



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)



## ESCUELA DE POSGRADO

### TESIS

**INFLUENCIA DEL MODELO GEOMETALÚRGICO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN Y  
BENEFICIO DEL AU EN EL YACIMIENTO DON MARCELO  
DE LA PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH - 2017**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Geometalurgia Aplicada**

**PRESENTADO POR:**

**Bach: SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN: INGENIERÍA GEOLÓGICA  
Mención: GEOMETALURGIA APLICADA**

**HUANCVELICA - PERÚ**

**2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Msc. ARROYO CABALLERO Jaime German, Msc. CANTA CARLOS Paul Percy y Msc. ESTEVES PAIRAZAMAN Manuel Emiliano**

**Asesor: Mg. FARFÁN CHILICAUS Gary Christiam**

De conformidad al Reglamento para Optar el Grado Académico de Maestro y Doctor, de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 207-2018-CU-UNH

El Candidato al **GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Con Mención En GEOMETALÚRGIA APLICADA**

Don, **Shonel Miguel CACERES PEREZ**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado **"INFLUENCIA DEL MODELO GEOMETALÚRGICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO DEL AU EN EL YACIMIENTO DON MARCELO DE LA PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH-2017"**

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

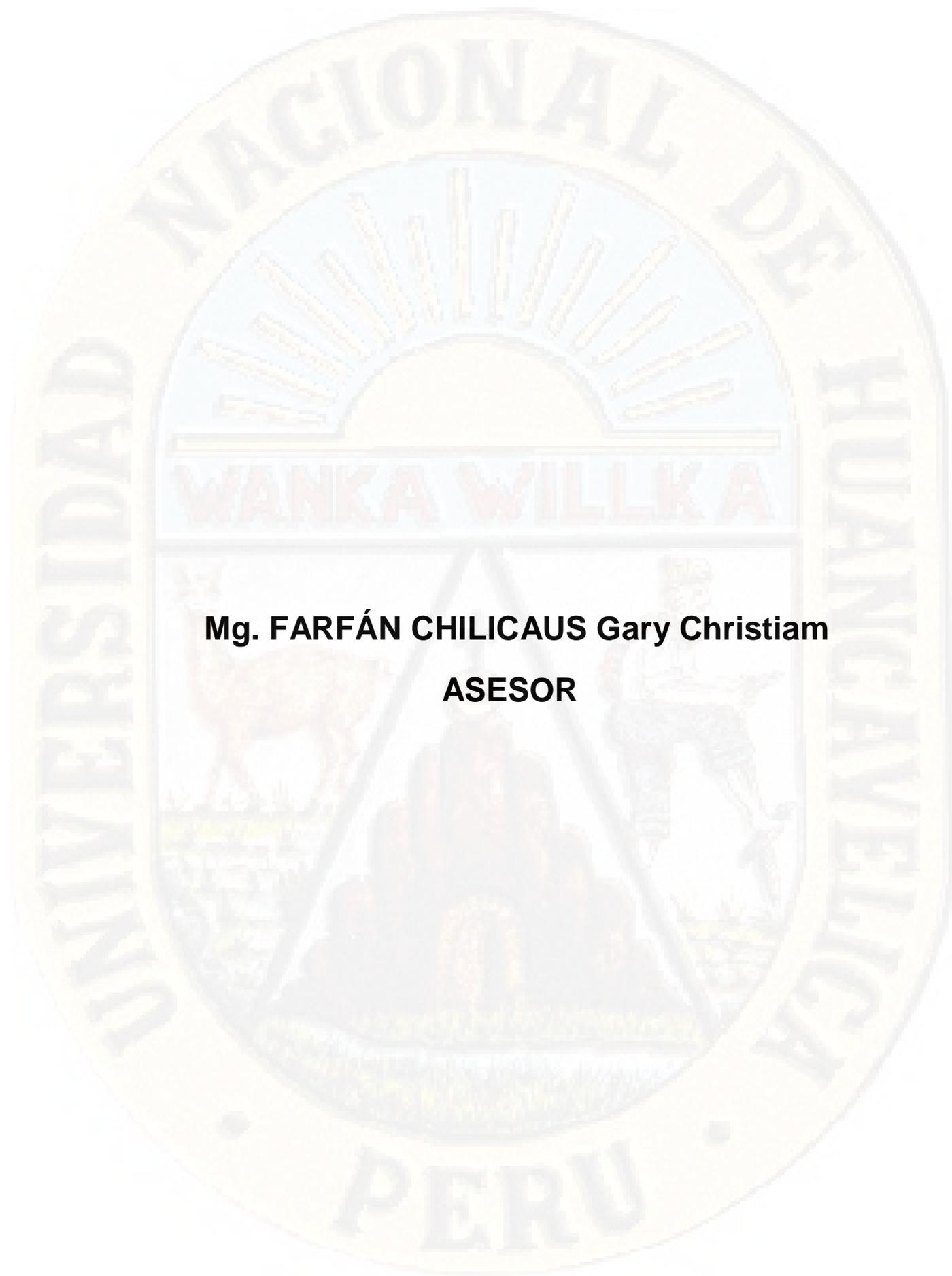
Con el calificativo: Aprobado  Por: MAYORIA  
Desaprobado

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veinte tres días del mes de noviembre del año 2018.

.....  
**Msc. ARROYO CABALLERO Jaime German**  
Presidente del Jurado.

.....  
**Msc. CANTA CARLOS Paul Percy**  
Secretario del Jurado

.....  
**Msc. ESTEVES PAIRAZAMAN Manuel Emiliano**  
Vocal del Jurado



**Mg. FARFÁN CHILICAUS Gary Christiam**

**ASESOR**

**DEDICATORIA:**

***A mi esposa y mis hijas  
Maricielo y María Fernanda:***

*Quienes son mi motor para  
seguir adelante.*

***A mis padres:***

*Quienes con su amor y  
paciencia me han inculcado  
buenos valores, enseñándome  
a luchar por lo que más quiero.*

***A mis hermanas:***

*De quienes nunca me ha  
faltado su apoyo.*

***Y a todos aquellos:***

*Quienes de alguna manera  
me apoyaron en la  
realización de este estudio.*

## RESUMEN

El objetivo de nuestra investigación fue determinar la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento "Don Marcelo", el mismo que se encuentra ubicado en las faldas del Cerro Carhuac, Pampa Chururo y la Quebrada Huancacancha, comunidades de San Miguel de Utcuyacu, Ichoca y Marca, en el distrito de Catac, provincia de Recuay del departamento de Ancash. Aproximadamente a 63 Km. de carretera al SE del yacimiento minero "Pierina" y a 55 Km al SE de la ciudad de Huaraz. El yacimiento está constituido por un cuerpo diseminado de oro de origen hidrotermal, del tipo epitermal de intermedia a alta sulfuración, emplazado en un cruce de estructuras Nor-Oeste/Nor-Este, habiéndose identificado 2 targets con interesante potencial económico en oro, el target Nor-Oeste y el Target Central. La metodología aplicada consistió en el análisis de 4 aspectos de suma importancia: el patrón textural de las rocas y especies minerales, el comportamiento geoquímico y su importancia en las leyes económicas del oro, el estudio mineralógico para determinar cuál es el mineral o minerales que aportan el oro y el comportamiento físico-mecánico para predecir la fragmentación de las rocas mineralizadas. El análisis de cada uno de estos aspectos y una minuciosa observación de la realidad geológica en campo en base a los mapeos litológicos-mineralógicos y la descripción e interpretación de los sondajes ejecutados, nos permitieron elaborar un constructo general geometalúrgico. Se llegó a la conclusión de que el modelo geometalúrgico es de suma importancia para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro. Con los diferentes estudios y análisis realizados se comprobó que las rocas volcánicas presentan condiciones favorables (textura, geoquímica, mineralogía, y su comportamiento mineralógico) para optimizar los procesos cuando el proyecto pase a etapa de mina.

Palabras Clave: texturas, geoquímica, mineralogía, fragmentación, geometalurgia.

## **ABSTRACT**

The objective of our research was to determine the influence of the geometallurgical model for the optimization of the processes of exploitation and benefit of gold in the "Don Marcelo" deposit, the same one that is located in the foothills of Cerro Carhuac, Pampa Chururo and La Quebrada Huancacancha, communities of San Miguel de Utcuyacu, Ichoca and Marca, in the district of Catac, province of Recuay, department of Ancash. Approximately 63 km of road to the SE of the "Pierina" mining deposit and 55 km to the SE of the city of Huaraz. The deposit is constituted by a disseminated body of gold of hydrothermal origin, of the epithermal type of intermediate to high sulfidation, located in a crossing of structures North-West / North-East, having identified 2 targets with interesting economic potential in gold, the target North-West and the Target Central. The applied methodology consisted in the analysis of 4 aspects of great importance: the textural pattern of the rocks and mineral species, the geochemical behavior and its importance in the economic laws of gold, the mineralogical study to determine which is the mineral or minerals that contribute Gold and physical-mechanical behavior to predict the fragmentation of mineralized rocks. The analysis of each one of these aspects and a meticulous observation of the geological reality in the field based on the lithological-mineralogical mappings and the description and interpretation of the drillings executed, allowed us to elaborate a general geometallurgical construct. It was concluded that the geometallurgical model is of great importance for the optimization of the processes of exploitation and benefit of gold. With the different studies and analyzes carried out, it was proved that the volcanic rocks present favorable conditions (texture, geochemistry, mineralogy, and mineralogical behavior) to optimize the processes when the project goes to the mine stage.

Keywords: textures, geochemistry, mineralogy, fragmentation, geometallurgy.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
INTRODUCCIÓN.....	9
<b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	11
1.2. Formulación del problema.....	11
1.3. Objetivos. ....	11
1.3.1. Objetivo General.....	11
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. Justificación e importancia.....	14
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	17
2.2. Bases Teóricas. ....	20
2.2.1. Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica .....	20
2.2.2. Análisis de texturas en rocas .....	29
2.2.3. Estudio geoquímico.....	37
2.2.4. Estudio y análisis mineralógico en la industria minera.....	43
2.2.5. Predicción de la fragmentación de rocas.....	48
2.3. Formulación de la hipótesis.....	56
2.3.1. Hipótesis general.....	56
2.3.2. Hipótesis específicas.....	56
2.4. Definición de términos básicos.....	57
2.5. Identificación de variables.....	61
2.5. Operacionalización de variables.....	61
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>62</b>
3.1. Tipo de investigación. ....	63
3.2. Nivel de investigación.....	63
3.3. Métodos de investigación.....	63
3.3.1. Método de observación.....	63
3.3.2. Método inductivo deductivo.....	64
3.3.3. Método analítico.....	64
3.4. Diseño de la Investigación. ....	64
3.5. Población Muestra y Muestreo.....	65
3.5.1. Población. ....	65
3.5.2. Muestra.....	65

3.5.2.	Métodos de muestreo. ....	65
3.5.2.	Protocolo para control de calidad de muestras. ....	66
3.6.	Técnicas e instrumentos e instrumentos de recolección de datos. ....	66
3.6.1.	Técnicas .....	66
3.6.2.	Análisis de laboratorio.....	67
3.6.3.	Elaboración del presente texto.....	67
3.6.4.	Protocolo para el control de calidad de la información trabajada.....	68
3.6.5.	Materiales y Útiles.....	68
3.6.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	68
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS. ....		69
4.1.	Presentación e interpretación de datos.....	70
4.1.1.	Análisis textural de las rocas mineralizadas .....	70
4.1.2.	Estudio geoquímico. ....	85
4.1.3.	Estudio mineralógico.....	93
4.1.4.	Estudio físico-mecánico para la predicción de la fragmentación.....	101
4.2.	Discusión de resultados .....	111
4.2.1.	Influencia del análisis textural de las rocas en la recuperación del Au. ....	111
4.2.2.	Importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico. ...	114
4.2.3.	Influencia del estudio mineralógico en la recuperación del Au.....	117
4.2.4.	Importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación..	122
4.2.5.	Implementación del modelo geometalúrgico.....	124
4.3.	Proceso de prueba de hipótesis.....	129
CONCLUSIONES.....		133
RECOMENDACIONES. ....		135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		136
ANEXOS.....		139

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Resultados de pruebas de flotación .....	26
Tabla N° 2	Resultados de pruebas de moliendas .....	29
Tabla N° 3	Índice de volabilidad de Cunningham.....	51
Tabla N° 4	Índice de uniformidad.....	54
Tabla N° 5	Operacionalización de variables.....	61
Tabla N° 6	Presencia de minerales en la dacita porfirítica .....	71
Tabla N° 7	Presencia de minerales en la andesita.....	73
Tabla N° 8	Presencia de minerales en la cuarzoandesita .....	76
Tabla N° 9	Presencia de minerales en roca de cuarzo-turmalina-arcillas .....	78
Tabla N° 10	Presencia de minerales en roca volcánica intensamente silicificada.....	80
Tabla N° 11	Presencia de minerales en brecha alterada a cuarzo-sericita-arcillas.....	84
Tabla N° 12	Presencia de minerales en brecha intensamente silicificada .....	84
Tabla N° 13	Mineralogía en muestra MM-06.....	94
Tabla N° 14	Mineralogía en muestra MM-07.....	96
Tabla N° 15	Mineralogía en muestra MM-08.....	97
Tabla N° 16	Mineralogía en muestra MM-11.....	99
Tabla N° 17	Mineralogía en muestra MM-12.....	100
Tabla N° 18	Valores calculados para, L, Qe y K como una función del diámetro del taladro.....	105
Tabla N° 19	Valores calculados de Vo, B y S en función del diámetro del taladro.....	106
Tabla N° 20	Valores calculados para n y Xc, para el Ejemplo. ....	107
Tabla N° 21	Valores calculados para X y R .....	108
Tabla N° 22	Porcentaje (expresado como una relación) retenido.....	109
Tabla N° 23	Tamaño Máximo de los fragmentos (cm) como función del diámetro del taladro.....	111
Tabla N° 24	Rocas identificadas en campo y en laboratorio .....	111
Tabla N° 25	Tabla Estadística de Matriz de Correlación de Pearson (Sector Nor-Oeste).....	115
Tabla N° 26	Detalle de las reservas estimadas en el Yacimiento Don Marcelo .....	116
Tabla N° 27	Parámetros utilizados en la perforación y voladura .....	123
Tabla N° 28	Características de los fragmentos .....	124
Tabla N° 29	Resultados de las pruebas metalúrgicas del oro en el yacimiento .....	127
Tabla N° 30	Resultados de las pruebas metalúrgicas por tipo de alteración .....	128
Tabla N° 31	Resultados de las pruebas metalúrgicas por tipo de litología.....	128
Tabla N° 32	Resultados texturas.....	129
Tabla N° 33	Resultados mineralogía.....	131

