

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA



**AMPLIACIÓN DE RESERVAS DE MINERAL EN
ZONAS DE ECHADEROS Y MORRENAS EN LA
UNIDAD MINERA TUCARI ARUNTANI SAC -
MOQUEGUA**

TESIS

PRESENTADO POR:

GUIDO OCHOA OBLITAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2017

I

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

**AMPLIACIÓN DE RESERVAS DE MINERAL EN ZONAS DE
ECHADEROS Y MORRENAS EN LA UNIDAD MINERA TUCARI
ARUNTANI SAC-MOQUEGUA.**

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. GUIDO OCHOA OBLITAS



PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

.....
M. Sc. MIGUEL E. CALCINA BENIQUE

PRIMER MIEMBRO:

.....
M. Sc. ERNESTO S. MACHACCA HANCCO

SEGUNDO MIEMBRO:

.....
M. Sc. ROGER GONZALES ALIAGA

DIRECTOR DE TESIS:

.....
Ing. ROBERTO F. ZEGARRA PONCE

AREA: GEOLOGÍA DE MINAS

TEMA: AMPLIACIÓN DE RESERVAS DE MINERAL

PUNO - PERÚ
2017

DEDICATORIA

A Dios, sobre todas las cosas, que me ilumina cada día para lograr mis metas trazadas y por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar muchas dificultades, y nunca me dejaste solo.

A mis padres: Juliana Oblitas Chila y Lino Ochoa Machaca, por haberme dado la vida, por haber orientado mis pasos sobre el mejor sendero de la vida, por sus desvelos, apoyo, estímulo y comprensión;
A mis hermanos: Luz Delia, Betsabe Casilda, Nelida, Jose Antonio, Williams Lino y Ana Cecilia, a ellos por haberme brindado el amor de hermanos, la confianza, el ejemplo, la comprensión y acompañarme en todo los momentos;
A mis sobrinos, que me hicieron volver a sentir el ímpetu y la alegría que nunca se debe perder de un niño.

GUIDO OCHOA O.

AGRADECIMIENTO

La presente tesis para optar el título profesional representa el trabajo realizado en la unidad minera Tucari del grupo Aruntani, con el espíritu de contribuir a la ciencia geológica y a los trabajos de la mina. Al Ingeniero Guido del Castillo quien la preside, estaré eternamente agradecido por haberme permitido realizar esta investigación.

Agradezco a mi asesor Ing. Roberto F. Zegarra Ponce, a los miembros de jurado de tesis M. Sc. Miguel E. Calcina Benique, M. Sc. Ernesto S. Machacca Hanco, M. Sc. Roger Gonzales Aliaga por su disposición, observaciones, sugerencias y correcciones a mí trabajo de tesis; por su valioso aporte en el análisis de resultados, sin los cuales la realización de este trabajo no sería posible.

Mis agradecimiento a los Ingenieros Geólogos de la empresa ARUNTANI S.A.C: Gustavo Duran, Edy Vásquez, Ángel Ticona, Ernesto S. Bazán, Miguel A. Chupillon, Aldo A. Morocco, York A. Gutiérrez, Fredy Quispe, Fidel Choquehuayta, Cesar Chilque y cómo no olvidar a grandes amigos Ingenieros; Loyer Miranda, Eduardo Delgado, Henry P. Torres y Nelson Torres, quienes fueron parte de un gran grupo selecto me brindaron el apoyo académico, confianza y moral.

Mis agradecimientos buenos amigos Geólogos: Lisbet Nina, Raúl Montesinos y Diego A. Ponce, por su paciencia y sugerencias en ordenar editar este trabajo.

Finalmente el agradecimiento a mis docentes, compañeros y amigos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, quienes fueron los protagonistas principales en mi desarrollo profesional, permitiendo que mi carácter sea firme y valore la Geología como una pasión que sea difícil de olvidar; y todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron de alguna manera para que este trabajo pudiera ser realizado.

ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i> -----	III
<i>AGRADECIMIENTO</i> -----	IV
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> -----	X
<i>ÍNDICE DE CUADROS</i> -----	XII
<i>ÍNDICE DE MAPAS Y SECCIONES</i> -----	XIII
<i>ACRÓNIMOS</i> -----	XIV
<i>RESUMEN</i> -----	XVI
<i>ABSTRACT</i> -----	XVII

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA -----	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	1
1.3. ANTECEDENTES -----	2
1.4. HIPÓTESIS -----	3
1.5. OBJETIVOS -----	3
1.5.1. Objetivo General-----	3
1.5.2. Objetivos Específicos-----	3
1.6. JUSTIFICACIÓN -----	3

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2. GEOLOGÍA -----	4
2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL -----	4
2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL -----	4
2.2.1. Substrato Geológico -----	4
2.2.2. Formas del Relieve-----	5
2.2.3. Unidades Geomorfológicas -----	5

2.2.3.2. Sistema Glacial -----	6
2.2.3.3. Sistema Volcánico -----	7
2.3. GEOLOGÍA REGIONAL -----	9
2.3.1. Grupo Puno -----	11
2.3.2. Grupo Tacaza -----	11
2.3.3. Volcánico Sencca-----	11
2.3.4. Grupo Barroso-----	12
2.3.5. Material Cuaternario -----	12
2.4. ROCAS VOLCÁNICAS -----	13
2.4.1. Andesita-----	13
2.4.2. Tufo Andesítico-----	13
2.4.3. Dacitas-----	14
2.4.4. Brechas -----	14
2.5. TEXTURAS DE LAS ROCAS ÍGNEAS-----	16
2.6. YACIMIENTOS EPITERMALES-----	16
2.6.1. Soluciones Mineralizantes -----	17
2.6.2. Yacimiento Epitermal de Baja Sulfuración -----	18
2.6.3. Yacimiento Epitermal de Alta Sulfuración-----	19
2.7. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL -----	20
2.7.1. Tipos de Alteración-----	21
2.8. MUESTREO PARA EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS MINEROS-----	22
2.8.1. Metodología del muestreo-----	23
2.8.2. Requisitos para la Adecuada Toma de Muestra -----	25
2.8.3. Errores en la Toma de Muestra-----	25
2.9. RECURSOS MINERALES Y RESERVAS DE MENA -----	26
2.9.1. Conceptos Básicos-----	27
2.9.2. Recursos Minerales-----	28
2.9.3. Reservas de Mena -----	29
2.10. MÉTODO DEL KRIGING -----	30
2.10.1. Kriging Ordinario -----	31
2. 11. PERFORACIÓN -----	32

2.11.1. Perforación Diamantina -----	32
2.11.2. Perforación Infill Drilling -----	33

CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN-----	34
3.2. TRABAJOS DE GABINETE (COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN) -----	34
3.3. TRABAJO DE CAMPO -----	34
3.3.1. Cartografiado -----	34
3.3.2. Muestreo -----	35
3.4. PERFORACIÓN INFILL DRILLING -----	39
3.4.1. Procedimiento para el Muestreo en Perforaciones Infill Drilling-----	39
3.5. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS MUESTRAS EN LA PERFORACIÓN DE INFILL DRILLING -----	41
3.5.1. Parámetros Utilizados en el Control de Muestras -----	41
3.6. LOGUEO DE PERFORACIONES-----	42
3.7. ESTUDIOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA -----	42
3.8. TRABAJO DE LABORATORIO QUÍMICO DE TUCARI-----	42
3.8.1. Preparación de Muestras para Análisis de Au-----	42
3.8.2. Secado -----	43
3.8.3. Chancado y Pulverizado -----	44
3.8.4. Recepción de resultados en leyes Au-----	44
3.9. SOFTWARE PARA MODELAMIENTO GEOLÓGICO -----	45
3.9.1. Target for Arcgis -----	45
3.9.2. Maptek Vulcan-----	45
3.10. INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES -----	47
3.10.1. Equipos, Instrumentos y Materiales Utilizados en Campo-----	47
3.10.2. Materiales y Equipos Utilizados en Gabinete -----	47

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. UBICACIÓN Y ACCESO	48
4.2. CLIMA	50
4.3. GEOLOGÍA LOCAL	50
4.3.1. Grupo Puno (Ti-pu).-----	50
4.3.2. Volcánico Tacaza (Ts-vt).-----	51
4.3.3. Volcánico Barroso (TQ-vb).-----	51
4.3.4. Cuaternario-----	52
4.4. TIPOS ALTERACIÓN QUE PRESENTA EL YACIMIENTO DE TUCARI ----	56
4.4.1. Sílice Masiva-----	56
4.4.2. Sílice Residual-----	57
4.4.3. Sílice Alunita -----	57
4.4.4. Sílice Clay -----	58
4.5. DIFERENCIACIÓN DE ZONAS DE MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN EN LA MINA TUCARI	59
4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE LAS MORRENAS ---	62
4.6.1. Zona Norte -----	63
4.6.2. Zona Este-----	64
4.6.3. Zona Sur -----	64
4.7. MINERALOGÍA	65
4.7.1. Estudios de Microscopia Electrónica Barrido (MEB)-----	65
4. 9. PERFORACIÓN INFILL DRILLING EN ZONA DE MORRENAS	73
4.10. CÁLCULO DE RESERVAS	81
4.11. ESTIMACIÓN DE RECURSOS	81
4.11.1. Compósitos-----	83
4.11.2. Proceso de Cubicación de Recursos en Echadero y Morrena -----	83
4.11.2.1. Parámetros utilizados en el Proceso de Estimación de Reservas -----	83
4.12. RECURSOS GEOLÓGICOS	86
4. 12. 1. Estimación de la Ley -----	86

4.12.2. Cálculo de Reservas en Echaderos y Morrenas -----	87
4.12.3. Parámetros Económicos de Optimización -----	87
4.12.4. Cálculo de Ley de Corte -----	87
4.12.5. Parámetros de Diseño Operativo -----	89
4.13. RESERVAS CALCULADO DICIEMBRE 2016 -----	89
4.14. RECUPERACIÓN METALÚRGICA-----	90
4.14.1. Procedimiento para el Análisis Metalúrgico-----	90
V. CONCLUSIONES -----	93
VI. RECOMENDACIONES -----	94
VII. REFERENCIAS -----	95
ANEXOS-----	98

ANEXO 1: CÓDIGOS GEOLÓGICOS ESTANDARIZADOS POR LA EMPRESA ARUNTANI SAC.

ANEXO 2: LEYES REPORTADO DE Au POR EL LABORATORIO QUÍMICO DE LA UNIDAD MINERA TUCARI.

ANEXO 3: RESULTADOS EN DENSIDADES DE ALTERACIONES QUE PRESENTA LA UNIDAD MINERA TUCARI.

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pag.
Figura 1:	Bofedal emplazado en la unidad de valle glacial.....	6
Figura 2:	Valle glacial en forma de “U”, y los depósitos fluvioglaciares	7
Figura 3:	Escarpas y terraza estructural.....	8
Figura 4:	Tipos de brecha hidrotermal.....	15
Figura 5:	Formación de los depósitos epitermales de baja y alta temperatura. ...	20
Figura 6:	Muestreo estadístico y muestreo de minerales	23
Figura 7:	Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de segregación.....	24
Figura 8:	Cucharones para muestreo lo correcto e incorrecto.....	24
Figura 9:	Resultados de exploración, recursos y reservas minerales	26
Figura 10:	Mapeo de alteraciones, litología y mineralización.	35
Figura 11:	Contacto de óxidos con sulfuros.	36
Figura 12:	Muestreo tipo canal en las morrenas	36
Figura 13:	Toma de muestra de mineral adecuado de 3 kg.	37
Figura 14:	Recepción de muestras por laboratorio químico Tucari.	38
Figura 15:	Perforación de infill drilling y recolección de muestra en detrito del sondaje.....	40
Figura 16:	Almacenamiento de detritos en los chip trays como testigos de la mineralización.	40
Figura 17:	Preparación de muestras por el laboratorio químico de Tucari	43
Figura 18:	Equipo de chancado y pulverizado de muestras.....	44
Figura 19:	Unidades litoestratigráficas	51
Figura 20:	Unidades del cuaternario	54
Figura 21:	Sílice masiva con contenido de azufre.....	56
Figura 22:	Sílice vuggy con óxidos de hierro.....	57
Figura 23:	Sílice alunita con óxidos de hierro.....	58
Figura 24:	Sílice clay con contenido de pirita diseminada.	58
Figura 25:	Vista del tajo tucari mirando al este.....	59
Figura 26:	Vista del sector NW de la mina tucari en el año 2004.....	60
Figura 27:	Sección transversal nw-se de tucari.....	60

Figura 28: Fragmentos de echadero y morrenas	62
Figura 29: Clastos de sílice masiva, sílice alunita con fragmentos de Ox Fe.....	63
Figura 30: Clastos de sílice masiva y sílice alunita en zona de Ox Fe.....	64
Figura 31: Clastos de sílice alunita, sílice masiva en zonas de Ox Fe.....	65
Figura 32: Muestra de mano de una sílice granular para análisis de MEB.	66
Figura 33: Partículas de óxidos de hierro, incluidas en los silicatos.....	67
Figura 34: Partículas de óxidos de (Femn) asociadas con cuarzo (cz).....	67
Figura 35: Muestra de mano de una alteración sílice para análisis MEB.	68
Figura 36: Partículas de óxidos de hierro y cuarzo	69
Figura 37: Partícula libre de arsenopirita entre las partículas de cuarzo.....	69
Figura 38: Muestra de mano de una sílice de mano con contenido minerales de sulfuros de py diseminada para análisis MEB.....	69
Figura 39: Partículas de óxidos de titanio y pirita incluidas en cuarzo.....	70
Figura 40: Partículas liberadas de pirita entre partículas de cuarzo	70
Figura 41: Perforación de Infill Drilling, en zona de morrena.....	73
Figura 42: Equipo de perforación DM45E.	73
Figura 43: Sección de SW- NE, interpretación de modelo de bloques.....	84
Figura 44: Sección transversal SW-NE de los sondajes verticales que confirman el volumen de mineral en las morrenas.....	85
Figura 45: Sondajes verticales y sus respectivas leyes de mineral.....	85
Figura 46: Modelamiento de los recursos geológicos; echaderos y morrena.....	86
Figura 47: Grafica de recuperación de Au según el tamaño de malla.....	91
Figura 48: Grafica de recuperación por 33 días en lixiviación.	92
Figura 49: Grafica de recuperación por 6 días en lixiviación.	92

ÍNDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pag.
Cuadro 1:	Unidades geomorfológicas de la zona de investigación.	9
Cuadro 2:	Columna litoestratigráfica local de Tucari	13
Cuadro 3:	Tipo de predictores kriging y sus propiedades	31
Cuadro 4:	Control de la calidad de las muestras	41
Cuadro 5:	Secuencias de procesos en modelamiento con el software vulcan....	46
Cuadro 6:	Distancias de acceso para la mina Tucari.	48
Cuadro 7:	Promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 1.	66
Cuadro 8:	Composición química (%) de los minerales identificados en la muestra banco 4972-pol 301.....	67
Cuadro 9:	Promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 2.	68
Cuadro 10:	Composición química (%) de los minerales identificados en la muestra bco 4912-pol 27.....	69
Cuadro 11:	Promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 3.	70
Cuadro 12:	Composición química (%) de los minerales identificados en la muestra que contiene minerales de sulfuros bco 4912.	71
Cuadro 13:	Abreviaturas de las especies minerales	71
Cuadro 14:	DM16-33 plataforma 33	74
Cuadro 15:	DM16-34 plataforma 34	75
Cuadro 16:	DM16-35 plataforma 35	76
Cuadro 17:	Densidad por tipo de material	86
Cuadro 18:	Parámetros económicos	87
Cuadro 19:	Costos para cálculo de corte.	88
Cuadro 20:	Parámetros de diseño operativo	89
Cuadro 21:	Las dimensiones de las morrenas de Tucari, de acuerdo al diseño operativo	89
Cuadro 22:	Cubicación total de mineral	89
cuadro 23:	Distribución de material por mallas	91

ÍNDICE DE MAPAS Y SECCIONES

N°	Descripción	Pag.
01:	MAPA GEOMORFOLOGICO	10
02:	MAPA DE UBICACIÓN	49
03:	MAPA GEOLÓGICO LOCAL	55
04:	MAPA DE ALTERACIONES	61
05:	MAPA DE MINERALIZACIÓN DE LAS MORRENAS	72
06:	MAPA DE UBICACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES	77
07:	SECCIÓN TRANSVERSAL A SW-NE	78
08:	SECCIÓN TRANSVERSAL B SW-NE	79
09:	SECCIÓN B INTERPRETADO DE LAS ALTERACIONES	80
10:	MAPA DE MUESTREO GEOQUÍMICO DE SUPERFICIE	82

ACRÓNIMOS

SIGLAS

EIA	: Evaluación de Impacto Ambiental
EPP	: Equipo de protección personal
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
MEB	: Microscopia Electrónico Barrido

UNIDADES DE MEDIDA

cm	: Centímetro
g/t	: gramos por tonelada
ha	: Hectárea(s)
Km	: Kilometro
m	: Metros
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar
Monz	: Millones de onzas
T°	: temperatura
tn	: Toneladas
%	: Porcentaje

ABREVIATURAS GEOLOGICOS

C	: Clay
Cob	: Cobertura
F-b	: Bofedal
F-lf	: Lecho Fluvial
G- Llag	: Llanura Aluvial Glacial
G-m	: Morrena
HS	: Alta Sulfuración
LS	: Baja Sulfuración
Mx	: Mixto
Ox	: Oxido
Q-cg	: Depósitos Coluvio Glaciales
Q-fg	: Depósito Fluvio Glacial
Qp-eg	: Depósitos de Escombros Glaciares y Peri glaciares.
Qp-mfg	: Depósitos de morrenas.

RF	: Roca Fresca
SA	: Sílice Alunita
SAC	: Sílice Alunita Clay
SC	: Sílice Clay
SCP	: Sílice Clay Pirita
S-F	: Sistema Fluvial
SG	: Sílice Granular
SM	: Sílice Masiva
SR	: Sílice residual
SV	: Sílice Vuggy
Ti-pu	: Grupo Puno.
Tp-se	: Formación Sencca.
TQ-vb	: Volcánico Barroso.
Ts-vt	: Volcánico Tacaza.
V-C	: Colinas
V-E	: Escarpas
VOL DE AND	: Volumen de andesita
V-Te	: Terrazas Estructurales

MINERALES

Ag	: Plata
Aln	: Alunita
Anh	: Anhidrita
apy	: Arsenoprita
Au	: Oro
Ba	: Baritina
ca	: Calcita
Cu	: Cobre
cz	: Cuarzo
goe	: Goethita
hem	: Hematita
jar	: Jarosita
py	: Pirita

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la unidad Minera Tucari de Aruntani S.A.C. Esta se encuentra ubicada en el Distrito de Carumas, Provincia de Mariscal Nieto, en el Departamento de Moquegua. Tucari es un yacimiento epitermal del tipo alta sulfuración, desarrollado en el arco volcánico Cenozoico del sur del Perú. En esta unidad minera se ubican dos sectores denominados: echaderos y morrenas al extremo sur del tajo Tucari, fuera del área de minado. Aquí se tiene como objetivo evaluar la ampliación del volumen de recursos de mineral, para proponer nuevos sectores de explotación. Los echaderos presentan bloques con alteración de sílice masiva, sílice alunita y sílice clay. En las morrenas se observa material sedimentario de matriz arcillo - arenoso, producto de la glaciación la misma que se encuentra impregnada con óxidos de hierro; las arcillas están en proporción menor al 30%; las alteraciones de los fragmentos de roca son de sílice masiva, sílice alunita y sílice residual. Para la investigación se hizo cartografiado geológico, muestreo geoquímico, análisis de microscopia de barrido electrónico, perforaciones *Infill Drilling* y estimación de reservas. En el muestreo geoquímico se obtuvo 297 muestras de calicatas, canales y 60 muestras de 3 perforaciones de *Infill Drilling* de 36m para análisis de Au. Para los estudios de recuperación metalúrgica se tomaron muestras más de 10tn, en el cálculo de volumen de mineral se utilizó el método Kriging ordinario. Se demostró el incremento las reservas de mineral en un total de 250,000tn de mineral con una ley 0.17g/t en base al volumen, modelo de bloques y densidades de alteración.

Palabras claves: Echadero, morrena, reservas mineral, *Infill drilling*, microscopia de barrido electrónico.

ABSTRACT

This survey was developed in Tucari Aruntani S.A.C. mine. It is located in the department of Moquegua, in the province of Mariscal Nieto, Carumas district. Tucari is a high sulfidation epithermal deposit, it is located in moraines volcanic arc in Southern Peru. In this mine, is located two sectors: dumps and moraines to the south extreme of Tucari, outside mined area. The objective is evaluate the volume resources of ore resources, whose purpose is to visualize exploitation new sectors. dumps present blocks with massive silica alteration, alunite silica and clay silica. In moraines is observed sedimentary material whose matrix is clay-sandy, due to the glaciation in which it is impregnated with iron oxides; clays are in proportion less than 30% (thirty percent); alterations of the rock fragments are of massive silica, alunite silica and residual silica. For investigation was done geological mapping, geochemical sampling, analysis of scanning electron microscopy, Infill Drilling and reserves estimation. In geochemical sampling was obtained 297 pits samples, canals and 60 samples for gold analysis, in 3 infill drilling of 36 meters. For metallurgical recovery surveys were taken samples of more than 10 tonnes, for calculation of ore volume was used ordinary Kriging method. The increase of ore reserves was a total of 250,000 tonnes with an ore law of 0.17 g/t on the basis of volumen, block models and alteration densities.

Key Words: Dumps, moraines, ore reserves, infill drilling, scanning electron microscopy.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El minado diario en las operaciones genera una disminución constante en las reservas del depósito, siendo imprescindible reponerlas. Así, el área de Geología tiene que buscar alternativas mediante trabajos de exploración que tienen un alcance local y distrital, para incrementar las reservas y dar vida a la mina.

Durante las exploraciones realizadas desde el año 2000 del yacimiento Tucari, este ha sido materia de diferentes interpretaciones; por un lado se plantea la evolución geológica relacionada al emplazamiento de un domo de forma obliterada, con posible composición andesita a dacita perteneciente al Grupo Barroso según (Champy & Ticona, 2014).

Estas interpretaciones no consideraron los potenciales en depósitos de origen glacial relacionado a zonas de alteración hidrotermal, como se demostró con este estudio, el cual se realizó en morrenas. Este estudio demuestra la presencia de mineral favorable, materia investigación de este trabajo.

Aruntani S.A.C. ha ingresado a tiempos de constante desarrollo socio cultural y económico, y si bien es cierto, el sector minero es uno de los principales agentes aportantes para economía nacional gracias a los trabajos de exploración de nuevas áreas de interés económico.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se plantea las siguientes interrogantes:

- a) ¿Es posible ampliar las reservas de mineral en zonas de morrenas y echaderos?

b) ¿Qué características geológicas, litológicas, mineralogía y alteraciones hidrotermales presenta la zona de Echadero y Morrenas de Tucari?

1.3. ANTECEDENTES

Aruntoni inició sus actividades en la cuenca del río Margaritani el año 2000 a través de la exploración del proyecto Tucari. Dichas actividades fueron desarrolladas en una primera etapa en los años 2000 y 2001 por la empresa MDH S.A.C, la cual realizó un intenso programa de exploración que consistió en un cartografiado geológico, muestreo geoquímico superficial y perforación diamantina. Así, se desarrolló 22 taladros de perforación, con un total de 2,433 m.

En el año 2003 se inicia la explotación de material coluvial/glacial ubicado en el sector sur este del Cerro Tucarirani, aquí sí hicieron 5 trincheras que cortaban el materia glacial, se aplicó un muestreo geoquímico sistemático en el cual se minaron los años 2003 y 2004 un aproximado 411,549 tn con una ley 2.11g/t.

En el proyecto de Yanacocha suplementario llamado la Quinoa, en su cubicación de reservas también consideraron los depósitos morrénico que duraron entre los años (2007-2015). Como resultado de la ampliación de reservas del proyecto. Las tasas máximas anuales de explotación minera fueron favorables en los años 2007(51%) y el 2015 (88%). La extracción de mineral durante estos años llegara a aproximadamente 50 Mt en el 2007 y 29Mt en el 2015.

Desde sus inicios en el Proyecto Tucari, un recurso mineral ha sido considerado dentro de sus reservas, este está conformado por bloques y fragmentos, producto del proceso de explotación de los primeros bancos, depositados en la laderas del mismo proyecto y que a lo largo del proceso extractivo estos recursos fueron minados periódicamente y las denominadas zonas echadero y morrenas no fueron consideradas en las reservas de mineral.

Se realizó trabajos de exploraciones alrededor de Tucari desde el año 2003 hasta la fecha, como son los proyectos: Huilcane, Pavico, Alicia, Caccachara y Santa Rosa.

1.4. HIPÓTESIS

Con la información muestreo geoquímico, mineralógica y petrografía; de los echaderos y morrenas a partir de las perforaciones de tipo *Infill Drilling*, se obtiene valores de oro para la evaluación, cubicación de reservas y el estudio de secciones que nos permiten calcular las reservas de mineral que tendremos por banco de echaderos, para la prolongación de la vida de la mina.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las zonas de echaderos y morrenas, proponer nuevas zonas de explotación de recursos de mineral para la empresa minera Tucari del Grupo Aruntani.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el comportamiento geológico del yacimiento Tucari en zonas de echaderos y morrenas conjuntamente con las perforaciones, para la interpretación del potencial económico y el volumen del mineral en el yacimiento.
- Describir los tipos de alteración hidrotermal alta sulfuración, para un modelamiento Geológico.
- Realizar el cálculo de reservas en zonas de echaderos y morrena.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad determinar las características geológicas de mineralización, alteración de las morrenas, echaderos del y su evolución geológica; a través del muestreo superficial, calicatas y *infill Drilling* con equipos Ingresoll Rand DM-45, cabe resaltar que con este último se obtuvo información importante de su mineralogía, alteración y realizar la construcción de perfiles que se correlaciona con los valores de oro, con lo cual se hará un plan de minado aumentando así las reservas de mineral a explotar.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2. GEOLOGÍA

2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio forma parte de la morfoestructura de la cordillera occidental de los Andes Centrales, específicamente en la cadena volcánica del sur del Perú y conforma el límite de la divisoria de aguas de las cuencas endorreica del Lago Titicaca e Hidrográfica del Pacífico (Palacios, 1993).

