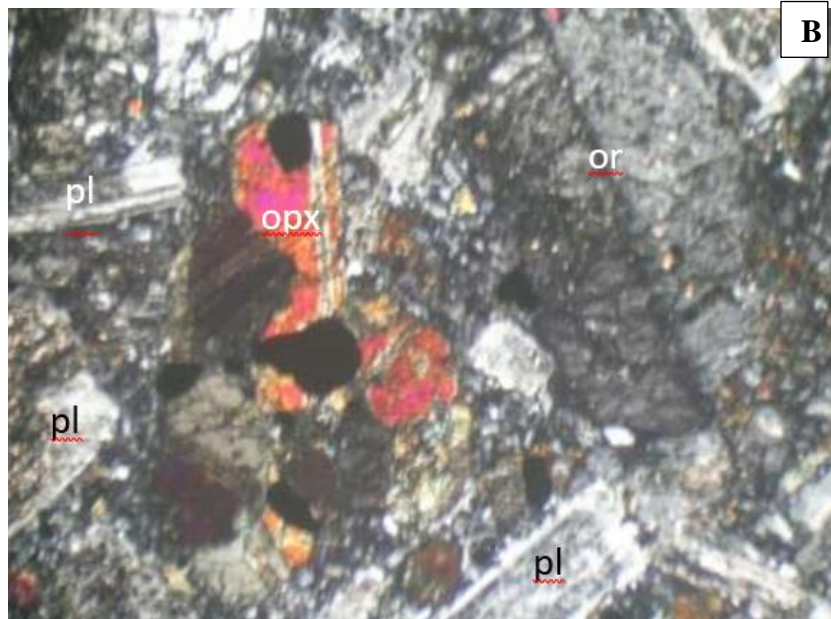


**Figura 33:** Muestra 2, secciones pulidas “B” (Mysac.)

A la derecha se observa un fenocristal de ortosa con macla en mitades y moderado remplazamiento por cristales de ortopiroxeno y magnetita asociada, también fenocristales pequeños de plagioclasa con borde de albitización. Matriz escasa muy fina de feldespatos, piroxeno y cuarzo. **A)** 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (mg = magnetita, cl = clorita, M = mafico). **B)** 40 x, largo de la primera foto = 1,9 mm. (opx = piroxeno, pl = plagioclasa, or = ortosa).

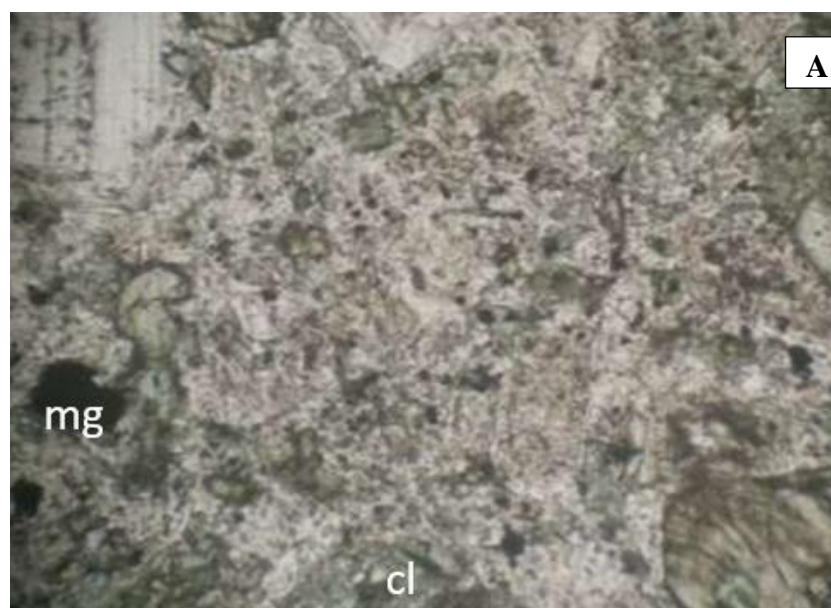


**Figura 34:** Muestra 2, secciones pulidas “C” (Mysac.)

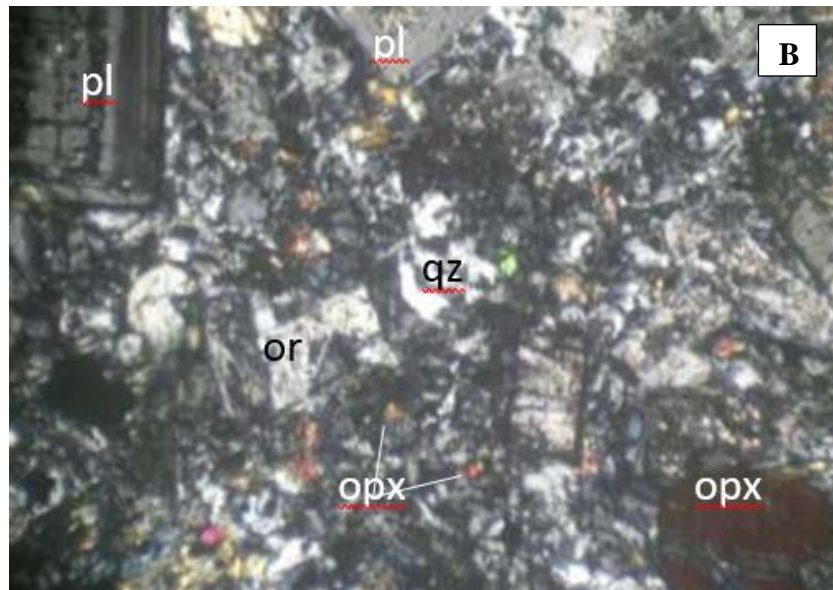


**Figura 35:** Muestra 2, secciones pulidas “D” (Mysac.)

Fenocristales de plagioclasa zonada, ortopiroxeno y matriz con ortosa, cuarzo, plagioclasa y piroxeno. Los feldespatos están moderadamente alterados (turbidés) y el ortopiroxeno muestra alteración a clorita. En la vista se ve granos de magnetita intersticiales. **A)** 63 x, largo de la foto = 1,3 mm. (mg = magnetita, cl = clorita). **B)** 63 x, largo de la foto = 1,3 mm. (opx = piroxeno, pl = plagioclasa, or = ortosa, qz = cuarzo).



**Figura 36:** Muestra 2, secciones pulidas “E” (Mysac.)



**Figura 37:** Muestra 2, secciones pulidas “F” (Mysac.)

#### 4.5.5.3 Muestra 3 (Veta de cuarzo)

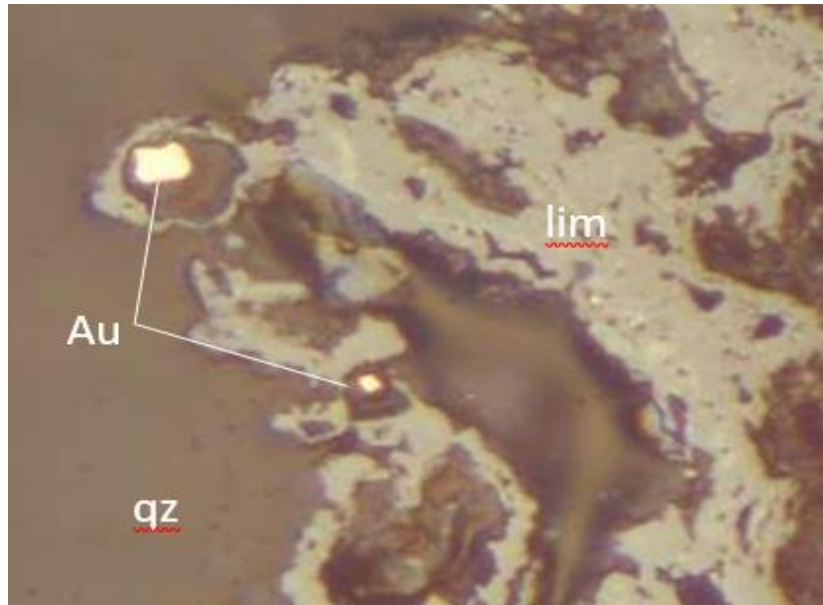
**Macroscopía.** - Cuarzo masivo lechoso, con fuerte fracturación en dos direcciones principales algo oblicuas. Abundante limonita rojiza y negruzca en las fracturas. Algunos puntos de oro en la masa de limonita y en el cuarzo. Algo de arcilla blanca y algunas pequeñas drusas de cuarzo.

**Microscopía.** - Sección Pulida, se observa escasas partículas de oro nativo en una masa de limonita, aunque no se descarta su presencia en el cuarzo, lo que requeriría de otras muestras. Escasa pirita microscópica con poca oxidación. Múltiples venillas en varias direcciones, con hematita y limonita. La limonita aparece en algunas masas pequeñas pseudomorfos de pirita.