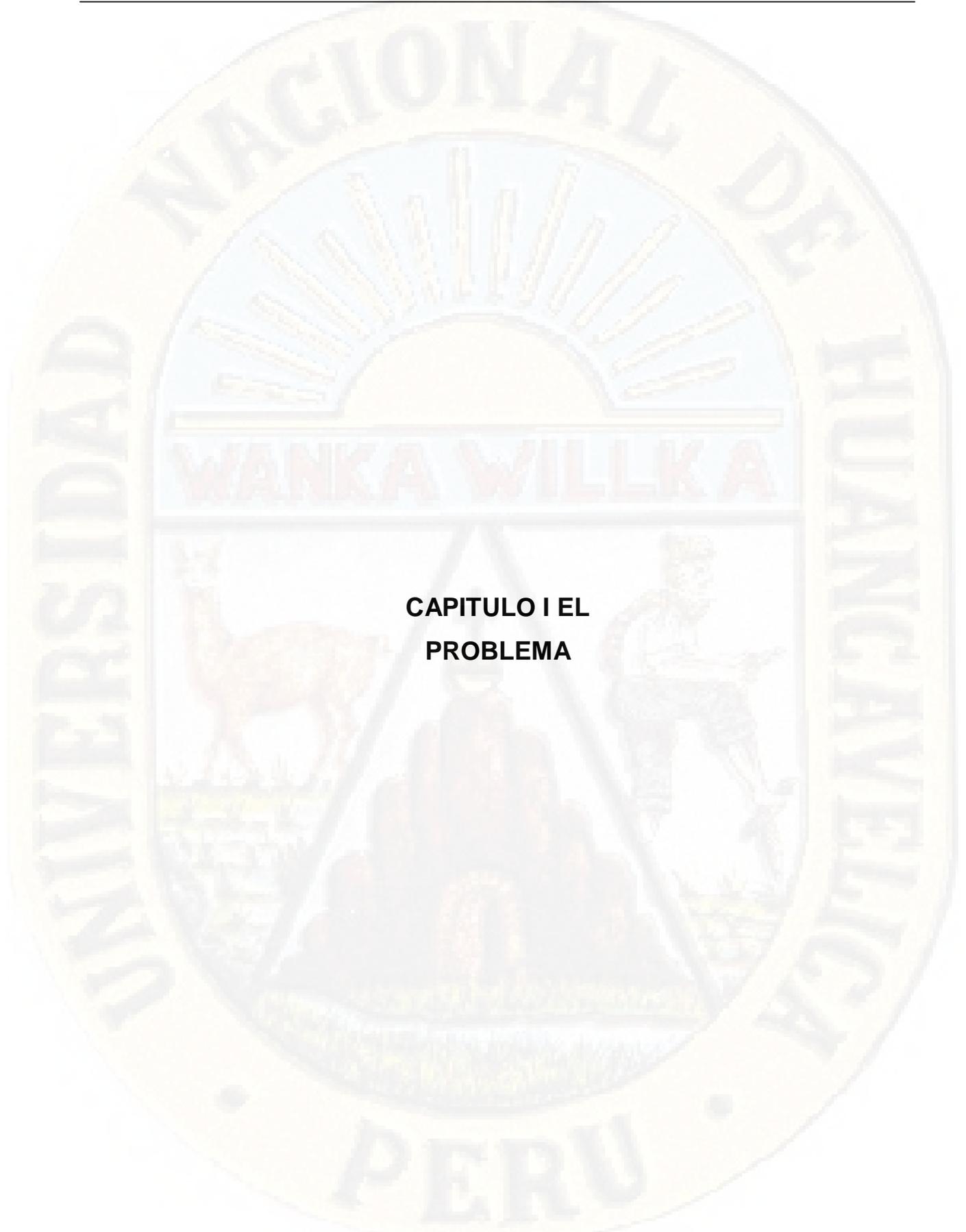
## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Aplicaciones básicas de la planificación geometalúrgica .....	21
Figura N° 2 Efecto de la granulometría en la flotación .....	25
Figura N° 3a Textura holocristalina (granodiorita N//, granito Nx) Minerales según Kretz (1983).. .....	30
Figura N° 3b Textura merocristalina Fenocristales de Feldespato Potásico (KFS).. .....	31
Figura N° 4 Textura equigranular (monzonita, Nx) .....	33
Figura N° 5 Textura inequigranular (Gabro, Nx) .....	33
Figura N° 6 Textura inequigranular. . .....	34
Figura N° 7 Cristales con crecimiento dificultado (gabro y granito, Nx).....	35
Figura N° 8 Cristales de cuarzo con bordes corroídos (dacita, Nx).....	35
Figura N° 9 Texturas frágiles.....	36
Figura N° 10 Texturas ductiles.....	37
Figura N° 11 Distintos métodos de prospección geoquímica .....	39
Figura N° 12 La gran exploración.....	40
Figura N° 13 Provincias metalogenéticas coincidiendo con provincias geoquímicas.....	41
Figura N° 14 La gran exploración minera .....	43
Figura N° 15 Curva de Fragmentación típica. ....	52
Figura N° 16 Diseño de la investigación.....	64
Figura N° 17 Muestra N° MM-01 Código de Laboratorio 28101001 NXs.....	72
Figura N° 18 Muestra N° MM-04 Código de Laboratorio: 28101002 NXs.....	74
Figura N° 19 Muestra N° MM-05 Código de Laboratorio: 28101003 NXs .....	76
Figura N° 20 Muestra N° MM-06 Código de Laboratorio 28101004 NXs .....	78
Figura N° 21 Muestra N° MM-07 Código de Laboratorio 28101005 NXs.....	80
Figura N° 22 Muestra N° MM-08 Código de Laboratorio: 28101006 NXs .....	82
Figura N° 23 Muestra MM-12, código de laboratorio: 28101008 NXs. ....	84
Figura N° 24 Detalle del muestreo realizado en el proyecto .....	86
Figura N° 25 Anomalías geoquímicas identificadas en el proyecto Don Marcelo. ....	87
Figura N° 26 Detalle estadístico del muestreo realizado en testigos diamantinos .....	88
Figura N° 27 Campaña de perforación en áreas con anomalías geoquímicas.....	89
Figura N° 28 Detalle de la campaña de perforación diamantina en el área del tajo 1.....	90
Figura N° 29 Sección 4020, de dirección Este-Oeste.....	91
Figura N° 30 Sección 3920, de dirección Este-Oeste.....	90
Figura N° 31 Sección 3820, de dirección Este-Oeste.....	92
Figura N° 32 Sección 3720, de dirección Este-Oeste.....	92
Figura N° 33 Muestra N° MM-06 Código de Laboratorio 28101004 N//s.....	95
Figura N° 34 Muestra N° NM-07 Código e Laboratorio: 28101005 N//s.....	96
Figura N° 35 Muestra N° MM-08 Código de Laboratorio 28101004 N//s. ....	98
Figura N° 36 Muestra N° NM-11Código de Laboratorio:28101007 N//s.....	99
Figura N° 37 Muestra N° MM-12 Código de Laboratorio 28101008 N//s.....	101
Figura N° 38 (a) Carga Específica, Porcentaje Pasante en Peso y Tamaño máximo .....	110
Figura N° 38 (b) Carga Específica, Porcentaje Pasante en Peso y Tamaño máximo .....	110
Figura N° 39 Modelo geometalúrgico y modelo geológico tradicional en un bloque. ....	124
Figura N° 40 Diseños aceptables que aseguran un adecuado espaciamiento. . ....	125
Figura N° 41 Métodos de distancia para la estima de densidad. ....	126
Figura N° 42 Recuperación metalúrgica de acuerdo a las texturas de las rocas.....	130
Figura N° 43 Recuperación metalúrgica de acuerdo al tipo de material .....	132

## INTRODUCCIÓN

La exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos minerales de valor económico es una etapa de la actividad minera que no garantiza alcanzar el éxito. El razonable riesgo asociado a esta etapa exige que el nuevo depósito sea desarrollado siguiendo una adecuada planificación geometalúrgica. El objetivo de nuestra investigación fue determinar la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento "Don Marcelo". La geometalurgia reduce significativamente el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documenta la variabilidad en un depósito. Esto minimiza el riesgo del proyecto en una futura explotación. Minas como Yanacocha, Pierina, Antamina, y otras de nivel medio como Arasi ya trabajan con modelos geometalúrgicos.

El yacimiento Don Marcelo actualmente en exploración y desarrollo, urge de la aplicación de una herramienta como lo es la geometalurgia para mejorar la planificación de las actividades dentro de la exploración pensando ya en una futura explotación, es por ello que en la presente investigación se ha generado el modelo geometalúrgico del yacimiento, el mismo que consideramos tendrá una influencia directa en la mejora de los procesos de explotación y beneficio del oro, generando importantes beneficios para la empresa y todos los involucrados. Para ello se ha realizado un minucioso trabajo de campo, así como también se analizado e interpretado importante información ya generada de la zona donde se ubica el proyecto. Por otro lado esta pequeña investigación demostrará la importancia de integrar las diferentes ramas del conocimiento tales como la geológica, mineralógica y metalúrgica en busca de la mejora de un proceso productivo. No existe ninguna duda de que esta investigación será un aporte valioso para los futuros profesionales en Ingeniería Geológica, Ingeniería de Minas e Ingeniería Metalúrgica y otras especialidades relacionadas, y sentará las bases para seguir investigando las diferentes problemáticas en el sistema productivo minero, y buscar las soluciones más adecuadas gracias a la integración de diferentes profesionales relacionados con este campo.



**CAPITULO I EL  
PROBLEMA**

## 1.1. Planteamiento del problema

Actualmente las empresas mineras de todo el mundo buscan maximizar la producción, mejorar la productividad, racionalizar los procesos y mejorar la rentabilidad para maximizar los beneficios de sus operaciones. Sin embargo, la compleja cadena de valor de la minería crea normalmente empresas que están estructuradas en diversas ramas o divisiones según su área funcional o de conocimientos. En la mayoría de los casos, cada división trabaja independientemente, con poca o ninguna interacción, esto hace que a las compañías mineras les resulte difícil alcanzar la optimización en sus procesos productivos.

En el Perú se cuenta con importantes proyectos mineros a cargo de grandes empresas transnacionales y nacionales, donde los rendimientos no son los más óptimos con los que se pueda contar, esto debido a que dentro de sus procesos productivos no existe una correlación en el diseño de su infraestructura, explotación y beneficio de los minerales, trayendo consigo problemas de dilución, pérdidas de mineral, concentración de elementos perjudiciales, incremento en los costos de minado procesamiento y rendimiento metalúrgico.

En los últimos años se viene ya aplicando la geometalurgia, cuya aplicación de manera eficiente sería la solución a los grandes problemas que atraviesan los procesos productivos mineros en su afán de lograr la optimización de su producción.

La geometalurgia es una herramienta que integra información geológica, minera, metalúrgica, para optimizar los procesos de explotación y beneficio de los minerales. Puesto que parte de la geometalurgia consiste en la caracterización de los minerales de mena y ganga, esto enlaza la variabilidad mineralógica y las texturas del depósito con un modelo de bloques en tres dimensiones (3D) y la relaciona con los costos. Lo anterior permite tener en cuenta la variabilidad de la mena en las previsiones de calidad y producción, en el diseño de la infraestructura

y en el diagrama de flujo a lo largo de la vida productiva de una mina. Dicha herramienta ha tomado auge en el mundo en los últimos años, gracias a la comprensión de que las menas son combinaciones de minerales, no de elementos químicos y, puesto que todos los procesos tratan con minerales, son las características fisicoquímicas de éstos las que determinan las condiciones de un proceso de recuperación industrial (Pérez, E. 2013)

El proyecto Don Marcelo de propiedad de la empresa Blue Dome Exploraciones SAC, ubicado en el departamento de Ancash, provincia de Recuay, del distrito de Cátac, es un yacimiento con las características de un epitermal de intermedia a alta sulfuración con leyes importantes en Au, el mismo que está próspero a ser explotado y no cuenta con el desarrollo de un modelo geometalúrgico, por lo que predecimos que se podrían presentar una serie de problemas durante las operaciones de mina y en las actividades de recuperación metalúrgica.

Motivo por el cual proponemos realizar el estudio geometalúrgico donde integremos entre otras, la información geológica con incidencia en el análisis textural de rocas y minerales, la información química para conocer las leyes y/o contenido metálico de los diferentes materiales, la información mineralógica para identificar los minerales mena y minerales refractarios, y finalmente la información físico mecánica para predecir la moliendabilidad del material. Con el cumplimiento de todo lo anterior lograr la optimización en los procesos de explotación y beneficio del Au, cuando pase a la etapa de mina.

La exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos minerales de valor económico es una etapa de la actividad minera que no garantiza alcanzar el éxito. El razonable riesgo asociado a esta etapa exige que el nuevo depósito sea desarrollado siguiendo una adecuada planificación geometalúrgica (Marchese, A. 2012)

### **Preguntas de investigación:**

¿Cuál es la influencia del análisis textural de las rocas mineralizadas en la optimización del beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo?

¿Cuál es la importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo?

¿Cuál es la influencia del estudio mineralógico en la optimización del beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo?

¿Cuál es la importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo?

### **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

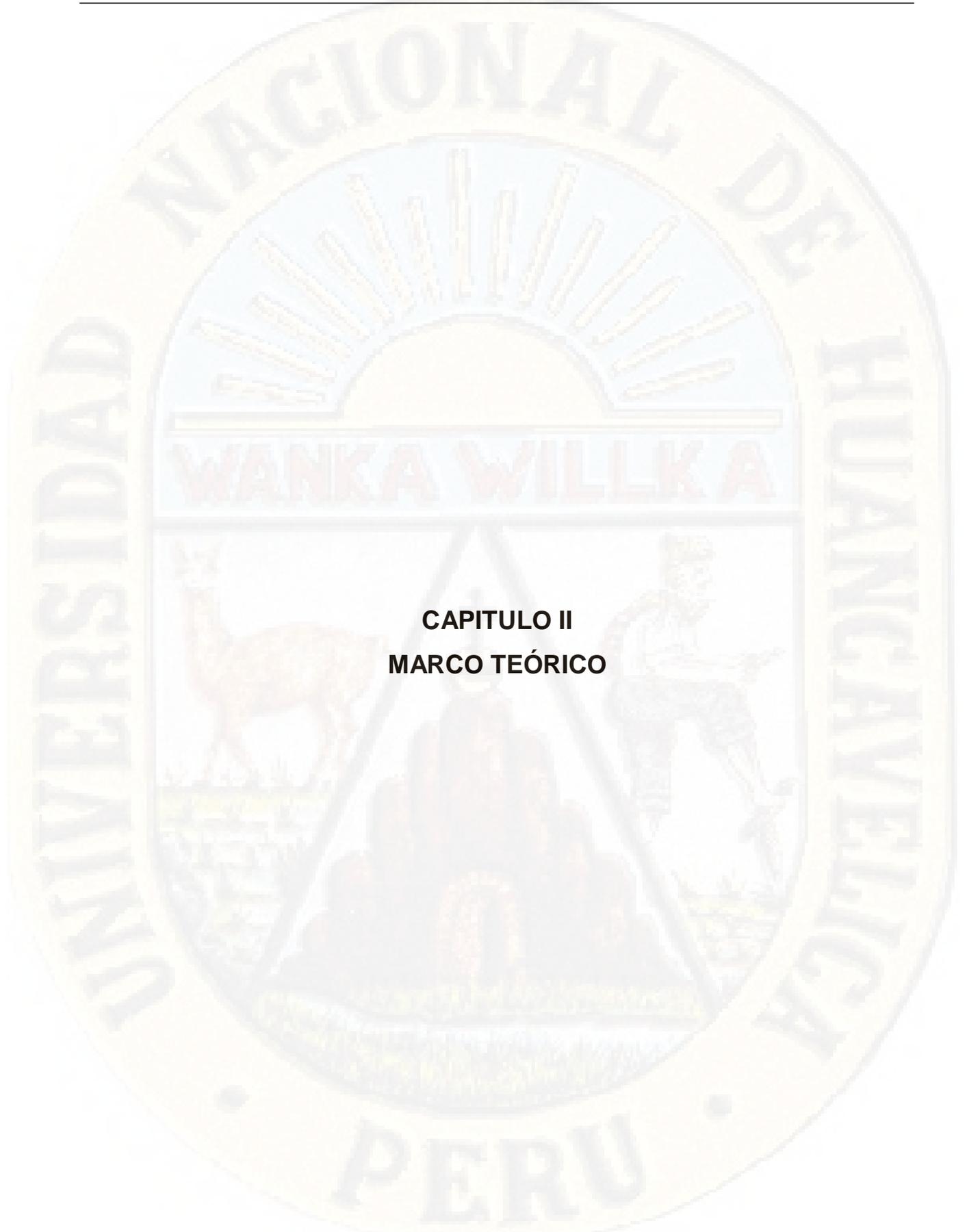
- Determinar la influencia del análisis textural de las rocas mineralizadas en la optimización del beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo.
- Conocer la importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico y en la definición de los límites del PIT en el yacimiento Don Marcelo.
- Determinar la influencia del estudio mineralógico en la optimización del beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo.
- Conocer la importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo.

### 1.4. Justificación e importancia

Elaborar el modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo antes de que pase a una etapa de explotación es de suma importancia, porque permitirá predecir, planificar y optimizar el ritmo de producción (toneladas por hora) y beneficio con un grado medido de precisión y certeza, para evitar problemas en el diseño y planeamiento de las operaciones mineras y en los métodos aplicados para la recuperación metalúrgica.