Hidrográficamente se ubica en la parte alta del río Tambo, en la cuenca del río Aruntaya, específicamente en la microcuenca Margaritani, entre las quebradas Margaritani, Apostoloni y Queullirijahuri, se caracteriza por estar formada por una sucesión de picos montañosos volcánicos de gran altitud, donde la actividad tectónica y glacial han sido los principales agentes modeladores de la actual configuración. Actualmente no hay casquetes glaciares, por estar estos en proceso de regresión avanzado a causa del calentamiento global de la tierra y que han llevado a la extinción de los glaciares de esta zona (Loayza & Vasquez, 2009).

2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

2.2.1. Substrato Geológico

El substrato geológico considerado especialmente como litología y posición estructural, es ampliamente el factor más importante, debido a que influyen directamente en los demás factores. En efecto el tipo litológico (Intrusivo

hipabisal, andesitas y alteraciones hidrotermales), que determina la predisposición del relieve con respecto al modelado y la erosión; mientras que la posición vinculada a las deformaciones estructurales o a los procesos de postura de los cuerpos rocosos, determina la entidad y la forma del relieve, en consecuencia, la fuerza del ataque erosivo y las modalidades de escurrimiento de las aguas superficiales. El papel que juega el substrato rocoso en la caracterización de las unidades geomorfológicas es complejo, pero puede decirse esencialmente su actuación (Loayza, 2009).

2.2.2. Formas del Relieve

Como se indicó anteriormente, las formas del relieve son el resultado de la historia evolutiva de la región, condicionado por dos factores (substrato rocoso y erosión). Por lo tanto, en la diferenciación de las unidades geomorfológicas interviene esencialmente como elemento de clasificación y jerarquización, a fin de crear unidades lo más homogéneas posibles para los objetivos del estudio.

2.2.3. Unidades Geomorfológicas

En la zona de estudio, durante los trabajos de campo se ha podido identificar cuatro sistemas (Antrópico, Fluvial, Glacial y Volcánico), los mismos que contienen 7 unidades geomorfológicas, las que se presentan en el Cuadro N° 1 y se muestra en el mapa 01.

2.2.3.1. Sistema Fluvial (S-F)

Este sistema contiene unidades que tienen relación directa con la escorrentía de aguas; dichas unidades son: (ver figura 1).

a). Lecho Fluvial (F-If)

Corresponde a la unidad que se emplaza a ambos márgenes de los ríos, está compuesta de material aluvial (arenas, arcillas) con cantos angulosos de diferente naturaleza lítica.

b). Bofedal (F-b)

Compuesto por material hidromorfo, fango-arcilloso con materia orgánica vegetal en proceso de turberización, en medio acuoso mal conservado.

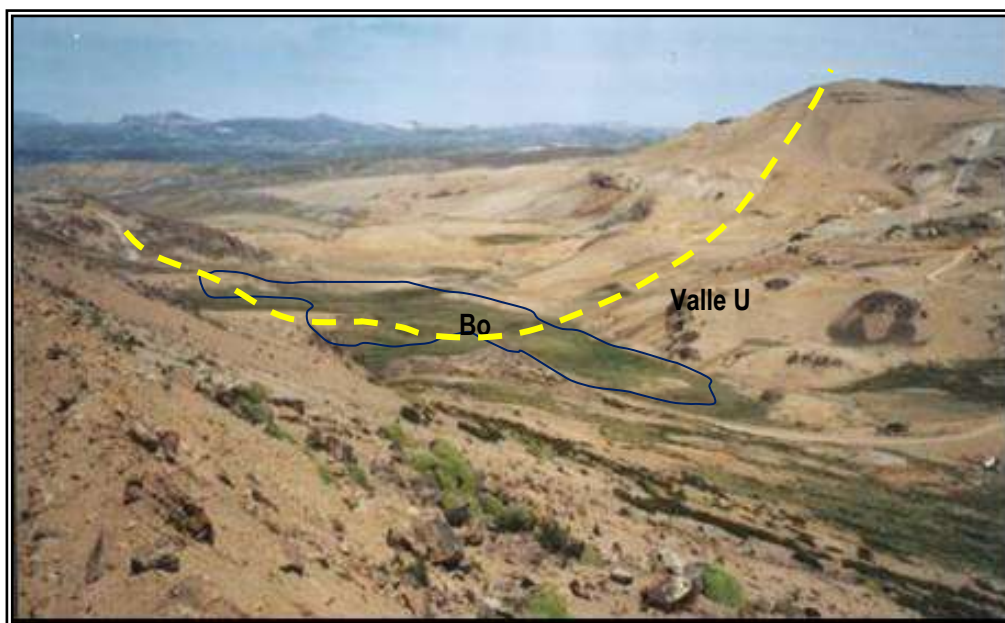


Figura 1: La fotografía muestra Bofedal emplazado en la unidad de valle glacial.

2.2.3.2. Sistema Glacial

Este sistema es consecuencia del último periodo glacial, los que en su proceso de retroceso han originado diferentes geoformas en la zona de estudio, las que a continuación se describen:

a). Llanura Aluvial Glacial (G-Llag)

También denominada Llanura de Aluvionamiento Glacial; corresponde a la unidad de baja pendiente y compuesta de material inconsolidado de grano fino con algunos clastos angulosos a sub angulosos, de diferente naturaleza lítica. Es en esta unidad donde se unen los ríos Margaritani y Apostoloni. En la actualidad esta zona, está siendo modificada ya que se le utiliza como cantera de arcilla, arcilla que es usada como material impermeabilizante en la zona del PAD (ver figura 2).

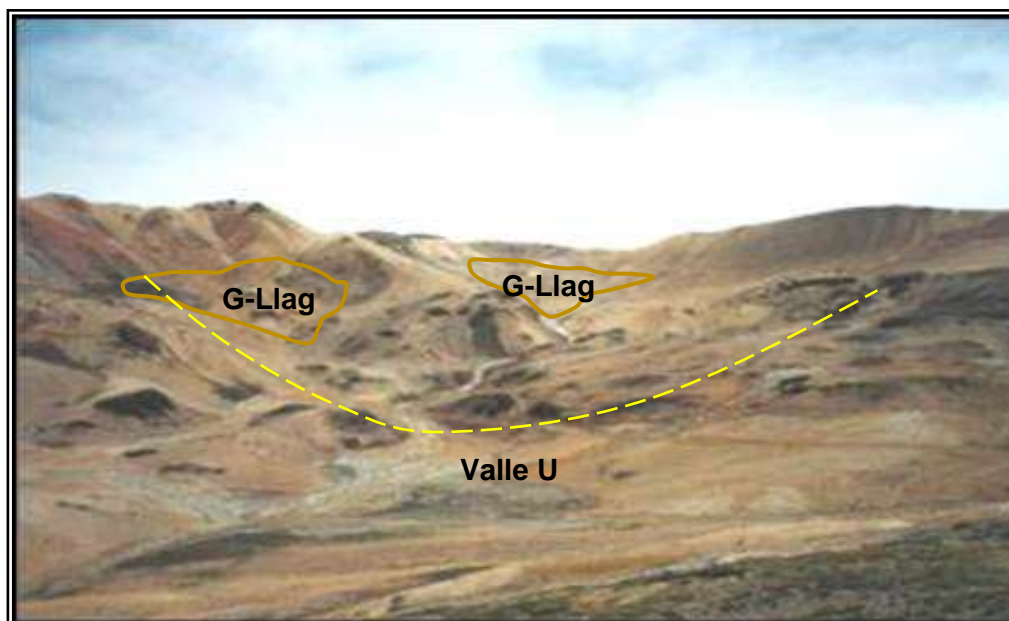


Figura 2: En la fotografía muestra el valle glacial en forma de “U”, y los depósitos fluvio-glaciares. Se observa además la roca volcánica resistente a la erosión.

b). Morrenas (G-M)

Este material es producto de la erosión glacial; se ubica en el centro de la ladera del cerro Tucarirane, compuestas por material heterogéneo y valores económicos de oro (Au). Las morrenas terminales y laterales ubicadas al oeste de la zona de estudio presentan valores de oro promedio de 0.122 g/t. (Loayza, 2009).

2.2.3.3. Sistema Volcánico

La actividad ígnea dominante en la zona es volcánica, e hipabisal de baja profundidad, los que han sido modelados por la acción glacial, se distinguen las siguientes unidades.

a). Terrazas Estructurales (V-Te)

De forma alargada y ubicada al SW de la zona de estudio, está formada por rocas volcánicas del grupo Tacaza que sobreyacen a sedimentos del grupo Puno. Es en esta unidad donde se ha construido el PAD y otras instalaciones que sirven para el tratamiento metalúrgico del mineral (ver la figura 3).



Figura 3: La fotografía muestra diferentes unidades geomórficas, entre las que destacan: Escarpas y Terraza Estructural.

b). Colinas (V-C)

Son superficies bajas y onduladas, originadas por la denudación de las rocas volcánicas principalmente del Grupo Tacaza, en estas zonas existe erosión laminar.

c). Escarpas (V-E)

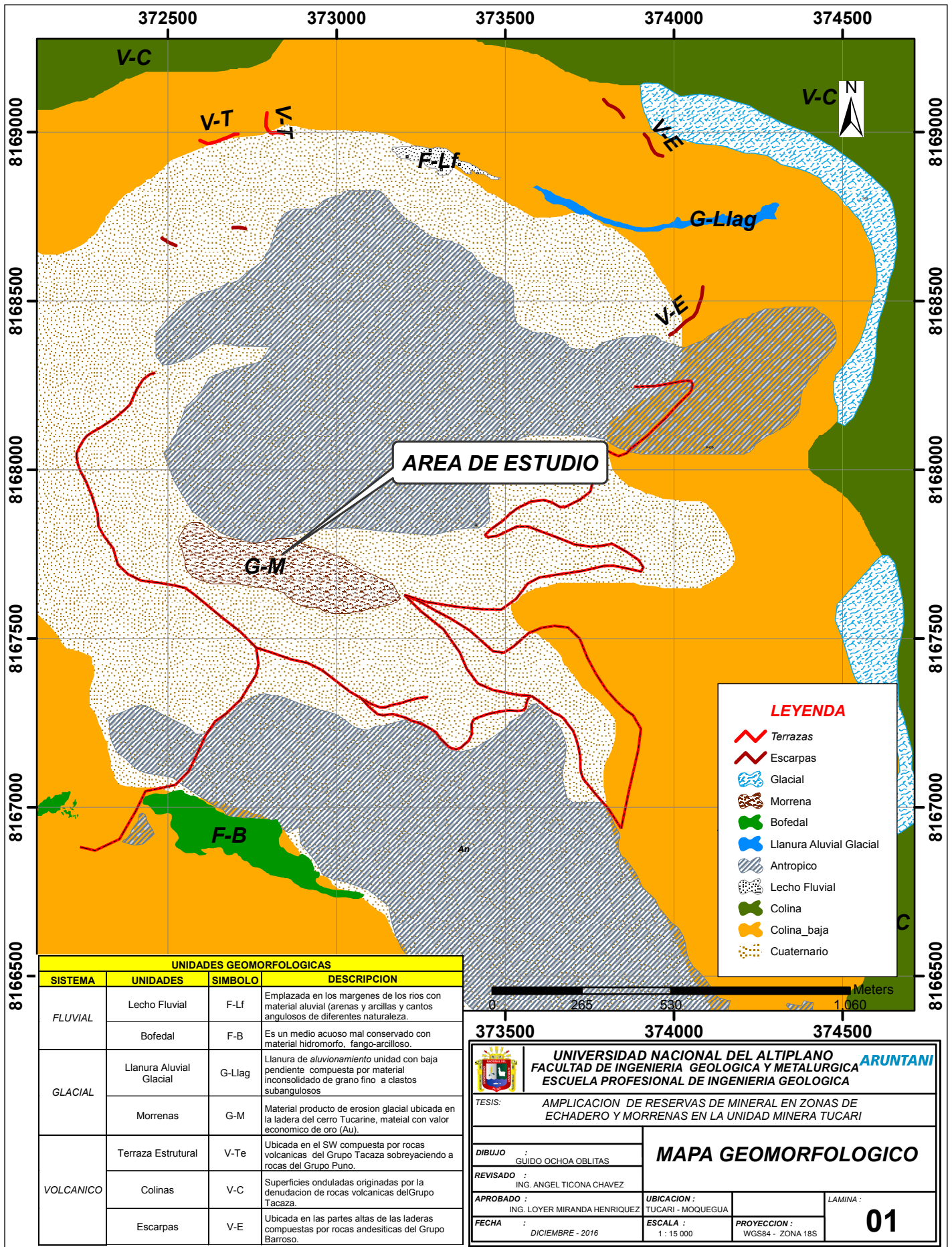
Se ubican en las partes altas de las laderas de montaña y circundando la zona de estudio. Están compuestas de rocas andesitas del volcánico Barroso, es por esta razón que la erosión la ataca muy lentamente.

Cuadro 1: Unidades Geomorfológicas de la zona de Investigación.

SISTEMA	UNIDADES	SIMBOLO	DESCRIPCION
FLUVIAL	Lecho Fluvial	F-Lf	Emplazada en los márgenes de los ríos con material aluvial (arenas y arcillas y cantos angulosos de diferentes naturaleza).
	Bofedal	F-b	Es un medio acuoso mal conservado con material hidromorfo, fango-arcilloso.
GLACIAL	Llanura Aluvial Glacial	G-Llag	Llanura de <i>aluvionamiento</i> unidad con baja pendiente compuesta por material inconsolidado de grano fino a clastos subangulosos
	Morrenas	G-M	Material producto de erosión glacial ubicada en la ladera del cerro Tucarine, material con valor económico de oro (Au).
VOLCANICO	Terraza Estructural	V-Te	Ubicada en el SW compuesta por rocas volcánicas del Grupo Tacaza sobreyaciendo a rocas del Grupo Puno.
	Colinas	V-C	Superficies onduladas originadas por la denudación de rocas volcánicas del Grupo Tacaza.
	Escarpas	V-E	Ubicada en las partes altas de las laderas compuestas por rocas andesíticas del Grupo Barroso.

2.3. GEOLOGÍA REGIONAL

El área y la región en su conjunto se encuentran en la parte central de la cordillera sur Andina Occidental, específicamente en la parte central de la cadena volcánica del sur, configurando un ambiente típicamente vulcanológico, cuya conformación data del Terciario caracterizada por varias etapas de efusión (básicas y ácidas), siendo la última efusión lávica del Barroso (Azaña, 2012).



2.3.1. Grupo Puno

Secuencia volcano-clástica de característico color rojo-violáceo la cual se expone rellenando depresiones y cubriendo las amplias penillanuras al oeste del Proyecto, por lo general muestra conspicua estratificación donde resaltan las areniscas volcánicas con laminaciones de material muy fino producto de ambientes lagunares.

Areniscas feldespáticas de grano medio a fino, que usando en esquema propuesto por se les puede clasificar como Wackas Feldespáticas de color violáceo. La estructura sedimentaria es de estratificación laminar. En el análisis microscópico efectuado presentan minerales de cuarzo y feldespatos potásicos aliotromorfos (Pettijohn, 1975).

2.3.2. Grupo Tacaza

Reconocido regionalmente en el Sur del Perú, con localidad tipo en la mina Tacaza ubicada al norte de Santa Lucia (Puno).

Constituidos por lavas andesíticas, tobas dacíticas, ignimbritas, conglomerados tobaceos y una secuencia lacustrina (Dávila, 1988). Se extiende considerablemente hacia el Este, al ámbito de la cordillera oriental, y llega al lago Titicaca y Cusco; hacia el oeste llega a Arequipa (Vargas, 1970).

Palacios (1994), indica que litológicamente el Grupo Tacaza está constituido por paquetes aglomerados o brechas de tobas que tienen una matriz de ceniza fina poco consolidada, con intercalaciones de lavas andesíticas, que alternan con areniscas tobaceas. En los sectores de Lagunillas – Puno, dataciones radiométricas definen un rango de de edad entre 30.21 ± 0.73 a 20.0 ± 1.0 Ma., para secuencias volcánicas del Grupo Tacaza, asignándolo así dentro del Oligoceno- Mioceno (Wasteneys, 1990).

2.3.3. Volcánico Sencca

El nombre de la formación Sencca fue dado por Mendivil (1965) a una serie de tufos que afloran en la quebrada Sencca, frontera Perú-Chile. Además interpreta que las rocas de esta unidad fueron depositadas durante un largo intervalo de tiempo geológico que abarca desde fines del Mioceno hasta comienzos del

Plioceno, pudiendo ubicarse con el episodio Barroso.

Indica que litológicamente está conformada por una secuencia tobacea de tonalidad blanquecina a gris, a veces verdosa de composición mayormente ácida; las tobas tienen característica de estratificación fina y, están conformadas por plagioclasas, cuarzo, hornblenda y otros minerales ferromagnesianos (Palacios 1994).

2.3.4. Grupo Barroso

Como Formación Barroso a un conjunto de rocas volcánicas que forman la cordillera del Barroso en el sur del Perú. Posteriormente fue elevado a la categoría de Grupo, (Wilson, 1962). El Barroso Inferior constituido por secuencias piroclásticas y lávicas de extensión regional, que cubrió una superficie de erosión de las unidades Sencca y Grupo Tacaza, mientras que los focos volcánicos del Barroso Superior, se ubica sobreyaciendo pero en una extensión lávica local, a través del agrietamiento relacionado a zonas de debilidad, por donde se produjo la emisión de estos magmas; también menciona que los conos más antiguos corresponden a aparatos completamente erosionados que no muestran morfología alguna de volcanes, otros como el Arco del Barroso (Palacios, 1994).

2.3.5. Material Cuaternario

Los cuaternarios recientes están constituidos por material morrénico, fluvio-glaciar y depósitos aluviales que cubren colinas de pendiente suave, llanuras y lechos de valles mayormente de origen glaciar; son generalmente depósitos inconsolidados. El material morrénico consiste mayormente de clastos redondeados y sub-redondeados, de naturaleza variada, englobados en matriz predominante arenolimsa, en cambio las cubiertas fluvio-glaciares tienen cemento más compacto por estar constituido por arena arcilla. Estas se han depositado cubriendo los flancos de las altas cumbres asociadas principalmente aparatos volcánicos recientes del Grupo Barroso, en cambio las cubiertas fluvio-glaciares ocupan los sectores bajos y de relieve moderado (Caldas, 1993).

Cuadro 2: Columna Litoestratigráfica Local de Tucari.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	LITOLÓGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Fluvio Aluvial		Depósitos finos arcillas y arenas
			Fluvio glacial		Depósitos de arcillas y limos plásticos
			Bofedal		Materiales hidromórfos
			Coluvio glacial		Depósitos heterogeneos con clastos angulosos
			Morrenas		Depósitos merrenicos fluvioglaciales
	NEOGENO	Plioceno	Grupo Barroso		Lavas andesíticas con intercalaciones de tufos y brechas
			Formación Sencca		Tobas de composición dacítica y riolítica Localmente presenta ignimbritas
		Mioceno	Grupo Tacaza		Derrames dacíticos, andesíticos y riolíticos con brechas y piroclastos
	PALEOGENO	Oligoceno	Grupo Puno		Microconglomerdos polimicticos areniscas arcosicas de grano medio a fino con escasos horizontes tufaceos
		Eoceno			
		Paleoceno			

2.4. ROCAS VOLCÁNICAS

2.4.1. Andesita

Roca ígnea de composición intermedia y textura afanítica, microcristalina o porfírica, de emplazamiento extrusivo o intrusivo subvolcánico. Su mineralogía incluye plagioclasa calco-sódica (típicamente andesina), piroxeno y anfíbol. Su equivalente plutónico es la diorita (con textura fanerítica). Las andesitas son rocas muy abundantes en los arcos magmáticos de tipo andino así como en los arcos de islas. La asociación andesita-dacita/diorita-granodiorita es muy rica en mineralizaciones de Cu, Mo, Au, Fe y otros metales (Dávila, 2011).

2.4.2. Tufo Andesítico

Se trata de rocas piroclásticas típicamente asociadas a las erupciones estrombolianas (aunque no restringidas a éstas) de composición andesina. Son depósitos de caída (fall deposits) que se forman a partir de los materiales de tamaño fino expulsados violenta-mente del volcán (lapilli). Carecen de laminación dentro de las capas pero se reconoce bien una cierta “estratificación” (Dávila, 2011).

2.4.3. Dacitas

Roca volcánica de composición similar a la tonalita. Las plagioclasas son muy abundantes >90% del total de los feldespatos y son de tipo sódico oligoclasa/andesina (Dávila, 2011).

2.4.4. Brechas

Una brecha es una roca constituida por fragmentos líticos que se mantienen ligados por una matriz y cuyo cemento en el caso de las asociadas a mineralización pueden ser minerales hidrotermales incluyendo a los minerales de mena (Ej. turmalina, cuarzo, calcopirita, etc.). En general, los minerales hidrotermales rellenan total o parcialmente los huecos formados en la roca fragmentada y mucha de la mineralización en brechas ha sido introducida por fluidos hidrotermales y consecuentemente se encuentra en la masa fundamental de la brecha. Los procesos hidrotermales en ocasiones producen reemplazo o metasomatismo en brechas, este reemplazo corresponde composicionalmente a cemento, pero que ha sido emplazado por sustitución de material preexistente en la brecha (Sillitoe, 2006).

2.4.4.1. Brecha Hidrotermal

Se caracterizan por presentar minerales hidrotermales en la matriz tales como alunita, sílice calcedónica, óxidos de hierro, azufre, etc. Por lo general los líticos tienen textura obliterada. Usualmente cortan a las brechas freáticas; presentan mineralización económica. Se sabe hoy en día que los fluidos hidrotermales participantes son en su mayoría de origen magmático, y que son los que contienen metales a ser depositados según las condiciones termodinámicas (Duran, 2013).

2.4.4.2. Brecha Freática

Caracterizadas por tener clastos angulosos a sub angulosos lixiviados, porosidad primaria, los fragmentos se encuentran fuertemente silicificados, podemos observarlo en el centro del yacimiento definido, estas brechas hidrotermales originan halos de crackel brecha generando grandes masas de brechas (Duran, 2013).

2.4.4.3. Brecha Tectohidrotermal

Ocurridas por fracturamiento durante el movimiento de fallas, teniendo las brechas de fallas asociadas con la mineralización. En los taludes de los bancos podemos observar cuerpos subverticales de brecha de falla mineralizados con alta ley, especialmente en sectores tensionales de fallas (Duran, 2013).

2.4.4.4. Brecha Crackel

Producto de la intrusión de las brechas hidrotermales freáticas lo cual generaron zonas y halos microfracturados, craquelados, caracterizados por presentar clastos y matriz de la misma roca (rompimiento), siendo el protolito la andesita (Duran, 2013).

2.4.4.5. Brecha Freatomagmática

Se originan mediante explosión debido al contacto entre el magma y las aguas subterráneas, es polimíctica, con clastos angulares a subredondeados, incluye líticos de roca caja y tiene matriz porfirítica. Una característica importante de este tipo de brechas es que presentan deformación plástica de fragmentos, debido a que el estado del magma es viscoso durante la explosión (Duran, 2013).

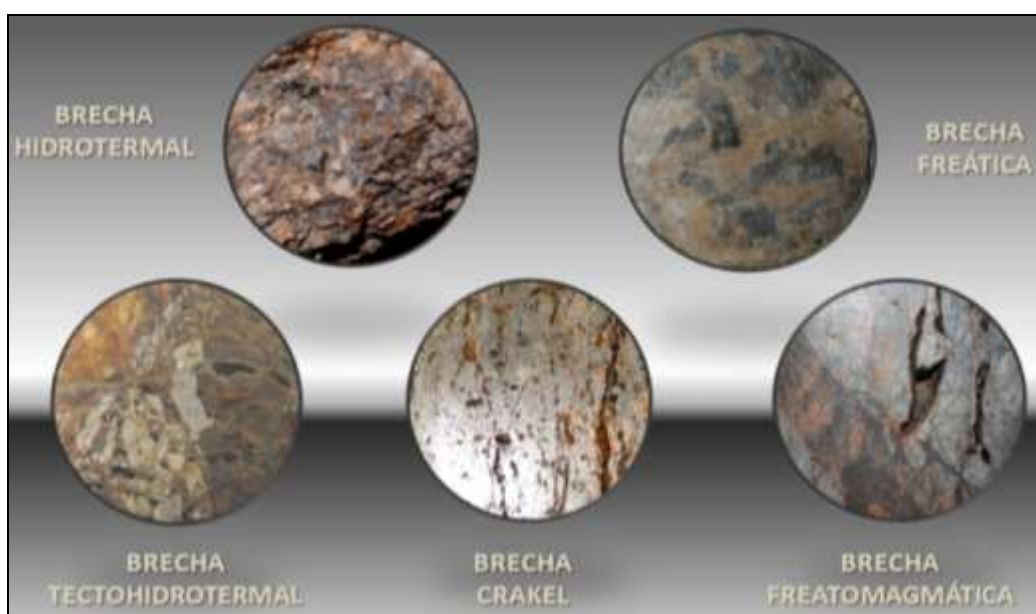


Figura 4: Tipos de brecha hidrotermal (Duran, 2013).

2.5. TEXTURAS DE LAS ROCAS ÍGNEAS

La textura de una roca alude al tamaño, forma, distribución, densidad y disposición de los granos. La textura de la roca ígnea, por depender de la velocidad de enfriamiento, es también función de la profundidad de cristalización del magma. En general si se puede afirmar que las rocas con minerales de tamaños heterogéneos son más resistentes que las de tamaños homogéneos. Las rocas de textura granular son más resistentes que aquéllas que presentan minerales laminares (micas) y fibrosos alineados (anfíboles). Si la roca es plutónica, los minerales son resistentes y entrabados y su fallamiento a la acción de los esfuerzos se presenta progresivo porque la resistencia de sus componentes varía (Duque, 2012).

2.6. YACIMIENTOS EPITERMALES

Los depósitos epitermales son aquellos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. Los fluidos se estiman en el rango desde $<100^{\circ}\text{C}$ hasta unos 240°C y durante la formación del depósito estos fluidos hidrotermales pueden alcanzar la superficie como fuentes termales, Los depósitos epitermales se encuentran de preferencia en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas y los más importantes son los de metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Bi, etc. (Mosier, Berger, & Singer, 1986).