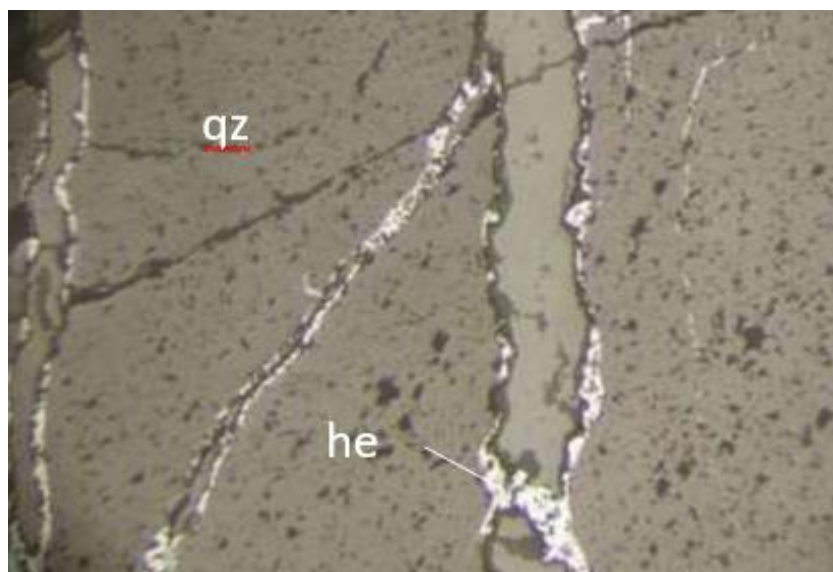
### Fotomicrografía. –

Sección pulida, Dos partículas de oro en oquedades con limonita, dentro de la masa de cuarzo. 200 x, largo de la foto = 0.32 mm (Au = oro, lm = limonita, qz = cuarzo).



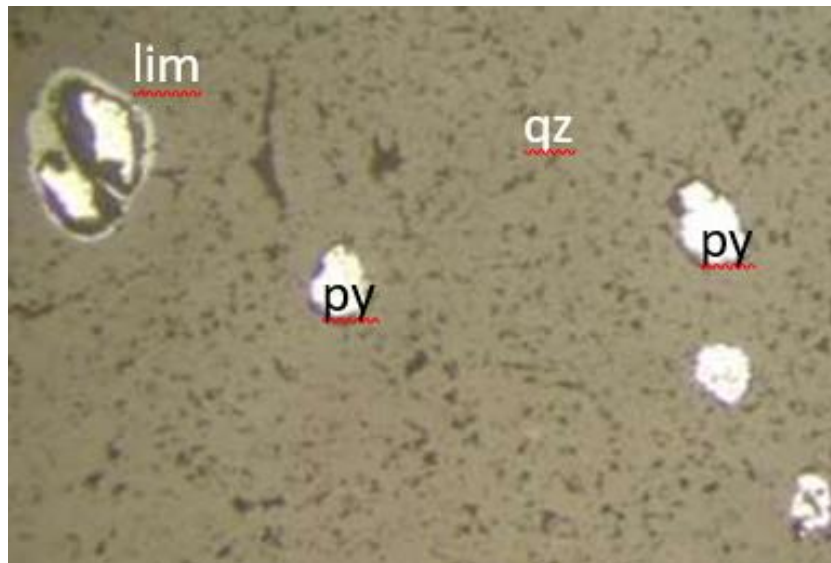
**Figura 38:** Muestra 3, secciones pulidas “A” (Mysac.)

Cuarzo con algunas fracturas rellenas por hematita. 100 x, largo de la foto = 0.7 mm. (he = hematita, qz = cuarzo).



**Figura 39:** Muestra 3, secciones pulidas “B” (Mysac.)

Granos de pirita, algunos de ellos parcialmente limonitizados, en la masa de cuarzo. 100x, largo de la foto = 0.7 mm. (lim = limonita, qz = cuarzo, py = pirita).



**Figura 40:** Muestra 3, secciones pulidas “C” (Mysac.)



## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, METALOGÉNICAS, MINERALÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE LA VETA HUÁSCAR.

##### 5.1.1 Metalogenia

El depósito aurífero de la localidad de Alpacay está ubicado dentro del mapa metalogénico del Perú, en la subprovincia de oro-cobre de la costa Peruana, la misma que se extiende de Nazca a Ocoña, que alberga innumerables minas y depósitos en vetas angostas como Arirahua, San Juan de Chorunga, Chalhuane, Las Clavelinas, María Eugenia, entre otros.

La zona de denuncios es de importancia económica, porque en ella se encuentran vetas de buena extensión y potencia, en conjunto forman un sistema paralelo con rumbo general de Este a Oeste y buzamiento de 65° - 80° Norte.

En Alpacay existe una treintena de vetas que son de importancia y que han sido parcialmente trabajadas en el pasado pero que encierran importantes reservas en profundidad. La estructura principal de este depósito es la veta troncal la cual posee hasta 3 clavos mineralizados de 200-300 metros de largo a lo largo de 2 kilómetros de recorrido, posee un ancho entre 0.5 a 2.0 metros y ha sido reconocida hasta la cota 1,800 m, destacan igualmente la veta el rey que fue la más rica en tiempos de Alpacay Mining.

La mineralización es errática, se presenta en columnas de riqueza discontinuas de pocos metros hasta más de 100 metros y su relleno es mayormente de cuarzo-hematita-



limonita-pirita. Oro nativo con calcopirita-galena-esfalerita subordinados; en profundidad estos ensambles gradan débilmente a cuarzo-pirita-chalcopirita.

La actividad minera en la actualidad se concentra mayoritariamente en las vetas de las zonas de Cerro Rico, Esperanza y Consuelo que son representadas por las vetas: Esperanza, Paola, Despreciada, B2, Rivera, Huáscar y Troncal. De ellas proviene el mineral sulfurado, mixto y oxidado para la planta de beneficio.

### 5.1.2 Mineralogía del yacimiento

La mineralogía del yacimiento es algo sencilla, el principal mineral económico es el oro, el que se halla como oro libre, diseminado en el cuarzo y como exolución en la pirita (pirita aurífera).

#### A. Minerales de Mena

**Oro Libre.** Au Se encuentra presente en hilos enmarañados en pequeños espacios, sobre todo en labores superiores de la veta. Lo encontramos en formas irregulares impregnados en criaderos de cuarzo, óxidos de hierro (hematita, limonita), su color es amarillo, raya amarilla metálica.

**Pirita.** La pirita contiene impurezas de oro, encontramos dos variedades de pirita, una pirita oscura con oro, y otra pirita clara sin oro, se le identifica fácilmente por el color amarillo latón; también por la forma de BUS cristales, su raya es negra parduzca o negro verdosa. Su composición química es  $\text{FeS}_2$ .

**Chalcopirita.**  $\text{Cu Fe S}_2$  comúnmente se encuentra en masas compactas y en forma de granos irregulares, su color es amarillo latón, raya negra verdosa (negra con matiz verdosa).



**Galena.** Pb S las impurezas son con Ag. se encuentra muy esporádicamente, en forma cristalizada, su color es de gris de plomo, su raya negra, su clivaje es cubo -perfecto.

**Tetraedrita.** Llamada también cobre gris.

### **B. Minerales de ganga**

**Cuarzo.** Si O<sub>2</sub> En la zona se encuentra cuarzo lechoso, muy raramente cuarzo transparente, su dureza es de 7, se le reconoce por su elevada dureza, se le encuentra en agregados compactos.

**Calcita.** Este mineral se le encuentra en forma masiva, es de un color blanco amarillento, está asociado al cuarzo. CO<sub>3</sub> Ca.

#### **5.1.3 Tipo de yacimiento**

Alpacay es un yacimiento filoniano tipo rosario de origen hidrotermal, ubicado dentro de la franja aurífera Ocoña-Nazca; cuyas vetas están emplazadas en las rocas intrusivas del Batolito de la Costa.

El depósito aurífero tiene las características de un yacimiento filoneano de naturaleza mesotermal, de comportamiento lenticular tanto horizontal como vertical. Las estructuras que alcanzan centenares de metros albergan “clavos” que alcanzan longitudes de 120 m a 220 m y verticalmente llegan de 200 m a 300 m, a pesar de que la profundización del mineral aún no está bien determinada. Las potencias alcanzan desde 0.10 a 0.35 m (veta Huáscar) hasta de 0.30 a 2.50 m (parte alta de vetas Esperanza y Encarna).





#### **5.1.4 Características de las estructuras mineralizadas**

En Alpacay existe una treintena de vetas que son de importancia y que han sido parcialmente trabajadas en el pasado pero que encierran importantes reservas en profundidad.

La actividad minera en la actualidad se concentra mayoritariamente en 4 vetas, en la zona Cerro Rico, Esperanza y Consuelo, que son las Vetas Esperanza, Despreciada, Paola, Huáscar, y otras vetas de menor importancia.

##### **5.1.4.1 Veta Esperanza**

Estructura cuyo rumbo promedio es  $N75^{\circ}E$ , buzamiento  $84^{\circ}NW$ . Con potencias variables de 0.05 – 0.60 metros. Reconocida en el nivel 1980 al 1700, en una longitud que supera los 1 km. El comportamiento hacia el norte está definido con laboreos antiguos por tramos ya que la veta está asociado a falla, Esta veta fue trabajada sobre los clavos ricos en ley.

Presenta una mineralogía de cuarzo de varias generaciones, cuarzo blanco, cuarzo hialino, craquelado, con presencia de geodas y puntos de cloritas en el cuarzo con piritita fina, la alteración hidrotermal predominante es la argilización con óxidos en fracturas. La roca caja donde está emplazada es principalmente en granodiorita y lavas de composición andesítica; ligeramente argilizadas.

##### **5.1.4.2 Veta Despreciada**

Tiene Rumbo promedio de  $N70^{\circ}W$ , buzamiento de  $78^{\circ}S$  con potencias variables de 0.05m. – 0.70m. Como veta principal, en superficie se tiene reconocido con labores artesanos y tiene una longitud aproximada de 200 m. Algunos trabajos en superficie



reportan valores económicos de Au, en interior mina fue reconocida en el nivel 2365 al 1950.

La mineralización es de origen hidrotermal con ensamble formado por cuarzo, calcita, pirita y oro como mena. El oro ocurre en cuarzo hialino y cuarzo blanco en algunos casos, asociados con sulfuros principalmente pirita.