Estamos seguros de que estos cambios significativos en los procesos productivos dentro de la empresa minera significarán ahorros importantes en los costos de producción y se reflejarán de alguna u otra manera en un bienestar socio-económico para sus trabajadores y para las comunidades que se ubican dentro del entorno del proyecto.

Por otro lado esta pequeña investigación demostrará la importancia de integrar las diferentes ramas del conocimiento tales como la geológica, mineralógica, metalúrgica en busca de la mejora de un proceso productivo. No existe ninguna duda de que esta investigación será un aporte valioso para los futuros profesionales en Ingeniería Geológica, Ingeniería de Minas e Ingeniería Metalúrgica y otras especialidades relacionadas, y sentará las bases para seguir investigando las diferentes problemáticas en el sistema productivo minero, y buscar las soluciones más adecuadas gracias a la integración de diferentes profesionales relacionados con este campo.



**CAPITULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Antecedentes de la investigación

**Baumgartner, R. y otros (2016). Caracterización mineralógica detallada en el depósito de cobre-oro Cerro Corona - La clave fundamental para la geometalurgia y la optimización de procesos, Perú.**

**Señala que:**

La geometalurgia se aplica cada vez más en operaciones mineras, así como durante proyectos avanzados en etapa de exploración. Como la raíz de la geometalurgia está ligada a la mineralogía, la determinación y el conocimiento mineralógico de un depósito es fundamental para luego poder optimizar el proceso de extracción.

Cerro Corona está en operación desde el julio del 2008 y tiene recursos estimados de 3.05 Moz (Millones de onzas) de oro a 0.81 g/t y 108 Mt (millones de toneladas) de cobre a 0.42 % y reservas de 1.75 Moz a 0.9 g/t de oro y 60.5 Mt de cobre a 0.47% (Gold Fields Ltd.). El conocimiento de su mineralogía se ha incrementado a lo largo de los años. Los estudios iniciales fueron cualitativos, y se concentraron principalmente en la caracterización de la litología y hasta cierto punto en la mineralización. Fue necesario contar con caracterización cuantitativa en un número importante de muestras de los diferentes dominios geometalúrgicos y así poder incrementar la información, por ejemplo, obtener la mineralogía modal y análisis de partículas.

Para explicar este concepto en forma más clara vamos a suponer que tenemos una roca con alta ley de cobre (análisis químico). Para poder escoger el método de beneficio (lixiviación, flotación) más adecuado necesitamos saber cuál es el mineral o minerales que aportan este cobre (análisis mineralógico).

**Órdenes, J. (2014). Influencia de la mineralogía de la veta Bonanza en el proceso hidrometalúrgico de extracción de oro y plata, yacimiento el Peñón, Chile.**

**Señala que:**

Es importante el poder contar con un modelo que permita predecir algunas variables de los procesos en los minerales que se están trabajando en las faenas del yacimiento El Peñón, en este caso para la veta Bonanza, estas variables de los procesos mineralógicos fueron variando con el tiempo y la idea es anteponerse a su comportamiento. El modelo ya se está aplicando con éxito en las faenas, asegurando que en estos momentos pueden replicar a escala industrial los minerales que se alimentan a la planta de beneficios.

**Chahuayo, E. & Alejandro, A. (2012). Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de Huampar, Lima.**

**Señala que:**

El objetivo general de la investigación es mejorar la extracción de oro y plata en un proceso de cianuración convencional a partir de un mineral refractario conteniendo antimonio por pretratamiento lixivante con Na<sub>2</sub>S (sulfuro de sodio) y NaOH (hidróxido de sodio) para un mineral de la zona de Huampar. La hipótesis de la investigación es; la extracción de oro y plata en un proceso de cianuración convencional a partir de un mineral refractario conteniendo antimonio de la zona de Huampar - Lima se mejora con pretratamiento lixivante con Na<sub>2</sub>S y NaOH.

**Marchese, A. (2012). *Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica.***

**Señala que:**

Los alcances de la planificación geometalúrgica son amplios y de alto valor como instrumento de gestión minera durante las etapas de exploración previa a la formulación del proyecto, durante la explotación del yacimiento o como base del diseño de planta del proceso metalúrgico seleccionado según el tipo de mineral. La utilización de la información para maximizar el retorno económico en los procesos de concentración es un enorme potencial y un desafío para los operadores de planta el utilizarlo. El diferenciar grado de liberación, condiciones de tratamiento en flotación es, entre otros, temas que deben ser abordados por estos operadores.

**Canchaya, S. (2008). *El modelo geometalúrgico.***

**Senañala que:**

Existen 4 tipos de análisis para realizar la caracterización geometalúrgica en un yacimiento minero. Suponiendo que se tiene casi pura calcosita (el sulfuro secundario de Cu de más alta lixiviabilidad) es obvio que el método ideal sería la lixiviación; sin embargo si la calcocita se encuentra mayormente encapsulada en el cuarzo (análisis textural) la recuperación será mínima. Por otro lado suponiendo que la calcosita está libre, pero la proporción de minerales consumidores de ácido: carbonatos, cloritas, biotita, arcillas, etc. (análisis mineralógico) es alta, entonces el consumo de ácido será muy alto (y quizás no sea rentable este tipo de ensamble mineral) ya que además la recuperación disminuirá sensiblemente. Otra característica gravitante es la resistencia mecánica de la roca, la cual es bien caracterizada por la carga puntual medida en trozos de testigos de perforación, con el único requisito de estar libre de fracturas (“roca intacta”); los resultados en MPa (megapascales) son de mucha utilidad para la clasificación geomecánica de la roca, pero además para predecir el comportamiento de la roca durante los procesos de conminución (chancado secundario y terciario).

## 2.2. Bases teóricas

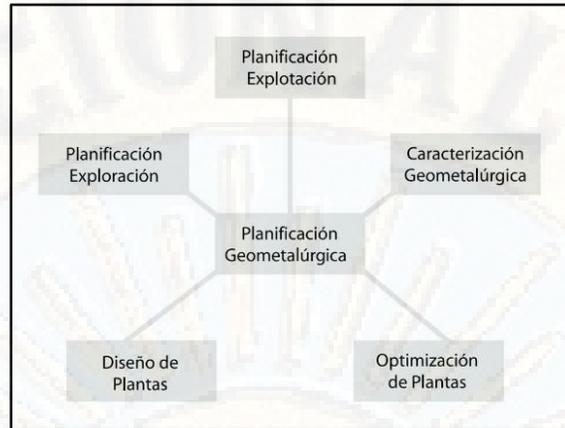
### 2.2.1. Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica.

Según Marchese. A. (2012) la geometalurgia se define como la clasificación de los minerales de acuerdo con su comportamiento frente a un proceso metalúrgico definido.

Los alcances de la planificación geometalúrgica son amplios y de alto valor como instrumento de gestión minera durante las etapas de exploración previa a la formulación del proyecto, durante la explotación del yacimiento o como base del diseño de planta del proceso metalúrgico seleccionado según el tipo de mineral (Marchese, A. 2012, p.28).

La exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos minerales de valor económico es una etapa de la actividad minera que no garantiza alcanzar el éxito. El razonable riesgo asociado a esta etapa exige que el nuevo depósito sea desarrollado siguiendo una adecuada planificación geometalúrgica (Marchese, A. 2012, p.29).

En el escenario descrito, cabe preguntarse, ¿las empresas mineras disponen de herramientas de prospectiva minera? ¿Cuáles serán las ventajas, aplicaciones y limitaciones de las herramientas de planificación? ¿Cuáles son los actores del proceso productivo minero que deban utilizar intensivamente dichas herramientas de planificación? La planificación geometalúrgica es un tema relativamente nuevo en nuestro país, aunque es practicado intensamente en las grandes faenas mineras locales que dependen de los holdings mineros de capital extranjero (Marchese, A. 2012, p.29).



**Figura 1. Aplicaciones básicas de la planificación geometalúrgica**

**Fuente:** *Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica. Marchese, A. (2012). Lima-Perú: Tecsup.*

### **Planificación geometalúrgica de la exploración**

Los trabajos de exploración de nuevos yacimientos son usualmente encargados a empresas consultoras, o alternativamente, son ejecutados por el equipo de geólogos de la propia empresa minera. El riesgo para la empresa minera sería menor si los resultados de estos trabajos y estudios tuvieran un nivel aceptable de error (Marchese, A. 2012, p.29).

El modelo de planificación geometalúrgica para un nuevo yacimiento se basa en que las pruebas metalúrgicas sean ejecutadas en forma simultánea a la exploración, de manera que la caracterización de cada muestra incluya también estos aspectos: flotabilidad del mineral, rendimiento a la disolución con solventes, consumo de reactivos de proceso, etc. Algunos especialistas con amplia experiencia consideran las pruebas metalúrgicas como parte de la exploración (Marchese, A. 2012, p.29).

Millán, A. (1998) sostiene que si un yacimiento presenta diversos sectores con características muy diferentes (leyes, tamaño de partículas

mineralizadas, tipos de ganga, lamas primarias y work index) conviene hacer “blendings” y que resulta justificado correr numerosas pruebas metalúrgicas con pequeños compósitos de muestras provenientes de testigos de sondajes.

Heresi, N. (2012) propone que se debe generar una estrategia de acceso a las reservas mineras, además de que las capacidades de procesamiento evolucionen de manera tal, que ofrezcan las mejores condiciones de optimización de las ganancias. Sugiere que, en cada momento, se debe evaluar el yacimiento, las unidades geológicas en unidades geo-minero-metalúrgicas. Además, sostiene que dicha estrategia permitirá evaluar, de acuerdo con el precio del metal, qué reservas se procesan hoy y definir cuáles conviene dejar para el futuro.

### **Planificación geometalúrgica en la explotación**

La planificación geometalúrgica no es de exclusiva aplicación durante la exploración de nuevos yacimientos de minerales. Durante la etapa de explotación de yacimientos en operación, se aplica la planificación geometalúrgica, pero con objetivos distintos (Marchese, A. 2012, p.30).

El modelo de planificación geometalúrgica para yacimientos en explotación considera que las pruebas mineralúrgicas sean ejecutadas con suficiente anticipación, es decir antes que el mineral ingrese a la planta de tratamiento, de manera que la caracterización de cada muestra incluya aspectos como: definir la moliendabilidad del mineral (incluye determinación del work index), flotabilidad del mineral, rendimiento a la disolución con solventes, consumo de reactivos en el proceso, etc (Marchese, A. 2012, p.30).

La importancia de anticipar el comportamiento metalúrgico de un mineral queda demostrada con un ejemplo citado por Cabrera, M. (1994),

quien refiere el caso de la mina sudafricana Transvaal que producía oro a partir de un mineral refractario, que tenía similar apariencia a la de otro mineral de una faena minera vecina. En 1940 instalaron un horno tostador para tratar los concentrados de flotación. Casi cuatro décadas después, la empresa Mintek fue comisionada para optimizar la tostación, y determinó que el mineral ya no era refractario. Es obvio que, por décadas, la operación había sido conducida por procesos pirometalúrgicos con los consiguientes altos costos, sin evaluar la aplicación de procesos convencionales.

Los geólogos y metalurgistas deben coordinar permanentemente acerca de los diversos tipos de mineralización de los yacimientos en explotación, que permita clasificar los minerales en función a sus contenidos metálicos, así como por sus respuestas al proceso metalúrgico en la planta de beneficio. Como ejemplo, se menciona que en Antamina se han clasificado alrededor de diez diferentes tipos de mineral, lo que permite tratarlos en la planta en forma individual cumpliendo con las cuotas de producción de la empresa (Marchese, A. 2012, p.31).

### **Caracterización de muestras geometalúrgicas**

Para la caracterización de muestras geometalúrgicas, se han desarrollado manuales de caracterización físico-química de minerales los que, junto a los protocolos de muestreo, constituyen información de base para normalizar y asegurar la calidad de la experimentación (Marchese, A. 2012, p.31).

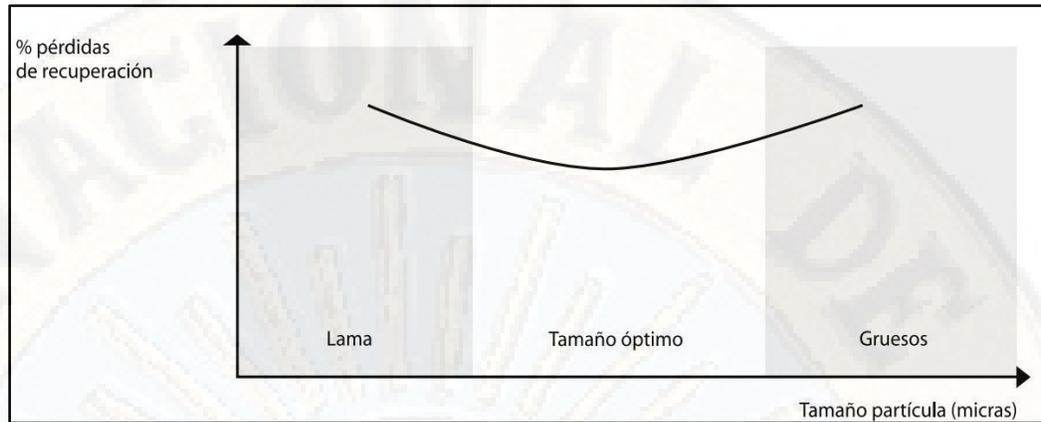
Heresi, N. (2002) sostiene que el aseguramiento de calidad del desarrollo experimental se ha traducido en una serie de protocolos de muestreo, de preparación de muestras y control experimental que ofrecen garantía, pero que los protocolos actuales son insuficientes, especialmente en el área de extracción de muestras, por lo que es necesario dar un especial énfasis a estos aspectos; similar atención requieren la

estandarización de protocolos de análisis químico y operación de pruebas metalúrgicas experimentales.

#### **a) Manejo y selección de muestras**

El aspecto más importante de un programa geometalúrgico es la selección de muestras. Esto necesita una rigurosa planificación y debe combinar la experiencia de los geólogos, metalurgistas y consultores, quienes tienen en conjunto el conocimiento metalúrgico para alcanzar los requerimientos del programa (Marchese, A. 2012, p.31). El autor precisa los siguientes puntos:

- Las muestras individuales no sirven para el propósito de desarrollo preliminar de flowsheets y a menudo resulta en la ejecución de pruebas inútiles.
- Un compósito bulk puede también ser una “trampa”, ya que pueden “enmascarar” una zona particular con problemas metalúrgicos.
- Cabe agregar, que la mineralogía y/o ley de cabeza no son los únicos criterios para definir las muestras compósito para pruebas metalúrgicas. Por ejemplo:
  - El tipo de roca o tipo de alteración tendrán efecto en la moliendabilidad, generalmente más que en la mineralogía.
  - La alteración de los minerales puede influenciar en la performance metalúrgica. Por ejemplo, el efecto de la arcilla en la lixiviación (problemas de percolación, consumo de ácido, etc.) o el efecto de la arcilla en la flotación (problemas de selectividad, limitaciones molienda/remolienda, etc).



**Figura 2. Efecto de la granulometría en la flotación**

**Fuente: Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica. Marchese, A. (2012). Lima-Perú: Tecsup.**

Para ampliar la información, en la tabla 1 se presenta los resultados de pruebas de flotación experimental, a fin de comparar el efecto de las muestras RC Chips versus muestras de sondaje diamantino:

- Puede conducir a una fase posterior en la optimización del diseño del flowsheet.
- Proporcionan “confianza” a la financiabilidad del proyecto

Por lo tanto, la mejor muestra para pruebas metalúrgicas es la que se obtiene en el sondaje diamantino (Marchese, A. 2012, p.31).