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son reducidos y tienen un pH cercano a neutro (la medida de concentración de iones de hidrógeno) y los fluidos de “alta sulfuración”, los cuales son más oxidados y ácidos. Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por (Hedenquist, 1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{4+} en forma de SO_2 (oxidado) y en los de baja sulfuración como S^{-2} en forma de H_2S (reducido), (Mosier, Berger, & Singer, 1986).

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

Los fluidos de alta sulfuración (HS) se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales preciosos cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas. Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas (Mosier, Berger, & Singer, 1986).

2.6.1. Soluciones Mineralizantes

Se considera un fluido hidrotermal cuando el agua ya tiene unos 50° C. La alteración hidrotermal ocurre entre los 50 a 500° C. A una T° crítica del agua (374°C para agua pura) se habla de fase acuosa (Buchanan, 1981).

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

El agua atrapada en poros de acumulación de sedimentos y en capas de minerales hidratados o hidróxilos comienzan a calentarse en la etapa de enterramiento.

El agua subterránea fría puede calentarse en cierta profundidad por la vecindad de un cuerpo de magma o por el enfriamiento lento de cuerpos magmáticos.

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

En la evolución de la cristalización de un magma se separa una fase acuosa ya que no toda el H₂O toma lugar en la formación de minerales hidratados como anfíbola y mica. Al final de la etapa los fluidos se pueden disipar a través de la

roca magmática y localizarse en cavidades. La fase acuosa que envuelve a los sistemas magmáticos contiene elementos que corrientemente no son aceptados en los minerales magmáticos, estos **elementos no compatibles** son Ag^+ , As^{3+} , B^{3+} , Ba^{2+} , Be^{2+} , Bi^{3+} , Cu^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Li^+ , Mo^{4+} , Pb^{2+} , S^{2-} , Sb^{3+} , U^{4+} , W^{6+} , Zn^{2+} y algunas tierras raras. Estos elementos ya sea por su radio iónico o por su carga no son fácilmente aceptados en minerales tales como cuarzo, feldespatos, biotita, anfíbola, olivino y piroxenos. Por esta razón estos elementos terminan concentrándose en pegmatitas y en soluciones hidrotermales, (Buchanan, 1981).

Para precipitar sulfuros desde una solución hidrotermal debe estar el azufre presente en la solución. El azufre ocurre en una serie de especies solubles incluyendo S^{2-} , HS^- , SO_4^{2-} , y HSO_4^- , 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. La cristalización de sulfuros (calcopirita, bornita, pirita, pirrotina etc) a partir de un magma es una indicación directa del contenido de azufre en él. Cerca de la superficie, el agua subterránea es activa en el proceso de solución, transporte y depositación de minerales (Buchanan, 1981).

2.6.2. Yacimiento Epitermal de Baja Sulfuración

Adularia-sericita; cuarzo-adularia; tipo Comstock; tipo Sado; bonanzas de Au-Ag; hidrotermal alcali-cloruro. Este tipo de yacimiento se depositan en sistemas hidrotermales de nivel alto, desde profundidades de ~1 Km a fuentes termales superficiales. Sistemas de fallas regionales relacionadas a grabens, calderas resurgentes, complejos de domos de flujo y raramente en sistemas de mar-diatremas, estructuras de extensión en campos volcánicos (fallas normales, ramificaciones de fallas, vetas en echelón, lazos cimoides, etc.) son comunes; localmente se presentan en rellenos clásticos de graben o de calderas. En algunas áreas se presentan stocks subvolcánicos (de nivel alto) y/o diques de guijarros y diatremas. Localmente estructuras domales o resurgentes se relacionan a cuerpos intrusivos subyacentes (Mosier, Berger, & Singer, 1986).

Características geológicas, vetas de cuarzo, stockworks y brechas con oro, plata, electrum, argentita, pirita, con cantidades menores y variables de esfalerita, calcopirita, galena, a veces con tetrahedrita y sulfosales en niveles altos o cercanos a la superficie. La mena normalmente exhibe texturas de relleno de espacios abiertos y está asociada a sistemas hidrotermales relacionados a volcanismo o geotermiales (Mosier, Berger, & Singer, 1986).

2.6.3. Yacimiento Epitermal de Alta Sulfuración

Epitermal tipo ácido-sulfato, Au cuarzo-alunita, argílica avanzada de alunita – caolinita ± pirofilita, tipo Nansatsu, oro enargita. Los depósitos son comúnmente referidos como ácido-sulfato por la geoquímica de los fluidos hidrotermales, cuarzo-alunita o caolinita-alunita por su mineralogía de alteración, o tipo de alta sulfuración en referencia al estado de oxidación de los fluidos ácidos responsables de la alteración y mineralización. Este tipo de yacimientos se depositan en complejos de domos de flujo, raramente en mares, bordes de diatremas y otras estructuras volcánicas; a menudo relacionadas con stocks subvolcánicos, diques y brechas. Se postula que sobreyacen y están relacionados genéticamente con sistemas de pórfidos cupríferos en intrusiones mineralizadas que subyacen estratovolcanes (Berger, 1986).

Características Geológicas, Brechas con oquedades y reemplazos de sulfuros variando desde bolsones, hasta .lentes masivos en secuencias volcánicas asociadas a sistemas hidrotermales someros caracterizados por lixiviación ácida, alteración argílica avanzada y silíceas (Berger, 1986).

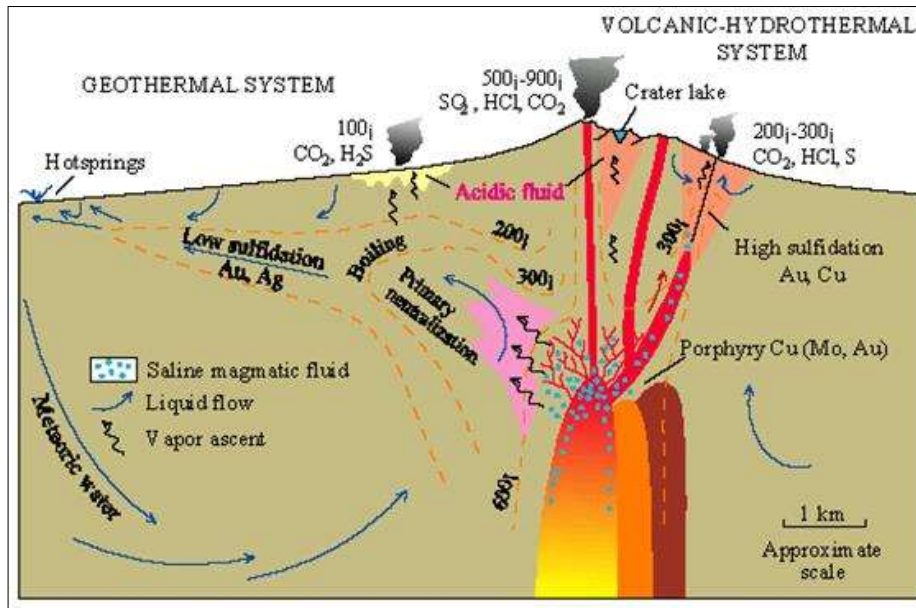


Figura 5: Formación de los depósitos epitermales de baja y alta temperatura. Esquema (sin escala) de la estructura, procesos, tipos de alteración, volátiles liberados, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas. Se muestra la relación con las rocas magmáticas como fuente de calor, fluidos y componentes químicos para estos depósitos, comprendiendo desde una cámara magmática en proceso de enfriamiento, depósitos metálicos relacionados a pórfidos, hasta el ambiente epitermal (Camprubi, 2003).

2.7. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca. Esta interacción conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases. En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto (Corbett & Leach, 1998)

La alteración hidrotermal es el producto de un proceso, donde las características mineralógicas, químicas y morfológicas de esta entregan información acerca de las condiciones termodinámicas del fluido hidrotermal que las generó. (Reed, 1997).

En la naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros (Reed, 1997).

2.7.1. Tipos de Alteración

2.7.1.1. Propilitización

La alteración propilitica se encuentra en los bordes del sistema, afecta la composición andesítica y bordes de los domos con una intensidad débil. Se observa reemplazamiento de minerales ferromagnesianos (hornblendas y biotitas) por cloritas (hedenquist, 1985).

2.7.1.2. Argílica Avanzada

Se forma en ambientes con pH neutro y T° menores, la alunita se caracteriza por ser de grano fino, de color blanquecino y por estar rellenando cavidades, la asociación mineralógica observada está compuesta por cuarzo-alunita-OxFe-arcillas según Hedenquist (1985).

a). Alunita

La alunita ocurre en varias formas y en diferentes lugares dentro del sistema. Los tipos según Hedenquist (1985):

- Alunita como un zonamiento hacia los márgenes y hacia abajo desde la sílice vuggy o sílice masiva.
- Alunita como matriz en brechas hidrotermales.
- Alunita fina blanquecina, cristales blancos en cuerpos profundos de sílice-pirita dentro del sistema.
- Alunita fina cristalizada, con Sílice Granular en las partes altas del sistema.
- Alunita rellenando fracturas.

2.7.1.3. Silicificación

La sílice se presenta con distintos tipos, estilos e intensidades según Hedenquist (1985):

a). Sílice Opalina: Sílice hidratada de baja T° , de color blanquecino a negro. Se presenta como matriz en micro-brechas, presenta finas venillas de sílice masiva.

b). Sílice Vuggy: Sílice de grano fino con oquedades formada en ambientes de pH ácido que lixivian la roca, en niveles intermedios a profundos del sistema hidrotermal.

c). Sílice Masiva: Se presenta como venillas cortando los niveles de sílice opalina y también reemplazando a la sílice opalina.

d). Sílice Granular: Se caracteriza por ser porosa y con textura sacaroide, se forma en ambientes de lixiviación ácidos.

2.8. MUESTREO PARA EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS MINEROS

Es de mucha importancia que la muestra sea representativa, porque influye en los resultados de los ensayos cuantitativos y cualitativos. La realización y el éxito de un proyecto de exploración y/o de una operación minera, desde la exploración hasta el cierre de mina, dependen de los resultados fidedignos de un muestreo debidamente programado, ejecutado e interpretado. Los resultados e interpretación del muestreo son la base para descartar un proyecto o para decidir pequeñas, medianas o grandes inversiones (Pierre, 1999). A continuación se expone conceptos relacionados al muestreo de yacimientos:

Muestra: es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.

Muestreo: es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto.

Población o lote: es el conjunto completo de observaciones que se desea estudiar. En el muestreo estadístico la población está compuesta por objetos de igual peso y en el muestreo por minerales el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos.

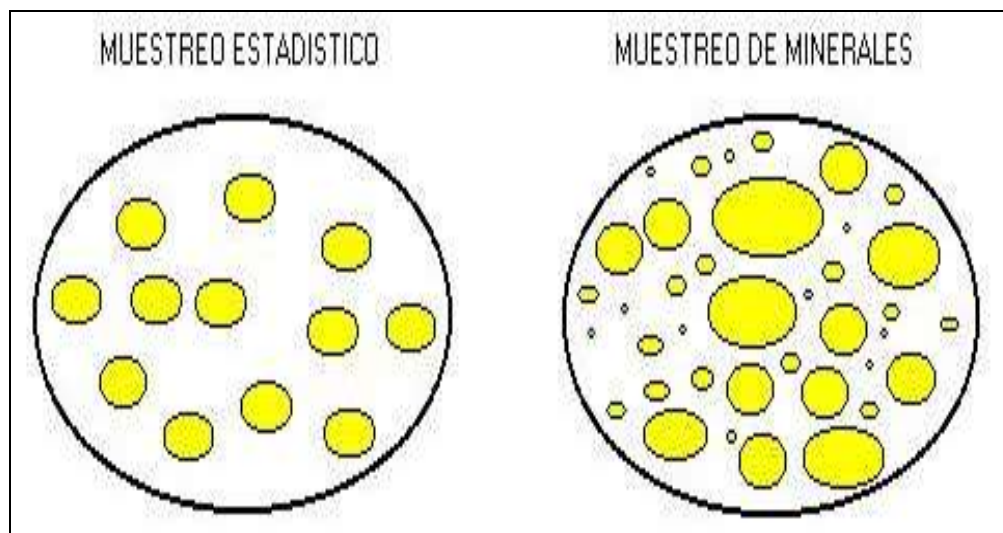


Figura 6: Muestreo estadístico y muestreo de minerales (Pierre, 1999).

2.8.1. Metodología del muestreo

Para cumplir bien la definición inicial del muestreo, se debe cumplir que el muestreo debe ser equiprobable.

En el caso de los minerales, el muestreo de un lote M_L compuesto de “N” fragmentos es equiprobable, cuando todas las combinaciones de “n” fragmentos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra (M es la muestra con fragmentos). Creador de la teoría moderna del muestreo de minerales, cuando la condición de equiprobabilidad no se cumple, se tiene más bien un ejemplar de una muestra (Pierre, 1999).

2.8.1.1. Consideraciones en la Toma de Muestra

Es difícil proporcionar recomendaciones prácticas acerca del muestreo de minerales, debido a que esta operación es realizada en todas las etapas de un proyecto minero y no existen dos minas iguales entre sí.

2.8.1.2. Segregación

Las partículas de mineral tienden a segregarse, las más pesadas tienen la tendencia de localizarse al fondo, sin embargo el fenómeno de segregación es más complejo y depende de la granulometría, formas y pesos de las partículas, Una solución para disminuir el efecto de segregación en la toma de muestra es realizar varios incrementos, es decir, tomar un cierto número de submuestras para constituir una muestra primaria como se muestra en la figura 7.

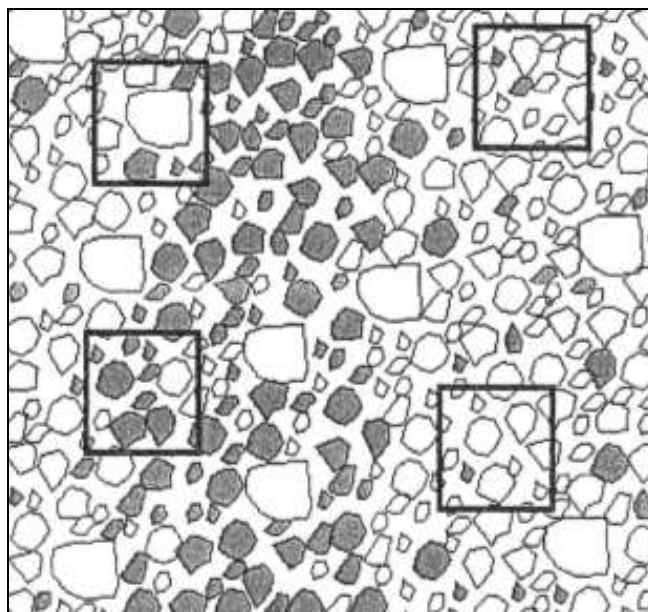


Figura 7: Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de segregación (Pierre, 1999).

2.8.1.3. Delimitación de la Muestra

Está íntimamente ligado con la representatividad de la misma. Es fundamental que la delimitación de la muestra a tomar sea la correcta. Por ejemplo, la muestra de las perforaciones en la figura 8 debe ser lo más representativa evitando en cualquier caso la pasadura ya que caso contrario traería errores los resultados analíticos obtenidos (Pierre, 1999).

2.8.1.4. Diseño de Palas

Las espátulas y palas tienen que tener un diseño recto con bordes laterales para no perder material y evitar el problema de la segregación, proporcionando muestras equiprobables. En algunos laboratorios se utilizan aun diseños curvos.



Figura 8: Cucharones para muestreo lo correcto e incorrecto.

2.8.2. Requisitos para la Adecuada Toma de Muestra

La representatividad de una muestra respecto al total de mineral se reflejará en tres aspectos a considerar:

- Contenido de mineral
- Características mineralógicas
- Tamaño analizado

El plan de muestreo, describe la sucesión de las operaciones que tienen como objetivo, obtener a partir de un lote una muestra representativa para los ensayos. Se compone de dos operaciones principales (Pierre, 1999):

La fragmentación: Es la operación en las que las partículas grandes tienen la tendencia a localizarse en el fondo. Este fenómeno es muy complejo ya que depende de la granulometría, forma y peso de las partículas.

La homogenización: Es la operación que permite homogenizar el tamaño y distribución de las partículas y de este modo eliminar toda segregación obteniendo la mejor distribución espacial de todos los constituyentes.

2.8.3. Errores en la Toma de Muestra

El procedimiento de muestreo debe ser perfectamente conocido por el responsable y deberá vigilar que ningún error se pueda introducir como:

Contaminación: Evitar en el muestreo la introducción de materiales extraños al lote, el equipo utilizado debe ser fácil de limpiar y resistente a la abrasión y corrosión.

Pérdida de material: Toda operación o acción que implique la pérdida de una parte de la muestra se debe evitar. Por ejemplo la liberación de partículas que se queden en el circuito de muestreo o evitar que alguna partícula caiga fuera del depósito de la muestra.

Modificación de las propiedades químicas: Las muestras pueden sufrir transformaciones químicas importantes al filo de las operaciones de muestreo. Así las reacciones de oxidación y sulfatación pueden ocurrir espontáneamente o ser favorecidos por las condiciones operativas del muestreo.

2.9. RECURSOS MINERALES Y RESERVAS DE MENA

Las reservas de una empresa son datos dinámicos, que se reducen en el tiempo a medida que el mineral va siendo extraído de la mina, o porque disminuye la viabilidad económica de la extracción. Por ejemplo, bajan los precios de un metal y la ley de corte (mínima ley explotable) hay que modificarla al alza para adaptarse a la nueva realidad económica. Al hacer esto, consecuentemente disminuirán las toneladas susceptibles de ser extraídas económicamente. Alternativamente, y como suele ser frecuente, las reservas pueden continuar aumentando a medida que yacimientos adicionales son añadidos al stock de metales de la empresa o porque una nueva tecnología permite explotar zonas antes consideradas solo marginalmente de interés.

Por su parte, recurso es un concepto más amplio que implica cualquier concentración natural de un sólido, líquido, o gas en la corteza terrestre, y cuya extracción es actual o potencialmente factible (Oyarzun, 2014).

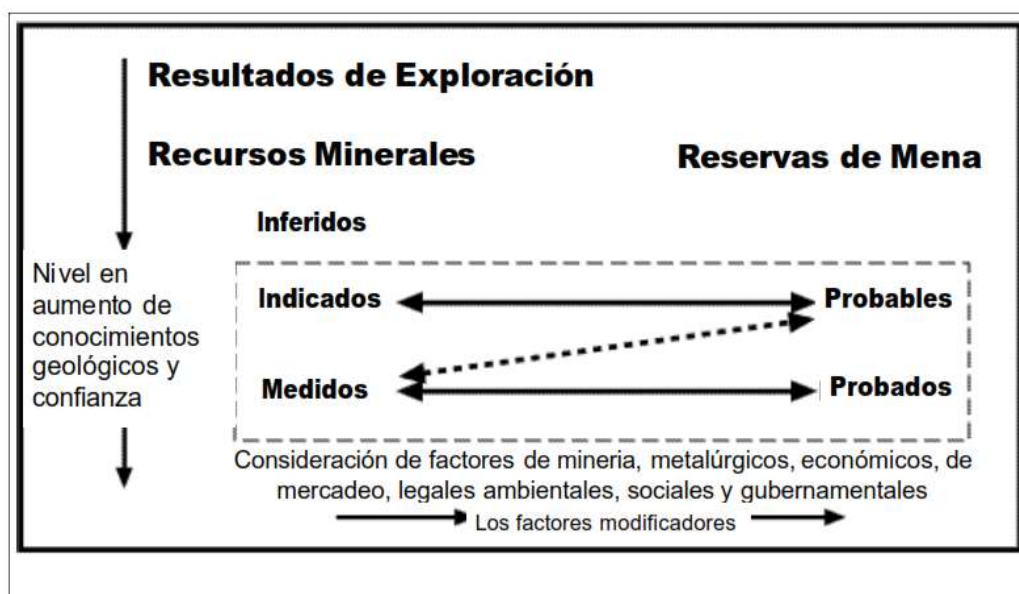


Figura 9: Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales (Oyarzún, 2014).

2.9.1. Conceptos Básicos:

Mena: Son los minerales metálicos o elementos metálicos que dan valor económico a un yacimiento mineral.

Ganga: Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés económico en el momento de la explotación.

Reservas: Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado. Depende de un gran número de factores: ley media, ley de corte, y de las condiciones técnicas, medioambientales y de mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación. Se complementa con el concepto de Recurso.

Recurso: es la cantidad total de mineral existente en la zona, incluyendo el que no podrá ser explotado por su baja concentración o baja ley.

Ley media: Es la concentración que presenta el elemento químico de interés económico en el yacimiento. Se expresa como tantos por ciento, o como gramos por tonelada (g/t) (equivale a partes por millón, ppm) u onzas por tonelada (oz/t).

Ley de corte o cut-off: Es la concentración mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser explotable, es decir, la concentración que hace posible pagar los costos de su extracción, tratamiento y comercialización.

Metalurgia extractiva: Es el proceso o conjunto de procesos, propios de la minería metálica, que permiten obtener el elemento de interés económico, mediante procesos por el cual se extrae el metal correspondiente de un mineral metálico.

Infill Drill: perforación de relleno con DM45E en detritos perfora máximo 90m.

Feeders: Conductos los fluidos termales de la fuente, presenta en los yacimientos hidrotermales en brechas de leyes alta de Au.

Steam Heated: Alteración argílica avanzada vapor caliente en los depósitos de baja y alta sulfuración está presente el H₂S que al contacto con el oxígeno atmosférico origina ácido sulfúrico.

Chip Trays: Fabricado de polipropileno de plástico muy resistente. No se romperá ni partirá en el frío. Tiene 20 compartimientos de 1" de ancho con capacidad para 2.4 pulgadas cúbicos de recortes de perforación. La bandeja está sellada por una bisagra continua asegurada con 5 ganchos.

2.9.2. Recursos Minerales

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la tierra en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica.

La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un recurso mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimientos específicos geológicos. Los recursos minerales se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en categorías de inferidos indicados y medidos (Oyarzún & Lillo, 2008).

Un "**Recurso mineral indicado**" es aquella parte de un recurso mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad.

Un "Recurso mineral inferido" es aquella parte de un recurso mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se

certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta (Oyarzún & Lillo, 2008).

Un “**Recurso mineral medido**” es aquella parte de un recurso mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en exploración detallada y confiable, información sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de ley (Oyarzún & Lillo, 2008).

2.9.3. Reservas de Mena

Reservas minerales, es la parte económicamente explotable de un recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen la consideración de y modificación por factores razonablemente asumidos de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran en la fecha en que se reporta que podría justificarse razonablemente la extracción. Las reservas de mena se subdividen en orden creciente de confianza en reservas probables minerales y reservas probadas minerales (Oyarzún & Lillo, 2008).

Una “**reserva probable**” es la parte económicamente explotable de un recurso mineral Indicado y en algunas circunstancias recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de y modificación por factores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran a la fecha en que se

presenta el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente.

Una “**reserva probada**” es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen consideración de y modificación por factores fehacientemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran, a la fecha en que se publica el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente (Oyarzún & Lillo, 2008).

2.10. MÉTODO DEL KRIGING

La palabra Kriging (expresión anglosajona) procede del nombre del geólogo sudafricano D. G. Krige, cuyos trabajos en la predicción de reservas de oro, realizados en la década del cincuenta, suelen considerarse como pioneros en los métodos de interpolación espacial. Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. En el cuadro 3 se mencionan los tipos de Kriging (Giraldo 2002).

El método Kriging provee una solución al problema de la estimación basada en un modelo continuo de variación espacial estocástica. Hace el mejor uso del conocimiento existente tomando en cuenta la forma en que la propiedad varía en el espacio a través del modelo de variograma. En su forma original una estimación de Kriging en un lugar es simplemente una combinación lineal de los datos en la vecindad. Desde entonces el método ha sido modificado para tratar con problemas más complejos en minería, ingeniería petrolera, control de la contaminación y salud. El objetivo de Kriging es el de estimar el valor de una variable aleatoria, Z , en uno o más puntos no muestreados o sobre grandes bloques, a partir de datos más o menos distribuidos en una plataforma determinada, digamos, $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)$ en x_1, x_2, \dots, x_n . Los datos pueden

estar distribuidos en una, dos o tres dimensiones aunque sus aplicaciones en problemas medioambientales suelen ser bidimensionales (Giraldo, 2002).

Cuadro 3: Tipo de predictores Kriging y sus propiedades.

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Ordinario • Universal 	<ul style="list-style-type: none"> • Son óptimos si hay normalidad multivariada. • Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente • Insesgados
NO LINEAL	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador • Probabilístico • Log. Normal • Trans Gaussiano • Disyuntivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Son predictores óptimos

2.10.1. Kriging Ordinario

Es el que se aplica más comúnmente. Asume que la media es desconocida. Si consideramos una estimación puntual, entonces se estima Z en el punto x_0 con:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

Z= Variable aleatoria en uno o más puntos

X_0, X_i = plataforma de distribución

N= número de muestras

λ = pesos o ponderaciones originales de las muestras

Que es un promedio ponderado de los datos (siendo λ , los pesos o ponderaciones originales). Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va hacer a correspondiente predicción. La suma de estos pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza variable. Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento (Giraldo, 2002).

$$E(Z^*(X_0)) = E(Z(X_0))$$

E= factor de insesgamiento

Asumiendo que el proceso es estacionario de media m (desconocida) y utilizando las propiedades del valor esperado, se demuestra que la suma de las ponderaciones debe ser igual a uno (Giraldo, 2002).

2. 11. PERFORACIÓN

2.11.1. Perforación Diamantina

Consiste en obtener barras compactas de roca de forma cilíndrica, con una perforadora diamantina. La perforadora accionada por un motor diésel, genera la energía de rotación y la presión de empuje vertical (hacia abajo) a la barra de perforación. Esta barra en un de tubo de acero diamantado altamente resistente a la abrasión, corta la roca y las estructuras mineralizadas, obteniéndose material de forma cilíndrica compacta similar a las barras “testigos”. Con la perforación diamantina se genera dos tipos de productos, los “testigos” o material de información geológica, que se traslada al almacén, y otros productos constituidos por las lamas que contienen agua, material fino y residuos de aditivos empleados en la construcción del taladro. En la zona de morrenas anteriormente se perforo 300m cortando la mineralización a los 40m en óxidos con las brocas HQ= 170M, NQ=170-300m.