La textura de brecha es la más común, con una matriz de cuarzo, también existen tramos de cuarzo masivo con venillas de calcita. La alteración hidrotermal es fuerte principalmente propilitica al techo y piso de la veta. La roca caja está compuesta de granodiorita.

#### **5.1.4.3 Veta Paola**

Estructura principal cuyo rumbo promedio es de N87°E y buzamiento de 80°NE con potencias variables de 0.05m. – 0.65m. Se tiene reconocido la veta en superficie, con una longitud máxima explorada con cateos que superan los 500 m. Se considera estructuralmente una veta principal, la zona de clavos está directamente relacionados a zonas de aperturas profundos y asociado a una gran falla.

Presenta un ensamble mineralógico de cuarzo-clorita-pirita, acompañado al piso de una brecha volcánica con venilleo de cuarzo blanco que contiene pirita fina diseminada con clastos cloritizados y argilizados. Tiene como roca caja granodiorita.

#### **5.1.4.4 Veta Huáscar**

Estructura cuyo rumbo promedio es N45°E, 78°NE de buzamiento, en superficie se tiene reconocido con trabajos informales tiene una longitud aproximada de 80 m. Algunos cateos reportan valores económicos de Au. Esta estructura se desarrolló a partir



de una falla que controla desde la troncal y falla consuelo. El avance con laboreo subterráneo se da desde el nivel 2296 hasta el nivel 2000,

presenta un ensamble mineralógico de cuarzo blanco, cuarzo calcedónico, cuarzo gris, craquelado, calcita, pirita y oro como mena, con fragmentos de roca moderadamente argilizadas, venillas de sericita, y arcillas. La roca caja está representada principalmente por granodiorita y brecha de composición andesítica; ligeramente argilizada, moderadamente propilitizada.

Con el avance realizado se ha podido identificar tramos con mineral económico con leyes de oro que varían de 9 g/t Au a 17.6 g/t Au en el nivel 2050.

### **5.1.5 Controles de mineralización**

#### **5.1.5.1 Control litológico**

Las estructuras mineralizadas se encuentran emplazadas en rocas de composición calco – alcalinas; caracterizados por granodiorita, dioritas y diques aplíticos; a los cuales se le considera como franja metalogénica de Mesozoico.

Asimismo, cabe indicar que el metalotecto es favorable para la mineralización aurífera en esta zona sur del Perú.

#### **5.1.5.2 Control mineralógico**

En Alpacay como en otros yacimientos de la franja Nazca – Ocoña el oro se asocia directamente a la mineralización de pirita de textura fina, al cuarzo gris y blanquecino. En profundidad el ensamble de pirita-calcopirita-cuarzo es indicador de valores de oro. La oxidación en forma de hematita, limonita y jarosita es una guía determinante para prospectar mineralización de oro.



### **5.1.5.3 Control estructural**

Los cambios de buzamiento y de rumbo (Intersección de dos sistemas estructurales) favorecieron a la mayor concentración de valores de oro. El sistema conjugado de estructuras es igualmente un control importante para la ubicación de mineral.

### **5.1.6 Alteraciones hidrotermales**

Las alteraciones hidrotermales son procesos geológicos producidos en rocas y cuerpos de rocas por soluciones hidrotermales, es decir cambios mineralógicos, químicos o texturales de una roca preexistente.

Las alteraciones hidrotermales se expresan en función al reconocimiento de los ensambles mineralógicos y estas están controladas por los siguientes factores:

- Temperatura y la diferencia de temperatura.
- Composición del fluido.
- Permeabilidad.
- Duración de la interacción agua/ roca.
- Composición de la roca.
- Presión.

#### **5.1.6.1 Alteración argílica**

Esta alteración se aprecia una coloración blanca pulverulenta y sedoso (sericita), ésta se observa en algunas zonas que se caracteriza por la formación de minerales

arcillosos que reemplazan principalmente a las plagioclasas y a los minerales máficos, la misma grada hacia al exterior, una zona propilítica. Es común en las rocas granodioríticas.

#### **5.1.6.2 Alteración propilítica**

Esta alteración es muy común en la superficie, por la presencia de clorita, epidota, y/o calcita y piritita con una coloración verdosa, es producto de soluciones casi neutras en un rango variable de temperaturas. Las plagioclasas y hornblendas son alteradas parcial o completamente a carbonatos y/o cloritas.

#### **5.1.6.3 Oxidación**

La alteración supérgena ha afectado a todo el sistema de vetas produciendo la oxidación de los minerales sulfurados primarios. La intemperización produce en superficie las características coloraciones rojizas y amarillentas, por la presencia de hematita, limonita, goetita y jarosita que ayudan a ubicar estructuras mineralizadas para prospectar mineralización de oro.



**Figura 41:** Afloramiento de la veta Huáscar en rocas granodioríticas. alteración argílica y propilitica



**Figura 42:** Afloramiento de la veta troncal, relleno de cuarzo, hematita, limonita. alteración argílica y oxidación.

## 5.1.7 Geología económica de veta Huáscar

### 5.1.7.1 Muestreo

El muestreo se realiza en forma sistemática en sentido horizontal y vertical en las diversas labores de la Mina como galerías, chimeneas, sub-niveles, piques, tajos y afloramientos de veta en superficie, considerando que son vetas irregulares.



### **5.1.7.2 Método de muestreo**

El método de muestreo empleado es el de canales sistemáticos cada 2 metros en estructura mineralizada (Ore Shoots) los fragmentos y astillas de mineral son cogidos perpendiculares a la veta y a lo largo de la potencia.

El muestreo se realiza cumpliendo estrictamente el Pets de Muestreo tipo Canal y su custodia hasta la entrega al Laboratorio Analítico. Este procedimiento garantiza la obtención de una muestra representativa y está sujeta a controles que permiten medir su calidad. Un punto de muestreo puede tener una o más muestras de canales cuando tiene horizontes con distintas concentraciones de mineral.

Todo el canal de muestreo se muestrea teniendo como mínimo 2 kg y como máximo 2.5 kg, no se cuarteo para evitar los errores de cuarteo. Este criterio asegura un valor en ley representativo.

### **5.1.7.3 Perforación diamantina en veta Huáscar**

La Perforación Diamantina juega un rol muy importante en el proceso de exploración de un yacimiento, quien, en base a los resultados de Logueo geológico y ensayos de las muestras, nos permite a confirmar la ubicación, profundidad y propiedades de las estructuras existentes.

Sobre la veta Huáscar se perforaron 3 sondajes diamantinos desde interior mina para delimitar las zonas de mineralización de alta ley. Además, este método fue el método principal para la verificación de todas las ideas, teorías y predicciones de profundización de la mineralización con este método se hizo una descripción de la geología a detalle. Así como también definir las características lito-estratigráficas de las diferentes unidades a

fin de establecer patrones, que permitan la ubicación de zonas de potencial geológico-minero para la exploración de depósitos minerales.

La minera Yanaquihua SAC. Necesita incrementar sus recursos y reservas con el fin de alargar la vida de la mina por lo cual busca determinar el comportamiento geológico en longitud y profundidad de la veta Huáscar, esto nos permitiría aumentar las reservas e incrementar la producción. Para ello se realizó perforación diamantina que cuenta con 341.70 metros perforados en 3 direcciones con una inclinación de  $-50^\circ$ , analizando un total de 9 muestras con los siguientes tenores:

**Tabla 8:** Muestreo de testigos diamantinos

DDH-2050 VETA HUASCAR (LTK-48)								
N°	UBICACIÓN	COORDENADAS		DIRC.	INCL.	LONG. (m)	RECUP. (%)	RESULTADOS
		ESTE	NORTE					
1	GL: 555	719,675.43	8,252,555.38	N304.7°	-50°	113.50	97.00	A los 55.27 m. corta estructura de Qz blco, Py. y puntos de OxFe, <b>Pot. 0.14 Ley: 8.30 grAu/t.</b> A los 91.78m. Impacta estructura de Qzo blco, Py fina con presencia de OxFe. <b>Pot. 0.17m. Ley: 12.75grAu/t. @ Pot. 0.12m. Ley: 6.20grAu/t.</b>
2	GL: 555	719,675.43	8,252,555.38	N342°	-50°	112.40	98.50	A los 103.18m. Intercepta veta de Qzblco, Py, hilos de calcita y OxFe. <b>Pot. 0.13m. de ley 6.30GrAu/t. @ Pot. 0.18m. de ley 10.78GrAu/t. @ Pot. 0.15m. de ley 7.25GrAu/t.</b>
3	GL: 555	719,675.43	8,252,555.38	N275.4°	-50°	115.80	98.20	A los 107.19m. Impacta veta de Qzblco, Py. De grano media y puntos de OxFe(Lim, Hem.). <b>Pot. 0.10m. de ley 5.12GrAu/t. @ Pot. 0.15m. de ley 11.25GrAu/t. @ Pot. 0.11m. de ley 7.18GrAu/t.</b>
TOTAL						341.70		

FUENTE: MYSAC

(Ver ANEXOS, plano de sección transversal. lamina N° 08)

## 5.2 ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES DE LA VETA HUÁSCAR

La forma y dimensión de los bloques de ubicación de Recursos y Reservas, se delinearon siguiendo el **método geométrico o clásico** para el caso de las estructuras mineralizadas tipo veta, se ha definido el Bloque de Mineral considerando el área





encerrado entre galerías, niveles, subniveles, chimeneas, piques, ventanas, cámaras y estocadas.