**Tabla 1. Resultados de pruebas de flotación**

Prueba	Muestra	Peso (%)	Ley Cu %	Recup. Cu %	Cab. Calc. Cu %	K80 (um)
Brecha 1	3rd Clnr Conc	1.85	38.6	92.3	0.78	211
	Ro Conc.	9.47	7.9	96.5		
Brecha 1A	3rd Clnr Conc	1.49	37	68.2	0.81	197
	Ro Conc.	13	5.68	91.4		
Brecha 2	3rd Clnr Conc	2.08	30.5	87.2	0.73	202
	Ro Conc.	11.7	5.86	94.3		
Brecha 2A	3rd Clnr Conc	1.4	30.9	55.9	0.77	194
	Ro Conc.	14.8	4.4	84.5		
Brecha 3	3rd Clnr Conc	2.14	36.1	83.5	0.92	184
	Ro Conc.	10.7	8.38	96.9		
Brecha 3A	3rd Clnr Conc	1.61	37.3	68.1	0.88	191
	Ro Conc.	12.3	6.47	90		

Referencia: Curso Metalurgia para Geólogos de Exploración. Bustos S. 2001

**Fuente:** *Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica. Marchese, A. (2012). Lima-Perú: Tecsup.*

### **b) Mapeo metalúrgico o geometalúrgico**

Marchese, A. 2012, indica que un programa de mapeo metalúrgico es importante, pero no hay que tratar de ejecutarlo anticipadamente en un programa de pruebas. Sus características más notables son:

- Es fundamental para estudios de prefactibilidad y factibilidad.
- Proporcionan información en la “sensibilidad” del flowsheet a la variabilidad del mineral.
- Proporcionan información fundamental para la producción/proyecciones económicas (1 año, 5 años, producción, etc.).

La aplicación del mapeo metalúrgico es para definir el proceso de recuperación (flotación o lixiviación) y de conminucion (moliendabilidad). (Marchese, A. 2012, p.32)

### **c) Caso de los minerales de oro**

Vargas, J. (1984) propuso un cambio en la metodología de evaluación de minas de oro, tipo filoneano o gravas auríferas, sustituyendo desde el primer muestreo los tradicionales ensayos al fuego, por un sistema que efectúe el procesamiento integral de todas las muestras tomadas durante la exploración. De este modo, recomienda caracterizar la muestra según el tipo de yacimiento, simulando el proceso metalúrgico que se emplearía en una prospectiva aplicación industrial.

Así, por ejemplo, en el caso de minerales filoneanos o diseminados, propone sustituir los ensayos de muestras individuales en horno, por la cianuración total del compósito, método que proporciona el valor recuperable del oro y algunos indicadores del rendimiento metalúrgico. En caso el compósito sea lixiviado con cianuro por agitación, propone analizar las soluciones enriquecidas por absorción atómica y precipitar con polvo de zinc, obteniendo un resultado representativo del oro recuperable de todas las muestras. El método propuesto representa la aplicación cotidiana del ensayo BLEG que, actualmente, es solicitado con frecuencia por los geólogos de exploración.

### **Aplicaciones geometalúrgicas en el diseño de plantas de proceso**

Cada yacimiento de mineral tendrá un número de posibles diagramas de flujo de conminución (chancado y molienda), que generarán el producto deseado para el procesamiento posterior. Se necesitará considerar diversos factores al optimizar el diseño de los diagramas de flujo. (Marchese, A. 2012, p.33)

#### ***Estos incluirán:***

- Dureza del mineral (work index).
- Fracturación del mineral (características de la voladura).

- Tamaño máximo de la alimentación a la planta de procesos.
- Tamaño del producto para el procesamiento posterior.
- Mineralogía.

Para ilustrar la premisa anterior, la tabla 2 presenta los resultados de pruebas de moliendabilidad con diversos tipos de mineral, a fin de dimensionar la molienda SAG de los minerales de la mina La Candelaria de Chile:

En el diseño de nuevas plantas de grandes proyectos, existe la tendencia a prescindir de los circuitos de chancado, a fin de que el mineral clasificado que viene de la mina sea alimentado directamente a la molienda SAG. Este enfoque ha sido utilizado con éxito en minerales que contienen arcilla y que tienen un contenido mínimo de roca dura y en aquellas operaciones en que la voladura y la fracturación producen una alimentación relativamente fina (a partir de predicciones de análisis de fractura con los testigos de perforación) (Marchese, A. 2012, p.33).

Ashley, KJ & Callow, MI. (2000) sostienen que la clave del diseño de las etapas de conminución, consiste en entender la variabilidad del mineral en el yacimiento, a fin de obtener datos precisos para especificar los equipos de molienda y evitar el sobredimensionamiento o fallas del circuito para rendir la capacidad proyectada.

Es cierto, cuando geólogos y metalurgistas no interactúan en conjunto en la obtención de muestras para las pruebas metalúrgicas suelen cometerse errores. Este fue el caso de las pruebas hechas para el proyecto Los Pingos en la década de 1970 en Chile. La muestra estudiada en laboratorio contenía un 40% de cobre como óxidos y en el yacimiento los oxidados no sobrepasaban el 1% del cobre total (Marchese, A. 2012, p.33).

**Tabla 2. Resultados de pruebas de moliendas**

Tipo mineral	Porcentaje del cuerpo mineralizado	Numero de pruebas	Tipo de pruebas
A	80	18	FAG, SAG, ABC, SABC
B	9	18	FAG, SAG, ABC, SABC
C	6	6	SABC
D	5	10	SAG, SABC
Blending		5	FAG,SAG,SABC
Total	100	57	

Referencia: Ore variability: Exercises in Geometallurgy. EMJ. Febrero 2000

**Fuente:** *Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica. Marchese, A. (2012). Lima-Perú: Tecsup.*

### 2.2.2. Análisis de texturas en rocas

Independientemente de que su origen sea ígneo, metamórfico o sedimentario, el simple hecho de que las rocas hayan ascendido a la superficie de la tierra (por procesos tectónicos o de erosión) implica que las texturas han sido transportadas mecánicamente a un medio muy diferente al de su ambiente petrogenético inicial (López, J. & Bellos, L 2006).

#### **Parámetros Texturales.**

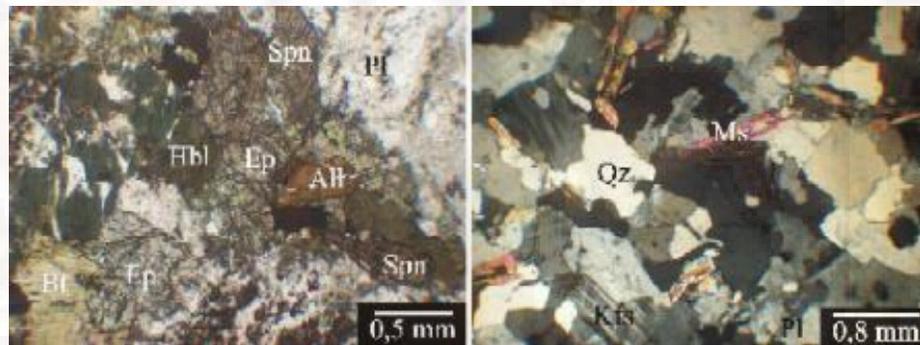
Un análisis textural es el que refleja las condiciones de formación de las rocas ígneas y en base al cual es posible comprender los procesos que llevaron a la consolidación del magma (López, J. & Bellos, L 2006). Este análisis textural se realiza sobre la base de cuatro parámetros principales:

- a) Grado de cristalinidad
- b) Tamaño de los cristales
- c) Relación de tamaños de los granos
- d) Forma de los cristales.

**a) Grado de cristalinidad:**

Este parámetro se relaciona, directamente con la velocidad de enfriamiento del magma. Así, una roca será holocristalina, cuando haya tenido suficiente tiempo para alcanzar un desarrollo cristalino completamente (*Fig.3a*); todas las rocas plutónicas lo son, como también pueden serlo las rocas volcánicas (López, J. & Bellos, L 2006).

Una roca holohialina tiene una historia de enfriamiento lo suficientemente rápida como para que no se haya formado ningún cristal y una roca en parte cristalina y en parte vítrea, denominada merocristalina (o merohialina) tendrá una historia más compleja, con al menos dos etapas de enfriamiento, una primera lenta, que permite el desarrollo de cristales y una segunda más rápida, que da lugar a la formación de vidrio (López, J. & Bellos, L 2006) (*Fig. 3b*).



**Figura 3a. Textura holocristalina (granodiorita N//, granito Nx)  
Minerales según Kretz (1983)**



*Figura 3b. Textura merocrystalina Fenocristales de Feldespato Potásico (Kfs) y pequeños cristales de clinopiroxenos (Cpx) en una matriz microcrystalina a vítrea con textura perlítica (riolita x7, N// y Nx). Minerales según Kretz (1983)*

#### **b) Tamaño de los cristales:**

Está controlado por la interacción de las siguientes variables principales:

- Velocidad de enfriamiento del líquido magmático
- Composición química de los líquidos
- Existencia y composición de una fase disuelta o “libre”

**La velocidad de enfriamiento de los magmas condiciona mucho los procesos de nucleación y crecimiento cristalino.** Las primeras fases cristalizadas son frecuentemente idiomórficas (euhedrales) o subidiomórficas (subhedrales) mientras que las tardías son xenomorfas (anhedrales) puesto que ocupan los espacios intergranulares en los cuales se concentrarían los líquidos residuales. El tamaño de los cristales será extremadamente variable (López, J. & Bellos, L 2006).

**La composición química de los líquidos.** Los minerales de tamaño pequeño (algunas decenas de micras), que se presentan con formas euhedrales, deberán su hábito a las bajas concentraciones de sus componentes (P, Zr, Cr) o a las concentraciones relativas bajas de los constituyentes principales que entran en la estructura de diversas fases

minerales (por ejemplo calcio que se reparte entre plagioclasas, anfíboles, clinopiroxenos diopsídicos, etc.) (López, J. & Bellos, L 2006).

Límites de tamaños de granos. El tamaño de grano puede ser expresado como su diámetro máximo o como el diámetro más notorio, en milímetros y para su notación se utiliza una tabla con límites específicos, propuesta por Hibbard (1995):

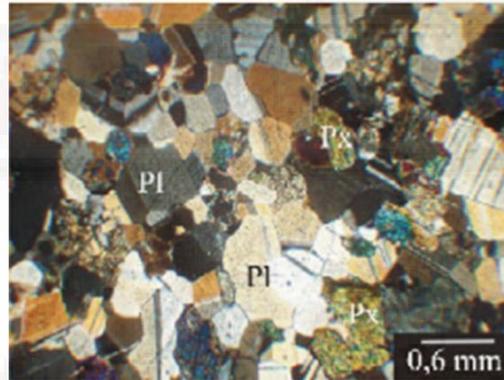
- Grano muy grueso > 50 mm
- Grano grueso <50 mm a > 5
- Grano medio <5 mm a > 1
- Grano fino <1 mm a > 0,1
- Grano muy fino <0.1 mm a > 0.01 a (10-100 micras)
- Vidrio/submicroscópico < 0.01 mm (<10 micras)

**c) Relación de tamaños:**

Una roca equigranular (*Fig. 4*) implica que el diámetro más generalizado de los granos de la misma, está entre los límites de uno de los grupos de tamaños establecidos. Por ejemplo, una roca de grano fino será equigranular si contiene cristales cuyos diámetros permanecen principalmente entre los límites de 0,1 y 1 mm. Si por el contrario, el rango de los diámetros varía entre apenas por encima de 0,1 hasta cercano a los 5 mm, la roca se describiría como inequigranular seriada (*Fig. 5*), porque dos tamaños de granos están involucrados (López, J. & Bellos, L 2006).

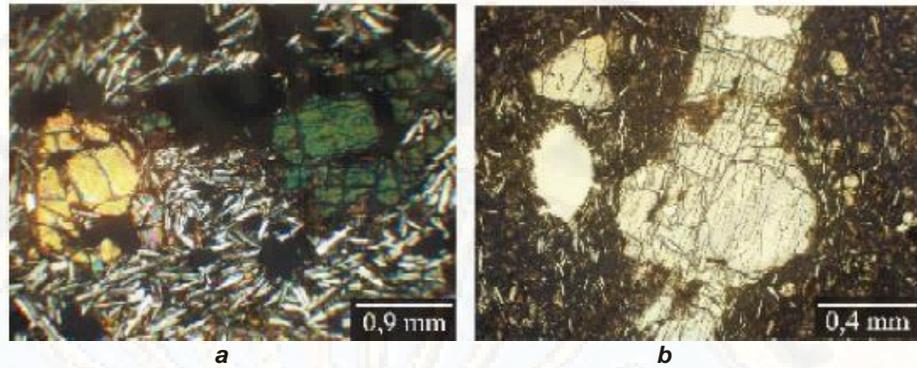


**Figura 4. Textura equigranular (monzonita, Nx). Minerales según Kretz (1983)**



**Figura 5. Textura inequigranular (Gabro, Nx). Minerales según Kretz (1983)**

Una roca inequigranular puede tener una distribución bimodal o aún trimodal. Una roca inequigranular bimodal (*Fig. 6a*), es aquella que contiene fenocristales o aquella que presenta unos granos obviamente más grandes que otra fracción de grano más fino. Una roca típicamente inequigranular trimodal (*Fig. 6b*), es aquella que tiene una matriz vítrea o de materia submicroscópico en la que se encuentran cristales de dos tamaños diferentes. En ambos casos la textura de la roca es porfírica (López, J. & Bellos, L 2006).



**Figura 6. Textura inequigranular (a) bimodal (fenocristales de olivino en matriz de plagioclasa, piroxenos y minerales opacos, basaltos, Nx), (b) trimodal (fenocristal de piroxeno y matriz con microclitos de plagioclasa y material afanítico, basalto, N/).  
Minerales según Kretz (1983)**

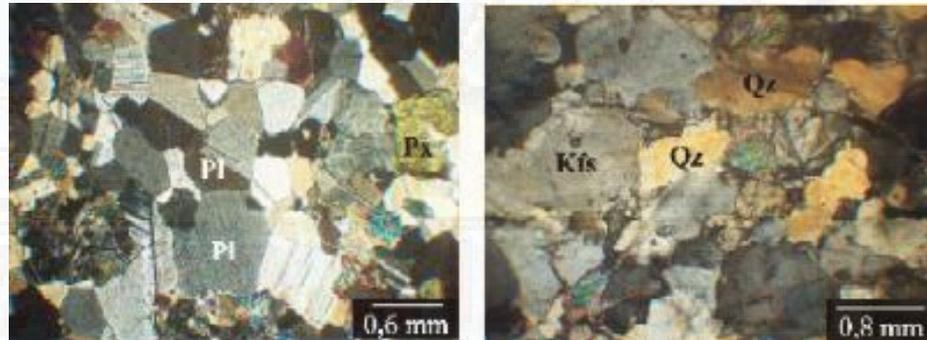
#### **d) Forma de los cristales:**

López, J. & Bellos, L. (2006) se refieren a la presencia o no de formas geométrica simples y regidas por el grado de simetría de la red cristalina. Se considera que esta forma de los cristales depende de la interacción de cinco principales mecanismos de crecimiento:

**Durante el crecimiento libre.** La propiedad de determinadas caras en una especie cristalina de presentar un desarrollo preferente frente a las otras caras se debe principalmente a las competencias entre las energías de superficie de las caras cristalinas y su velocidad de crecimiento (recordar nucleación homogénea). Sabiendo que las caras estables de un mineral serán teóricamente las que tengan menor energía libre de superficie, tales caras tendrán las mayores densidades y coherencias interatómicas, por lo que será mayor la probabilidad de desarrollarse (López, J. & Bellos, L 2006).

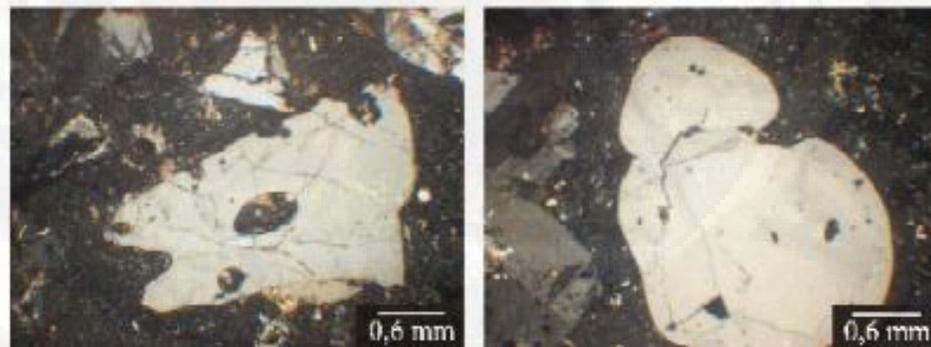
**Los cristales con crecimiento dificultado.** Son generalmente anhedrales pues sus formas están fuertemente dependientes de las competiciones de las energías de superficie de los bordes de granos de los cristales que se están desarrollando (Fig. 7). En rocas magmáticas

graníticas de mediana y gran profundidad, los ejemplos de este tipo de crecimiento cristalino están proporcionados por los intercrecimientos minerales eutécticos y algunas asociaciones simplectíticas (micropegmatitas, texturas gráficas, mirmequititas) (López, J. & Bellos, L 2006).