Diámetro del Testigo.

HQ = 63,5mm.

NQ = 47,6mm.

2.11.2. Perforación Infill Drilling

Es una técnica de Perforación vertical con perforadora rotativa o con martillo en fondo - DM-45E, se utiliza aire comprimido para accionar un martillo de fondo, así como para extraer los ripios del fondo y refrigerar la herramienta, consiste en obtener detritos de roca a través de pozos de perforación a profundidades menores a 90 metros, utilizando un máximo de 10 barras cada una de 9 metros. Estos métodos están limitados casi exclusivamente a la perforación de rocas consolidadas o semiconsolidadas ya que en caso contrario se pueden o bien originar grandes cavidades en el fondo o empastarse la herramienta, perdiendo sus propiedades de corte. Con este tipo de perforación se realizó 3 taladros de 36 cada uno.

CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación tiene una metodología descriptiva, interpretativa y analítica mediante el procesamiento de los datos obtenidos en las distintas fases del estudio.

3.2. TRABAJOS DE GABINETE (COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN)

Se consideró información básica inicial como recopilación, revisión y selección de material bibliográfico de diferentes fuentes con referencia al tema de estudio; también la compilación de trabajos realizados por el equipo de geólogos de la Minera Aruntani y como información complementaria se consideró material como fotografías aéreas (ortofotos); planos de mina, mapas geológicos, de alteración, estructurales y regionales.

3.3. TRABAJO DE CAMPO

Para los trabajos de campo se realizó: un cartografiado, muestreos aleatorios y final mente muestreo de perforación de *Infill Drilling*.

3.3.1. Cartografiado

El cartografiado se realizó en escalas 1:10000, 1:3000 1:2000, mediante la identificación, descripción, delimitación e interpretación de: secuencias litoestratigráfica, estructuras, alteración y mineralización; poniendo mayor detalle en los últimos. Estos trabajos, se realizaron conjuntamente con el equipo de geología de Tucari, se tuvo mayor énfasis en la zona de echadero y morrenas, (ver la figura 10).



Figura 10: Mapeo de Alteraciones, litología y mineralización.

3.3.2. Muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio sistemático en la zona de investigación, desde la obtención de muestra y sus técnicas.

3.3.2.1. Muestreo en zonas de Morrenas y Echadero

Se obtuvo un total de 297 muestras, todas ellas ubicadas en puntos estratégicos para encontrar una mejor representatividad de la zona, 151 son de morrenas y 146 de pisos de echadero (ver anexo 2 resultados de laboratorio químico).

3.3.2.2. Técnicas de muestreo que se realizó en zonas de Echaderos y Morrena

a). Muestras en calicatas: Cuando el afloramiento de los echaderos no era visible, se realizó varias calicatas como muestra la figura 11.



Figura 11: La calicata muestra el contacto de óxidos con sulfuros.

b). Muestras en canales: Para determinar la consistencia de las zonas mineralizadas en especial de las morrenas para realizar los canales se utilizó una excavadora 345E CAT como se ve la figura 12.



Figura 12: Muestreo tipo canal en las morrenas (zona de óxidos).

c). Protocolo para control de calidad de muestras: La toma de muestras fue realizada por técnicos especializados en muestreo, bajo la supervisión directa del encargado del Geólogo y con el debido cumplimiento de los estándares de control y calidad de muestra recolectada.

Las muestras para el estudio geoquímico fueron enviadas al laboratorio químico de la unidad minera Tucari para análisis de Au.

d). Toma de muestra: Se limpia el material contaminado exponiendo el material coluvial o de morrenas para lo cual se debe estar atento y concentrado en el uso de herramientas de muestreo. Se colectara los detritos de morrena en la bolsa de polietileno de muestreo con un peso aproximado de 3 Kg, como muestra la figura 13.



Figura 13: Toma de muestra de mineral adecuado de 3 Kg.

e). Marcado, codificación y preparación de muestras: Se dejaron marcas o “chutas” en el talud para su posterior replanteo por personal de topografía, teniendo cuidado con la estabilidad del talud, caída de rocas. La preparación de muestras se realiza en un ambiente adecuado, donde el personal de muestreo carga y descarga.

La codificación fue colocado y engrampada en la muestra respectiva, además se insertó muestras de control; Considerando la postura ergonómica adecuada para

el levantamiento de pesos y codificación de muestras, además el uso correcto de herramientas comunes y equipos de protección personal, que considera el uso de respirador contra polvo.

f). Apilamiento de muestras: Las muestras fueron colocadas en forma ordenada evitando la sobrecarga de muestra y adoptar una postura correcta para el levantamiento y descarga.

g). Desplazamiento al laboratorio químico: Finalizar el muestreo en el día, se procedió a coleccionar las muestras en la camioneta del área de Geología Mina a laboratorio químico teniendo en cuenta la velocidad de volquetes, respetando prioridades de paso y el reglamento interno de tránsito de la mina.

h). Entrega de muestras al laboratorio químico de Tucari: Las muestras se descargó en una forma cuidadosa y ordenada considerando las condiciones físicas del área de descarga.



Figura 14: Recepción de muestras por laboratorio químico Tucari.

3.4. PERFORACIÓN INFILL DRILLING

Se realizó una campaña de perforaciones de *Infill Drilling* de 3 taladros que suman un total de 108m perforados en depósitos de Morrenas, se obtuvo 60 muestras de detritos de tamaño < 5mm, para análisis de Au, con la finalidad obtener más información: geológica y de leyes, que corroboran modelo de reservas que son probadas.

3.4.1. Procedimiento para el Muestreo en Perforaciones Infill Drilling

- La designación e identificación del pozo a perforar estará a cargo del área de geología con el área de topografía.
- Después de cada perforación debe tener monumento con su respectiva codificación.
- Durante la perforación, las muestras procedentes se deben recepcionar en las bandejas para la recuperación de los detritos.
- Las muestras solo se recepcionará cuando corresponda al intervalo de corrida (2:00mts) para lo cual se acondicionan marcas adecuadas y siempre visibles en la cadena del castillo de la máquina de perforación que corresponde con el avance de la barra de perforación.
- Las muestras deben de ser secas y sólo se aceptara húmedas cuando exista agua en el fondo del pozo.
- Las bandejas deben estar limpias en cada muestra obtenida después de cada corrida, para no tener contaminación de muestra.
- En caso de recuperaciones bajas, solo se aceptara muestras hasta con un peso mayor a 2 kg. En el caso que no exista recuperación en el tramo perforado se indicará en las bolsas y en los *chips trays* la presencia de vacíos, para garantizar el correcto análisis en los laboratorios químicos.
- El cuarteo de muestra será ejecutado manualmente, logrando una máxima homogenización de la muestra. La división de la muestra será estrictamente dirigida por el personal que realiza labor de muestreo.
- Las muestras se embolsaran adecuadamente, colocando la etiqueta con el respectivo número de muestra. Para mejorar el proceso se deberá etiquetar y/o rotular las bolsas, *chips trays*, ticket de acuerdo al código que le corresponde.

- En la caja de *chips trays*, cada división corresponden a una muestra.
- Concluida la actividad deben disponer los residuos en los cilindros de color respectivo de acuerdo al procedimiento de manejo de residuos sólidos.
- Una vez cuarteada la muestra, se engrampa las etiquetas a la bolsa, luego se coloca con un plumón indeleble el número de la etiqueta en la bolsa de muestreo que debe coincidir con el número del ticket. Este número de muestra debe coincidir con el número de muestra de los *chips trays*.
- Las muestras serán almacenadas en un compartimiento independiente para luego enviar al laboratorio químico con sus respectivas muestras de control.



Figura 15: Perforación de *Infill Drilling* y recolección de muestra en detrito del sondaje.



Figura 16: almacenamiento de detritos en los *Chip Trays* como testigos de la mineralización.

3.5. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS MUESTRAS EN LA PERFORACIÓN DE INFILL DRILLING

La verificación de datos debe acompañar cualquier programa de exploración para confirmar la validez de los datos. Por esta razón los programas de control de calidad independientes al laboratorio químico, son requeridos y utilizados para asegurar la exactitud y precisión analítica adecuada con el fin de soportar la estimación de recursos.

3.5.1. Parámetros Utilizados en el Control de Muestras

En un lote de 18 muestras se considera dos muestras de control: blanco y duplicado sumado en total 60 muestras en perforaciones de *Infill Drilling*.

Las muestras blancas o duplicado, normalmente han sido enviadas al inicio de cada lote, para controlar la limpieza de sus bandejas del laboratorio químico en el proceso de análisis de Au.

Cuadro 4: Control de la Calidad de las Muestras.

TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD	%	PESO POR M.	OBSERVADO
Muestras normales	54	90%	3 kg	0
Muestras duplicado	3	5%	2 kg	0
Muestra en blanco	3	5%	3 kg	0
TOTAL	60	100%		

3.5.1.1. Muestras duplicado

Son obtenidas mediante la repetición del muestreo en las proximidades de la ubicación original. En el caso de los detritos < 5mm de perforación *Infill Drilling*, dichas muestras se obtienen normalmente por división de las muestras de cuarteo, hasta obtener una tercera o cuarta parte del detrito. Estas muestras deben ser analizadas por el mismo laboratorio que las muestras originales, y se utilizan principalmente para evaluar la varianza de muestreo de los detritos.

3.5.1.2. Blancos finos

Son muestras pulverizadas de material estéril que proporcionan información acerca de la posible contaminación durante el análisis; estas muestras deben ser analizadas inmediatamente después de muestras mineralizadas.

3.5.1.3. Duplicados de pulpa

Son recolectados a partir de las muestras pulverizadas, y son rutinariamente analizadas por el laboratorio químico de Tucari. Estas muestras son enviadas al mismo laboratorio, en el mismo lote y bajo un número de muestra diferente, y se usan para evaluar la precisión analítica.

3.6. LOGUEO DE PERFORACIONES

En los detritos de las perforaciones de *Infill Drilling*, solo se puede reconocer las alteraciones hidrotermales, litología y mineralización.

3.7. ESTUDIOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Con los estudio de Microscopía Electrónica se investiga e identifica especies minerales que no pueden ser reconocidos al microscopio óptico. Minerales que pueden ser granos submicroscópicos o están formando solución sólida con minerales mayoritarios. También, se podría determinar las variedades de sulfosales de plomo, plata, bismuto, etc., que pueden estar presentes como inclusiones o diseminados dentro de los minerales mayoritarios.

3.8. TRABAJO DE LABORATORIO QUÍMICO DE TUCARI

El laboratorio químico procesa en promedio 60 muestras por día en los análisis de Au.

3.8.1. Preparación de Muestras para Análisis de Au

Para realizar cualquier prueba o ensayo con una muestra es necesario realizar el secado, chancado y pulverizado de la muestra a analizar. Las muestras iniciales pesan entre 4 a 5 Kg.

Los procedimientos que se realizan son:

- Las muestras son recepcionadas por el personal de preparación de muestras para su pesado.
- Las muestras son homogenizadas mediante chancado, se utiliza chancadoras de quijada.
- Se procede con el cuarteo que se realiza con un muestreador, aquí se colecta muestras tanto para la muestra y como para la contra muestra que es almacenada apropiadamente. Para el análisis se toma 400 gr que es secada a 150°C.
- Luego del secado la muestra es pulverizada y se cuarteada, siendo enviados 200 g aproximadamente a los laboratorios externos para sus análisis de comprobación cuando requiera control de calidad, mientras que los otros 200 gr que son llamadas pulpas se analiza por el laboratorio químico de la mina.

3.8.2. Secado

Casi siempre es necesario secar las muestras, ya que estas pueden presentar algún porcentaje de humedad. A veces el material esta tan húmedo que durante el chancado puede formar una masa lodosa que rellene el área de trabajo en las chancadoras y pulverizadoras, dificultando la preparación.

El esquema normal para la ejecución de análisis químicos considera que la muestra a analizar esté conformado por material seco.



Figura 17: Preparación de muestras por el laboratorio químico de Tucari (secado).

3.8.3. Chancado y Pulverizado

La pulverización se toma aproximadamente 30 g de material y se coloca en bolsas de papel codificadas para luego pasar a análisis. Se toma 0.5 g de la muestra pulverizada pesada en una balanza de escala digital.

La muestra es fundida con mezcla fundente para concentrar el oro y la plata en un botón de plomo o regulo de plomo, luego es copelado, eliminando así el plomo por oxidación y volatilización, quedando solo el material noble sobre la superficie de la copela llamado dore (oro/plata), luego disgregado para su determinación a través de espectrofotómetro de absorción atómica (AAS).

La solución es aspirada por el espectrofotómetro de absorción atómica. Los elementos son cuantificados en función de la absorción de la energía radiante por átomos en estado fundamental.



Figura 18: Equipo de chancado y pulverizado, de muestras extraídas de la zona de estudio.

3.8.4. Recepción de resultados en leyes Au

Los resultados de control de calidad se registran en su totalidad en archivos Excel y se monitorea la precisión y la exactitud, estos resultados solo son comparados visualmente cada día. Si una diferencia significativa es identificada entonces se procede a re-analizar la muestra, según lo mencionado por el supervisor del laboratorio. Los resultados analíticos por Au los reporta el laboratorio químico de Tucari en 8 horas después de entregada la muestra debido a la demora del

método de análisis por vía seca (ver anexo 2, resultados de laboratorio Tucari).

3.9. SOFTWARE PARA MODELAMIENTO GEOLÓGICO

3.9.1. Target for Arcgis

Es una extensión de mapeo de superficie y sondajes para el software Arcgis 10.1 de ESRI, simplifica la recopilación, el mapeo y el análisis de datos geoespaciales en su ambiente de trabajo. Se realizó tres secciones de SW-NE en la zona de morrenas para la interpretación.

3.9.2. Maptek Vulcan

Vulcan 8.0 se utilizó para cálculo de volumen de mineral, es la más avanzada herramienta disponible de Modelamiento y Visualización 3D para diseñadores en la Industria Minera.

Vulcan 8.0 organiza los datos en un árbol jerárquico de complejidad decreciente, y proporciona métodos para agrupar datos dentro de él y en niveles cruzados. Estas facilidades de estructura y agrupamiento de datos entregan un flexible y poderoso sistema de organización de datos, que cuando es usado correctamente, puede traducirse en un real aumento de productividad, siendo los siguientes:

Collar

La primera tabla es collar la que va estar conformada por campos y registros los campos o items son las columnas y los registros son las filas, cabe mencionar que cada registro contendrá su identificación de coordenadas este, norte y cota.

Assay

Es una de las data base importante ya que contiene el identificador de cada registro (DDH) inicio y fin de la muestra la longitud de la muestra y las leyes de los minerales a evaluar o de interés.

Survey

Es la base de datos que contiene datos como el incio y fin de cada muestra azimut y dirección de los taladros además de las medidas de los mismos.

Cuadro 5: Secuencias de procesos en modelamiento con el software vulcan.

SECUENCIA DE PROCESOS	PROCESOS	OBSERVACIONES
Datos Digitalizados	Digitalizar, cargar editar, listar, pasar plotear, visualización en 3D.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Define información geológica en el plano o en una sección. 2. Detalla contornos topográficos, define información estructural, diseños de mina.
Project Control File (PCF)	Inicializar, actualizar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Archivo gobernante dentro de Vulcan. 2. Define las características y los límites del proyecto. 3. Es inicializado solo una vez al principio del proyecto. Este contiene: <ol style="list-style-type: none"> 1. La identificación del proyecto 2. Límites geométricos. 3. El tipo de modelo. 4. Las unidades métricas. 5. La tabla con los nombres de los archivos.
Ensayos de Sondajes	Ingresar, explorar, cargar, editar, listar, pasar, agregar geología, estadística, variogramas, ploteos, cálculos especiales, visualización 3D e interpolación.	Almacena datos de sondaje, incluyendo, códigos litológicos y geológicos (collar, assay, survey), información del barrenado y datos de levantamiento a lo largo del sondaje.
Compositos		<ol style="list-style-type: none"> 1. Cálculalos compositor por banco (para la mayoría de las minas de metales básicos y mostrar el valor de interés. 2. Estos datos pueden ser listados, actualizado, analizados geoestadísticamente y estadísticamente y ploteando en planos o en secciones y visualizados en 3D.
Modelo de Mina	Inicializar, interpola, agregar geología, agregar topografía, estadística reservas, cálculos especiales, plotear contornos, imágenes en 3D y la construcción de sólidos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza un modelo 3D de bloque para modelar yacimientos de metal básico tal como el Au. 2. Un bloque de modelo 3D contendrá ítems de tenor de corte, códigos geológicos y porcentajes topográficos. 3. Se actualiza, resume estadísticamente, plotea en planos o en secciones, contornea y se visualiza en 3D. 4. Requisito necesario para todo el diseño de pit o proceso evaluativo de un pit.

3.10. INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES

3.10.1. Equipos, Instrumentos y Materiales Utilizados en Campo

- GPS Etrex Garmín Navegatorio
- Picota de geólogo Estwing.
- Brújula tipo Brunton de rumbo.
- Lupas de 20X y 10X.
- Rayador.
- Lápiz metálico para determinar la dureza de las rocas y minerales.
- Lápiz magnético.
- Protactor de diferentes escalas.
- Bases topográficas a escalas 1/2000, 1/25000.
- Colores codificados por alteración
- Lápices HB-2H.
- Bolsas de muestreo (20x40cm)
- Etiquetas de identificación de muestras.
- Cámara fotográfica digital canon Power Shopt A550.
- Porta planos.
- Cucharones de muestreo
- Camioneta 4x4 hilux 2015
- Excavadora 345 CAT
- Retro Excavadora CAT
- Perforadora DM 45E

3.10.2. Materiales y Equipos Utilizados en Gabinete

- Laptop core i7. Toshiba
- Impresora Hp plotter
- Software(Vulcan, Arcgis, AutoCAD 2010, Excel 2013, Word 2013)
- Materiales de escritorio (papel, bolígrafos, otros).
- Microscopio Electrónico de Barrido

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

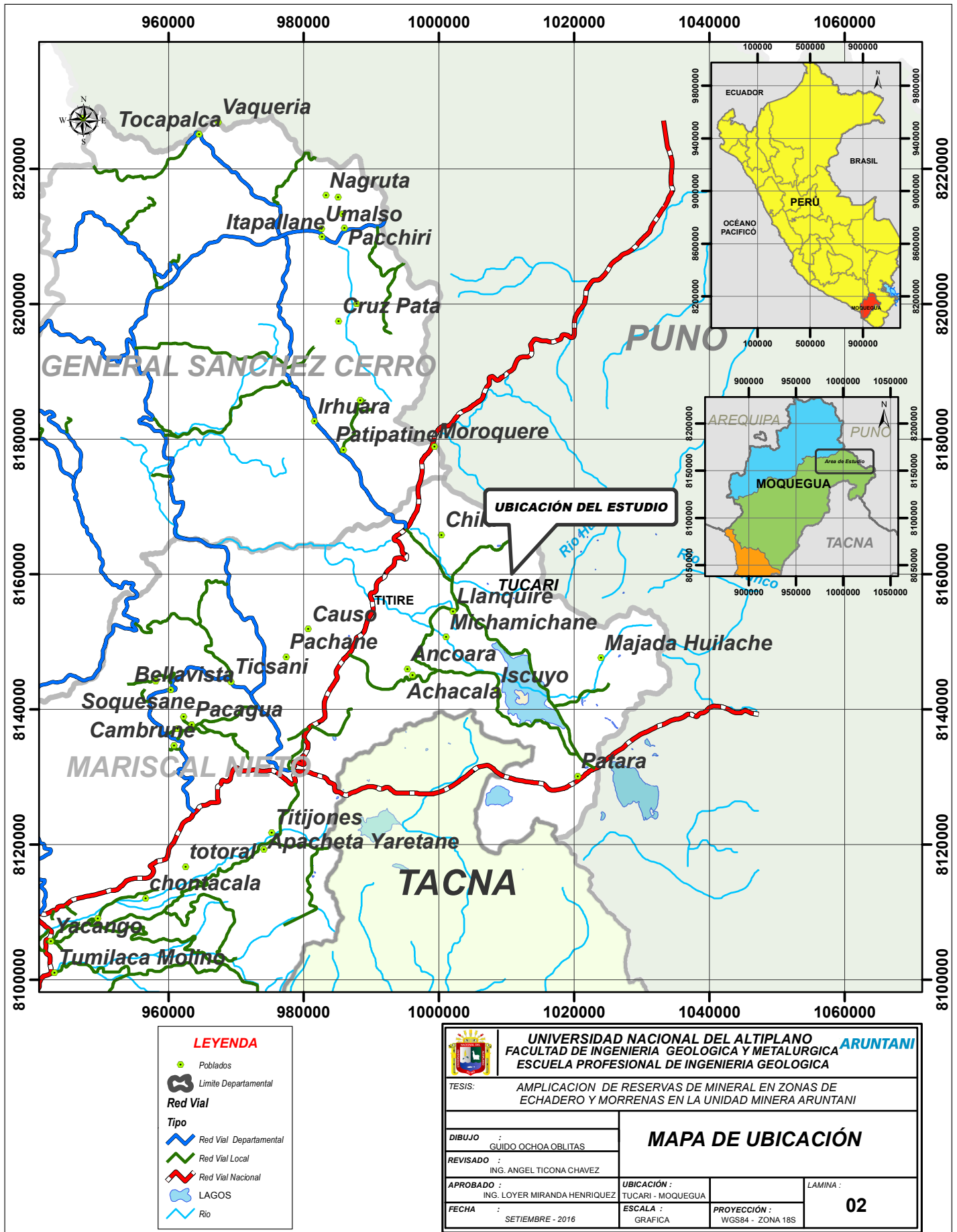
4.1. UBICACIÓN Y ACCESO

La Unidad Minera Tucari de Aruntani S.A.C. se encuentra ubicada en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, en el Departamento de Moquegua. A una distancia promedio de 135 Km. de la ciudad de Puno y a 195 Km. de la ciudad de Moquegua. El área de influencia del proyecto está comprendida entre altitudes que varían entre 4750 a 5100 msnm. Coordenadas: E369890 y N8167140. El acceso al área de estudio se hace por vías aérea y terrestre; la primera Lima-Juliaca-Puno por vía asfaltada (Interoceánica Puno-Moquegua) hasta el desvío (93Km), finalmente arribar a la mina, recorriendo un total de 175 Km.

La segunda vía por Lima-Moquegua y después vía Torata pasando por Titire ¿siguiendo la vía transoceánica en sentido contrario?, recorriendo un total de 195 km hasta llegar a la mina. El recorrido en camioneta toma un tiempo aproximado de 2.5 horas sobre una vía completamente asfaltada hasta el ingreso a la mina.

Cuadro 6: Accesos hacia la mina Tucari.

TRAMO	DE	A	Distancia(Km)	Tipo de Vía
1	Lima	Juliaca	1030	Aérea
	Juliaca	Puno	40	Asfaltada
	Puno	Cruce	100	Asfaltada
2	Moquegua	Cruce	160	Asfaltada
	Cruce	Mina	35	Trocha
	Total recorrido 1		175	
	Total recorrido 2		195	



4.2. CLIMA

El clima de la zona está influenciado principalmente por la orografía y la altitud, donde las precipitaciones son estacionales, presentándose lluvias, granizo y nevadas durante los meses de Diciembre a Marzo; período en el cual ocurre alrededor del 85% de la precipitación total anual con temperaturas que varían entre 6 a 20 °C, y mínimas por debajo de 0°C.

4.3. GEOLOGÍA LOCAL

La cordillera occidental durante el Paleógeno y Neógeno (Terciario), fue marcado por tres fases de vulcanismo calco-alcalino; Grupo Tacaza (Oligoceno superior – Mioceno inferior), Sillapaca (Mioceno Medio) y Barroso (Mioceno – superior y Plioceno), las dos últimas fases volcánicas que provocaron erupciones ignimbríticas. En el Mioceno medio, una cuenca lacustre de poca profundidad se formó en la Cordillera Occidental; en ella fue depositado el Grupo Maure. La intercalación de lavas así como las relaciones estratigráficas indican que esta cuenca existió hasta el Plioceno. El vulcanismo continúa hasta el cuaternario y en la zona de estudio, se han identificado rocas cuyo rango de edad van desde el Paleoceno (Grupo Puno) hasta el cuaternario.

Las rocas que afloran en la zona de estudio corresponden al Mesozoico y Cenozoico, en la que se observa una secuencia sedimentaria del Paleógeno (Grupo Puno) y rocas volcánicas de edades Paleógenas, Neógenas y Plio-Pleistocénicas, cubiertas por depósitos cuaternarios del Holoceno, descritas a continuación (Ver mapa N°3):

4.3.1. Grupo Puno (Ti-pu).

Son las rocas más antiguas que se observan en el área de estudio, están compuestas por sedimentos estratificados, cuya secuencia se detalla a continuación:

Areniscas feldespáticas, se ubican en la base de la unidad estratigráfica en la quebrada Margaritani al oeste de la zona de estudio, tienen espesores que varían de 2 a 5m y presentan colores verde violáceo. Otra secuencia sedimentaria

compuesta por micro conglomerados, de color violáceo, compuesta por clastos de calizas grises, cuarcitas, areniscas rojas y volcánicos andesíticos de composición basalto; se ubica en los alrededores del polvorín de la mina (ver la figura 18). Los conglomerados forman cárcavas de 4 metros en la quebrada Apostoloni.