Para la elaboración de la sección longitudinal de la vetas Huáscar se ha procedido con la elaboración de bloques empleando diferentes rangos de leyes y valor de mineral por tonelada, procediendo luego a la confección de bloques con dimensiones variables y niveles de confianza de acuerdo a la información geológica a través de correlaciones e interpretaciones con el empleo de planos geológicos en planta, ploteando las leyes del muestreo sistemático, tipo de estructura, persistencia de la mineralización, interpretaciones y controles de la mineralización. Estas informaciones son amarradas con secciones transversales con espaciamiento de 20m. El resultado de este trabajo es la determinación de bloques de Recursos y reservas. Para lo cual el presente proyecto se ha tenido como referencia la guía estándar del código “JORC” Australiano.

La estimación de recursos y reservas minerales del yacimiento aurífero Alpacay de MYSAC. - Arequipa está compuesto de:

- Recursos minerales.
- Reservas minerales.
- Otras consideraciones.

En la explotación o producción de MYSAC. La estimación e inventario comúnmente contiene los tres componentes arriba mencionados.

En proyectos de exploración avanzados y en los de desarrollo, en los que no se tiene estudio de factibilidad técnico-económico, pero con pruebas metalúrgicas, contiene recursos minerales y otros minerales. Con un estudio de factibilidad técnico económico



los recursos minerales de un proyecto pueden convertirse en reservas minerales parcial o totalmente.

### **5.2.1 Recursos minerales**

Los recursos minerales en MYSAC. Se les clasifican de la siguiente manera:

#### **A. Recurso mineral medido**

Se considera equivalente al grado de certeza de la reserva mineral probado el coeficiente de certeza de este mineral es del 100%.

En proyectos de una mina en producción, para la estimación de este recurso se puede utilizar las mismas leyes mínimas de explotación usadas en la evaluación de reservas de la mina, siempre y cuando sean de mineralizaciones similares.

#### **B. Recurso Mineral indicado**

El nivel de confianza geológica y el grado de certeza del recurso mineral indicado es similar al requerido para determinar una reserva mineral probable, el coeficiente de certeza de este mineral es entre 90% y 100%.

#### **C. Recurso mineral inferido**

En MYSAC. generalmente la altura de los bloques de un recurso mineral inferido puede ser correspondiente a la suma de las alturas de bloques de Recursos Medidos + Indicados o a la suma de las alturas de Bloques Probados + Probables, o a la mitad de la longitud del afloramiento muestreado con valor de Mena y Marginal, salvo que el criterio geológico y las indicaciones de curvas de isovalores o la intersección de sondajes bastante espaciados sugieran otra altura u otra dimensión.



## 5.2.2 Reservas minerales

En MYSAC, se considera como reservas minerales a aquellos que tienen certeza de probado y probable, tengan valor de mena y marginal, y sean accesibles y eventualmente accesibles.

### A. Clases de reservas minerales según certeza

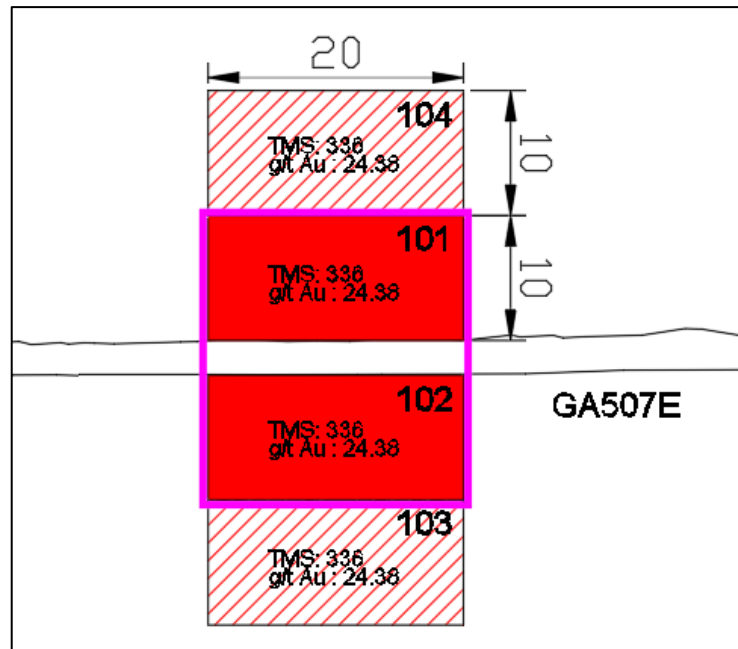
De acuerdo a la certeza las reservas se clasifican como sigue:

#### a.1 Reserva mineral probado

Cuando el mineral ha sido desarrollado con una sola labor (incluye afloramiento), la altura del bloque variará de acuerdo a la longitud mineralizada de esa labor o afloramiento.

Así para longitudes entre 10 a 20 metros, la altura será de 10 metros (Figura 43); para longitudes mayores a 20 metros, la altura será de 15m.

Estas medidas son aplicables si no se tienen sondajes complementarios ni interpretación geológica (estructural, mineralógica y curva de isovalores). El coeficiente de certeza para el mineral probado es de 100%

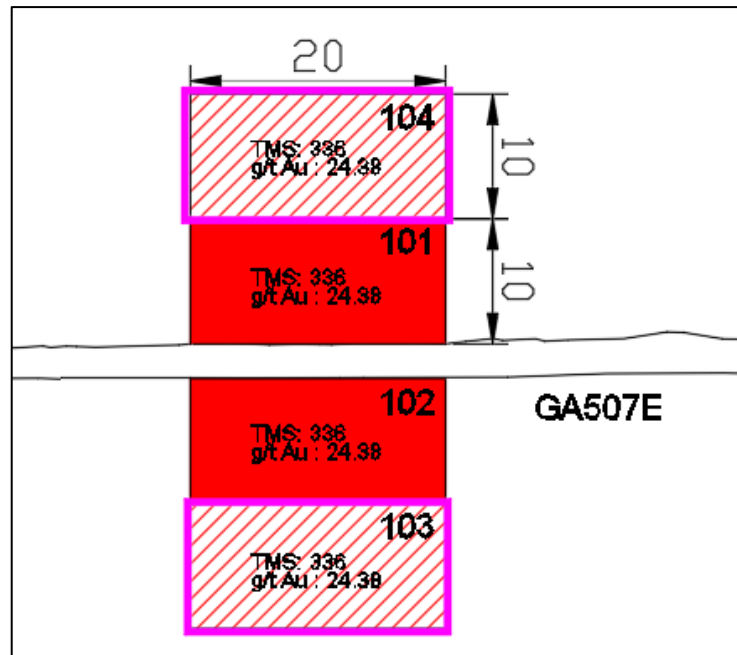


**Figura 43:** Bloques probados.

Fuente: MYSAC. Y Elaboración propia.

### a.2 Reserva mineral probable

Es cuando en una labor existe el bloque probado, el Coeficiente de Certeza aplicable al tonelaje de la Reserva Mineral Probable es más bajo que el de los Minerales Probados pero lo suficientemente alto para asumir su continuidad. Para los efectos de nuestras estimaciones se consideran entre 90% y 100%, siempre y cuando la altura del bloque sea igual que el del Probado correspondiente; esto depende de la regularidad de la mineralización. Los Bloques Probables se pintan achurados con líneas inclinadas a la izquierda, del color correspondiente a su valor.



**Figura 44:** Bloques probables.

Fuente: MYSAC. Y Elaboración propia.

## B. Clases de reservas minerales según el valor

Los Recursos minerales fueron convertidos a reservas luego de ser ajustados al ancho mínimo de minado y la sobredilución. En general los recursos medidos han pasado a reservas probadas y los indicados a probables.

Para la clasificación de los bloques también se ha tomado en cuenta los costos de producir una tonelada, calculados por el área de Planeamiento a fines del 2,018 sobre la base de una onza de oro a \$1,100.

La calificación de las leyes equivalentes diluidas de cada canal teniendo en cuenta los Cut-Off determinados, de modo si su ley pueda corresponder a valor de mena, marginal, submarginal, o baja ley, para luego definir qué tramos de canales corresponden a mena, etc.

### b.1 Reserva mineral de mena.



- Zona Cerro Rico: Si el valor de la tonelada es igual o mayor a los costos operativos de 377.00 \$/TM que equivale a 11.30 Au Grs/TM.
- Zona Esperanza: Si el valor de la tonelada es igual o mayor a los costos operativos de 490.00 \$/TM que equivale a 14.70 Au Grs/TM
- Zona Consuelo: Si el valor de la tonelada es igual o mayor a los costos operativos de 399.00 \$/TM que equivale a 12.00 Au Grs/TM.

### **b.2 Reserva mineral marginal.**

- Zona Cerro Rico: Si el valor de la tonelada cubre los costos operativos de 292.00 \$/TM, que equivale a 8.80 Au Grs/TM
- Zona Esperanza: Si el valor de la tonelada cubre los costos operativos de 338 \$/TM, que equivale a 10.2 Au Grs/TM
- Zona Consuelo: Si el valor de la tonelada cubre los costos operativos de 289.00 \$/TM, que equivale a 8.70 Au Grs/TM.

### **C. Clases de reservas minerales según accesibilidad**

De acuerdo a la accesibilidad las reservas se clasifican como sigue:

#### **c.1 Reserva mineral accesible.**

Aquel mineral interceptado por laboreo minero (galerías, chimeneas, tajos, etc.), y que está listo para entrar en explotación.

#### **c.2 Reserva mineral eventualmente accesible.**

Aquel mineral que aún no está listo para ser explotado, faltándole algún laboreo preparatorio adicional, por lo común se encuentran por debajo del nivel inferior, alejados de las labores de desarrollo o con accesos bloqueados.



### **5.2.3 Otras consideraciones**

En MYSAC. Estos minerales que se mencionan en adelante no se consideran como reservas minerales ni como recursos minerales.