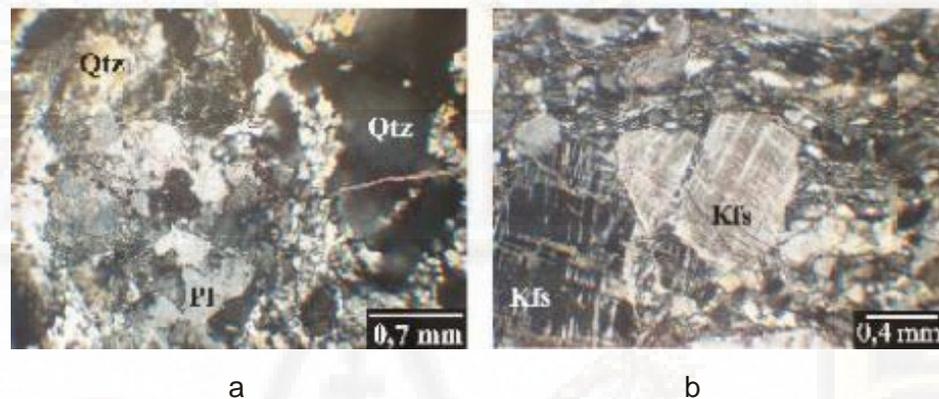
*Figura 7. Cristales con crecimiento dificultado (gabro y granito, Nx).  
Minerales según Kretz (1983)*

**Los cristales corroídos.** Son comunes en rocas magmáticas (en particular en lavas), donde la corrosión de caras, vértices y aristas de los cristales es frecuentemente la indicación de un procesos de reacción del reinicio del equilibrio de minerales bajo nuevas condiciones termodinámicas o físico-químicas (López, J. & Bellos, L 2006) (Fig. 8).



*Figura 8. Cristales de cuarzo con bordes corroídos (dacita, Nx).  
Minerales según Kretz (1983)*

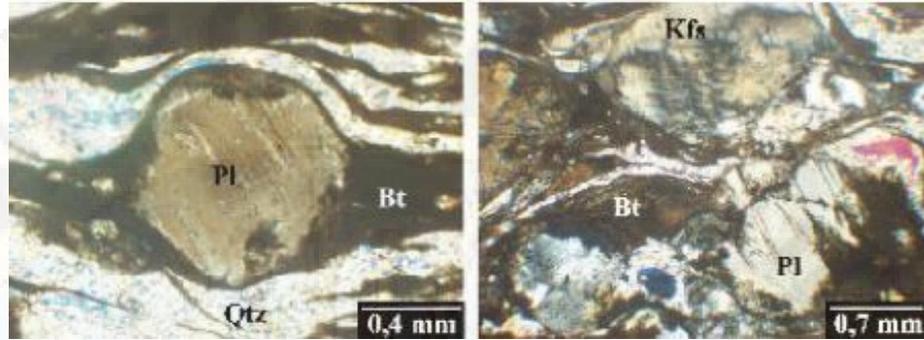
**Las deformaciones tectónicas “frías”**. ( $T < 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pueden romper cristales y pulverizarlos (cataclasitas). Estos mecanismos son selectivos y dependen de la intensidad y velocidad de la deformación, de los módulos de elasticidad de los minerales, de su posición inicial en la roca en relación con las direcciones de los esfuerzos principales, de la temperatura, de la existencia de fluidos, etc. (López, J. & Bellos, L 2006) (Fig. 9).



**Figura 9. Texturas frágiles. (a) cataclasita con fracturación de minerales y texturas de mortero (Nx), (b) porfiroclasto con borde de tracción y desgarró (Nx). Minerales según Kretz (1983)**

Finalmente, mencionaremos dos mecanismos de crecimiento que, aunque no pertenecen al proceso magmático propiamente dicho, pueden intervenir en mayor o menor medida, en el modelado de los cristales:

Las deformaciones plásticas “calientes” ( $200^{\circ}\text{C} < T < \text{fusión}$ ) son igualmente dependientes de los parámetros antes mencionados. Se caracterizan por toda una gama de modificaciones morfoestructurales que alcanzan hasta la escala de la red cristalina: extinciones ondulantes, deformación de maclas, kink bands, formación de bandas de deformación, recristalización de minerales, etc. (López, J. & Bellos, L 2006) (Fig. 10).



**Figura 10. Texturas ductiles. (a) porfiroclasto con estructura asimétrica (Nx), (b) mica fish y microclino con maclado anómalo (Nx).  
Minerales según Kretz (1983)**

La forma de un grano puede ser expresada como granos equidimensionales, tabulares, laminares o prismáticos. Para los cristales, una forma que refleja la estructura cristalina se denomina euestructural, mientras que una forma que no refleja esta estructura se denomina aestructural y formas intermedias subestructurales (Hibbard, 1995).

A este concepto debe agregarse el de integridad, que hace referencia al desarrollo completo o incompleto del cristal, así un grano completo, tiene alta integridad, mientras que un mineral esquelético o celular, tiene una baja integridad.

### **2.2.3. Estudio geoquímico**

Para la realización del análisis químico es muy importante la prospección geoquímica que se realiza en cada una de las áreas de interés que componen los proyectos con potencial.

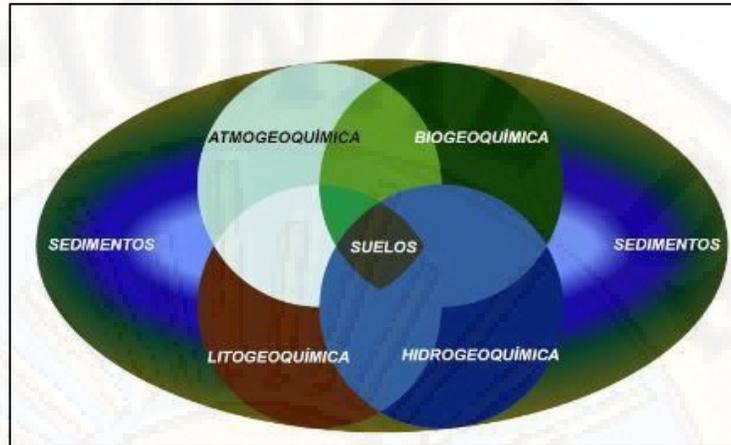
**¿Qué es la prospección geoquímica?**, en base a los principios de la distribución y del ciclo de los elementos químicos en la corteza terrestre, la podemos definir como una parte de la Geoquímica Aplicada o “Geoquímica

del Paisaje” sensu Fortescue (1980) que tiene como objeto la localización y estudio, en el espacio y en el tiempo, de las anomalías geoquímicas.

La prospección geoquímica deriva pues de los principios de la distribución y del ciclo de los elementos químicos en la tierra, lo que Clarke (1924) denominaba “evolución y desintegración de la materia “.

Hawkes (1957) define a la prospección geoquímica como uno de los métodos de la investigación minera que se basa en la medida sistemática de las propiedades químicas de los materiales naturales. El fin de dichas medidas sería la localización de anomalías geoquímicas o de áreas cuya estructura, hiciera pensar en la presencia de un cuerpo mineralizado en su vecindad. Las anomalías podrían estar generadas por la presencia de cuerpos ígneos en profundidad, procesos metamórficos o procesos superficiales tales como agentes de la alteración, erosión o transporte superficial.

Boyle, 1979, indica que la prospección geoquímica es la aplicación de los principios y datos geoquímicos y biogeoquímicos, con el fin de detectar yacimientos económicos de minerales, petróleo y gas. Ya que la tierra, cita este autor, se halla caracterizada mediante 5 esferas: y teniendo en cuenta que un objeto geológico concreto, como el entorno de un depósito mineral, una acumulación de hidrocarburos o un objeto medioambiental, presentará un incremento de uno o varios elementos, quedando todos reflejados en las esferas.



*Figura 11. Distintos métodos de prospección geoquímica, en función al material analizado. Boyle, 1979*

### **Historia de la prospección geoquímica**

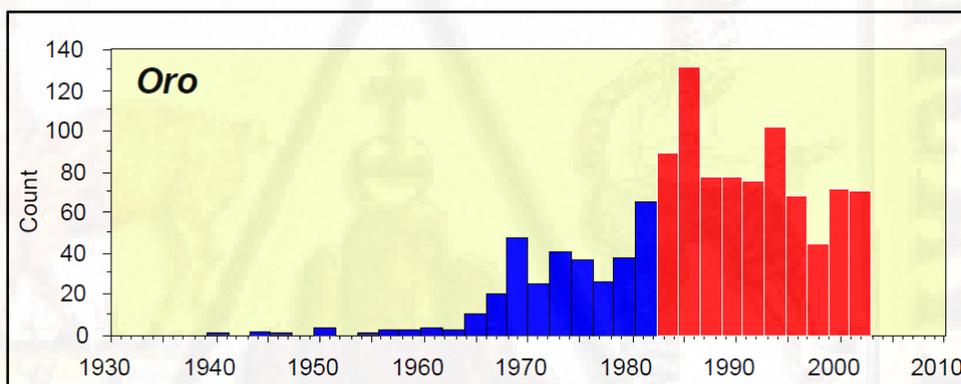
Algunas de las técnicas de prospección geoquímica, son tan antiguas, que se remontan a la Prehistoria con los primeros descubrimientos de gemas y del oro mediante la técnica de prospección aluvionar a la batea. No obstante, fueron griegos y principalmente los romanos los que institucionalizaron el método como sistemático para la prospección del oro y otros metales (Viladevall, M. 2008).

El gran desarrollo de la prospección geoquímica, no obstante se inicia en los países anglo-sajones de la mano de los grandes “trust mineros” y servicios geológicos nacionales, finalizada la II Guerra Mundial, tal como nos lo indica Govett (1977) y 1986; Boyle (1979) y Plant et al (1988). Así lo constata “The Association of Applied Geochemists” que recopila más de 13.000 trabajos publicados en revistas y libros, en su mayoría en Inglés, desde 1900 hasta 2003.

## La geoquímica aplicada

La geoquímica ambiental, es definida por Fortescue (1980), como la geoquímica aplicada a los efectos antrópicos o policía medioambiental. Esta debería ampliar sus objetivos, englobando a la Prospección Geoquímica. El interés sobre la geoquímica del oro lo muestra los más de 900 trabajos publicados entre 1900 y 1994 (sin contabilizar los de la antigua URSS), la mayor parte de los cuales se hallan ubicados en la década de los 80-90.

El oro, de símbolo químico Au, ocupa el lugar 79 en la tabla periódica y se sitúa entre el platino y el mercurio; pertenece al grupo IB del Sistema Periódico, junto con el cobre y la plata. Es un metal moderadamente blando, muy dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad (Viladevall, M. 2008).



**Figura.12.** La gran exploración y en consecuencia la gran densidad en el número de publicaciones sobre el oro, se inicia con el alza de su precio a principios de la década de los ochenta. Es de esperar que con el alza de 2008, el incremento y número de publicaciones en los próximos años será aún mayor (Viladevall, M. 2008).

Tanto el oro como los dos elementos que pertenecen al grupo IB, muestran poca similitud con los metales alcalinos del grupo IA. Su masa atómica es de 196,967, con una densidad es de 19,5 g cm<sup>3</sup> y un punto de fusión de 1064 °C y de ebullición de 2.960 °C. Bajo el punto de vista de su reactividad química Boyle, (1979), nos indica que el oro se asemeja mucho a la plata, pero su carácter químico es mucho más noble.

## La prospección geoquímica en la prospección minera

La prospección geoquímica, es una de las principales herramientas de la prospección minera y en el reconocimiento, tanto de las provincias geoquímicas como de las provincias metalogenéticas de las que derivan (Viladevall, M. 2008) (Fig. 13).

El gran desarrollo de sus métodos, tiene lugar a partir de la década de los 70 del siglo XX (Fig. 14), en paralelo con el desarrollo de la prospección minera. Boyle, (1979), estima en unos 100.000 km<sup>2</sup>, las anomalías detectadas y delimitadas en los cuatro continentes desde 1957-1977 con la localización de unos 150 cuerpos mineralizados y unos 80.000 km<sup>2</sup> con más de 220 cuerpos mineralizados en la URSS.

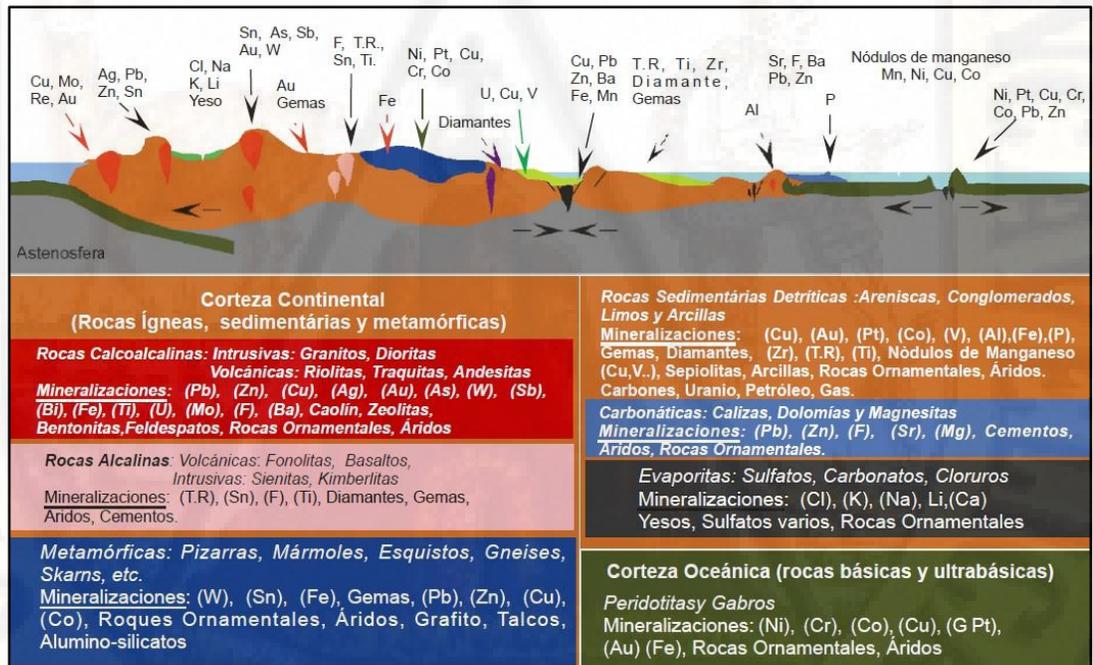
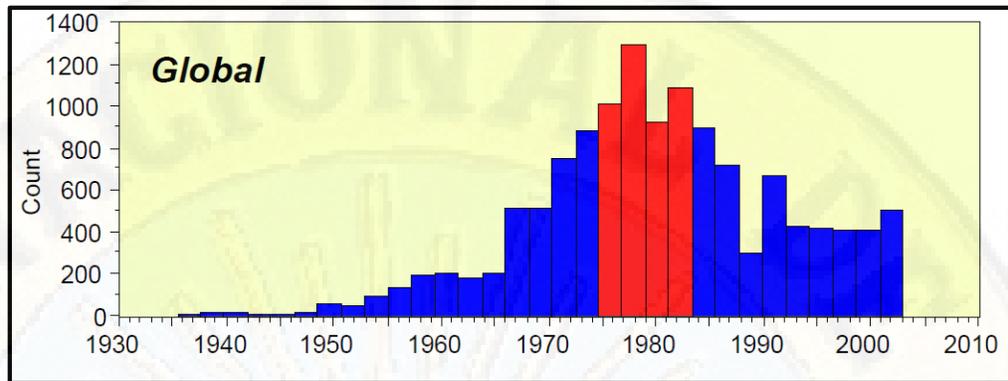


Figura 13. Provincias metalogenéticas coincidiendo con provincias geoquímicas. Los Andes por ejemplo es una provincia geoquímica en Cu y en consecuencia son los principales productores de Cu del Mundo con los mayores depósitos de Pórfidos cupríferos (Viladevall, M. 2008).