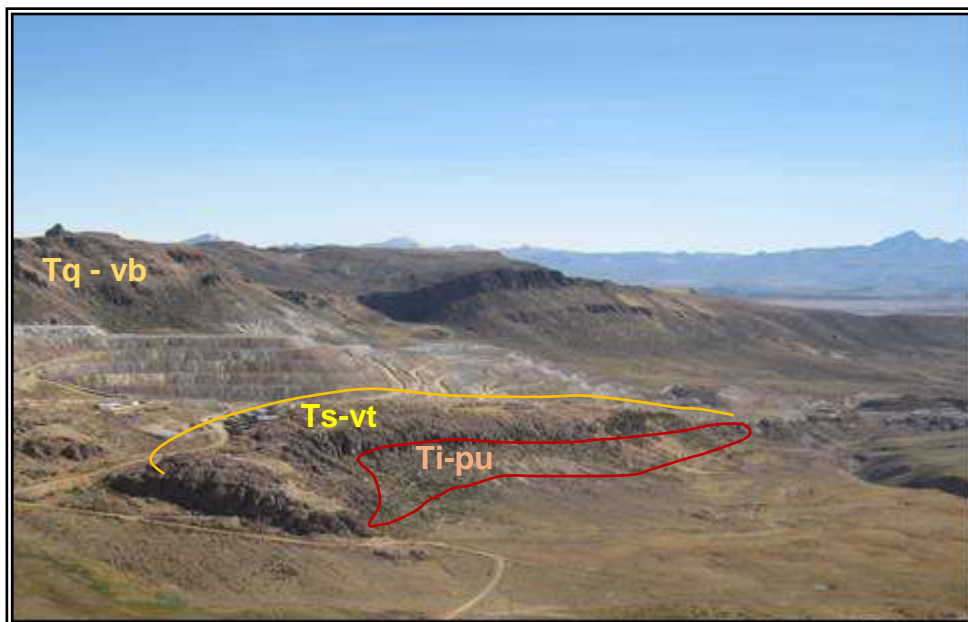


Figura 19: Muestra las unidades litoestratigráficas del Grupo Puno (Ti – pu), Volcánico Tacaza (Ts – vt), Volcánico Barroso (Tq –vb).

4.3.2. Volcánico Tacaza (Ts-vt).

Esta formación en la zona de estudio está constituida de roca volcánica tufacea de color gris blanquecino de naturaleza riolítica y dacítica con intercalaciones menores de aglomerados, areniscas y brechas volcánicas grises; mientras que la porción superior está constituida mayormente de derrames andesíticos y piroclásticos de naturaleza andesítica y dacítica con horizontes de brechas polimigticas que han sufrido cierta perturbación y alteración en diferentes grados. Constituye las unidades de mayor distribución, esta formación regionalmente es considerada como grupo de edad Miocénica (terciario medio-superior).

4.3.3. Volcánico Barroso (TQ-vb).

Ocupan las porciones más elevadas de las montañas volcánicas o cimas que limitan el área, en especial en el lado sur y sureste, donde aparecen sobreyaciendo a los Volcánicos Tacaza. Están constituidos principalmente por

derrames lávicos de andesitas y riolitas de colores grisáceos, con algunos horizontes conglomeráticos débilmente disturbados y alterados. La mina Tucari se encuentra en este complejo de rocas volcánicas que fueron alterados por hidrotermalismo, así mismo esta formación es considerada de edad Plio Pleistocénica (Terciario superior-Cuaternario).

4.3.4. Cuaternario

4.3.4.1. Depósitos morrenas (Qp-mfg)

Aquí se describen a los depósitos de origen glaciario que ocurren rellenando o tapizando los fondos y laderas bajas del micro cuenca Tucari, como consecuencia de las últimas glaciaciones Pleistocénicas. La litología es variada, aunque predominantemente de naturaleza volcánica y volcánico-clástica, con intercalaciones de areniscas, arcillas y otros detritos, dispuestos en capas gruesas de débil compactación, con tonos grises blanquecinos a amarillentos (por oxidación e intemperismo), presentan también bloques dispersos de roca alterada de tamaños de 1 a 5m. Estos depósitos se encuentran muy disectados, razón por lo que han sido suficientemente diferenciados, incluyendo a los materiales fluvio-glaciares que ocurren aún más dispersos.

4.3.4.2. Depósitos de escombros glaciares y peri glaciares (Qp-eg)

Son depósitos más o menos similares a los anteriores, diferenciados básicamente por su especial configuración, por que conforman taludes de escombros con niveles de relativo a poco transporte y cuya formación virtualmente continúa hasta el presente. Los materiales conformantes son variados, predominantemente de naturaleza volcánica, algunos de ellos regularmente alterados por formaciones rocosas originarias primarias.

4.3.4.3. Depósitos coluvio glaciales (Q-cg)

Aquí están descritas las acumulaciones rocosas sueltas que ocurren rellenando y las laderas o flancos de los picos montañosos como Cerro Apostoloni y el propio tajo, producto de la crioclastia y derrubios de los paquetes volcánicos expuestos, favorecidos por la acción glaciaria (tipo morrénico). Estos depósitos se diferencian

básicamente por su especial configuración, conformando taludes de escombros de relativo poco transporte y cuya formación virtualmente continúa hasta el presente. Estos depósitos son típicamente muy delgados pero varían desde 26 a 36 m en espesor a lo largo de las pendientes más bajas.

4.3.4.4. Bofedal (F.b)

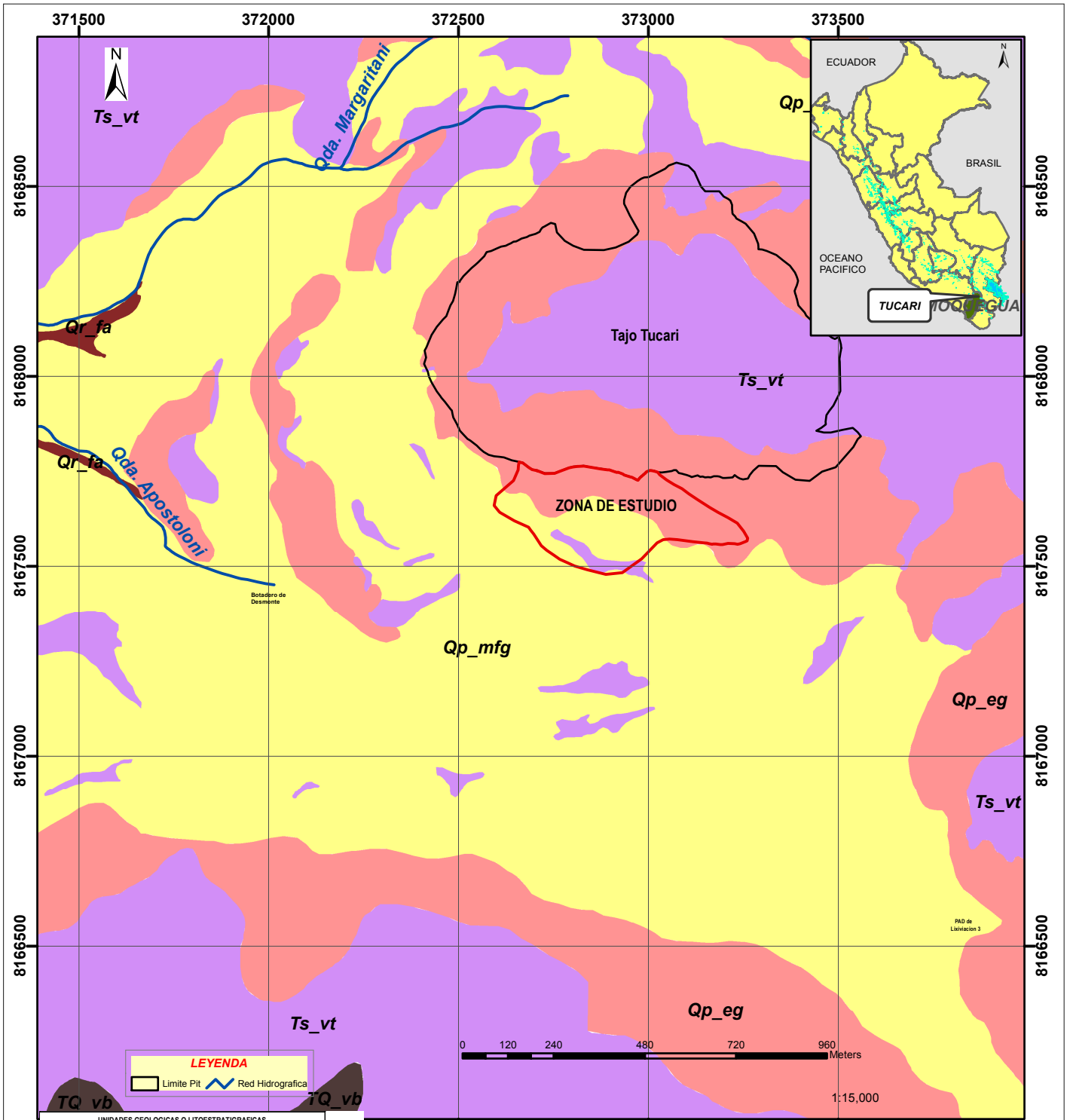
Son áreas hidromórficas ubicados en los fondos de las quebradas o valles glaciales dominantes, están formadas por acumulación de materiales no consolidados fango-arcillosos, con alto contenido de materia orgánica vegetal en proceso de tuberización en ambientes acuosos e hidrofíticos de alta montaña. Su extensión es pequeña y por lo general denotan signos de deterioro avanzado (degradación), constituyendo sin embargo ambiente de alto potencial hidrogeológico y biológico; razón por la cual no serán ocupados o intervenidos en el desarrollo de ampliación del proyecto, aunque existen contienen mineralización aurífera.

4.3.4.5. Depósito fluvio glacial (Q-fg)

Completando la secuencia estratigráfica se tiene los diferentes materiales del Cuaternario reciente, de origen fluvial que se presentan en pequeñas extensiones en los fondos o lechos de los riachuelos principales como el Margaritani. Están constituidos mayormente de arenas, arcillas, gravas y eventualmente de cantos rodados conformando horizontes alargados y estrechos de poco espesor, tipo terrazas aluviales disectadas. Se encuentran también en sector oeste de la mina, en el cual inclusive se encontraron valores anómalos de Au, presentan insipiente estratificación y pobre selección en clastos gravosos con matriz de limo y arcillas.



Figura 20: Muestra diferentes unidades del Cuaternario (Q – cg). Depósitos Coluvio glaciales, (Q – bo). Depósitos de bofedal y (Q – fg). Depósitos Fluvio glaciales.



LEYENDA

- Limite Pit
- Red Hidrografica

UNIDADES GEOLOGICAS O LITOESTRATIGRAFICAS					
Edad	Formación	Simbolo	Descripción	Area(Ha)	%
Cuaternario	Depósitos Fluvio-Aluviales Reciente	Qr_fa	Depósitos Fluviales y Aluviales de arena, arcilla, gravas y cantos rodados de naturaleza volcanica mayormente	45.02	1.88
	Depósitos de Escombros y Glaciales y Periglaciales	Qp_eg	Acumulación termoplástica glaciales y periglaciales en taludes montañosos volcanicos	335.75	14.05
	Morenas y Depósitos Fluvio-glaciales	Qp_mfg	Materiales diversos mayormente volcanicos arcillosos con boques suelos formados por accion glacial	962.7	41.13
Terciario	Volcánico Barroso Superior	TQ_vb	Dierrames volcanicos andesiticos con horizontes de brechas conglomerados de tonos grises poco disturbados	93.37	3.91
	Volcánico Tacaza Medio	Ts_vt	Tufos andesiticos blanquesinos con derrames andesiticos y riolíticos; horizontes de brechas y proclastos alterados.	639.67	35.16
Inferior	Grupo Puno	TI_pu	Areniscas conglomeraticas y brechas tufaceas, verde violaceas de origen continental.	92.26	3.86
TOTAL				2389	100

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

ARUNTANI
 PROYECTO TUCARI

TESIS: **AMPLICACION DE RESERVAS DE MINERAL EN ZONAS DE ECHADERO Y MORRENAS EN LA UNIDAD MINERA TUCARI**

DIBUJO: BACH. GUIDO OCHOA OBLITAS

REVISADO: ING. ANGEL TICONA CHAVEZ

APROBADO: ING. LOYER MIRANDA H.

FECHA: SETIEMBRE - 2016

MAPA GEOLOGICO LOCAL TUCARI

UBICACION: TUCARI - MOQUEGUA

ESCALA: 1 : 15000

PROYECCION: PSAD56 - ZONA 19L

LAMINA: **03**

4.4. TIPOS ALTERACIÓN QUE PRESENTA EL YACIMIENTO DE TUCARI

En la mina Tucari, los ensambles de alteración hidrotermal son propios de un ambiente de alta sulfuración. Los distintos ensambles de minerales de alteración están en función de la temperatura y el nivel de acidez (pH de los fluidos hidrotermales mineralizantes); presentándose en forma de halos con respecto a un punto caliente o foco de donde migra hacia los bordes. Dentro de las alteraciones existentes se puede distinguir: sílice masiva (sm), sílice granular (sg), sílice alunita (sa), sílice clay (sc), arcilla (a), como muestra en el mapa 4. A continuación describiremos a cada una de ellas:

4.4.1. Sílice Masiva

Consiste de una sílice compacta y criptocristalina; la silicificación que presenta son de dos tonalidades; de color gris a gris oscuro, esto debido a que contiene pirita finamente diseminada en la matriz; a su vez la secuencia masiva silicificada se encuentra moderadamente fracturada. Su exposición se concentra sobre la cresta sur y norte del “domo” Tucari en contacto con los *feeders* principales que cortan al intrusivo. En este tipo de alteración es recurrente la presencia de cuerpos de brecha hidrotermal y crackel de persistencia y potencia muy variada cuya distribución indica eventos polifásicos de mineralización, son evidentes con presencia ocasional de azufre y un pH <1,0.



Figura 21: Muestra de mano una And. Porfiritica, sílice masiva en contacto de una brecha hidrotermal, con contenido de azufre.

4.4.2. Sílice Residual

Constituido por la sílice *vuggy* y sílice granular compacta o terrosa pulverulenta. El desarrollo se ubica en todo el tajo Tucari y está en contacto con las brechas descritas anteriormente, la variabilidad en los valores de Au es constante siendo una guía importante en el control de la mineralización el contenido de óxidos y las impregnaciones de jarosita, el pH son menores de 7.



Figura 22: Muestra de mano de una Sílice Vuggy con óxidos de hierro.

4.4.3. Sílice Alunita

Es la alteración más extendida y diferenciada en el depósito, aquí se presentan los valores más altos en Au. Es común notar la superposición de eventos de alteración y mineralización sobretodo en la alteración sílice *vuggy* cuyos poros se encuentran rellenos de alunita. Los ensambles de primera generación aparecen al este del tajo con valores marginales en contextos de sílice-*clay* y brechas sin óxidos. Respecto a las brechas sílice-alunita, su exposición más evidente se da sobre la cresta sur y oeste del domo.



Figura 23: Muestra de mano de sílice alunita con óxidos de hierro.

4.4.4. Sílice Clay

Esta alteración consiste de sílice y arcillas; en la matriz ocurre cristales de sílice en porcentajes que van de 20-30%, presenta tonalidades grisáceas por contener sulfuros de grano muy fino en la matriz; el 70% restante se encuentra compuesto de caolinita, dickita y montmorillonita, con un pH acida, La matriz presenta una textura moderadamente obliterada; se observa arcillas como caolín-dickita reemplazando plagioclasas.



Figura 24: Muestra de mano de Sílice Clay con contenido de pirita diseminada.

4.5. DIFERENCIACIÓN DE ZONAS DE MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN EN LA MINA TUCARI

En los sectores que circunscribe la zona de estudio se puede diferenciar tres zonas: una de óxidos en el cual la parte superior presenta óxidos hierro, otra zona de lixiviación y por último la mena oxidada. El límite hacia la zona de los sulfuros generalmente está definida por el nivel freático, el cual no es muy marcado, es decir existe una transición con la ocurrencia de sulfuros.

La zona de óxidos está comprendida desde los niveles superiores 4,936 msnm hasta los 5,064 msnm, en la zona oeste y 4,912 msnm en la parte central del tajo. Por debajo de esta cota está gradando hacia la zona de sulfuros, limitado por sectores argilizados. La mineralización esta hospedada principalmente en la andesita craquelada (brecha craquelada) y las brechas hidrotermales fuertemente oxidadas que actúan como *feeders* o alimentadores de alta ley. Aquí se observa una zonación seguida de sílice lixiviada granular y masiva, esto es característico en la parte central del tajo. En la zona oeste y este va gradando a sílice alunita y sílice clay.



Figura 25: Vista del Tajo Tucari mirando al Este, interpretando el tipo de Mineral.

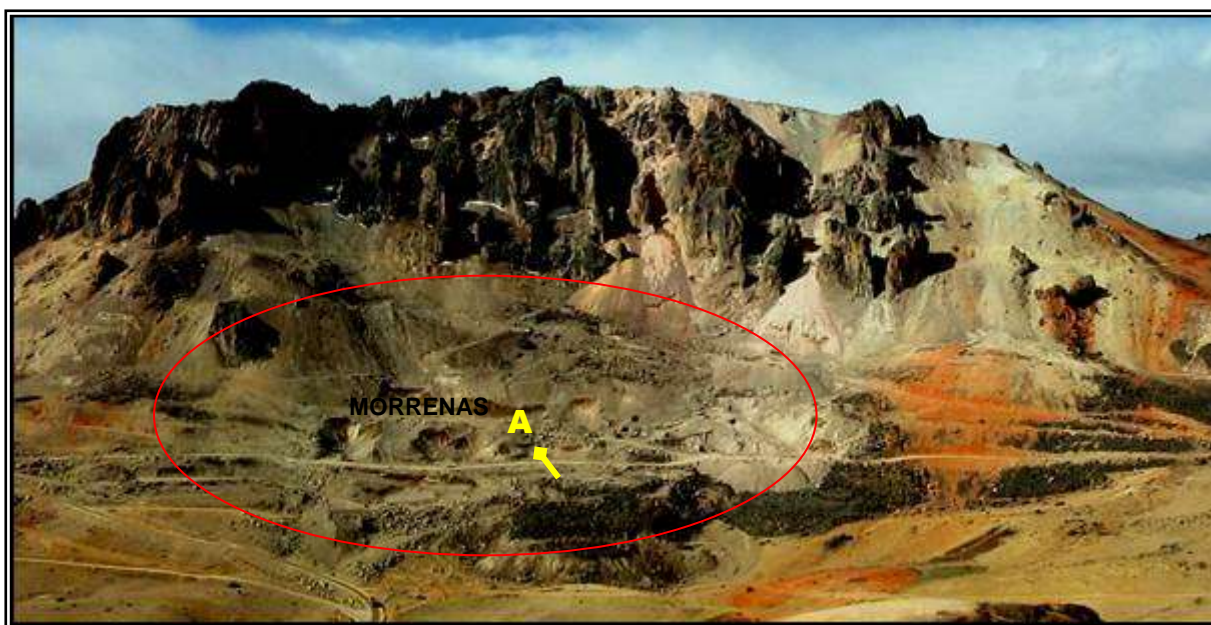


Figura 26: Vista del sector NW de la mina Tucari antes de ser minado sus reservas en el año 2004.

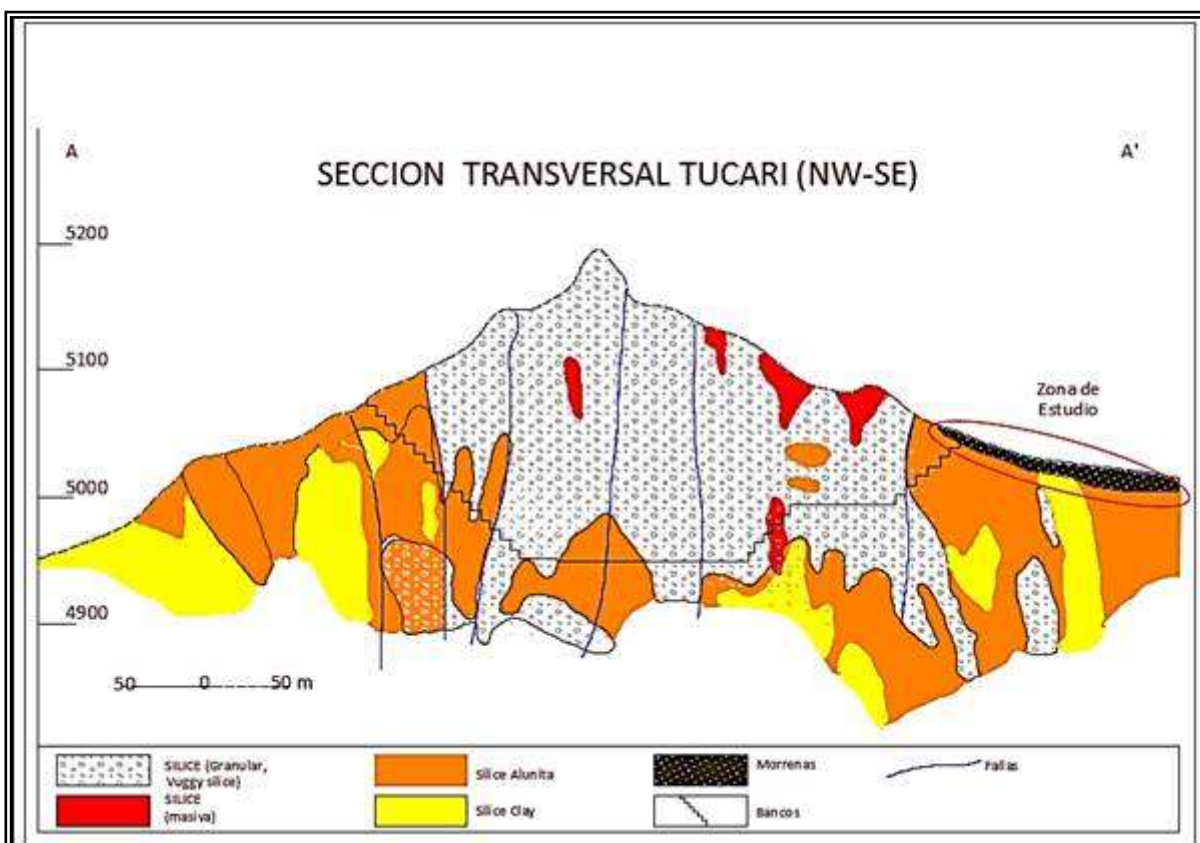
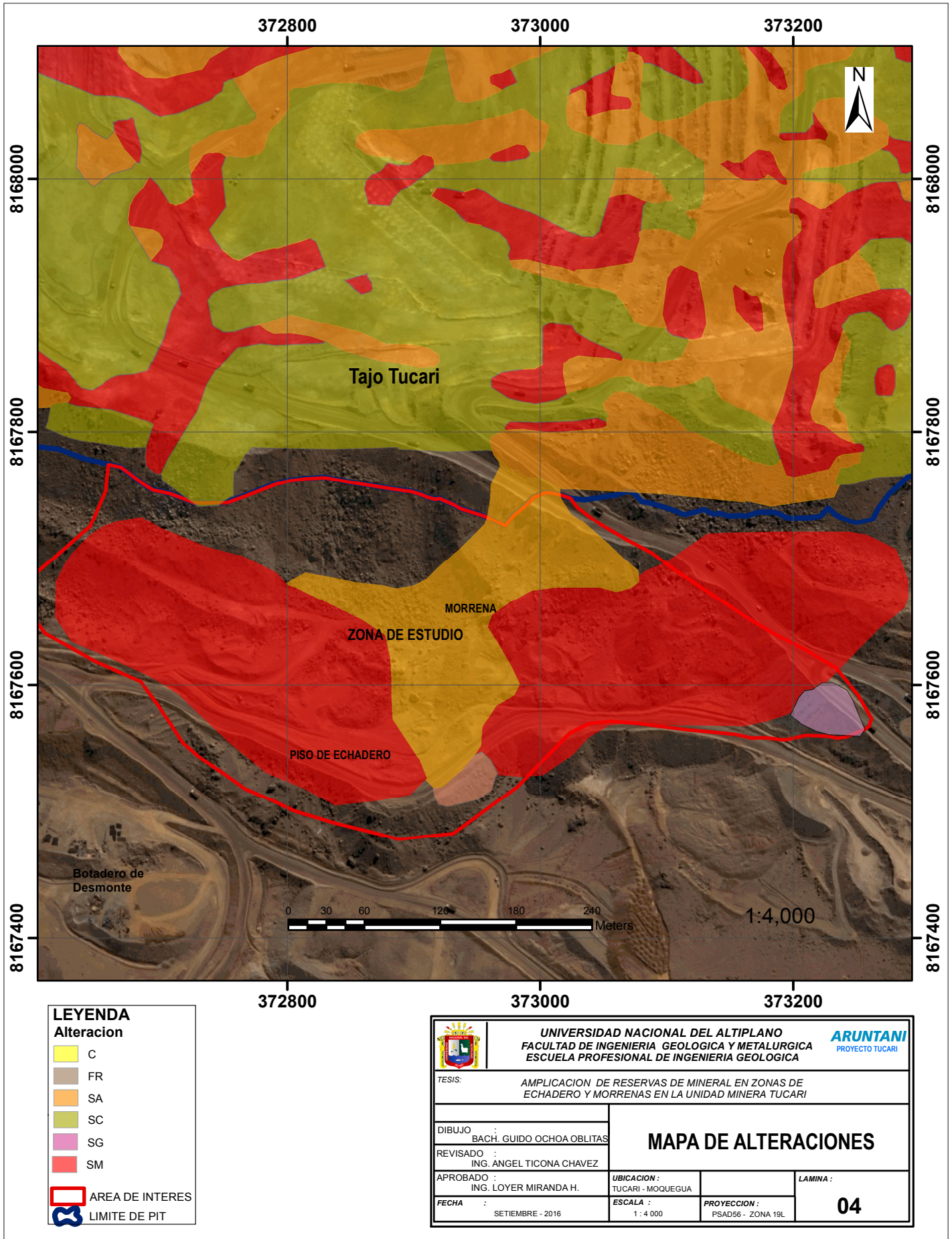


Figura 27: Sección Transversal NW-SE de Tucari (Gonzales, 2005).