#### **A. Según la certeza**

Para el mineral probado, probable, inferido se considera aquellos minerales sin el valor económico.

##### **a.1 Mineral potencial**

Se les dimensionan a partir de los afloramientos de estructuras, cuyos muestreos arrojan bajos valores, pero anómalos, pero estructural y mineralógicamente interesantes, y a la vez sean paralelas a otras estructuras de similares características mineralógicas y estructurales en superficie, las cuales fueron ya reconocidas suficientemente y cuentan con reservas y recursos. Entonces el bloque de mineral potencial se ubicará debajo de los afloramientos con anomalías y tendrá el mismo rango vertical de las reservas + recursos de las estructuras paralelas ya desarrolladas, y estará a una profundidad similar que el de las reservas y recursos de esas estructuras y no se estimará la ley. En este caso se tiene que asumir la profundidad de óxidos de hierro.

No se considera mineral potencial con valores de submarginal ni de baja ley.

#### **B. Según el valor**

##### **b.1 Mineral submarginal**

Se requiere variaciones favorables más allá de lo previsible en los parámetros económicos para transformarse en mineral económicamente explotable. Aunque puedan



tener un grado de confianza, continuidad y de certeza, en su estimación, similares a los correspondientes a reservas probadas y probables, esto no es suficiente para considerarlas como reservas minerales. En los planos los bloques de mineral submarginal se colorea de tonalidad azul.

No hay mineral inferido ni mineral potencial para mineral submarginal

### **b.2 Mineral de baja ley**

Es aquel mineral no económico cuyo valor es inferior al del mineral submarginal.

En los planos los bloques se colorean de tonalidad verde.

No hay mineral inferido ni mineral potencial para este mineral.

## **C. Según la accesibilidad**

### **c.1 Mineral inaccesible**

Aquel mineral que requiere de altas inversiones en rehabilitación de accesos y su valor no los cubre, o se halla en zonas cuya explotación afectaría instalaciones fijas (piques, cámaras de bombeo, etc.), o se emplaza debajo de lagunas, no se considera reserva. En los planos los bloques no se colorean.

## **5.2.4 Parámetros de estimación**

### **A. Elección de los bloques**

Para el bloqueo, segmentos de la estructura mineralizada, se correlacionaron según el estilo y tendencia de mineralización, según la continuidad de leyes y potencias. Con este criterio se obtiene un bloque de mineral, este es una figura tridimensional puesto que tiene longitud, altura y ancho limitada por una o más labores mineras.





Alpacay es un yacimiento aurífero de un comportamiento lenticular con una gran irregularidad de leyes y potencia, que afectan la continuidad de la veta en forma horizontal como vertical; donde los tajos de explotación con coronas de alta ley de oro pueden en otro corte estrangularse completamente. De acuerdo a la experiencia de cubicación en vetas auríferas, se ha considerado una altura de 10 m para el bloque probado y 10 m para el bloque probable. Un gran porcentaje de los bloques cubicados se ajustan a esta consideración.

Para el ancho del block se consideró la unidad básica de explotación (UBE) una longitud mínima de 10.0 m.

### **B. Promedio de leyes de cada canal**

Normalmente un canal tiene más de una muestra, que se denomina como canal compuesto motivo por el cual tiene que obtenerse el promedio ponderado de leyes de cada canal. Las leyes muy bajas de muestras que están ubicados en los lados del canal no se consideran para promediar. El cálculo es como sigue:

$$\text{Ley Promedio del canal} = \frac{\text{Suma de ancho de muestra X ley}}{\text{Suma de anchos de muestra}}$$

### **C. Cálculo de leyes y correcciones**

La ley promedio del bloque con una sola labor es igual a la suma de los productos de los anchos por la ley respectiva, dividido entre sumatoria de los anchos. Es un promedio ponderado.

La ley promedio para el bloque con dos o más labores es igual a la sumatoria del producto de la longitud del mineral por el ancho y por la ley respectiva, dividido ente la sumatoria del producto de las longitudes por las potencias.



Antes de obtener el promedio ponderado de ley, los valores erráticos in situ se han corregidos al promedio de la ley corregida del laboratorio más 2 SD (desviación estándar) más la ley media corregida del laboratorio. Este método estadístico permite una modulación de valores.

Por error de muestreo, manipuleo y ensaye se ha establecido un castigo de 10 % a la ley promedio corregida de oro.

Así mismo, para el tonelaje se ha considerado un castigo del 25 %. El castigo a la ley se ajusta a las experiencias de operación en la minería nacional, en el futuro para el ajuste de ley en Alpacay se irán haciendo seguimientos estadísticos de ratios de la ley de oro de tratamiento de planta versus la ley de cubicación. Para el caso del castigo del tonelaje (25%), parecería elevado, pero en realidad la discontinuidad de la mineralización (tramos que se estrangulan) es notoria, a la fecha se tiene resultados evidentes que demuestran pérdidas por discontinuidad. Hasta que no se obtenga un control del volumen cubicado versus el volumen extraído, consideramos válido el castigo aplicado al volumen.

#### **D. Leyes erráticas**

En caso que haya leyes erráticas, se deberá reemplazarlas por el promedio de las dos muestras anteriores y las dos muestras posteriores, que pertenecen a la misma banda en que está la muestra errática.

#### **E. Potencia**

La potencia promedio de un bloque con una cara muestreada es el promedio aritmético de los anchos (medidos equidistantemente). La potencia promedio de un bloque con dos o más caras muestreadas es igual a la sumatoria de los productos de los



anchos promedio del lado por las longitudes de cada lado dividida entre la sumatoria de las longitudes de los lados.

#### **F. Ancho mínimo minable (AM)**

En Minera Yanaquihua SA.C. UP Alpacay se ha establecido el ancho mínimo de explotación a 0.30 m., menos sería muy complejo. En otros tajos se explota con voladura en dos tiempos, tipo “circado” que permite recuperar una ley menos diluida pero que a la vez implica mayor tiempo en la extracción. Finalmente, de los tajos el mineral se acarrea a las canchas que están próximas a las tolvas de acumulación de donde se carga a los volquetes; en estas canchas el mineral es “pallaqueado” por personal permanentemente para mejorar la calidad del mineral que se envía a la planta.

Por todos estos detalles, para la presente evaluación de Reservas y Recursos de Mineral las leyes fueron diluidas a los siguientes AM:

- Potencias menores a 0.30 m, el AM es igual a 0.30 m.
- Potencias mayores de 0.30 m, el AM es igual a más 0.05m a la Potencia.

#### **G. Calificación de leyes canal por canal**

Una vez efectuado los pasos anteriores se hace la calificación de las leyes equivalentes diluidas de cada canal teniendo en cuenta los Cut-Off determinados, de modo si su ley pueda corresponder a valor de mena, marginal, submarginal, o baja ley, para luego definir qué tramos de canales corresponden a mena, etc.

Indudablemente en algunos tramos pueden considerarse algunas partes estériles o de menor ley que el Cut-Off correspondiente, siempre y cuando no se tengan cinco canales consecutivos con leyes debajo de valores de mena, marginal o submarginal. Si



esto ocurriera se procederá a separar el tramo de cinco canales como mineral submarginal o baja ley según el caso.

#### **H. Longitud mínima y máxima de bloque de mineral**

La longitud mínima para formar un bloque de mineral será de acuerdo a la longitud mineralizada, por la irregularidad en la continuidad de las vetas angostas. Entre los bloques de mena, puede haber o no bloques marginales o submarginales o de baja ley según los casos.

En bloques de baja ley de gran longitud, y en donde haya algún tramo de mena o marginal que por su poca longitud no se obtiene formar un bloque independiente, se subdividirán en bloques de distinta ley para indicar las posibilidades de exploración con chimeneas, o su explotación respectiva.

#### **I. Cálculo del ancho y leyes de muestras de un tramo**

En estructuras angostas el cálculo de anchos y leyes puede hacerse por el método tradicional, antes de definir el tramo, en donde la dilución se aplicará canal por canal de las leyes equivalentes. En estructuras angostas, el método tradicional, para el cálculo de anchos y leyes diluidos es el siguiente:

$$\text{Ancho Promedio Diluido del tramo} = \frac{\sum \text{Anchos Diluidos de Canales}}{\text{N}^\circ \text{ Canales}}$$

$$\text{Ley Promedio Diluido del tramo} = \frac{\sum \text{Ancho de Canales} \times \text{Ley Dil de Canales}}{\sum \text{Anchos Dil. de Canales}}$$



### 5.2.5 Dimensionamiento de bloques

Una vez que se determinan los anchos y leyes promedios diluidos de los diferentes tramos de mineral ubicados en galerías y chimeneas, se procede a dimensionar los bloques de mineral de acuerdo al valor (mena, marginal, submarginal y baja ley) y de acuerdo a la certeza (probado y probable). Es decir, se procede a representar en figuras geométricas (bloques de mineral) en sección longitudinal vertical, la forma de la mineralización de acuerdo a su valor y a su certeza, para lo cual como se menciona antes se tiene que contar con los Cut-Off correspondientes. El perímetro respectivo de un bloque puede ser rectangular, cuando se tiene un solo tramo de labor, o un polígono cuando se trata más de una labor con o sin sondajes; debiéndose contornearse manualmente.

Para determinar la forma y tamaño de los bloques depende de la cantidad de labores que los limitan, pero siempre debe tenerse en cuenta primero los criterios geológicos (interpretación estructural y mineralógica) e información de sondajes, y si es posible aplicar la geoestadística con los cuales se puede dar la forma más apropiada.