El esfuerzo realizado por el Servicio Geológico de la UNESCO entre 1960-1970 se cifra en más de 430.000 muestras tomadas y más de 1.900.000 datos analíticos (Lepeltier 1971) con una intervención de la prospección geoquímica en un 89% de los proyectos. En la década de los noventa y en el dos mil, estas cifras se han duplicado según AAG (Association of Applied Geochemists). En el 2008 y debido a la gran demanda de minerales como son el uranio, minerales preciosos y minerales base, las empresas de exploración han saturado los laboratorios geoquímicos con muestras de suelos, rocas y vegetación. (Fuentes de AAG).

En cuanto al porcentaje global de la prospección geoquímica en toda campaña de prospección minera globalizada hasta sus últimas fases se cifra entre un 2-5% del coste. A título de ejemplo Govett (1986), nos indica que una multinacional australiana gastaba unos 3.000 \$ en geoquímica en 1975, 170.000 \$ en 1982 y más de 230.000 \$ en 1983. En pequeñas empresas, los datos son algo diferentes, así el autor nos indica que en Australia la geoquímica representa entre el 15-20% de los salarios y entre el 10-15% del total del presupuesto, incluyendo sondeos.

A nivel de fase estratégica, en distintas zonas de la Península Ibérica, hay que indicar que el presupuesto dedicado a esta: muestreo, análisis e interpretación, sobrepasaba el 70% de los gastos en dicha fase. Dentro de las fases de la investigación minera, válidas también en investigación medioambiental, la prospección geoquímica, tal como se puede observar, tiene su importancia cualitativa y cuantitativa en cada una de ellas. (Viladevall, M. 2008).



*Figura 14. La gran exploración minera que se realizó en la década de los setenta ha propiciado la gran cantidad de trabajo que se pueden observar. El relanzamiento de la prospección geoquímica en los noventa y en el siglo XXI se relaciona claramente con los estudios medioambientales (Viladevall, M. 2008).*

#### **2.2.4. Estudio y análisis mineralógico en la industria minera.**

El análisis mineralógico, es una técnica de investigación geológica de laboratorio, dedicada a la obtención de datos mineralógicos necesarios para la evaluación y aprovechamiento de las materias primas minerales Candiotti, H. (1996).

##### **Métodos de análisis mineralógico**

Además del estudio microscópico de minerales, existen otros métodos complementarios de investigación; entre los principales podemos citar los siguientes: Difracción de Rayos X, Análisis Espectrográfico, Microsonda Electrónica, Análisis Térmica Diferencial, Espectrofotometría de Absorción Atómica Candiotti, H. (1996).

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

citarse las de Klug y Alexander (1954), Bish y Post (1989) y Cullity y Stock (2001).

El microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope, SEM) se basa en la obtención de una imagen de la muestra a partir del barrido de la misma con un haz de electrones, como resultado de las interacciones entre los electrones incidentes y la muestra. El SEM se compone de varios elementos básicos: un cañón de electrones con un filamento emisor de electrones, lentes magnéticas que dirigen y focalizan el haz de electrones sobre la muestra, sistema de barrido, portamuestras móvil y con giro universal, sistemas de obtención de la imagen y de análisis. Melgarejo, j. (2009).

La microsonda electrónica es el método más utilizado actualmente para el análisis químico puntual rutinario de minerales. La idea original del microanálisis utilizando los rayos X secundarios, generados por un haz de electrones focalizados sobre una muestra sólida pulida, fue de Rai-mond Castaing (Castaing y Guinier, 1950; McGee y Keil, 2001). Indiscutiblemente, la comunidad geológica está en una eterna deuda de gratitud con Raimon Castaing (véase revisión de McGee y Keil, 2001).

### **El análisis mineralógico en la exploración de yacimientos minerales**

Es importante que la información referente a la mineralogía, relaciones texturales, tamaño de partículas, distribución de elementos y las asociaciones mineralógicas, deben ser conocidas tan pronto como sea posible durante la etapa de exploración de un yacimiento mineral Candiotti, H. (1996).

Esta información además de permitir a los geólogos de exploración interpretar la génesis del yacimiento y programar los trabajos para la evaluación del mismo, servirá de apoyo en las etapas subsiguientes, para

la solución de dificultades potenciales en el beneficio de los minerales y para las consideraciones económicas necesarias en el cálculo de la inversión de capitales requeridos Candiotti, H. (1996).

Muchos prospectos mineros interesantes fueron descartados en todo el mundo, debido principalmente a la falta de una buena preparación en mineralogía de las personas que descubrieron o examinaron dichos prospectos. 'Inclusive, un geólogo de bastante experiencia deberá tener sólidos conocimientos en mineralogía, para poder reconocer y/o sospechar la presencia de un mineral importante y, solicitar la realización de investigaciones adicionales en un laboratorio de análisis mineralógico Candiotti, H. (1996).

Un estudio mineralógico generalmente se realiza con la finalidad de:

1. Determinar la naturaleza de la ocurrencia de un mineral. En especial para determinar cuánto de éste se encontraba en solución sólida (no recuperable) y qué cantidad estaba presente como una fase separada (recuperable).
2. Predecir la ley máxima del concentrado de mineral que podría ser recuperable.
3. Identificar otros minerales económicos en la muestra.
4. Predecir la ley máxima de otros minerales que podría ser recuperables.
5. Determinar qué elementos menores asociados podrían ser recuperados como subproductos.
6. Estudiar los diferentes tipos de intercrecimiento de minerales, texturas y tamaño de partículas que podrían afectar la concentración de los minerales valiosos.

## **El análisis mineralógico en la mineralurgia y metalurgia extractiva**

Aunque las aplicaciones del análisis mineralógico en metalurgia son múltiples y variadas, estas pueden ser resumidas en dos: en la investigación mineralógica de menas y en el estudio de los productos provenientes del tratamiento de minerales Candiotti, H. (1996).

Durante la fase de desarrollo de una mina generalmente se presentan algunos problemas de carácter metalúrgico. En esta etapa, es de vital importancia el conocimiento integral de los minerales que constituyen una mena, lo cual servirá de apoyo al metalurgista para la selección de un tratamiento metalúrgico adecuado para el beneficio de las menas Candiotti, H. (1996).

En la etapa de desarrollo de un yacimiento mineral, el análisis mineralógico ayuda al metalurgista en la solución de problemas mineralógicos relacionados con el tratamiento de minerales (mineralurgia) Candiotti, H. (1996). Los problemas mineralógicos que se presentan, se sintetizan generalmente en las siguientes preguntas:

¿Por qué el concentrado tiene menor ley que lo estimado?

¿Por qué hay una deficiente separación de valores de metal en los diferentes productos de concentración?

¿Cuáles son las causas de la pérdida de metal en los colas?

Las dos primeras preguntas pueden ser generalmente respondidas por estudios microscópicos convencionales; pero la tercera, puede ser algo difícil de responder esencialmente cuando la pérdida se trata de metales preciosos que se encuentran en cantidades trazas en las menas, como se muestra en el siguiente ejemplo Candiotti, H. (1996).

El análisis químico de las colas, producidas durante las pruebas de funcionamiento de una concentradora que procesó minerales de plomo,

zinc y plata, arrojó 1 Oz. de Ag por tonelada. Por tal razón se envió las muestras de cola al laboratorio de investigaciones mineralógicas para determinar las causas de la pérdida de plata. La mena del cual procedían las muestras era esencialmente primaria por lo que se sospechó que la pérdida de plata estaría asociada con algún sulfuro. El análisis químico de un concentrado de minerales pesados obtenido de las muestras, indicó un contenido de 7 Oz de Ag por tonelada, de modo que las investigaciones se dedicaron a este, producto. Después de investigaciones mineralógicas tediosas, se determinó que la mayor parte de los minerales pesados estaba constituida por baritina, galena y pirita y que la plata estaba presente en la estromeyrita ( $\text{Cu}_2\text{S Ag}_2 \text{S}$ ). Además este último mineral, ocurría como minúsculas inclusiones dentro de la pirita. Por lo tanto, como la mayor parte de la plata ocurría en granos muy pequeños (generalmente  $< 5 \mu$ ), no era factible moler el producto lo suficientemente fino para lograr la liberación de estromeyrita. Consecuentemente, no existe un tratamiento físico práctico que pueda permitir la recuperación de estos valores de plata.

El análisis mineralógico, es también de gran ayuda para mejorar el rendimiento de una planta metalúrgica en operación. Por el examen mineralógico de concentrados, productos intermedios y colas producidas por las plantas, el mineralurgista puede proporcionar información referente al grado de pureza de los concentrados y acerca de las causas que ocasionan la pérdida de minerales valiosos en los productos intermedios y en las colas Candiotti, H. (1996).

Los siguientes ejemplos pueden ilustrar como tales pérdidas pueden deberse a una molienda incorrecta, a una deficiente liberación y a la ocurrencia de una cubierta en los minerales:

- a. La presencia de rutilo (magnético) entre los minerales no magnéticos separados, debido a la cubierta de óxido de hierro y/o a la presencia de

minúsculas inclusiones de ilmenita en rutilo que le imprimen un comportamiento no magnética.

- b.** Inclusiones microscópicas de oro no recuperables, pueden estar presentes dentro de granos de cuarzo en los productos intermedios y en las colas.

El hidrometalurgista, aunque está interesado en las mismas propiedades de los minerales que el mineralurgista, está familiarizado con el tratamiento de los minerales que consumen ácido o son refractarios a éstos u otros agentes de lixiviación. Muchas de las propiedades de los minerales, anteriormente mencionadas, pueden parecer superfluas para el hidrometalurgista que está interesado en la molienda de una mena para sumergirla en ácido u otros productos químicos apropiados Candiotti, H. (1996).

Sin embargo, si no toma en consideración las propiedades físicas de los minerales, las soluciones lixiviantes no podrán llegar hasta el mineral o metal por extraer o, la acción físicoquímica entre las menas y las soluciones de lixiviación, puede comprometer totalmente todo el proceso de extracción Candiotti, H. (1996).

#### **2.2.5. Predicción de la fragmentación en rocas**

El modelo Kuz-Ram es el realizado por Cunningham (1983) y se ha usado extensivamente alrededor del mundo. El nombre de Kuz-Ram es una abreviación de los dos principales contribuyentes a las ecuaciones que forman la base del modelo: Kuznetsov y Rosin-Rammler.

La ingeniería de la fragmentación va a ser una importante parte en la minería en el futuro. Pues las máquinas de carguío son más automatizadas y las fajas transportadoras son una regla, en vez de una excepción,

entonces será requerida una especificación del tamaño para el material fragmentado. Esta sección presenta cierta información fundamental sobre este interés (Gavilan, H. 2009).

Una relación entre el tamaño medio del fragmento y la energía aplicada a la voladura por unidad de volumen de la roca (carga específica) ha sido desarrollada por Kuznetsov (1973) en función del tipo de roca. Su ecuación es la siguiente:

$$\bar{X} = A \left( \frac{V_0}{Q_T} \right)^{0.8} Q_T^{1/6} \quad (1)$$

Donde  $\bar{X}$  = tamaño medio de los fragmentos, cm., A = factor de roca (Índice de Volabilidad) = 7 para rocas medias, 10 para rocas duras, altamente fracturadas, 13 para rocas duras débilmente fracturadas,  $V_0$  = volumen de roca (m<sup>3</sup>) a romper por el taladro = Burden x Espaciamiento x Altura de banco,  $Q_T$  = masa (kilogramo) de TNT que contiene la energía equivalente de la carga explosiva en cada taladro.

La fuerza relativa por peso del TNT comparado al ANFO (ANFO = 100) es 115. Por lo tanto la ecuación basada en ANFO en vez de TNT se puede escribir como:

$$\bar{X} = A \left( \frac{V_0}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{1/6} \left( \frac{S_{ANFO}}{115} \right)^{-19/30} \quad (2)$$

Donde  $Q_e$  = masa del explosivo utilizado (kilogramo),  $S_{ANFO}$  = fuerza relativa por peso del explosivo Anfo (Anfo = 100).

Ya que:

$$\frac{V_0}{Q_e} = \frac{1}{K} \quad (3)$$

Donde K = Factor Triturante (carga específica) = kg/m<sup>3</sup>. La ecuación (2) se puede reescribir como:

$$\bar{X} = A(K)^{0.8} Q_e^{1/6} \left( \frac{115}{S_{ANFO}} \right)^{19/30} \quad (4)$$

La ecuación (4) se puede utilizar ahora, para calcular la fragmentación media ( $\bar{X}$ ) para un factor triturante dado. Solucionando la ecuación (4) para K tenemos:

$$K = \left[ \frac{A}{\bar{X}} Q_e^{1/6} \left( \frac{115}{S_{ANFO}} \right)^{19/30} \right]^{1.25} \quad (5)$$

Uno puede calcular el factor triturante (carga específica) requerido para obtener la fragmentación media deseada. Cunningham (1983) indica que en su experiencia el límite más bajo para A incluso en tipos de roca muy débiles es A=8 y el límite superior es A = 12. En una tentativa de cuantificar mejor la selección de "A", el Índice de Volabilidad propuesto inicialmente por Lilly (1986) se ha adaptado para esta aplicación (Cunningham. 1987). La ecuación es:

$$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF) \quad (6)$$

Donde los diversos factores se definen en la Tabla 3.

**Tabla 3. Índice de volabilidad de Cunningham**

SIMBOLO	DESCRIPCION	VALORES
A	Factor de Roca	8 a 12
RMD	Descripción de la Masa Rocosa	
	- Desmenuzable / Friable	10
	- Verticalmente Fracturado	JF
	- Masivo	50
JF	JPS+JPA	
JPS	Espaciamiento de la fracturas verticales	
	- < 0.1m	10
	- 0.1 a MS	20
	- MS a DP	50
MS	Muy Grande (m)	
DP	Tamaño (m) del diseño de perforación asumido	
	DP > MS	
JPA	Angulo del plano de las fracturas	
	- Buzamiento hacia fuera de la cara	20
	- perpendicular a la cara	30
	- Buzamiento hacia dentro de la cara	40
RDI	Índice de Densidad de la Roca	25 x RD - 50
RD	Densidad ( t/m3)	
HF	Factor de Dureza	
	- si y < 50 GPa	HF = y/3
	- si y > 50 GPa	HF = UCS/5
Y	Modulo de Young (GPa)	
UCS	Fuerza Compresiva no Confinada (MPa)	

Fuente: (Gavilan, H. 2009).

**Un ejemplo, para ilustrar este procedimiento ha sido dado por Cunningham (1987). Para una lava granulosa fina masiva.**

En este caso el UCS es 400 MPa, el módulo de Young es 80 GPa y la densidad es 2.9 t/m3. Existen pequeñas juntas cerradas. El UCS determina el factor de dureza.

$$RMD= 50, \quad JF = 0, \quad RDI = 25 \times 2.9 - 50, \quad HF = 80$$

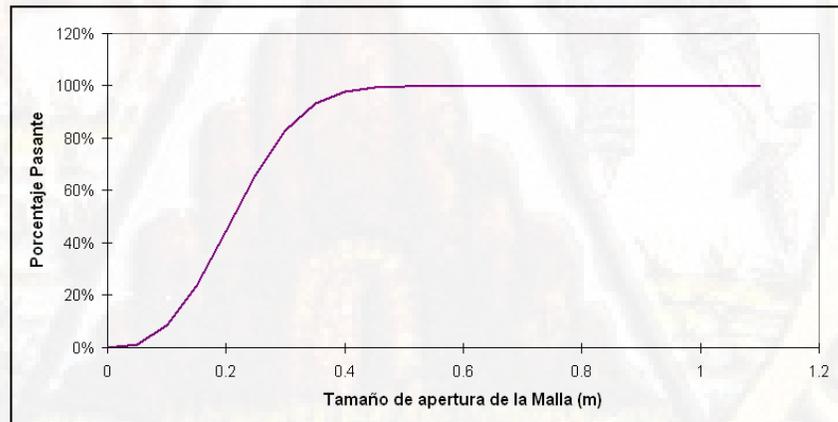
$$FACTOR DE ROCA = 0.06 \times (50 + 2.5 + 80) = 9.1$$

Es importante, conocer la distribución de la fragmentación como también el tamaño medio de la fragmentación. Al respecto se ha encontrado que la fórmula de la Resina-Rammler.