4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE LAS MORRENAS

La zona de estudio se ubica en una morrena lateral, específicamente en la parte superior de los “echaderos” (rocas mineralizadas que cayeron durante el minado de los primeros bancos de explotación del tajo, por encima de los 5000 m.s.n.m.), ver figura 27. Este depósitos presenta un material coluvio-glacial, formado por rocas formas angulosas a sub angulosas de roca mineralizada, los cuales tienen tamaños que varían de 10cm a 50cm, su matriz es arcillo-limosa, de color pardo rojizo. El contenidos de arcillas es de 10% hasta un 30%, según la observación de campo; los clastos son de composición variable, con un marcado predominio de fragmentos con alteración sílice masiva y en menor grado sílice alunita. Las dos alteraciones mencionadas son los que más resisten a la meteorización, motivo por el cual se les puede reconocer en la actualidad. También se encontraron vestigios de bloques de más de 2 m de diámetro que también estaban alterados, así también se observó en ciertos sectores *permafrost* con rocas alteradas y a arcillas mineralizadas. Estos depósitos de interés económico tienen un espesor aproximado de 38m, lo cual fue corroborado con información de logueo de taladros, así mismo se logró determinar que este concluye en un contacto con alteración sílice clay intemperizado que en algunos casos es difícil de distinguir.

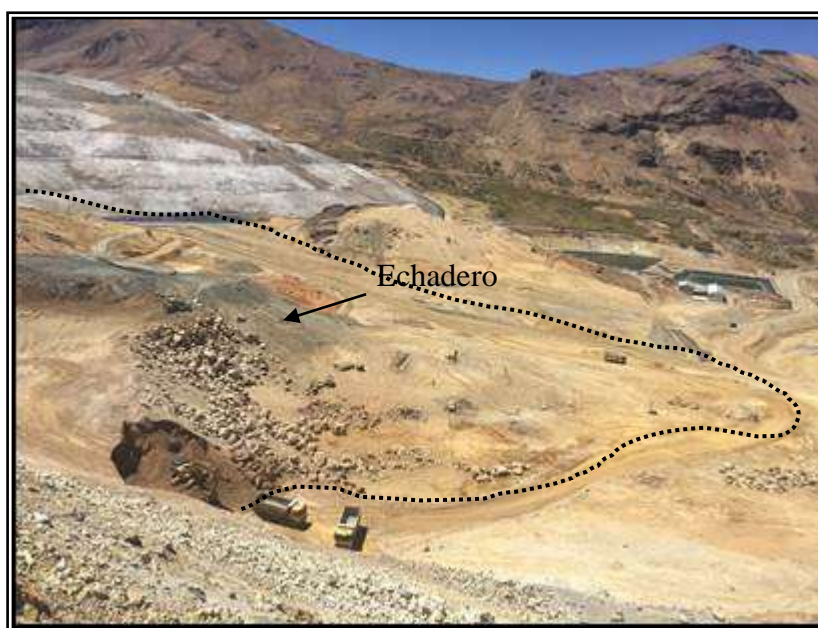


Figura 28: Parte del área de trabajo en donde se puede apreciar fragmentos de echadero y morrenas.

De la observación y el cartografiado hecho en la zona de estudio, se ha podido diferenciar 3 zonas, las cuales tienen características distinguibles por el contenido de arcillas, composición de los clastos, granulometría y espesor.

4.6.1. Zona Norte

En este sector las morrenas presentan una matriz areno-arcillosa, con un contenido promedio de arcillas no mayor al 30%. Los fragmentos de roca alterada son predominantemente sílice masiva (sm), con un tamaño promedio menor a los 10cm; alcanzando algunos bloques los 20 cm, sus formas son angulosas a sub-angulosas. Presenta una oxidación moderada con ocurrencia de limonita y hematita. Se observó a los 10m de profundidad durante la perforación, sectores *permafrost* con contenido de arcillas mineralizadas de color blanco que no pueden ser minados, esto por la compactación que presentaban, para lo cual se utilizó explosivos, durante la extracción del mineral.



Figura 29: Clastos de sílice masiva, sílice alunita con fragmentos de Ox Fe.

4.6.2. Zona Este

En esta zona de estudio las morrenas presentan material fragmentado con una granulometría muy variable, que está en el intervalo de 2cm hasta bloques de 50cm, tienen una matriz arcillosa cuyo contenido es menor al 30%. La composición de los fragmentos alterados es mayoritariamente de sílice masiva (sm), alteración sílice alunita (sa) y roca fresca (fr). Estos materiales depositados exhiben niveles intercalados de arcillas y material coluvial con un 1m de espesor. Además de lo mencionado anteriormente también presenta una oxidación débil a moderada, con ocurrencia de óxidos de hierro y sulfatos de hierro y potasio (jarosita).

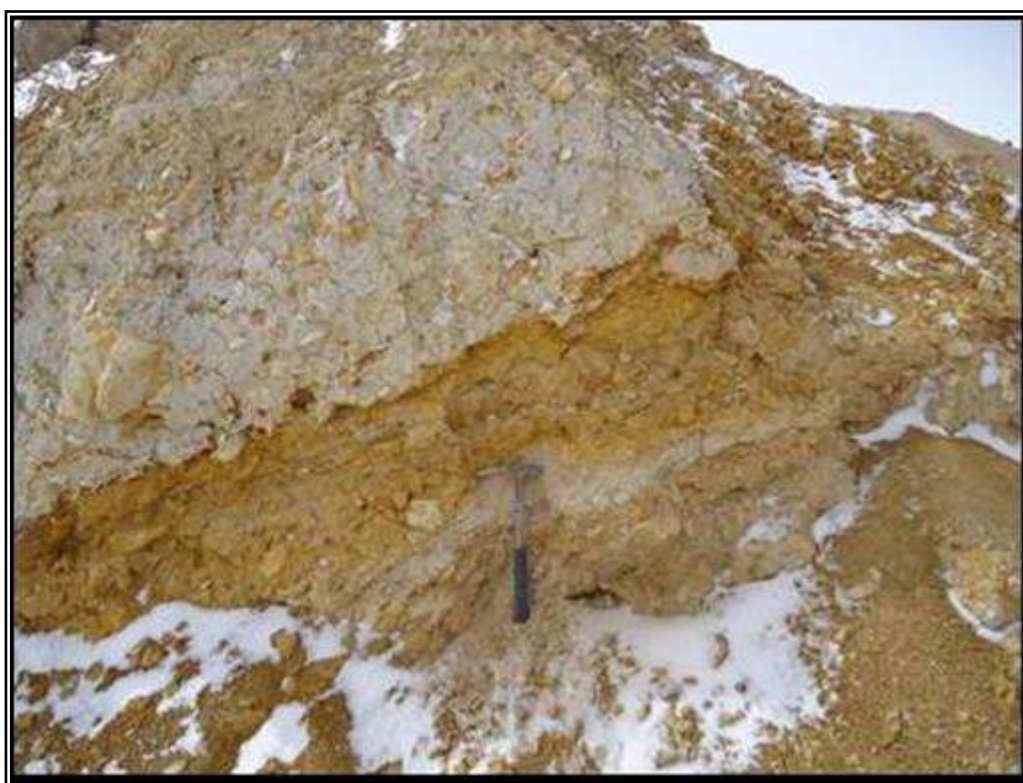


Figura 30: Clastos de sílice masiva y sílice alunita en zona de Ox Fe.

4.6.3. Zona Sur

En esta zona, las morrenas contienen un material erosionado de matriz arcillo-arenoso con colores de pardo rojizos, con un contenido de arcillas menor al 30%. Los tamaños de los fragmentos son en promedio menores a los 20cm, y pueden alcanzar hasta los 50 cm, las alteraciones predominantes son de sílice masiva(sm) y sílice alunita (sa); en algunos sectores se observa sílice alunita (sa),

64

con fragmentos de formas sub-angulosas. Presenta una oxidación moderada, con predominio de limonita seguido de hematita. Aquí se perforo el taladro 34, el cual corto el depósito mineralizado hasta los 28m, de ahí continua la alteración de sílice *clay* con contenido de sulfuros (pirita diseminada).



Figura 31: Clastos de sílice alunita, sílice masiva en Zonas de Ox Fe.

4. 7. MINERALOGÍA

4.7.1. Estudios de Microscopia Electrónica Barrido (MEB)

El estudio de microscopía electrónica se hizo para corroborar la presencia de Au, su asociación con otros elementos químicos y resolver problemas de recuperación en la planta metalúrgica, con este tipo de material. Se enviaron (3) muestras de mano, como son: sílice residual, sílice masiva y sílice masiva con presencia de sulfuro de hierro y arsénico. Estos estudios se realizaron en el laboratorio de **FAINGENIEROS S.A.C.** En seguida se hace una breve descripción de las muestras para estudios de MEB, las cuales fueron tomadas cerca de la zona de estudio.

Descripción Macroscópica (M-1): Alteración sílice granular, de color pardo amarillento a blanquecino, con patinas de óxidos de hierro.



Figura 32: Muestra de mano de una sílice granular, para análisis de MEB.

Cuadro 7: Se muestra el promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 1.

MINERALOGIA	Silicatos de (AlNa), óxidos de silicio, óxidos de titanio, óxidos de hierro, óxidos de (FeMn), óxidos de (FeTi) y Baritina.	
Minerales	Descripción	Tamaño de partícula(µm)
Óxidos de (FeTi)	Se aprecian con inclusiones en los óxidos de silicio.	6 – 104
Óxidos de Hierro	Están como inclusiones en los silicatos de AlNa. Están como inclusiones en los óxidos de silicio.	7 – 24 10 – 20
Óxidos de (FeMn)	Se encuentran incluidos en los óxidos de silicio.	15 – 42

El orden de predominancia de los minerales analizados fue: **Cuarzo > silicatos de (AlNa) > trazas de (óxidos de hierro, óxidos de (FeTi), óxidos de titanio, óxidos de (FeMn) y baritina).**
 No fue observa Oro metálico visible en la muestra (2 briquetas).
 Presencia d e diseminaciones de óxidos de Fe y Mn con Oro (Au).

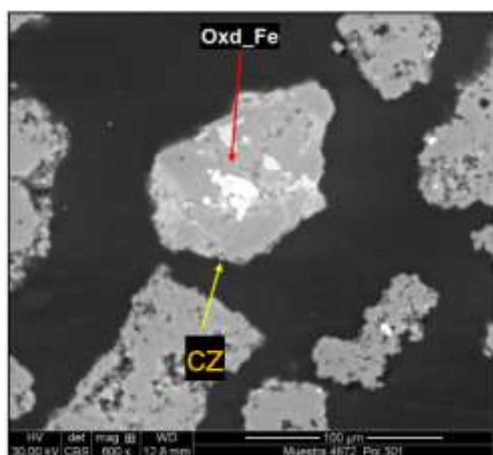


Figura 33: Partículas de óxidos de hierro (oxd-Fe) incluidas en los silicatos de (AlNa) (aumento 600x).

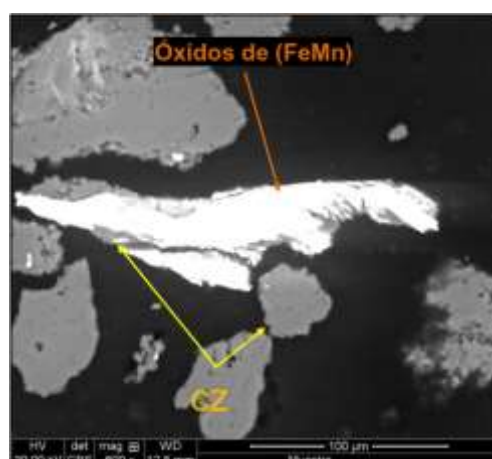


Figura 34: Partículas de óxidos de (FeMn) asociadas con cuarzo (cz) (aumento 600x).

Cuadro 8: Composición química (%) de los minerales identificados en la Muestra Banco 4972-Pol 301.

Minerales	Composición Química(%)										TOTAL	
	Fe	Au	Ba	Ti	Mn	Cr	Al	Na	O	Si		S
Óxidos de Hierro	63.20	1.55							35.25			100
Cuarzo									50.82	49.18		100
Silicatos de (AlNa)							18.08	7.32	40.95	33.64		100
Óxidos de (FeTi)	19.38			30.23					50.39			100
Baritina			58.16						27.64		14.20	100
Rutilo				45.37					54.63			100
Óxidos de (FeMn)	90.23	0.94			1.40				7.43			100

Descripción Macroscópica (M-2): presenta una alteración sílice masiva de color gris pardo, con moderada ocurrencia de óxidos de hierro, para estudio de microscopia electrónico.



Figura 35: Muestra de mano de una alteración sílice para análisis MEB.

Cuadro 9: Se muestra el promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 2.

MINERALOGIA	Óxidos de hierro, cuarzo, silicatos de aluminio, Arsenopirita y óxidos de (FeMn)	
Minerales	Descripción	Tamaño de partícula(µm)
Óxidos de hierro	Están como inclusiones en los óxidos de silicio. Se aprecian como partículas libres.	35 – 98 25 -108
Óxidos de (FeMn)	Están como inclusiones en los óxidos de silicio.	50 – 120
Arsenopirita	Se aprecian como partículas libres.	30 – 80

El orden de predominancia de los minerales analizados fue: **Cuarzo > silicatos de aluminio > trazas de: arsenopirita, óxidos de hierro y óxidos de(FeMn).**

No fue encontrado oro metálico visible en la muestra (briqueta). Se aprecia posiblemente diseminación en los óxidos de hierro y manganeso. Seguida de solución sólida en la arsenopirita.

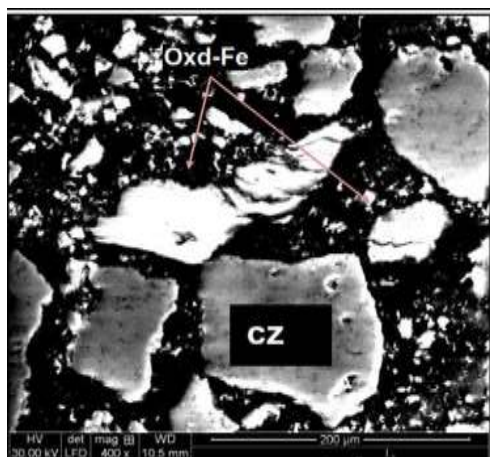


Figura 36: Partículas de óxidos de hierro (oxd-Fe) y cuarzo (cz) (aumento de 400x).

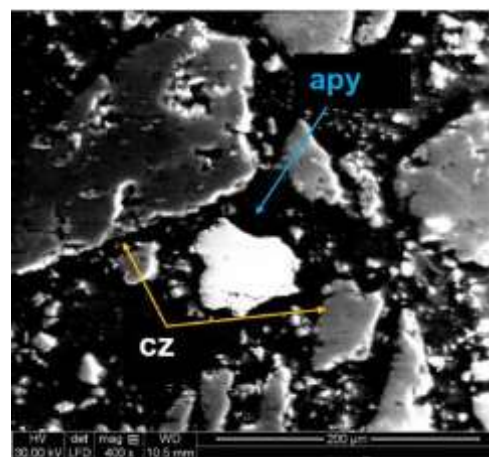


Figura 37: Partícula libre de arsenopirita (apy) entre las partículas de cuarzo (cz) (aumento 400x).

Cuadro 10: Composición química (%) de los minerales identificados en la Muestra Bco 4912-Pol 27.

Minerales	Composición Química(%)									TOTAL
	Fe	Au	Mn	Cr	Al	As	O	Si	S	
Óxidos de Hierro	93.09	1,64					5.27			100
Cuarzo							49.51	50.49		100
Arsenopirita	34.76	1.04				45.38			18.83	100
Óxidos de (FeMn)	79.77	1.78	12.54				5.91			100
Silicatos de Aluminio					5.78		54.40	39.82		100

Descripción Macroscópica (M-3): presenta una alteración sílice masiva de color gris oscuro con bastante contenido de pirita diseminada.



Figura 38: Muestra de mano de una sílice de mano con contenido minerales de sulfuros de py diseminada para análisis MEB.

Cuadro 11: Se muestra el promedio en porcentaje, de la composición química elemental de los minerales identificados en la muestra 3.

MINERALOGIA	Óxidos de silicio, sulfuros de hierro, óxidos de hierro, óxidos de(FeMn), rutilo, zircón y baritina.	
Minerales	Descripción	Tamaño de partícula
Pirita	Está como inclusión en los óxidos de silicio. Se aprecia como	7 - 80
Óxidos de Hierro	Están como partículas libre.	15 - 82
Óxidos de (FeMn)	Están como inclusiones en los óxidos de silicio.	27 – 207

El orden de predominancia de los minerales analizados fue: **Óxidos de silicio > trazas** de (pirita, **óxidos de hierro, óxidos de (FeMn), Baritina** y zircón). No fue encontrado oro metálico visible en la muestra (briqueta). Lo mismo se aprecia posiblemente diseminado (en los óxidos) o como solución sólida en los sulfuros de hierro.

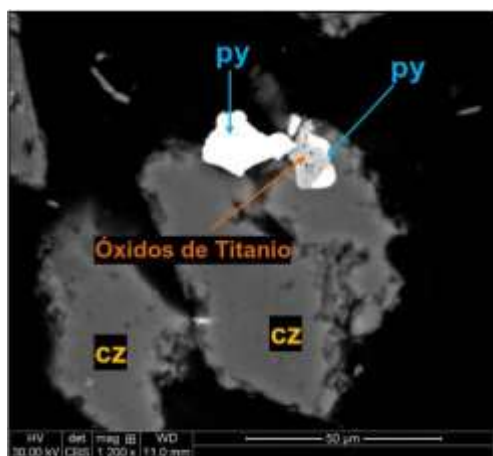


Figura 39: Partículas de óxidos de titanio y Pirita (py) incluidas en cuarzo (cz) (aumento 1200x).

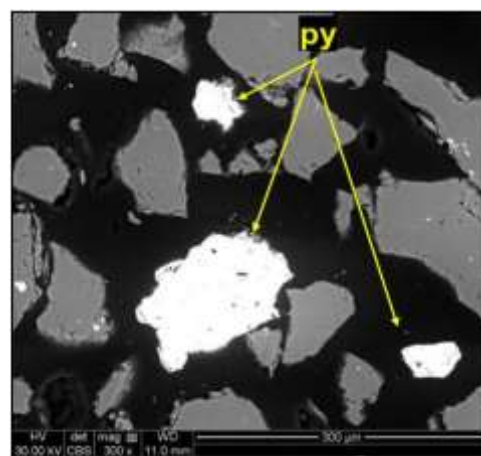


Figura 40: Partículas liberadas de Pirita (py) entre partículas de cuarzo (cz) (aumento de 300x).

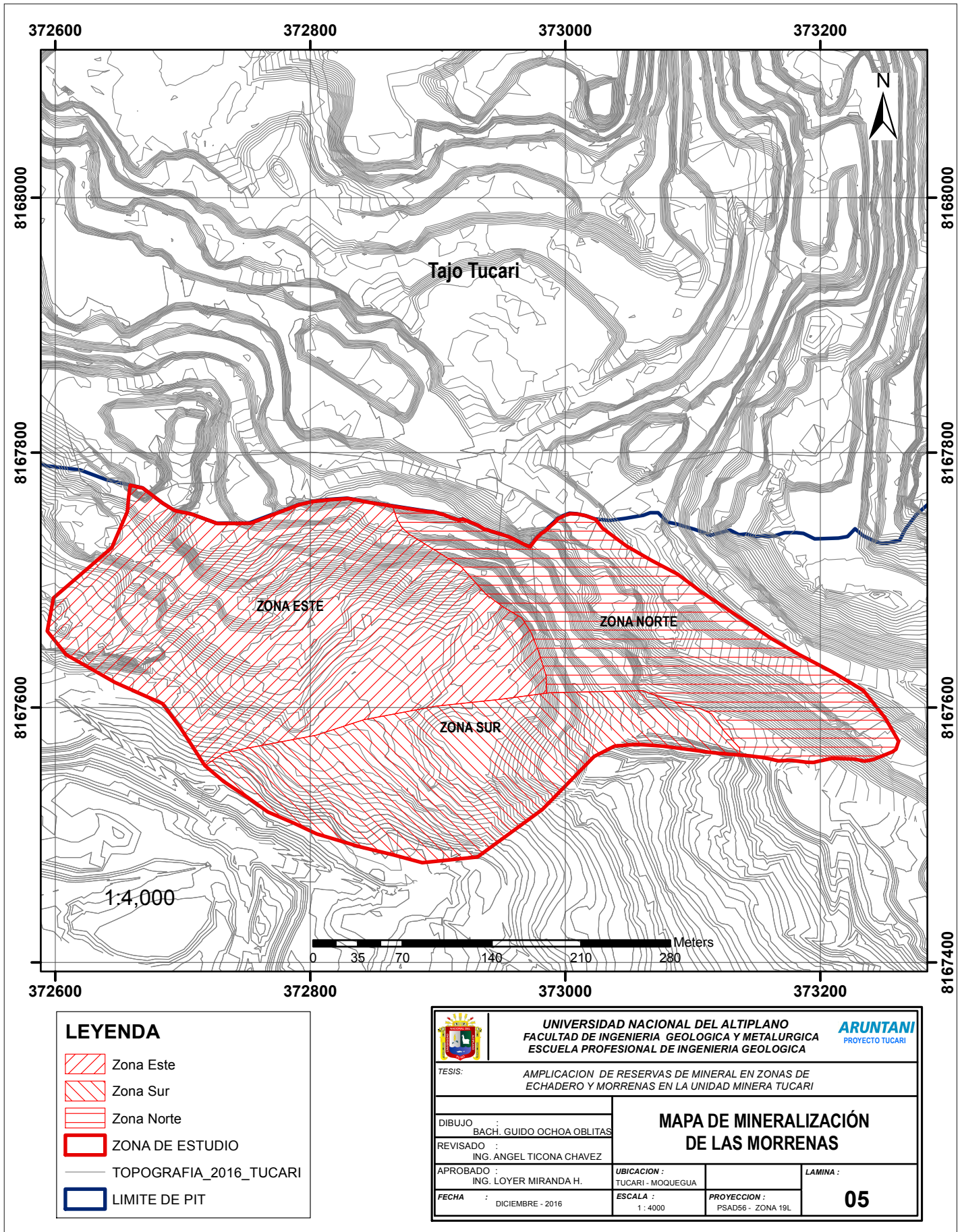
Cuadro 12: Composición química (%) de los minerales identificados en la Muestra Bco 4912.

Minerales	Composición Química(%)											TOTAL
	Fe	Au	Ba	Ti	Mn	Cr	Ni	Zr	O	Si	S	
Óxidos de Hierro	92.04	1.65							6.31			100
Cuarzo									50.52	49.48		100
Pirita	46.57	2.03									51.40	100
Baritina			54.63						31.23		14.14	100
Óxidos de Titanio				45.53					54.47			100
Óxidos de (FeMn)	81.08	1.67			11.34				5.91			100
Zircón								21.82	45.96	32.22		100

Cuadro 13: Abreviaturas de las especies minerales.

Nombre	Símbolo	Composición química	Densidad (g/cm ³)	Dureza Mohs
Alunita	aln	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	2,74	3,5
Arsenopirita	apy	FeAsS	6,10	5,0
Arcilla(Caolinita)	kao	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2.63	2 – 2.5
Baritina	bar	BaSO ₄	4,48	3,5
Cuarzo	cz	SiO ₂	2,62	7,0
Hematita	hm	Fe ₂ O ₃	5,3	6,5
Moscovita (Sericita)	mus	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	2.88	2.5
Pirita	py	FeS ₂	5,05	6,5
Rutilo	mus	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F)	4,25	6,0

Nota: El termino **trazas** se aplica en valores menores a 0.5.



4. 9. PERFORACIÓN INFILL DRILLING EN ZONA DE MORRENAS

Se perforaron 3 taladros en el depósito con una perforadora DM45, los cuales son: DM16-33, DM16-34 y DM16-35 cada uno de 36 metros sumados 108metros; obteniendo un total de 60 muestras lo cual se comprobó 36m de espesor de mineralización en profundidad y nos permitió conocer la potencia de material mineralizado; a su vez conocer las limitaciones que tiene este tipo de perforación al recuperar muestra en detritos de material suelto. Con los resultados se logró realizar dos secciones transversales de SW-NE en el depósito de morrenas.



Figura 41: Perforación de Infill Drilling, en zona de morrena.



Figura 42: Equipo de perforación DM45E.

Cuadro 14: DM16-33 plataforma 33.

Ubicación:

Este: 373042.13; Norte: 8167683.77; Cota: 4953; Profundidad: 36m

N° MUESTRA	DE:	A	ANCHO	LEY	LITOLOGIA	ALT	ZONA
DM16-33-01	0.00	2.00	2.00	0.142	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-02	2.00	4.00	2.00	0.260	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-03	4.00	6.00	2.00	0.240	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-04	6.00	8.00	2.00	0.226	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-05	8.00	10.00	2.00	0.144	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-06	10.00	12.00	2.00	0.180	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-07	12.00	14.00	2.00	0.202	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-08	MUESTRA EN BLANCO			0.01			
DM16-33-09	14.00	16.00	2.00	0.132	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-10	16.00	18.00	2.00	0.128	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-11	18.00	20.00	2.00	0.112	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-12	20.00	22.00	2.00	0.114	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-13	22.00	24.00	2.00	0.126	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-14	24.00	26.00	2.00	0.128	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-15	26.00	28.00	2.00	0.136	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-16	DUPLICADO DE LA MUESTRA 6			0.187			
DM16-33-17	28.00	30.00	2.00	0.136	VOL DE AND	SC	Ox
DM16-33-18	30.00	32.00	2.00	0.116	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-19	32.00	34.00	2.00	0.122	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-33-20	34.00	36.00	2.00	0.132	VOL DE AND	SM	Ox

De la plataforma 33, se encontró valores máximos de Au 0.26gr/tn (DM16-33-02) y valores mínimo 0.112(DM16-33-11). Las mejores leyes están desde los 2m a 8m.

Cuadro 15: DM16-34 plataforma 34.

Ubicación:

Este: 373033.26; Norte: 8167606.56; Cota : 4929; Profundidad: 36m

N° MUESTRA	DE:	A	ANCHO	LEY	LITOLOGIA	ALT	ZONA
DM16-34-01	0.00	2.00	2.00	0.152	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-02	2.00	4.00	2.00	0.156	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-03	4.00	6.00	2.00	0.146	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-04	6.00	8.00	2.00	0.140	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-05	8.00	10.00	2.00	0.178	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-06	10.00	12.00	2.00	0.186	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-07	12.00	14.00	2.00	0.200	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-08	BLANCO			0.01			
DM16-34-09	14.00	16.00	2.00	0.148	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-10	16.00	18.00	2.00	0.120	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-11	18.00	20.00	2.00	0.140	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-12	20.00	22.00	2.00	0.140	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-13	22.00	24.00	2.00	0.200	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-14	24.00	26.00	2.00	0.160	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-15	26.00	28.00	2.00	0.180	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-34-16	DUPLICADO DE LA MUESTRA 2			0.153			
DM16-34-17	28.00	30.00	2.00	0.020	AND	SC	SULFUROS
DM16-34-18	30.00	32.00	2.00	0.020	AND	SC	SULFUROS
DM16-34-19	32.00	34.00	2.00	0.020	AND	SC	SULFUROS
DM16-34-20	34.00	36.00	2.00	0.020	AND	SC	SULFUROS

De la plataforma 34, se encontró valores máximos de Au 0.20gr/tn (DM16-34-07 y DM16-13) en zona de óxido y valores mínimo están de los 28m a mas en zona de sulfuros.