#### A. Dimensión de Bloques

- ❖ El caso más simple es cuando el mineral ha sido desarrollando con una sola labor (galerías o chimeneas), en donde puede haber uno o más tramos mineralizados, o también ha sido muestreado sólo en afloramientos (superficie). En este caso, en cada tramo, se delinearé un bloque rectangular.

En MYSAC. Se ha establecido lo siguiente:



- Los bloques tendrán una longitud mínima de 5 metros.
- El mineral probado (o el mineral medido) con longitudes entre 5 metros y 10 metros tendrá una altura de 5 metros.
- El mineral probable (o el mineral indicado) se delinea a continuación del mineral probado, tendrá la misma longitud de este y su altura será igual o la mitad de la longitud total del bloque.
- El recurso inferido, podrá tener una altura igual a la suma de las alturas de los bloques probados y probable.
- El mineral potencial, podrá tener una longitud y altura igual a los bloques de mineral probado, probable e inferido. - La altura propuesta para los minerales probados (minerales medidos), probables (minerales indicados), inferidos y potenciales podrán ser diferentes si usan criterios geológicos (curvas de isovalores, etc.) y/o sondajes complementarios.
- ❖ En los casos en que el yacimiento ha sido desarrollado con más de una labor (más de una galería, o más de una chimenea, etc.) o muestreados en afloramientos y complementados con sondajes diamantinos, se configuran bloques combinando las dimensiones de los respectivos tramos y/o incluyendo la influencia de los sondajes. Indudablemente si se tienen sondajes debajo donde se trata definir un bloque probado y otro probable, estos deberían tener mayor altura, y ciertamente el bloque probable tendrá mayor certeza que si no hubiera sondaje.
- ❖ Hay casos en que se tienen afloramientos con bajos valores, pero anómalos y solamente explorados mediante sondajes debajo de dichos afloramientos. Si los sondajes muestran valores de interés económico, claro que no todos, pueden estimarse ya sea reservas minerales o recursos minerales. Cuando los sondajes cortan estructuras mineralizadas cuyo espaciamiento no es suficiente como para



asumir la continuidad geológica y de ley, se puede dimensionar bloques inferidos, o bloques de mineral potencial si las intersecciones de sondajes son muy aisladas y escasas o no hay sondajes.

## **B. Cálculo de tonelaje y ley de bloques de mineral**

Una vez definidos los bloques de mineral se procede al cálculo de tonelaje y ley correspondientes.

Se entiende que ya se tienen determinadas las longitudes de los tramos mineralizados que conforman un bloque, así como sus anchos y leyes promedios, habiéndose hecho, además, la corrección de las leyes altamente erráticas, y aplicado la dilución respectiva. Teniendo los Cut-Off correspondientes y las leyes promedias de los tramos, se puede asignar a cada tramo la categoría de Mena, Marginal, Submarginal, o Baja Ley según el valor.

En el proceso convencional del cálculo de tonelaje de un bloque en las Vetas angostas, primero se debe determinar su volumen para lo cual se calcula el área del bloque en sección longitudinal y el ancho promedio diluido respectivo como se mencionó antes; entonces para calcular el volumen se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Area del bloque} \times \text{Ancho promedio diluido}$$

De mismo modo para calcular el tonelaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Tonelaje (TMH)} = \text{Volumen} \times \text{Peso específico}$$

Para calcular la ley promedio diluido de un bloque se utiliza la siguiente fórmula:



### **Ley Promedio Diluido**

$$= \frac{\sum \text{Longitudes de tramos} \times \text{Leyes Promedios Diluidos de tramos}}{\sum \text{Longitudes de tramos}}$$

#### **C. Cálculo de Tonelaje y ley del yacimiento**

Se tiene la información de los diferentes tramos (Ancho Promedio Diluido, Ley Promedio, Longitud del Tramo) que conforman todos los bloques respectivos de una estructura mineralizada o de las estructuras de todo el yacimiento, previamente clasificado, en Mena, Marginal, Sub marginal y Baja Ley (según su valor); en Probado, Probable, Inferido y Potencial (según su certeza), y Accesible, Eventualmente Accesible e Inaccesible (según la accesibilidad de cada bloque de mineral).

#### **D. Codificación de datos.**

Esta información se registra en una tarjeta de inventario de minerales para un proceso computarizado, en el cual están considerados los siguientes datos: Unidad, Nombre de Registro, Acción, Localidad, Mina, Estructura Mineralizada, Tipo de Mineral, Accesibilidad, Certeza, N° de Bloque, Coordenadas E y N, Cota del Bloque, Nivel, Año, Área, Referencias, Longitud, Ancho de estructura, Leyes, Ancho diluido, Leyes diluidas.

#### **E. Área**

El área del block de cubicación se determina por los métodos geométricos simples de base por altura.

#### **F. Volumen**

Es el producto del área calculada por la potencia diluida del promedio de la veta, para la obtención de Recursos y para las Reservas resulta del producto del área y ancho de dilución.

#### **G. Peso específico**



El cálculo del Peso Específico para Minera Yanaquihua S.A.C. UP Alpacay, se ha considerado 2.66 t/m<sup>3</sup> para óxidos y 2.96 t/m<sup>3</sup> para sulfuros, para todas las estructuras mineralizadas, que es un valor nuevo del resultado realizado en un laboratorio externo.

## H. Tonelaje

Resulta de la multiplicación del volumen por el peso específico.

**Tabla 9:** Cartilla de muestro sistemático y modelo de tarjeta de bloque

LABORES HORIZONTALES												
Descripción				Leyes de mina				Longitud Muestrada	Veta		Veta diluida a 0.3m	
Fecha	Muestra	Nivel	Labor	Ref. Topográfica	Ala	Pot (m)	Ley (Au g/t)		Corrección Laboratorio	Ley Corregida A. Errático	Pot Dil	Ley
13/07/2018	36405-06	2050	GA507E	4E+52m	E	0.67	15.88		14.30	14.30	0.72	13.30
15/07/2018	36440	2050	GA507E	4E+54m	E	0.44	31.43		28.29	28.29	0.49	25.40
17/07/2018	36481-82	2050	GA507E	4E+56m	E	0.56	29.77		26.79	26.79	0.61	24.60
19/07/2018	36521-22	2050	GA507E	4E+58m	E	0.82	12.88		11.59	11.59	0.87	10.92
20/07/2018	36532-33	2050	GA507E	4E+60m	E	0.85	10.51		9.46	9.46	0.90	8.94
22/07/2018	36584-85	2050	GA507E	4E+62m	E	0.75	15.50		13.95	13.95	0.80	13.08
26/07/2018	37050	2050	GA507E	4E+64m	E	0.27	17.60		15.84	15.84	0.30	14.26
26/07/2018	37051	2050	GA507E	4E+66m	E	0.23	41.70		37.53	37.53	0.30	28.77
28/07/2018	37091	2050	GA507E	4E+68m	E	0.27	43.17		38.85	38.85	0.30	34.97
28/07/2018	37092	2050	GA507E	4E+70m	E	0.24	39.60		35.64	35.64	0.30	28.51
30/07/2018	37719	2050	GA507E	4E+72m	E	0.45	16.57		14.91	14.91	0.50	13.42
9/08/2018	38623-24	2050	GA507E	4E+74m	E	0.34	23.74		21.37	21.37	0.39	18.63
15/08/2018	39019	2050	GA507E	4E+76M	E	0.47	11.87		10.68	10.68	0.52	9.66
17/08/2018	39066-67	2050	GA507E	4E+78	E	0.64	6.70		6.03	6.03	0.69	5.59
<b>LABOR BASE</b>	<b>14</b>		<b>#REF!</b>			<b>0.50</b>	<b>19.02</b>	<b>14</b>	<b>17.12</b>		<b>0.55</b>	<b>15.58</b>

FUENTE: MYSAC. Y Elaboración propia

Para el procesamiento computarizado, se codifica los datos según el siguiente cuadro, los cuales son registrados y comprobados en las respectivas tarjetas para cada bloque:

Datos Código

N° de Registro:

Acción: Representa la vigencia del bloque correspondiente.

1. Bloque Nuevo (interviene en el proceso)
2. Bloque Modificador (interviene en el proceso)
7. Bloque Modificado anulado (no interviene en el proceso)
8. Bloque Eliminado o Reinterpretado (no interviene en el proceso)



## 9. Bloque Explotado (no interviene en el proceso)

Localidad: Cada unidad tiene su localidad

Mina: Cada mina tiene un código

Tipo de Mineral:

1 Óxidos

2 Sulfuros

3 Otros

Reservas y otros

Accesibilidad:

1 Accesible

2 Eventualmente accesible

3 Inaccesible

Certeza

1 Probado Medido

2 Probable Indicado

3 Inferido

4 Potencial

Valor

1 Mena

2 Marginal

3 Submarginal

4 Baja Ley

Nº de Bloque: Con el que se designa al Bloque.

Coordenadas: Las correspondientes al punto central de la figura geométrica del Bloque, proyectado en planta.



Cota del Bloque: Correspondiente al punto central del Bloque

Nivel: De acuerdo al código correspondiente

Año: Correspondiente al cálculo

Área: Está calculada en m<sup>2</sup> utilizando un decimal

#### En Leyes Diluidas

Referencias: Labores o Sondajes que conforman el Bloque

Longitud: Longitud de los tramos de la labor y/o longitud de influencia de Sondajes que limitan el Bloque.

Ancho de estructura diluida: Ancho de la Muestra de la Estructura + dilución

Leyes diluidas: Son las que corresponden al tramo de la labor respectiva

#### Procesamiento computarizado

Las informaciones registradas en las tarjetas de bloqueo son procesadas utilizando un software (proceso computarizado) con lo que al final se obtendrá los tonelajes y leyes de los bloques clasificados para cada estructura y de todas las estructuras mineralizadas del yacimiento.