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} \quad (7)$$

Donde  $x$  = el tamaño de la malla,  $x_c$  = el tamaño característico,  $n$  = índice de uniformidad,  $R$  = proporción de material retenido en la malla, nos da una descripción razonable de la fragmentación en la voladura de rocas.

El tamaño característico ( $x_c$ ) es simplemente un factor de escala. Es el tamaño a través del cual el 63.2% de las partículas pasaron. Si conocemos el tamaño característico ( $x_c$ ) y el índice de uniformidad ( $n$ ) entonces una curva típica de fragmentación tal como está graficado en la Figura 15 puede ser trazada.



**Figura. 15. Curva de Fragmentación típica donde se puede observar el porcentaje pasante como función de la abertura de la malla (Gavilan, H. 2009).**

La ecuación (7) puede ser reacomodada para obtener la siguiente expresión para el tamaño característico.

$$X_c = \frac{X}{\left[ \ln \frac{1}{R} \right]^{1/n}} \quad (8)$$

Ya que la fórmula de Kuznetsov permite hallar el tamaño  $\bar{X}$  de la malla por el cual el 50% del material pasa, sustituimos estos valores de:

$$\begin{aligned} X &= \bar{X} \\ R &= 0.5 \end{aligned}$$

En la ecuación (8), encontrando

$$X_c = \frac{\bar{X}}{(0.693)^{1/n}} \quad (9)$$

La expresión para "n" (Índice de uniformidad) desarrollada por Cunningham (1987) a partir de pruebas de campo es:

$$n = \left( 2.2 - 14 \frac{B}{D^*} \right) \left[ \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right]^{0.5} \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left( \frac{L}{H} \right) \quad (10)$$

Donde B = burden (m), S = espaciamento (m), D\* = diámetro del taladro (mm), W = desviación estándar de la precisión de perforación (m), L = longitud total de la carga(m), H = altura del banco (m).

Los valores del burden (B) y el espaciamento utilizados en la ecuación (10) pertenecen al modelo de perforación y no al modelo de sincronización. Cuando hay dos diferentes explosivos en el taladro (carga de fondo y carga de columna) la ecuación (10) se modifican a:

$$n = \left( 2.2 - 14 \frac{B}{D^*} \right) \left[ \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right]^{0.5} \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left[ \frac{\text{abs}(BCL - CCL)}{L} + 0.1 \right]^{0.1} \left( \frac{L}{H} \right) \quad (11)$$

Donde BCL = longitud de carga de fondo (m), CCL = longitud de la carga de columna (m), ABS = valor absoluto. Estas ecuaciones son aplicadas a un patrón de perforación (en línea) cuadrado. Si se emplea un patrón de perforación escalonado, n aumenta en 10%.

El valor de n determina la forma de la curva de Rosin-Rammler. Valores altos indican tamaños uniformes. Por otra parte valores bajos sugieren un amplio rango de tamaños incluyendo fragmentos grandes y finos. El efecto de los diferentes parámetros de voladura en "n" se indica abajo:

**Tabla 4. Índice de uniformidad**

PARÁMETRO	"n" SE INCREMENTA TAL COMO EL PARÁMETRO:
Burden/Diámetro del Taladro	disminuye
Precisión de Perforación	aumenta
Longitud de Carga/Altura del Banco	aumenta
Espaciamento/burden	aumenta

Fuente: (Gavilan, H. 2009).

Normalmente se desea tener la fragmentación uniforme por eso es que altos valores de  $n$  son preferidos. La experiencia de Cunningham (1987) ha sugerido lo siguiente:

1. El rango normal de " $n$ " para la fragmentación de la voladura en un terreno razonablemente competente es de 0.75 a 1.5, siendo el promedio alrededor 1.0. Mas en rocas competentes tiene valores más altos.
2. Valores de ' $n$ ' debajo de 0.75 representan una situación de "finos y de rocas grandes", cuando esto ocurre en una escala amplia en la práctica, indica que las condiciones de la roca no permiten el control de la fragmentación a través de cambios en la voladura. Típicamente esto se origina cuando se descubre una sobrecarga en un terreno alterado.
3. Para valores debajo 1 las variaciones en el índice de la uniformidad ( $n$ ) son más propensas presentar fragmentos grandes y finos. Para valores de  $n = 1.5$  y superiores, la textura del material fragmentado no cambia mucho, y errores en nuestro criterio son menos punitivos.
4. La roca en determinado sitio tiende a fracturarse en una forma particular. Estas formas pueden llamarse aproximadamente "cubos", "laminas" o "fragmentos". El factor de la forma tiene una importante influencia en los resultados de las pruebas de tamizado, pues la malla generalmente usada es cuadrada, y retendrá la mayor parte de los fragmentos que tengan cualquier dimensión mayor que la del tamaño de la malla.

En esta combinación de las ecuaciones de Kuznetsov y de Rosin-Rammler el llamado modelo de la fragmentación del Kuz-Ram, se debe tomar precaución al aplicar este modelo simple. Los puntos siguientes deben ser recordados (Cunningham, 1983):

- La iniciación y la sincronización deben ser ajustados para aumentar razonablemente la fragmentación y evitar fallas de tiro o tiros cortados.

- El explosivo debe producir una energía cercana a la Potencia Relativa por Peso calculada.
- El fracturamiento y la homogeneidad del terreno requieren una evaluación cuidadosa. La fragmentación se realiza a menudo en la estructura de la roca, especialmente cuando la separación del fracturamiento es más pequeña que el modelo de perforación.

### **2.3. Formulación de la hipótesis**

El modelo geometalúrgico permitirá integrar la información geológica y metalúrgica previo a la explotación del Yacimiento Don Marcelo, facilitando que se pueda evaluar el mineral desde la etapa de exploración por su factibilidad de ser procesado económicamente, así mismo comprender la influencia del historial geológico del mineral, sus características mineralógicas y los efectos de estos en la optimización de operación y los procesos de tratamiento.

#### **2.3.1 Hipótesis General**

- El modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo influirá positivamente en la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au, ya que reducirá significativamente el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documentará la variabilidad geológica y mineralógica en el depósito. Esto minimizará el riesgo del proyecto.

#### **2.3.2 Hipótesis Específicas**

- El análisis textural de las rocas mineralizadas influirá de manera favorable en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.

- El estudio geoquímico permitirá la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo.
- El estudio mineralógico facilitará los trabajos de optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.
- El estudio físico-mecánico permitirá la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo.

#### 2.4. Definición de términos

En relación a este punto, tomamos como referencia a las denominaciones, conceptos y términos propuestos en el Diccionario de Geología de Dávila Burga, J. (2005), así como de otros autores.

1. **Análisis físico mecánico:** Relacionado con la mecánica de rocas que es la ciencia que estudia el comportamiento de las rocas, ante los diferentes tipos de esfuerzos. Esta ciencia se apoya esencialmente en los principios de la Mecánica de suelos que es la ciencia predecesora.
2. **Análisis geoquímico:** Es el estudio que se encarga de realizar investigaciones sobre elementos disueltos en las rocas, suelos y aguas. Los estudios geoquímicos permiten establecer el origen de los elementos disueltos y por lo tanto los cuerpos mineralizados.
3. **Análisis mineralógico:** Se apoya en la mineralogía que es la ciencia que estudia la naturaleza y formación de los minerales. La mineralogía se divide en: Mineralogía general que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales; Mineralogía descriptiva que estudia la clasificación y descripción de los minerales; y Mineralogía Especial que trata de una especie mineral en forma exclusiva.

4. **Análisis textural:** Permite realizar el análisis sobre el tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas. Las texturas principales de las rocas ígneas son: fanerítica o granular, afanítica o microgranular, porfirítica y vítrea. Las rocas sedimentarias presentan las siguientes texturas: granoblásticas, porfiroblásticas, cristaloblásticas, masivas, oolíticas, sacaroides, etc.
5. **Beneficio de minerales:** Tratamiento de minerales, seguido para separarlos de la ganga o materiales estériles.
6. **Chancado:** Para la reducción del tamaño del mineral extraído desde la mina se realiza el chancado, el mismo que se lleva a cabo por etapas sucesivas (chancado primario, secundario, terciario, etc.), de manera de ir paulatinamente reduciendo de tamaño las partículas del mineral, hasta lograr el tamaño óptimo para el proceso posterior de tratamiento metalúrgico (molienda o lixiviación).  
***Educación Chile, (2013) Conceptos Básicos de Preparación Mecánica de Minerales.***
7. **Diseño de plantas mieras:** Tiene que ver con el proceso de diseñar propuestas técnico-económicas orientadas al estudio de factibilidad de construcción y puesta en marcha de plantas de procesamiento de minerales desde el concepto hasta la producción considerando el diseño, optimización y control de todos los procesos relacionados. Se pone énfasis en la explicación de la legislación y normatividad vigente tanto en el ámbito internacional como en países representativos de la región. ***Cámara Minera del Perú, (2016) Plantas de procesamiento de minerales diseño y operación.***
8. **Ganga:** Es el conjunto de rocas y/o minerales sin rendimiento económico que contiene minerales de buen valor económico o útiles.
9. **Geometalurgia:** La geometalurgia es la integración de información geológica, minera, metalúrgica, medioambiental y económica para maximizar el valor

actual neto (NPV) de un yacimiento al tiempo que se minimiza el riesgo operativo y técnico. **SGS SA. (2007).**

**10. Mena:** Mineral del cual se puede extraer un elemento o metal en condiciones económicas, ejm. la chalcopirita es mena del cobre, la magnetita es mena del hierro, la galena del plomo, etc.

**11. Minerales refractarios:** Mineral o roca, altamente resistente al calor y la electricidad, infusible, insoluble. Se le utiliza como materiales aislantes de la electricidad y en las paredes de los hornos.

**12. Moliendabilidad:** Relativo a la molienda, que es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración. Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, etc. Además se utiliza en la concentración de minerales ferrosos y no ferrosos, donde se muele la mena previamente extraída de canteras y luego se realiza un proceso de flotación por espumas para hacer flotar los minerales y hundir la ganga y así lograr la separación. En cada uno de estos casos, se procesan en el mundo, alrededor de 2.000 millones de toneladas por año. **Industrias I, (2015). Molienda.**

**13. Modelo Geometalúrgico:** "Un modelo geometalúrgico es una herramienta de evaluación técnico-económica, cuyo valor radica en integrar en un modelo matemático las tres disciplinas básicas del negocio minero: geología, metalurgia y minería. Este modelo matemático permite encontrar de manera objetiva el plan que maximiza la producción en un periodo definido previamente, y que puede ser aplicado tanto a una operación existente como a un nuevo

proyecto”, explica Oscar Alruiz, socio y director de Tecnología de Altair Minería.

**Minería Chilena (2014).**

Se cumple:  $f(x+y) = f(x) + f(y) \longrightarrow MG = Geo + Min + Met$

$f(MG) = f(Geo+Min+Met) = f(Geo) + f(Min) + f(Geo)$

Donde: MG=Modelo Geometalúrgico, Geo=Geología, Min=Minería, Met=Metalurgia

**14. Optimización de plantas mineras:** Tiene que ver directamente con reducir costos y mejorar la calidad del producto por medio de evaluaciones comparativas y simulación de eficiencia del proceso. **SRK, Worldwide (2012).**

**15. Pit óptimo.** Se refiere a la determinación de los contornos superior e inferior o límite superior e inferior de un pit. Se determinan en base a la relación estéril mineral y taludes. **Linda Marcela Castillo Delgado, (2009). Modelos de optimización para la planificación minera a cielo abierto.**

**16. Programa de producción:** La programación de producción en las operaciones mineras es un proceso especializado que se desarrolla en el contexto del diseño de mina con la finalidad de lograr un alineamiento entre las metas de producción acordadas con el mercado y las restricciones geotécnicas, tecnológicas, operacionales y de recurso con las que cuentan los gerentes de operaciones para obtener la mejor mezcla programable para producción de mina. **Max schwarz, (2016). Gestión de Operaciones y Proyectos Mineros.**

**17. Planes de minado:** El Planeamiento de Minado es una actividad orientada al futuro, cuyo propósito fundamental es proyectar la vida de una mina a lo largo del tiempo; no solo en una dirección, si no buscando nuevos caminos y adaptando su existencia a la de los sistemas de los cuales vive. **Avelino Quispe Aguilar, (2013). Plan de Minado Subterráneo Aplicado en la Corporación Minera Ananea S.A.”**

**18. Roca:** Conjunto de minerales consolidados, provenientes de la solidificación del magma, consolidación y diagénesis de los materiales producto de la erosión de las rocas pre-existentes y recristalización de las rocas pre-existentes. Las rocas se clasifican en: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

## 2.5. Identificación de variables

### a. Variable independiente ( V1)

Modelo geometalúrgico del yacimiento.

### b. Variable Dependiente (V2)

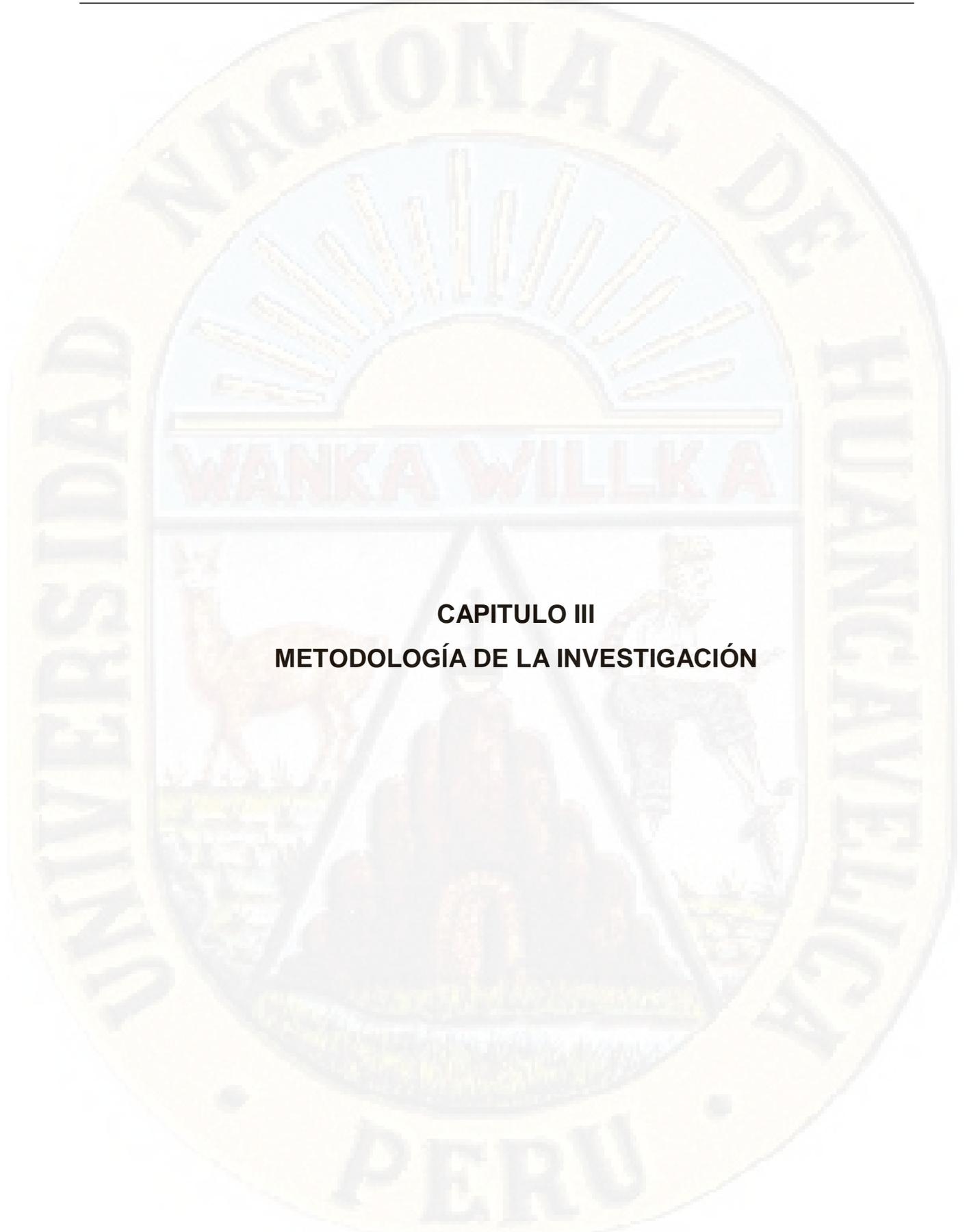
Optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.