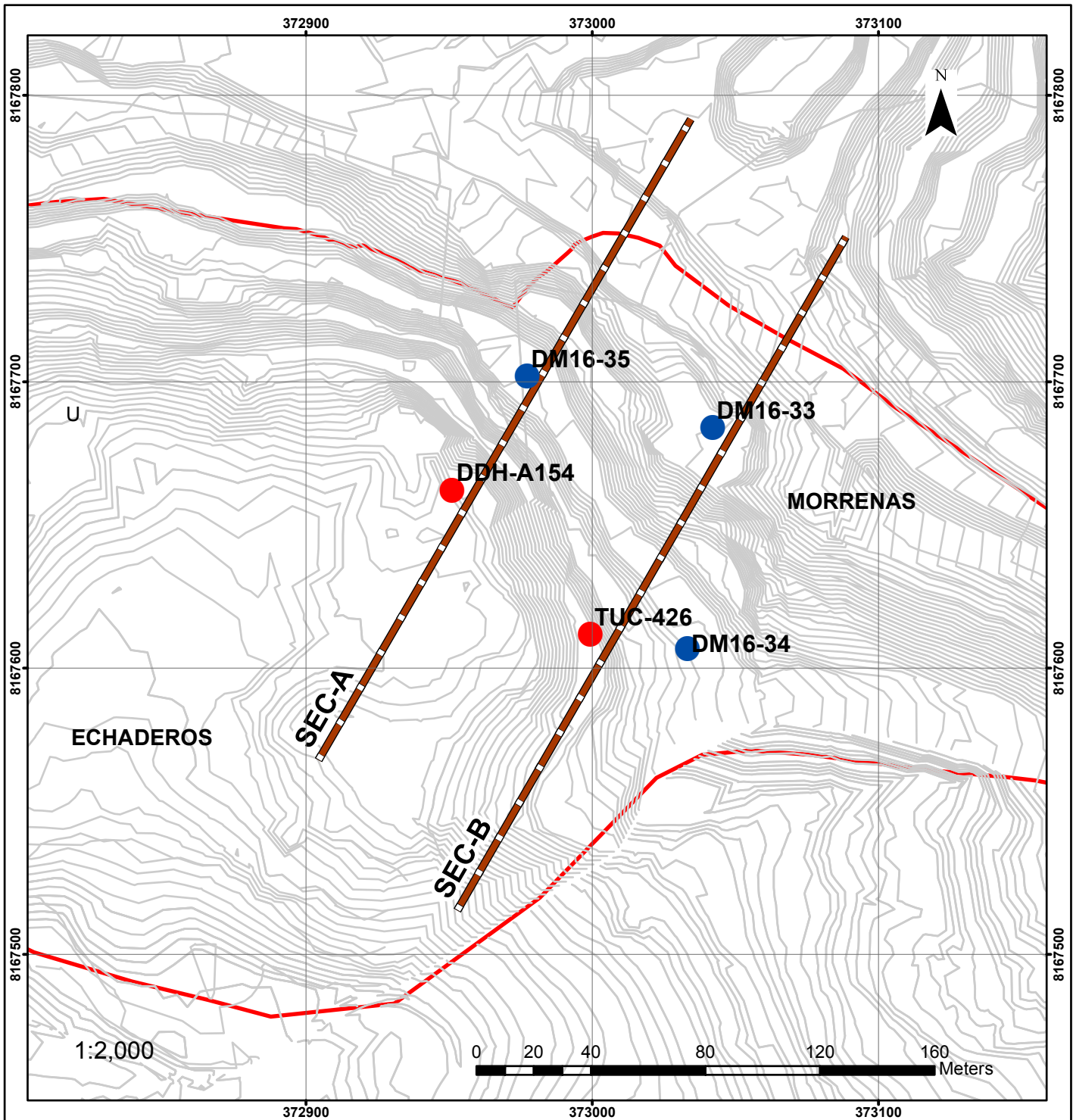
Cuadro 16: DM16-35 plataforma 35.

Ubicación:

Este : 372977.24; Norte : 8167701.85; Cota : 4933; Profundidad : 36m

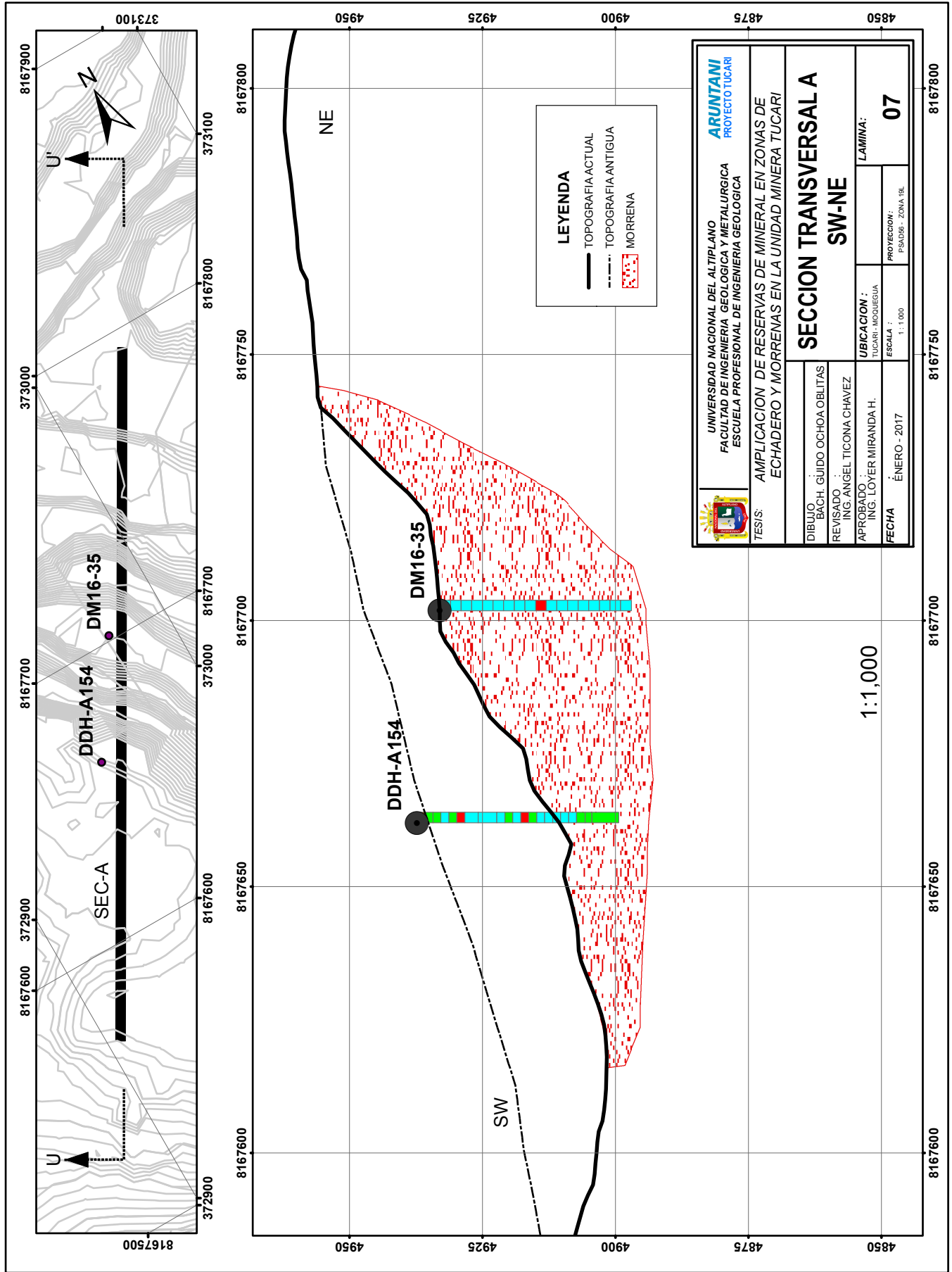
N° MUESTRA	DE:	A	ANCHO	LEY	LITOLOGIA	ALT	ZONA
DM16-35-01	0.00	2.00	2.00	0.15	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-02	2.00	4.00	2.00	0.16	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-03	4.00	6.00	2.00	0.13	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-04	6.00	8.00	2.00	0.14	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-05	8.00	10.00	2.00	0.13	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-06	10.00	12.00	2.00	0.13	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-07	12.00	14.00	2.00	0.13	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-08	BLANCO			0.01			
DM16-35-09	14.00	16.00	2.00	0.15	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-10	16.00	18.00	2.00	0.17	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-11	18.00	20.00	2.00	1.00	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-12	20.00	22.00	2.00	0.14	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-13	22.00	24.00	2.00	0.20	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-14	24.00	26.00	2.00	0.16	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-15	26.00	28.00	2.00	0.18	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-16	DUPLICADO DE LA MUESTRA 4			0.14			
DM16-35-17	28.00	30.00	2.00	0.11	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-18	30.00	32.00	2.00	0.12	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-19	32.00	34.00	2.00	0.15	VOL DE AND	SM	Ox
DM16-35-20	34.00	36.00	2.00	0.14	VOL DE AND	SM	Ox

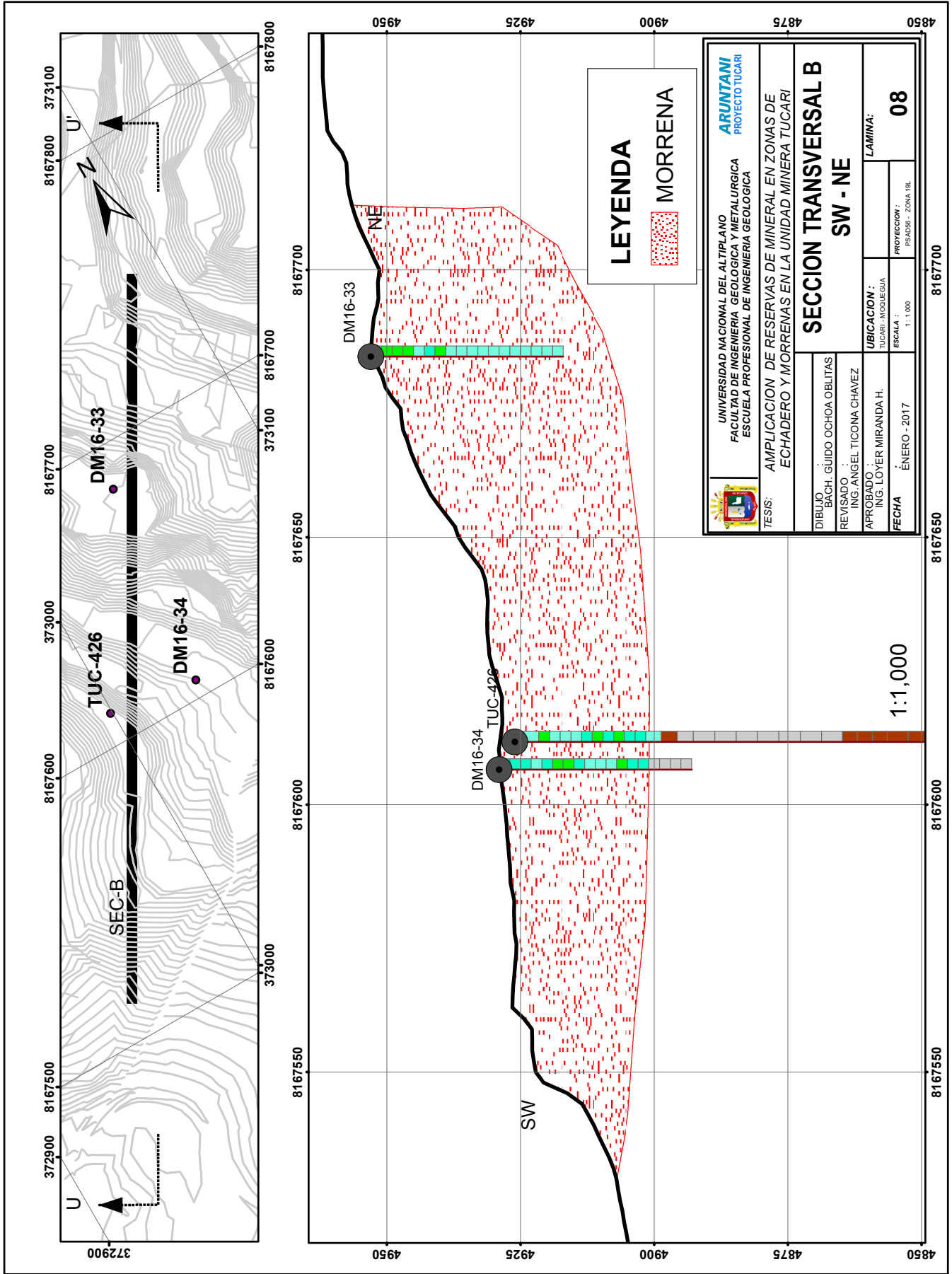
De la plataforma 35, se encontró valores máximos de Au 0.20gr/tn (DM16-35-13) y en y valores mínimo de Au 0.108gr/tn (DM16-35-17), también se encuentra un valor alto errático.

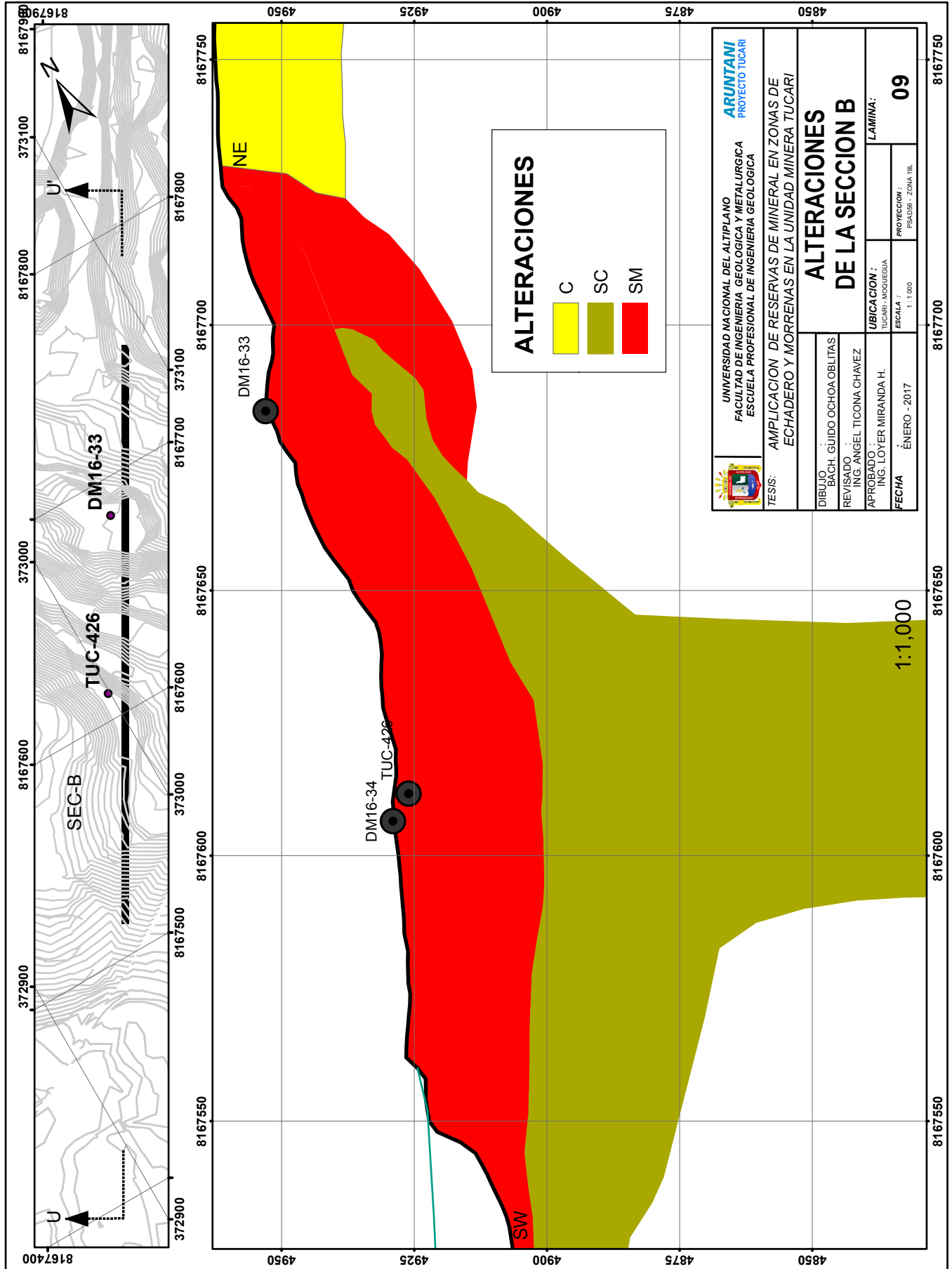


LEYENDA	
TIPO	
●	DDH
●	DM
	Secciones
	ZONA_DE_INVESTIGACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		ARUNTANI PROYECTO TUCARI
TESIS: AMPLIACION DE RESERVAS DE MINERAL EN ZONAS DE ECHADERO Y MORRENAS EN LA UNIDAD MINERA TUCARI		
DIBUJO : BACH. GUIDO OCHOA OBLITAS REVISADO : ING. ANGEL TICONA CHAVEZ		MAPA DE SECCIONES TRANSVERSAL SW-NE
APROBADO : ING. LOYER MIRANDA H.	UBICACION : TUCARI - MOQUEGUA	LAMINA : 06
FECHA : SETIEMBRE - 2016	ESCALA : 1 : 2 000	PROYECCION : PSAD56 - ZONA 19L







4.10. CÁLCULO DE RESERVAS

Las reservas de mineral se han calculado en base al modelo de optimización económica de recursos, para ello se han empleado parámetros económicos (precio de venta, términos comerciales), recuperaciones metalúrgicas y parámetros geotécnicos (ángulos de talud global).

En base al modelo optimizado se ha desarrollado un diseño de minado (operativo) del tajo abierto. Las reservas de mineral del tajo abierto han sido evaluadas dentro del diseño operativo.

4.11. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

Es un método de estimación geoestadística que proporciona el “valor más probable” de un atributo en un punto no experimental. Es un estimador lineal, insesgado y óptimo del que ya existe una gran variedad de métodos, cada uno de ellos adaptados a las diversas situaciones que se dan en los problemas de estimación. El Kriging ordinario es un buen método cuando se desconoce el método el valor promedio de la media de la variable analizada. El cual se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

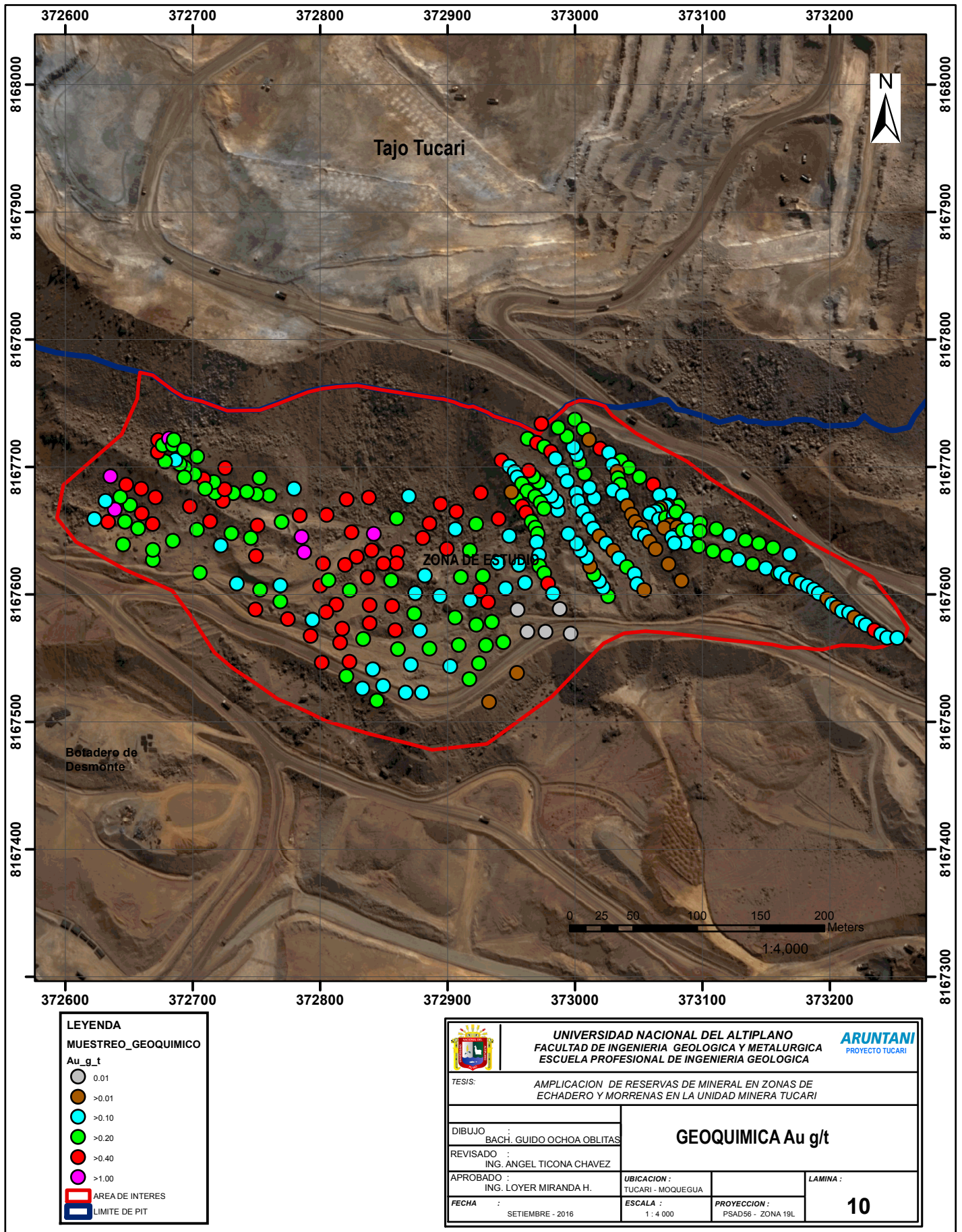
Z= Variable aleatoria en uno o más puntos

X₀, X_i= plataforma de distribución

N= número de muestras

λ= pesos o ponderaciones originales de las muestras

La toma de muestras da la información de lo que ocurre en cada punto. Se requiere de una forma precisa de estimar valores en puntos intermedios o en el caso de bloques estimar el promedio sobre el bloque, los datos geoestadísticos se obtuvo del muestreo geoquímico superficial, ver mapa 10 de leyes y anexo 2 resultados de leyes Au.



LEYENDA

MUESTREO GEOQUIMICO

Au_g_t

- 0.01
- >0.01
- >0.10
- >0.20
- >0.40
- >1.00

AREA DE INTERES
 LIMITE DE PIT

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: AMPLICACION DE RESERVAS DE MINERAL EN ZONAS DE ECHADERO Y MORRENAS EN LA UNIDAD MINERA TUCARI			
DIBUJO : BACH. GUIDO OCHOA OBLITAS		GEOQUIMICA Au g/t	
REVISADO : ING. ANGEL TICONA CHAVEZ		UBICACION : TUCARI - MOQUEGUA	
APROBADO : ING. LOYER MIRANDA H.		ESCALA : 1 : 4 000	LAMINA :
FECHA : SETIEMBRE - 2016		PROYECCION : PSAD56 - ZONA 19L	10

4.11.1. Compositos

Según el modelo geológico de las morrenas, consiste en la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas. Este puede representar la litología mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del macizo rocoso. Es una parte fundamental en el procedimiento de estimación de un depósito, para obtenerlo se debe tener una base de datos validada lo que conlleva a la toma de decisiones del yacimiento. Las perforaciones de *Infill Drilling* fueron compositados en 2 m de longitud solo en la zona de morrena.

4.11.2. Proceso de Cubicación de Recursos en Echadero y Morrena

El proceso para convertir los recursos en reservas consta de las etapas mostradas a continuación:

4.11.2.1. Parámetros utilizados en el Proceso de Estimación de Reservas

Los principales parámetros e información para convertir los recursos en reservas se detallan a continuación:

Modelo de Bloques: tipos de mena, densidad, clasificación de recursos, leyes de Au.

Parámetros Económicos: costos operativos, inversión, precio del oro y costos de venta.

Parámetros de Proceso: procesamiento de mineral y recuperación metalúrgica.

Parámetros Geotécnicos y de Minería: geotécnica, diseño de tajo y operación mina.

4.11.2.2. Modelo Geológico de Bloques.

Las dimensiones del modelo de bloques son de 10 x10, se ha escogido las dimensiones de 10 x 10 debido a que se obtiene menor error de estimación como se muestra en la figura 43.



Figura 43: Sección de SW- NE, interpretación de modelo de bloques.

4.11.2.3. Interpretación Geológica

El área de geología de la mina ha proporcionado la interpretación geológica en secciones verticales, estas secciones digitalizadas se han usado como base para culminar la interpretación geológica, se han fijado planos al toe del banco en el cual se observa taladros de *Infill Drilling*, con su respectiva información geológica, se han contorneado estas en base a esta información, se ha conseguido las vistas planares, esta información se ha codificado y asignado al modelo de bloques. Se utilizó dos taladros de perforaciones antiguos que se encuentran en el área de estudio.

4.11.2.4. Modelo de Alteración

En la zona de estudio presenta 4 tipos de alteraciones con diferentes densidades como muestra el cuadro 17. Sílice masiva, sílice granular, sílice alunita, sílice clay, se han modelado y puesto en el modelo de bloques, las alteraciones de argilico y rocas fresca no contienen mineralización económica.