Con este procedimiento se obtiene los tonelajes y las leyes de las reservas minerales y de los recursos minerales por estructura, y los tonelajes y leyes de todo el depósito mineral, clasificados por su Valor, Certeza y Accesibilidad.

Al final se tiene el total de reservas minerales y el total de recursos minerales, correctamente clasificados de acuerdo lo mencionado en el párrafo anterior.

**Tabla 10:** Procesamiento de bloques de cubicación

U.E.A	ALPACAY	F.OPERATIVA	AVANCES	CATEGORÍA	CERTEZA	ACCESIBILIDAD	ZONA	CUT OFF	MINIMO
ZONA	CONSUELO	CATEGORIA	RESERVAS	RESERVAS	PROBADO	ACCESIBLE	ESPERANZA	12.74	4.47
T. ESTRUCTURA	VETA	CERTEZA	PROBABLE	RECURSOS	PROBABLE	EVEN. ACCES.	GERTRUDIS	12.74	4.47
NOMBRE	HUASCAR	ACCESIBILIDAD	ACCESIBLE		MEDIDO	INACCESIBLE	ENCARNA	10.85	5.87
BLOCK	72				INDICADO		CONSUELO	10.85	5.87
NIVEL	2170	Valor de Punto Au	31.75		INFERIDO		CERRO RICCO	12.34	6.52
AÑO	30/12/2018	Económico \$	375.63						
DESV. STANDARD	11.25	Marginal \$	174.31						
LEY MEDIA CORREG LAB	11.83	Submarginal \$							
N° MUESTRAS	14.00								

T. ESTRUCTURA	P. ESPECIF.	U.E.A.	CATEGORIA	V. PUNTO Au	FASE OPER.
OXIDO	2.655	ALPACAY	Reservas	31.75	AVANCES
SULFURO	2.960		Recursos		PERFORACIÓN
ROCA CAJA	2.660				TRINCHERAS

RESERVA			
TM	AME	Au gr. Veta	\$/TM Veta
153	0.42	9.87	313.22

RECURSO			
TM	AME	Au gr. Veta	\$/TM Veta
128	0.35	11.84	375.86

Datos	
Base	13.50
Altura	13.20
Peso Especificc	2.96
Inclinación	70

PARAMETROS DE ESTIMACION	
AME	0.30
AME > 0.30	0.00
Dilucion	20%
Castigo Leyes	10%
TM (Disc. Puentes)	0%
20% Inferido	20%
40% Inferido	40%

RESUMEN											
U.E.A.	ZONA	TIPO	VETA	BLOCK	F.OPERATIVA	CATEGORÍA	CERTEZA	ACCESIBILIDAD	VALOR	LONGITUD	ALTURA
ALPACAY	CONSUELO	SULFURO	HUASCAR	72	AVANCES	RESERVAS	PROBABLE	ACCESIBLE	MARGINAL	13.50	13.20

FUENTE: MYSAC. Y Elaboración propia

(Ver ANEXOS, Plano de Recursos y Reservas de Veta Huáscar-Lámina N° 09)

### 5.2.6 Reservas y recursos de veta Huáscar

**Tabla 11:** Reserva mineral probado y probable

VETA	PROBADO			PROBABLE			TOTAL			ONZAS
	TM	POT	LEY	TM	POT	LEY	TM	POT	LEY	
HUÁSCAR	6,768	0.44	13.61	4,169	0.47	13.66	10,937	0.46	13.64	4,795
TOTAL	6,768	0.44	13.61	4,169	0.47	13.66	10,937	0.46	13.64	4,795

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 12:** Recurso mineral, medido, indicado, e inferido

VETA	MEDIDO			INDICADO			INFERIDO			TOTAL			ONZAS
	TM	POT	LEY	TM	POT	LEY	TM	POT	LEY	TM	POT	LEY	
HUÁSCAR	5,640	0.37	16.33	3,474	0.39	16.40	7,329	0.29	21.72	16,443	0.35	17.84	9,430
TOTAL	5,640	0.37	16.33	3,474	0.39	16.40	7,329	0.29	21.72	16,443	0.35	17.84	9,430

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 13:** Reserva mineral según accesibilidad

CATEGORIA	TM	POT	LEY	ONZAS
ACCESIBLE	5,996	0.45	13.38	2,578
EVEN. ACCESIBLE	4,608	0.47	14.10	2,089
TOTAL	10,603	0.46	13.75	4,686

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 14:** otras consideraciones

RECURSOS > 5 Y < 10 Grs.				
CATEGORIA	TM	POT	LEY	ONZAS
<b>MEDIDO</b>	5,046	0.34	7.83	1,270
<b>TOTAL</b>	5,046	0.34	7.83	1,270

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 15:** Reserva probado y probable por bloques

N° DE BLOK	VETA			VETA DILUIDA A 0.30 Mts.			VETA DILUIDA A 20%		
	TM Veta	POT. Veta	Au gr. Veta	TM	POT. Veta	Au gr. Veta	TM	AME	Au gr. Veta
4	147.15	0.31	23.26	173.90	0.37	19.69	208.68	0.44	16.40
12	271.11	0.28	19.02	340.74	0.36	15.14	408.89	0.43	12.61
24	47.25	0.32	17.49	57.11	0.39	14.45	68.53	0.47	12.04
25	36.34	0.32	17.49	43.93	0.39	14.45	52.71	0.47	12.04
28	21.35	0.24	21.73	28.26	0.32	16.42	33.91	0.39	13.69
44	153.51	0.21	19.00	250.52	0.34	11.70	300.62	0.41	9.75
59	113.58	0.14	34.61	241.53	0.31	16.29	289.83	0.37	13.58
60	113.05	0.14	34.61	278.00	0.31	16.29	333.60	0.37	13.58
70	72.33	0.37	13.43	119.00	0.42	11.78	142.80	0.50	9.81
71	113.66	0.37	13.43	119.00	0.42	11.78	142.80	0.50	9.81
72	267.73	0.34	14.10	119.00	0.41	11.77	142.80	0.49	9.81
74	191.15	0.24	25.32	74.00	0.37	16.93	88.80	0.44	14.11
86	265.51	0.36	18.48	322.81	0.44	15.21	387.37	0.53	12.67
87	94.97	0.36	18.48	115.47	0.44	15.21	138.56	0.53	12.67
88	66.38	0.36	18.48	80.70	0.44	15.21	96.84	0.53	12.67
89	265.51	0.36	18.48	322.81	0.44	15.21	387.37	0.53	12.67
90	57.98	0.20	21.07	95.00	0.32	12.87	114.00	0.38	10.72
91	118.18	0.20	21.07	193.62	0.32	12.87	232.35	0.38	10.72
92	118.18	0.20	21.07	193.62	0.32	12.87	232.35	0.38	10.72
93	118.18	0.20	21.07	193.62	0.32	12.87	232.35	0.38	10.72
96	81.58	0.23	17.80	109.86	0.32	12.84	131.84	0.39	10.70
97	76.96	0.27	17.64	103.29	0.37	12.78	123.95	0.44	10.65
98	282.97	0.23	17.80	381.06	0.32	12.84	457.27	0.39	10.70
99	285.18	0.23	17.80	384.03	0.32	12.84	460.83	0.39	10.70
100	70.34	0.32	38.13	89.52	0.42	29.26	107.42	0.51	24.38
101	95.48	0.42	12.77	105.67	0.47	11.41	126.81	0.57	9.51
102	220.20	0.32	38.13	280.23	0.42	29.26	336.28	0.51	24.38
103	220.20	0.32	38.13	280.23	0.42	29.26	336.28	0.51	24.38
104	141.75	0.50	17.12	154.30	0.55	15.58	185.17	0.66	12.99
105	46.83	0.25	29.49	59.10	0.32	22.83	70.92	0.38	19.03
106	437.52	0.49	16.65	478.09	0.54	15.10	573.70	0.65	12.58
107	418.22	0.47	15.69	458.49	0.52	14.20	550.19	0.62	11.83
117	132.69	0.30	14.23	162.37	0.37	11.40	194.85	0.45	9.50
118	159.98	0.30	14.23	195.77	0.37	11.40	234.92	0.45	9.50
119	308.67	0.30	14.23	377.72	0.37	11.40	453.26	0.45	9.50
120	308.67	0.30	14.23	377.72	0.37	11.40	453.26	0.45	9.50
121	139.69	0.27	17.64	187.49	0.37	12.78	224.99	0.44	10.65
122	222.79	0.42	12.77	246.57	0.47	11.41	295.88	0.57	9.51
123	141.27	0.25	29.49	178.27	0.32	22.83	213.93	0.38	19.03
124	235.00	0.37	33.28	236.95	0.37	26.92	284.35	0.45	22.43
125	400.53	0.37	33.28	403.87	0.37	26.92	484.65	0.45	22.43
144	62.29	0.14	45.75	125.20	0.30	21.54	150.24	0.36	17.95
145	62.29	0.14	45.75	125.20	0.30	21.54	150.24	0.36	17.95
146	62.29	0.14	45.75	125.20	0.30	21.54	150.24	0.36	17.95
147	62.29	0.14	45.75	125.20	0.30	21.54	150.24	0.36	17.95
<b>TOTAL</b>	<b>7,329</b>	<b>0.29</b>	<b>21.72</b>	<b>9,114</b>	<b>0.38</b>	<b>16.35</b>	<b>10,937</b>	<b>0.45</b>	<b>13.63</b>

FUENTE: Elaboración propia



## VI. CONCLUSIONES

1. El yacimiento Alpacay es un depósito mesotermal, filoniano de comportamiento lenticular, relacionado con mineralización aurífera emplazados en la roca granodiorita de las superunidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca-Ocoña, cuyos depósitos albergan un gran grupo de vetas con poca potencia y con alto grado de contenido aurífero. Mineralógicamente la veta Huáscar está compuestas de cuarzo gris y blanquecino, sulfuros en menor cantidad y óxidos de fierro en la parte superficial. La secuencia paragenética nos indica que primero se depositó chalcopirita-molibdenita-cuarzo, y el segundo pirita-cuarzo-oro, y finalmente como pirita-cuarzo-calcita oro-chalcopirita, esfalerita-galena. La alteración hidrotermal está dada por una moderada argilización y propilitización. Estructuralmente es de tipo rosario tanto horizontal como vertical, formando clavos mineralizados, los mismos que han sido originados por esfuerzos compresionales y tensionales. El sistema estructural que controla el depósito es del tipo Riedel, de fallamiento local con orientación NE-SW, las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca, han jugado un rol importante en la conformación del ambiente estructural receptor de la mineralización. Cabe mencionar que las operaciones actualmente están centradas en los clavos mineralizados ya conocidos con las labores de exploración, lo cual se delimitó nuevas áreas de interés económico y prospectivo.
2. La estimación de recursos y reservas minerales fue realizada teniendo en consideración los procedimientos aplicables al Código JORC, llegándose a estimar 16,443.00 TM con una ley de 17.84 g/t Au como recursos y 10,937 TM con una ley de 13.64 g/t Au como reservas.



## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con las labores de exploración y desarrollo para aumentar las reservas de mena de la veta Huáscar y otras estructuras mineralizadas del yacimiento minero aurífero Alpacay,
2. Continuar con los mapeos de los labores y cateos tanto en superficie e interior mina, para llevar un control permanente del comportamiento estructural relacionado con las estructuras mineralizadas, para tener un mejor conocimiento de los clavos mineralizados.
3. Efectuar una campaña de perforación diamantina en interior mina y superficie en los niveles 2000, 2050, 2220 y 2296 con una inclinación no mayor a 50° con la finalidad de verificar la continuidad de la mineralización en profundidad y horizontal e incrementar las reservas y recursos, adicionalmente se obtendrá información sobre el comportamiento de las estructuras en diferentes niveles de la veta Huáscar.
4. Ampliar los estudios petrográficos con muestras de superficie e interior mina para determinar con mayor certeza la paragénesis y eventos de mineralización del yacimiento minero aurífero Alpacay.
5. Considerar la posibilidad de implementar un software en 3D, que permita el modelamiento del yacimiento, la cubicación de reservas y recursos, y elaborar el plano de isovalores para tener mejor el comportamiento de los clavos mineralizados y flujos de mineralización.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAR, R. & LEBEL, L (1980). The Linga Super-Unit: high-K diorites of the Arequipa segment. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 119-127. Department of Geology University of Liverpool.
- ARANDA, A. & INJOQUE, J. (2002): Estudio de inclusiones fluidas, distrito minero San Juan, Informe Interno Analytica Mineral Services S.A.C.
- BATEMAN, A. (1982): Yacimientos Minerales de rendimiento económico. Editorial Omega, Barcelona España. 5ta Edición 987 Pág.
- BENAVIDES, V. (1962): Geología del distrito minero aurífero de Orión, Caravelí-Arequipa. Resumen extendido.
- BETEJTIN, A. (1975): Curso de Mineralogía. Segunda Edición. Editorial "MIR", Moscú, Rusia. 739 Pág.
- CABOS. R. & VILLAFUERTE. M. (2010). Plan de Exploración y Desarrollo Subterráneo de las Vetas de la Zona Consuelo. Informe de avance, Julio de 2010. Inf. Privado Cía Minera
- CABOS. R. (2010). Reservas, Recursos, Potencial y Programa de Exploraciones en las vetas de las minas Alpacay y Chalhuane. Informe Interno de Cía Minera Yanaquihua.
- COBBING, E. (1984). "The Geology of the Granitoids Rocks and Their Envelope in Coastal Perú". Lima - Perú.





CHOQUE M. F. (2018). Evaluación geología y económica del depósito aurífero de Chalhuane, Andaray-Condesuyos-Arequipa (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

DANA, E. (1976): Tratado de Mineralogía. Editorial Continental. S.A. 564 Pág.

DÁVILA, J. (1999). Diccionario Geológico. Primera edición. Impreso en INGEMMET. Lima: 1006p.

DE MONTREUIL L. (1979): Ocurrencia de oro y sus asociaciones mineralógicas en la faja aurífera Nazca-Ocoña, p 25-48. Programa Científico – Cultural. INGEMMET.

DE MONTREUIL L. (1990): Mineralogía de los Yacimientos Auríferos en el Perú, p 307-343. Resumen extendido Segundo Simposium Internacional del Oro.

EVANS, A. (1993): Ore geology and industrial minerals 3° ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford 390.

GARCÉS, H. 1984. Geología Económica de los Yacimientos Minerales, Editorial Clave, Medellín – Colombia

GUIZADO, J. (1983). “Estratigrafía y tectónica del Area de Coracora – Pacapausa”. Boletín N o 71, Sociedad Geológica del Perú. Lima - Perú.

INGEMMET, 2003, Compendio de Yacimientos Minerales del Perú, INGEMMET. Lima-Perú, 437 – 340.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1994). “Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi 32-Q, 31-Q”. Boletín N o 50, Serie A. Lima - Perú.



JORC (1999). “Joint Ore Reserves Committee of the Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists y Minerals Council of Australia”.

JORC, (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code).

KINSTRY, (1962). “Petrografía, Geoquímica e Implicancias Metalogenéticas de los Volcánicos Cenozoicos de Sureste del Perú”. Lima - Perú.

LINDGREN, W. (1913). “Mineral Deposits”. New York – USA.

LOAIZA, C. & ZÁRATE H. & GALLOSO, C. A. (2008). “Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa Sur Media del Perú”. Boletín N o 4, Serie E - INGEMMET. Lima - Perú.

MACHARÉ J. & INJOQUE J. (1997): El Fallamiento Tanaka – Yauca y sus Implicancias en la Tectónica Cenozoica de la Costa Sur del Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología.

MACHARÉ J. & ORTEGA H. (1997): Estudio Estructural del Sector Este de la Veta Calera, Mina Orcopampa – Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología.

MAX, W. (1977). “Nevado de Coropuna, departamento de Arequipa”. Lima - Perú.

MENDIVIL, S. & Castillo, W. (1961). “Geología del Cuadrángulo de Ocoña”. Boletín N o 3, Serie A - INGEMMET. Lima - Perú.

MIRANDA C. (1991): Petrología y estructura comparada de los yacimientos Auríferos en los Batolitos de la Costa y Pataz, p 130-145. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.



MOORE N.D. & AGAR R. (1977): Variations along a batholith: the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 108-118. Department of Geology University Of Liverpool.

NUÑEZ, F. CONDORI A, JARA M. & LINARES F. (1994): Características metalogenéticas de la mineralización aurífera asociada al segmento sur del batolito de la costa (Nazca-Ocoña), p 26-29. Resumen extendido VII Congreso Peruano de Geología.

OLCHAUSKI, L. ENRIQUE & DÁVILA, M. D. (1994). “Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi 32-Q, 31-Q”. Boletín No 50, Serie A - INGEMMET. Lima - Perú.

OYARZUN R. (2011) Estimación de Reservas Minerales.

PECHO, V. (1983). “Geología de los Cuadrángulos de Pausa y Caravelí”. Boletín No 37, Serie A - INGEMMET. Lima - Perú.

RIVERA, M. (2001). “Geología General”. Lima - Perú.

ROSALES M. (1990): Yacimientos auríferos relacionados al batolito de la costa en la franja Nazca – Ocoña, Ica y Arequipa. Resumen extendido Segundo Simposium Internacional del Oro.

SCHU, M. (1996), Yacimientos Auríferos Relacionados al Batolito de la Costa en la Franja Nazca – Ocoña. rocas y minerales.

SMIRNOV, V.I. (1982): Geología de Yacimientos Minerales.

TUMIALÁN, P. (2033): Compendio de Yacimientos minerales del Perú INGEMMET, Boletín N° 10 serie B.



TUMIALÁN, P. & BALLÓN, A. (1982). “Contribución de la Geología Económica de la Provincia Metalogenética Nazca-Ocoña”. Programa Científico Cultural - INGEMMET. Lima – Perú.

VALDIVIA, J. (1996): Geología estructural de las vetas auríferas en la mina Ishihuinca. Segundo Simposium Internacional del Oro.

VÁZQUEZ, F. (1997): Geología económica de los Recursos Minerales. Fundación Gómez Pardo; Madrid).

VIDAL C. (1977): Metallogenesis associated with the coastal batholith of Perú: a review. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 243-249. Buenaventura Ingenieros S.A.

Wilson, J., Garcia, W. (1962). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. Com. Carta Geol. Nac. Bol. No. 4, de la Serie A.



## ANEXOS

LÁMINA N° 01	MAPA GEOLÓGICO REGIONAL.
LÁMINA N° 02	MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESOS.
LÁMINA N° 03	MAPA DE PROPIEDAD MINERA.
LÁMINA N° 04	MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL.
LÁMINA N° 05	MAPA GEOLÓGICO LOCAL.
LÁMINA N° 06	MAPA ESTRUCTURAL LOCAL
LÁMINA N° 07	PLANO DE MUESTREO SISTEMÁTICO
LÁMINA N° 08	PLANO DE SECCIÓN TRANSVERSAL DDH.
LÁMINA N° 09	PLANO DE RECURSOS Y RESERVAS VETA HUÁSCAR.