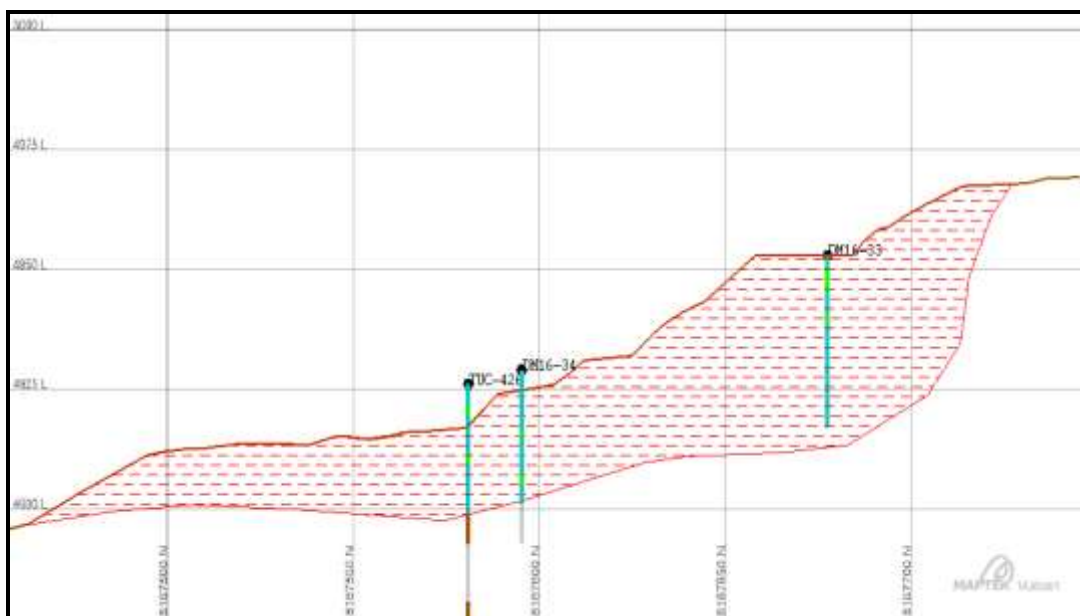


Figura 44: Sección transversal SW-NE de los sondajes verticales; TUC-426, DM16-33 y DM-34, que confirman el volumen de mineral en las morrenas.

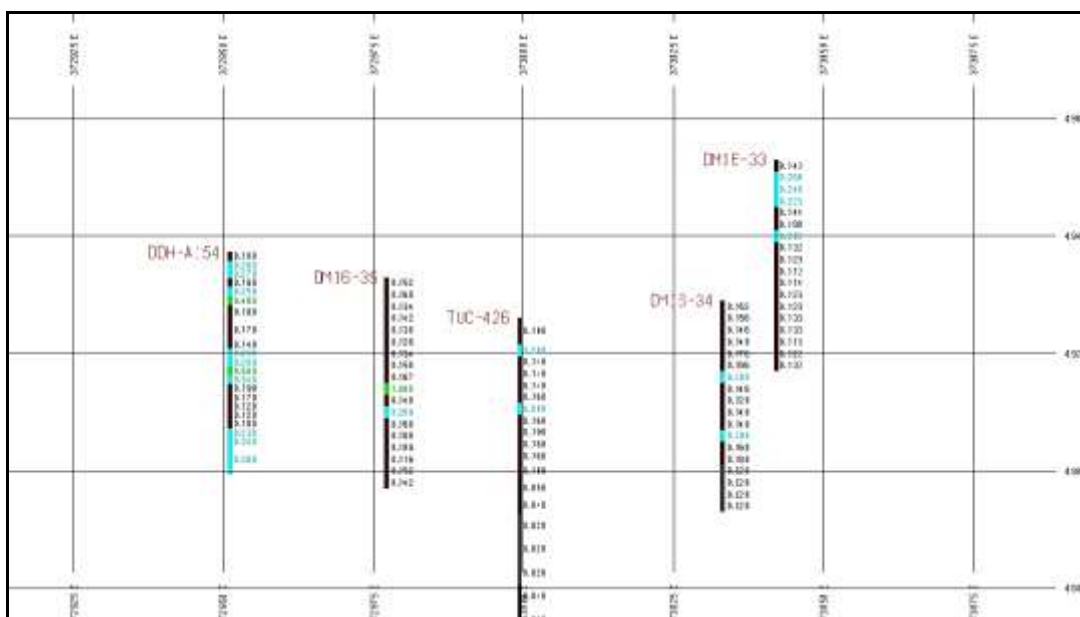


Figura 45: Sondajes verticales y sus respectivas leyes de mineral (Au), que se realizaron en la zona de investigación, incluyendo dos sondajes históricos DDH-A: 54 y TUC-426.

Cuadro 17: Densidades por tipo de Alteración

TIPO DE ALTERACION	SIMBOLO	DENSIDAD
Sílice Masiva	SM	2.44
Sílice granular	SG	2.19
Sílice Alunita	SA	2.37
Sílice Clay	SC	2.17

Ver el anexo 3 resultados de densidades.

4.12. RECURSOS GEOLÓGICOS

Los recursos geológicos de un determinado yacimiento son la cantidad de mineral con una determinada ley que está en el yacimiento, es todo el material encima de una ley de corte pre-determinada cuya confiabilidad de cada uno los bloques debe de ser probado y probable, aquel material cuya ley es mayor de 0.12g/t de Au.

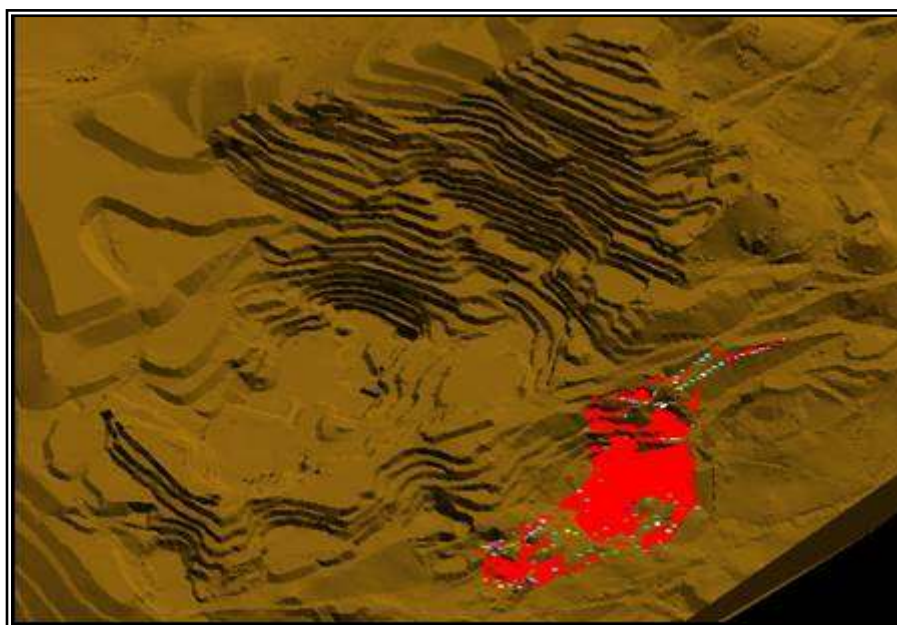


Figura 46: modelamiento de los recursos geológicos; echaderos y morrena del yacimiento Tucari, en el cual se puede observar el cuerpo de mineralizado.

4. 12. 1. Estimación de la Ley

Las leyes de Au para cada uno de los bloques, han sido estimadas utilizando un método geostatístico, como es el Kriging Ordinario que es un método común.

4.12. 2. Cálculo de Reservas en Echaderos y Morrenas

Las reservas de mineral se han calculado en base al modelo de optimización económica de recursos, para ello se han empleado parámetros económicos precio de venta, términos comerciales, recuperaciones metalúrgicas y parámetros geotécnicos (ángulos de talud global).

En base al modelo optimizado se ha desarrollado un diseño de minado (operativo) del tajo abierto. Las reservas de mineral del tajo abierto han sido evaluadas dentro del diseño operativo.

4.12.3. Parámetros Económicos de Optimización

En la optimización económica del Tajo Tucari se han considerado los siguientes parámetros de precios de metales y recuperaciones metalúrgicas:

Cuadro 18: Parámetros Económicos

Precio Venta Au \$/oz	1,150
(*) Rec. Metalúrgica Óxidos (%)	75
Refinería \$/oz	18.62
Costo de Comercialización \$/oz	15.0

(*) Se zonifico sectores que presentan menor recuperación metalúrgica en óxidos.

4.12.4. Cálculo de Ley de Corte

El cálculo de ley de corte para el Au, considera el costo de minado en los procesos metalúrgicos, gastos administrativos y de comercialización. Se ha diferenciado los costos de acuerdo al tipo de mineral que se procesa obteniendo costos de óxidos y sulfuros.

Los costos operativos, de minado y de proceso metalúrgico han sido proporcionados por la unidad operativa Tucari. Los cálculos realizados para determinar la ley cut-off en óxidos se muestran en el cuadro 18. Para la evaluación de reservas económicas se han definido dos Cut-off:

- 1) Cut-off de operación, como la ley mínima que cubre los costos de minado, proceso metalúrgico y administrativos.
- 2) Cut-off de producción, como la ley mínima que cubre los costos solo de minado y proceso metalúrgico, este valor será usado para definir reservas.

Costos de operativos

Perforación

Voladura

Carguío

Acarreo

Equipo Auxiliar

Supervisión Mina

Costos de producción

Leach & Proceso Planta

Capital de Sostenimiento

Gastos Generales (Almacén, hospital, campamentos)

Energía Eléctrica

Gastos Administrativos

Gastos Financieros.

Cuadro 19: Costos para cálculo de corte.

	costos operativo	costo producción
Costo Mina	1.96	1.62
Mineral	1.96	1.62
Desmonte	1.57	1.57
Costo de Tratamiento	3.88	3.69
Planta	3.88	
Costos indirectos	0.94	
Administración	0.94	
Costo Total	6.78	5.32
Rec. Metalúrgico Au	76%	
Precio de Venta Au (US\$/oz)		1150
Ley de Corte	Operativo	Producción
Au (g/t)	0.24	0.19

4.12.5. Parámetros de Diseño Operativo

Para el diseño operativo del tajo se han considerado los siguientes parámetros:

Cuadro 20: Parámetros de Diseño Operativo

Descripción	Und.
Altura de Banco	8 m
Angulo talud de Banco	63°
Angulo talud inter-rampa	43°
Ancho de Berma	4.5m
Ancho de Rampa	12 m
Grad. Rampa	10%
Altura Global	216
Angulo talud global	40°

Cuadro 21: Las dimensiones de las morrenas de Tucari de acuerdo al diseño operativo.

Eje	Long. m	Cota máx. msnm	Cota min. msnm
Principal	450	4960	4912

4.13. RESERVAS CALCULADO DICIEMBRE 2016

Las Reservas a diciembre 2016, han sido evaluadas del diseño operativo del tajo abierto, considerando un cut-off dinámico en óxidos.

El cálculo de Reservas se ha realizado en base al nuevo modelo de Recursos proporcionado por el Área de Geología Lima y previa revisión de Geología Mina Tucari, el resumen del saldo de reservas se muestra a continuación:

Cuadro 22: Cubicación Total de Mineral

Origen Mineral	Tonelaje t	Ley Au g/t	Oz. Depositadas
Morrenas	200,000	0.14	482.26
Pisos de Echaderos	50,000	0.30	900.22
Total	250,000	0.17	1,382.48

4.14. RECUPERACIÓN METALÚRGICA

- La recuperación metalúrgica del oro en óxidos realizado en 50 kilogramos nos da en pruebas flash: **83%**
- La recuperación metalúrgica de oro en mixtos en pruebas flash es del **69%**
- La recuperación en óxidos y mixtos de la plata es del **43%** (prueba flash)
- El Cianuro consumido es mayormente por la plata y no por el oro, ya que el mineral en plata se encuentra asociado a arseniatos, antimoniatos de Ag y en menor proporción a Ag metálica.

4.14.1. Procedimiento para el Análisis Metalúrgico

- Recepción de la muestra más de 10 toneladas por zona con su respectivo memo e ingresar los datos al archivo de recepción de muestras asignándole un código metalúrgico.
- Homogenizar y cuartear muestra el material ROM de morrenas y echadero en columnas altas de 77 cm Ø y 6 m altura, entonces se debe homogenizar y cuartear para obtener 2 muestras.
- Tamizar muestra dependiendo del tipo de columna de prueba, usar el juego de mallas respectivo: 6", 4", 3", 2", 1½"
- Calcular distribución granulométrica, anotar datos en su respectivo formato.
- Enviar a analizar todas las muestras cuarteadas para análisis de cabeza de cada malla para determinar la ley de cabeza ponderada y la distribución de Au por cada malla.
- Se determinar el ratio de cal y humedad del mineral.
- Finalmente se cargar la(s) columna(s).

Estimación una Recuperación para el PAD de un Aproximado de 80%, esto por la Granulometría que Presenta este Mineral, como presenta la gráfica 1, 2 y 3.

Lixiviación en Columna. Columna Alta de 77 cm. de diámetro.

Muestra: Morrenas (MOR01-2016-10)

Malla: ROM

Código de prueba: IM-075

Cuadro 19: Distribución de material por mallas

Malla	% Peso Seco
+ 4"	1,22
+ 3"	7,43
+ 2"	10,95
+ 1 1/2"	6,15
- 1 1/2"	74,25

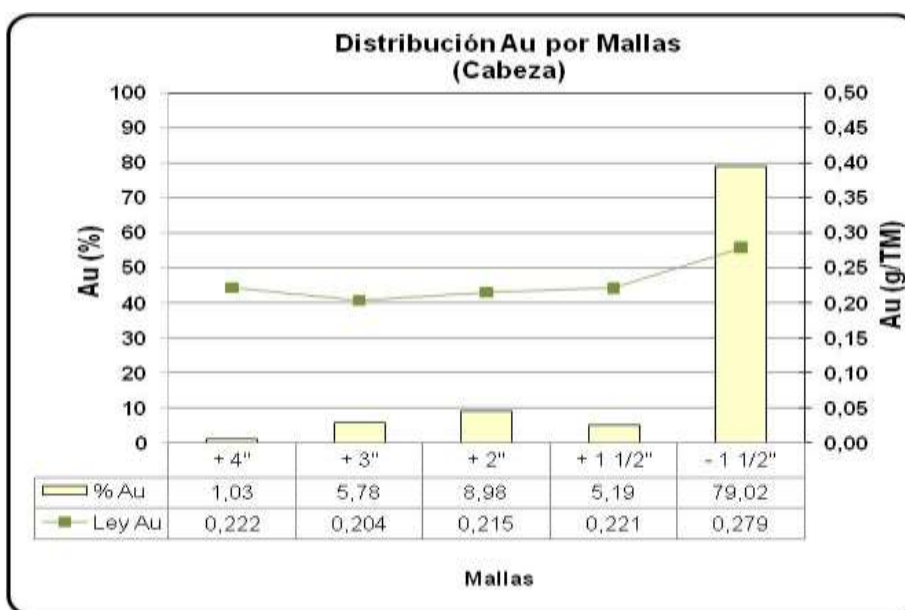


Figura 47: Grafica de recuperación de Au según el tamaño de malla.

Días de lixiviación	Cabeza Au(g/TM)	% Extracción		Consumos(Kg./TM)	
		Au	Ag	NaCN	Cal
33	0.294	91.97	#####	0.16	0.64

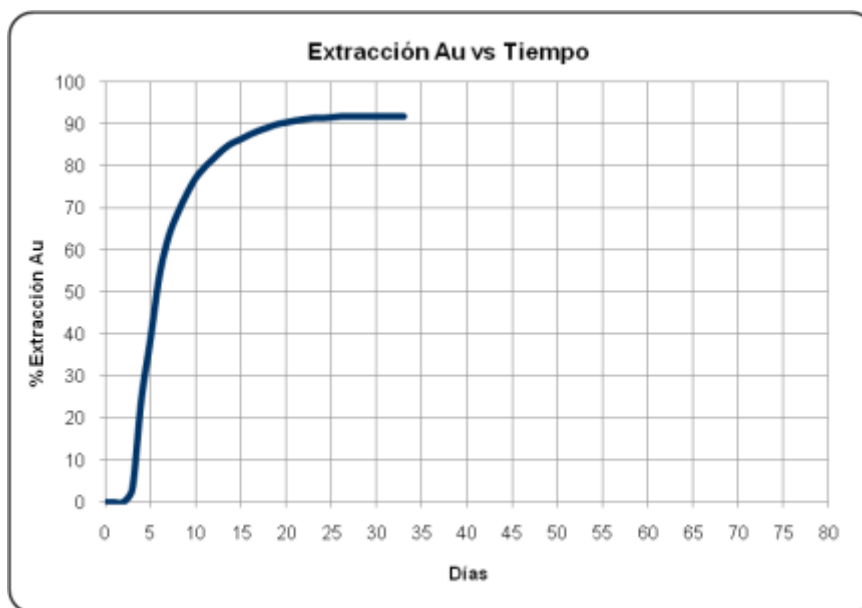


Figura 48: Grafica de recuperación por 33 días en lixiviación.

Lixiviación en Columna. Columna Mediana de 30 cm de diámetro.

Muestra: ECHADERO (ECHA01-2016-10)

Malla: -2"

Código de prueba: IM-075-01

Días de lixiviación	Cabeza Au (g/TM)	% Extracción		Consumos (Kg./TM)	
		Au	Ag	NaCN	Cal
6	0.250	83.32	#¡VALOR!	0.14	0.60

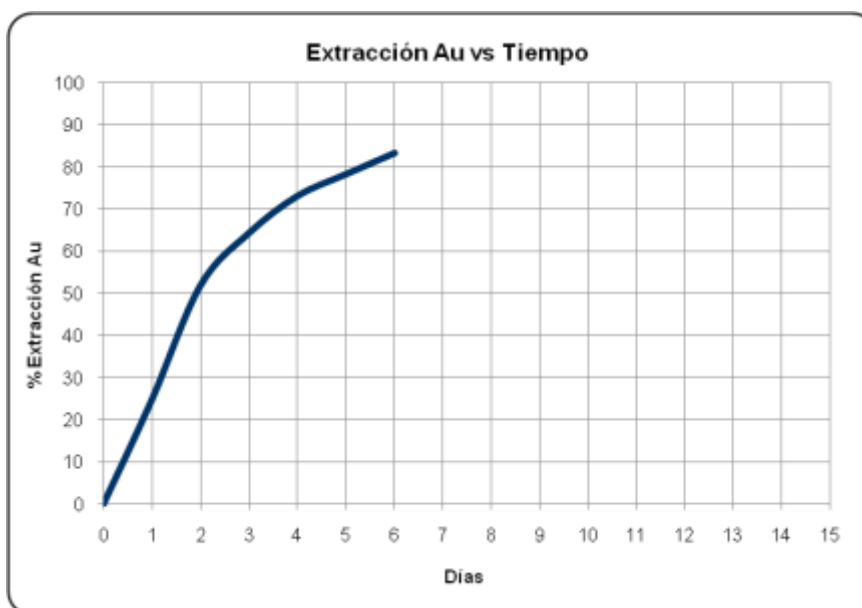


Figura 49: Grafica de recuperación por 6 días en lixiviación.

V. CONCLUSIONES

- En zona las morrenas presenta una cantidad apreciable de material de matriz arcillo - arenosa, producto de la re-movilización de la misma las que se encuentran impregnadas con óxidos de fierro, contiene arcillas menores al 30%. Los tamaños de los fragmentos son promedio a los 20cm, y alcanzan hasta los 50cm con alteraciones de sílice masiva, sílice alunita y sílice residual, La mineralización de Au en la fase de óxidos ocurre en forma diseminada.
- En los echaderos presenta bloques de alteración de sílice masiva, sílice granular, sílice alunita y sílice clay.
- La alteración hidrotermal muestra una distribución con un núcleo intensamente silicificado con sílice masiva, sílice alunita y sílice granular rodeado de halos de alteración argilica avanzada (argilica-alunita) y sílice que grada a otro halo periférico de sílice clay.
- Luego de evaluar las zonas de echaderos, las reservas para el diseño operativo de las zonas de echaderos y morrenas, considerando un cut off dinámico se tiene un tonelaje de 250,000 con una ley de Au g/t en morrenas de 0.14 y en echaderos de 0.30g/t. Siendo posible la ampliación de reservas.
- Después de haberse realizado el cálculo de las reservas, mediante los datos de perforación y Logueo en las morrenas y echaderos de mineral, se tiene 1382 oz de Au de reserva y que además con los estudio de recuperación metalúrgica de 80%, haciendo viable el estudio, para explotación de mineral.
- Al minar las morrenas y echaderos el costo es menor, pues el material ya ha sido removido, y los costos por explosivos se reducen haciendo más factible el objetivo central de este trabajo de investigación.

VI. RECOMENDACIONES

- Ante la eventualidad de una variabilidad en precios de compra de los metales, se debe hacer un nuevo cálculo, valorando los precios en el mercado.
- En las zonas de permafrost se recomienda el uso de explosivos por el grado de compactación de la materia.
- Se recomienda llevar a cabo una re-estimación del yacimiento, considerando para este caso las zonas de sulfuros por el contenido leyes altas de Au, las cuales podrían significar una mejora en un nuevo cálculo de reservas a largo plazo.
- Se debe aplicar cianuro de sodio o potásico no haría efecto en la pirita y arsenopirita que se denominaría mineral refractario. Puedo sugerir preconcentrar los sulfuros y realizar una oxidación pirometalúrgica a 600° C, seguida de Cianuración para poder recuperar el elemento (Au) que se encuentra como solución sólida en los sulfuros.

VII. REFERENCIAS

- Bateman A. M. (1986). Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico (6ª ED.) Edicion Omega S.A. Barcelona 975p.
- Berger, B.R., (1986). Descriptive model of low-sulfide Au-quartz veins, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693.
- Burnham, C.W. y Ohmoto, H. (1980). Late-Stage Processes of Felsic Magmatism. Mining Geology Special Issue, No. 8, 1-11.
- Camprubí A. et Al. (2006) Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Volumen Conmemorativo del Centenario. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVIII.
- Carlotto V., (2005). Las cuencas terciarias sin orogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del Sur del Perú. Volumen especial de la Sociedad Geológica del Perú. Vol. Nº6. p. 102-126.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication
- Chia-Olmo, M. y Luque E.r, J.A. (2002). Interpolación espacial en la creación de cubiertas temáticas en S.I.G. En Lain Huerta, L.(Ed), Los riesgos geológicos el medio ambiente. Instituto Geológico y Minero de España
- Dávila B. J., (1995). Diccionario Geológico, segunda edición, Impresión talleres gráficos full graphie S.R.L. 846p.
- Dávila M., D. (1988). Geología del cuadrángulo de Cailloma, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 40, Serie A, 93p.
- Duque E., Manuel (2003). Manual de Geología para Ingenieros.
- Loayza D., Vasquez E. (2010). Informes mensuales para la Gerencia de Aruntani SAC.
- Duran G., (2013). Revista, yacimiento Epitermal de Alta Sulfuración Jesica, Arasi SAC. 13p.
- Gonzales A. R., (2005). caracterización geoquímica, petrográfica y mineralógica en la prospección de oro del sector charaque cuadrangulo de huaitire – Moquegua.
- Gutiérrez E. Manuel (2008). Geomorfología.

- Hedenquist J. (2000) Exploration for Epithermal Gold Deposits. Economic Geology, vol. 13.
- Jorge Azaña (2012) informes mensuales de exploraciones para la gerencia de Tucari.
- Lunar, R. & Oyarzun, R. (Eds) 1991. Yacimientos Minerales: Técnicas de Estudio, Tipos, Evolución Metalogénica, Exploración. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid.
- Mendivil, S. (1965). Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave. Bol. Cart. Geol. Nac. Perú. N°10
- Mosier, D.L., Berger, B.R., and Singer, D.A. (1986): Descriptive Model of Sado Epithermal Veins; in Mineral Deposit Models, Cox, D.P. and Singer, D.A., Editors, U.S. Geological Survey, Bulletin 1693, p. 154.
- Nilton Champy y Ticona Ángel (2012). Presentación para la Sociedad Geológica del Perú.
- Oyarzún J. & Oyarzun R. (2014). Léxico de Geología Económica: Términos de Uso Común en España e Iberoamérica.
- Oyarzun, R., Lillo, J. & Oyarzun, J. 2008. No water, no cyanobacteria — no calc-alkaline magmas: progressive oxidation of the early oceans may have contributed to modernize island-arc magmatism. International Geology Review, 50: 885–894. (1999). “The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia (JORC)”.
- Palacios, O. (1993). Boletín N° 42 Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Palacios, O. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 51 Serie A, 73p.
- Pettijohn, F.J. (1975). Sedimentary Rocks. 3rd ed. Harper & Row Publ. New York. 628 pp.
- Pierre, Ponte Leon (1999), metodología, preparación y análisis de muestras en minería.
- Reed, M.H. (1997). Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc.
- Sillitoe, R.H. and Thompson, J.F.H., (2006). Changes in mineral exploration practice: Consequences for discovery, in Doggett, M.D. and Parry, J.R. eds.,

Wealth creation in the minerals industry: Integrating science, business and education: Society of Economic Geologists Special Publication 12.

- Tucari (2016). Estudio de Impacto Ambiental. Presentado por la misma empresa.
- Vargas V., Luis, (1970). Geología del Cuadrángulo de Arequipa Servicio de Geología y Minería N° 24
- Vidal C. J., (1993). Geología del Cuadrángulo de Huambo y Orcopampa, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Wasteneys, A.H., Clark, A.H., Farrar, E., Langridge, R.J. (1990). «Grenvillian granulite facies metamorphism in the Arequipa massif, Peru: a Laurentia-Gondwana link». Earth and planetary science letters
- Wilson J. J. (1962) .Geologia del Cuadrándolo de Huaylillas. Com Carta Nac., en prensa.
- Wilson J. y García W. (1962).Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca. Comisión Carta Geológica Nacional. Vol II, Nro 4, Lima Peru.

ANEXOS