## 2.6. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
CONCEPTUAL			
<b>Variable independiente</b>  Modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo  <b>V(1)</b>	Es una herramienta de evaluación técnico-económica, que permite encontrar de manera objetiva el plan que maximiza la producción en un periodo definido previamente, y que puede ser aplicado tanto a una operación existente como a un nuevo proyecto".	1. Análisis textural. 2. Análisis geoquímico. 3. Análisis mineralógico. 4. Análisis mecánico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grano grueso, grano medio y grano fino.</li> <li>• Dispersión de leyes de Au.</li> <li>• Minerales mena, ganga y refractarios.</li> <li>• Roca intacta y roca fracturada.</li> </ul>
<b>Variable dependiente</b>  Optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.  <b>V(2)</b>	Optimizar un proceso industrial significa mejorarlo utilizando o asignando todos los recursos que intervienen en él de la manera más excelente posible.	1. Optimización de los procesos de explotación.  2. Beneficio del Au.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley de corte óptima.</li> <li>• Control de dilución.</li> <li>• Fragmentación de material.</li> <li>• Capacidad de procesamiento de planta.</li> <li>• % de recuperación del Au.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.



**CAPITULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de investigación**

Es una investigación descriptiva-correlacional, porque busca poner en práctica un marco teórico en base a una determinada realidad, y en función a ello predecir algunos fenómenos relacionados con la aplicación de un modelo geometalúrgico dentro de los 3 principales momentos de la minería: la exploración, operación mina y beneficio del Au en yacimiento Don Marcelo.

### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación es descriptiva-explicativa-predictiva; porque pone de manifiesto las características peculiares del objeto de investigación (Influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo), y porque supone, a partir de la identificación de variables causales: “existencia de un modelo geometalúrgico” obtener resultados, que se expresen en hechos verificables sobre la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo. El objetivo de los estudios explicativos es “responder a las causas de los eventos físicos” (Hernández, Fernández & Baptista, 1991, p. 66).

### **3.3. Métodos de investigación**

Para analizar la optimización de los procesos de explotación del oro y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo, se tuvieron en cuenta las siguientes estrategias y/o métodos de investigación:

#### **3.3.1. Método de observación**

El cual es definido como una percepción intencionada que contempla la existencia de un hecho y/o realidad: “Optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento Don Marcelo. Es

intencionada porque se realizó con el objetivo de determinar “La influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo. Este método estuvo presente en todo el proceso investigativo.

### 3.3.2. Método inductivo – deductivo

A partir del modelo geometalúrgico del yacimiento se elaboró un constructo general, tomando como base el conocimiento de otros estudios particulares, los cuales permitieron plantear premisas básicas sobre nuestro objeto de estudio. Seguidamente se articuló el conocimiento general a otro de nivel particular. Se establecieron deducciones que contienen tanto a la geología y a la metalurgia, como a la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.

### 3.3.3. Método Analítico

Trataremos de desmembrar todos los elementos y/o unidades que componen el yacimiento Don Marcelo, para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Con el fin de explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías.

## 3.4. Diseño de investigación

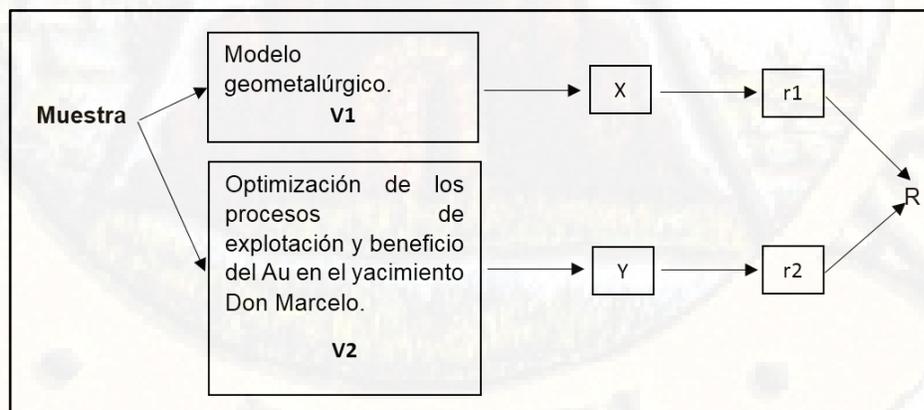


Figura 16. Diseño de la investigación  
Fuente: Elaboración propia

**Donde:**

*M es la muestra*

*(X) (Y) son las medidas de las variables*

*r1, r2 son los resultados*

*R nivel de relación*

### **3.5. Población, Muestra y Muestreo**

#### **3.5.1. Población**

La población o universo de la presente investigación está representada por el yacimiento minero “Don Marcelo” y sus características geometalúrgicas con una extensión de 1100 hectáreas.

#### **3.5.2. Muestra**

Se recolectaron un total de 2900 muestras, 1000 en superficie y 1900 en testigos diamantinos. Con el objetivo de que el muestreo sea lo más representativo se planificado realizar los siguientes tipos de muestreo: aleatorios simples y sistematizados tanto en superficie como para los testigos diamantinos.

#### **3.5.3. Métodos de Muestreo**

Para la toma de muestras utilizamos las siguientes métodos o técnicas:

- Muestras en chispas de roca (rock chips), en afloramientos visibles.
- Muestras en canales, cuando la mineralización está en venillas o vetas.
- Muestras en calicatas, cuando el afloramiento no es visible.
- Muestras en trincheras, para determinar la consistencia de las zonas mineralizadas.
- Muestras de mano para estudios petrográfico y minerográfico.
- Muestreo en testigos, utilizando la técnica del cuarteo para análisis geoquímico y pruebas metalúrgicas de cianuración en botella.

### **3.5.4. Protocolo para control de calidad de muestras**

La toma de muestras se realizó por técnicos especializados en muestreo, bajo la supervisión directa del encargado del estudio y con el debido cumplimiento de los estándares de control y calidad de muestra recolectada QA/QC.

Las muestras para el estudio geoquímico fueron enviadas a laboratorios serios y con la suficiente experiencia que garantice la calidad de los análisis aplicando los controles necesarios QA/QC.

Bajo esta premisa se espera que los errores en el muestreo aleatorio ocurran al mínimo, estos los reconoceremos cuando por ejemplo los datos duplicados difieren entre ellos en cantidades pequeñas e irregulares. Los errores para el muestreo sistemático, posiblemente afecten los valores por igual, por lo tanto serán más difíciles de reconocer, sin embargo es importante detectar si existe un error sistemático en la medida de los valores.

Para verificar esto último, se acostumbra emplear un test para contrastar la media (o la mediana) de los dos conjuntos de datos. Este puede ser por ejemplo una prueba de Student o t-test por ejemplo (paramétrico). Si existiera una diferencia significativa estadísticamente entre la media de ambos grupos de datos, se podría estar ante la presencia de un error sistemático. **(Wellmer, 1998, Cap.11)**

## **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.6.1. Técnicas**

Son las que aplicamos directamente en campo para conocer in situ las características geometalúrgicas del yacimiento dentro de ellas tenemos:

**Mapeo geometalúrgico a escala de detalle en superficie**, para ello seleccionaremos las zonas de interés valiéndonos de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Esto nos permitió reconocer las características litológicas, alteraciones, mineralización y control estructural de las rocas que componen el yacimiento.

**Logueo geometalúrgico de sondajes diamantinos**, esto lo realizamos a través de las hojas de logueo, esta técnica nos permitirá describir y conocer el comportamiento de la litología, los tipos de alteraciones, la mineralización y el control estructural en el subsuelo.

**Muestreo geoquímico de superficie y de taladros, estudios petrográfico y mineragráfico**, esto de acuerdo al detalle ya descrito en lo que corresponde a las características de la muestra y muestreo.

### **3.6.2. Análisis de laboratorio**

Los trabajos de laboratorio, se realizaron en función a todas las muestras recolectadas en campo para análisis geoquímico, metalúrgico y análisis petrográfico a través de láminas delgadas y mineragráfico a través de superficies pulidas. Estos estudios nos permitieron conocer el contenido metálico de las muestras de roca analizadas, los eventos de mineralización y alteración, y la sucesión mineral metálica existente en los cuerpos mineralizados.

### **3.6.3. Elaboración del presente texto**

Con toda la información recolectada en campo, los resultados obtenidos de los laboratorios y la adecuada interpretación, se procedió a elaborar el informe correspondiente que sustente el objetivo principal de esta tesis de investigación.

### **3.6.4. Protocolo para el control de calidad de la información trabajada**

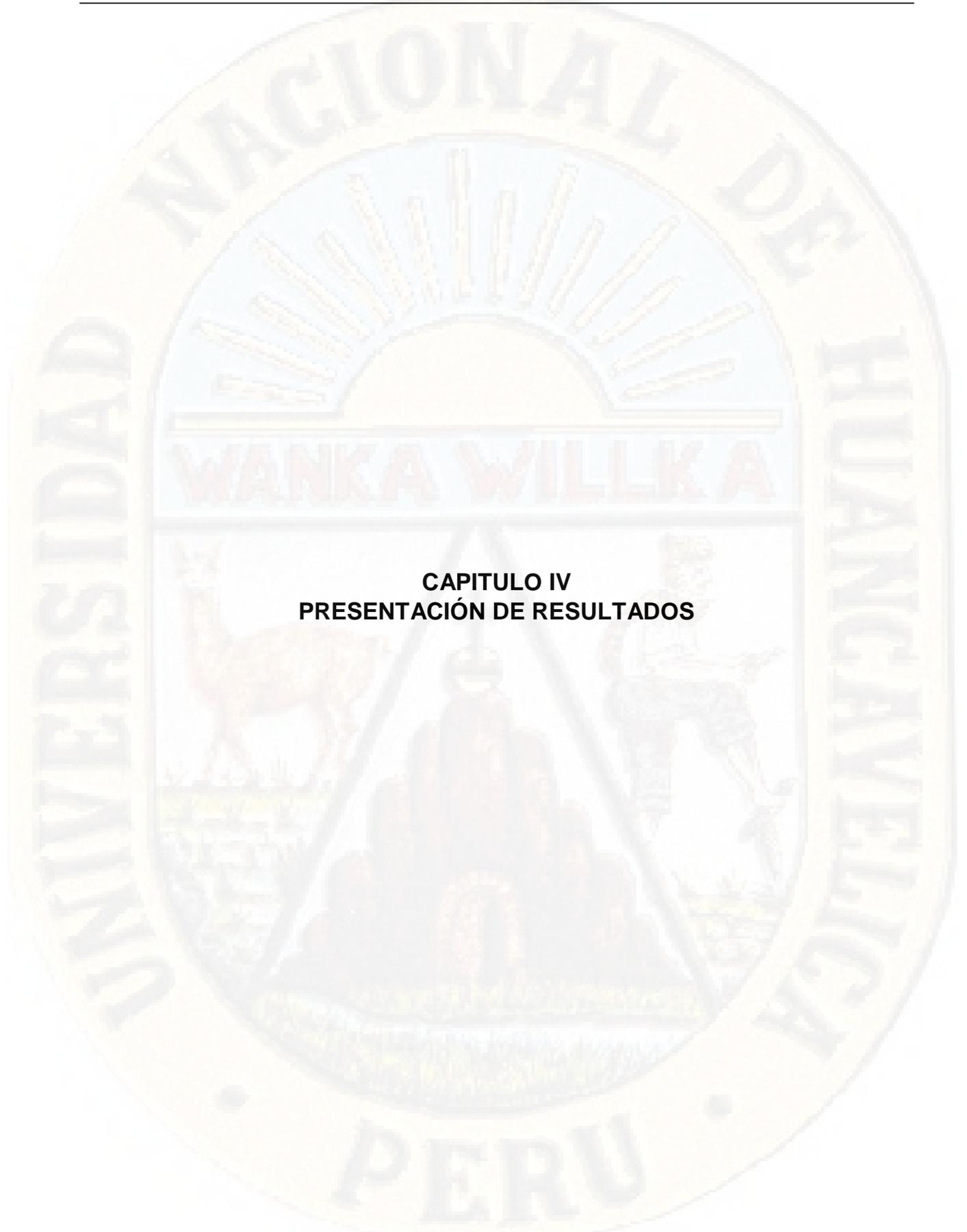
Cabe señalar que en la ejecución de cada una de nuestras actividades se contará con la supervisión respectiva de los representantes de la empresa Blue Dome Exploraciones S.A.C., así mismo la participación destacada de nuestros asesores en geología, metalurgia y en metodología de la investigación científica.

### **3.6.5. Materiales y útiles**

- Gps Etrex Garmín Navegatorio
- Picota de geólogo.
- 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 1/5000, 1/2000.
- Mapa geológico del cuadrángulo de Recuay, Hoja 20i, Escala 1/100000.
- Colores.
- Lápices HB-2H.
- Ácido clorhídrico diluido al 10%.
- Bolsas de muestreo.
- Etiquetas de identificación de muestras.
- Cámara fotográfica digital.
- Porta planos.
- Tablero de dibujo.
- Laptop.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Básicamente como técnica de procesamiento y análisis de los datos geoquímicos hemos utilizado el Coeficiente de Correlación de Pearson, este nos permite conocer la intensidad de la relación existente entre los diferentes ensambles mineralógicos existentes.



**CAPITULO IV  
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### 4.1. Presentación e interpretación de datos.

Para la generación del modelo geometalúrgico hemos tenido en cuenta 4 aspectos importantes, tales como:

- El análisis textural de las rocas mineralizadas.
- El estudio geoquímico en las áreas con potencial.
- El estudio mineralógico de las rocas con evidencias de mineralización.
- El estudio físico-mecánico de las rocas del yacimiento.

##### 4.1.1. Análisis textural de las rocas mineralizadas.

La textura es el conjunto de relaciones espaciales intergranulares y de características morfológicas (tamaño y forma) de los componentes (esencialmente granos y/o agregados minerales) de la roca. Las rocas y minerales que forman parte del yacimiento Don Marcelo presentan diferentes denominaciones texturales y los criterios utilizados varían según el tipo de roca considerada. En base al estudio petrográfico y minerográfico realizado en el INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) hemos podido establecer los siguientes tipos texturales básicos.

##### **Textura porfirítica:**

##### **Roca: Dacita Porfirítica**

##### ***Descripción macroscópica***

Roca de color gris verdoso con tonalidad amarillenta en la que se observa fenocristales de cuarzo, feldspatos y ferromagnesianos alterados parcialmente por cloritas.



**Fotografía 01. MM-01 Dacita porfirítica**

### **Descripción microscópica**

**Plagioclasas**, se presentan como fenocristales de formas euhedrales y subhedrales con tamaños menores de 5.6mm.

**Cuarzo**, fenocristales de formas redondeadas y subredondeadas con tamaños menores de 1.8mm, algunos granos se presentan ligeramente corroídos por la matriz.

**Biotita**, ocurren como fenocristales de formas subhedrales con tamaños menores de 1.4mm.

**Zircón**, de forma euhedral con tamaño de 0.1mm, ocurre incluido en ferromagnesianos.

**Opacos**, ocurren de formas euhedrales a anhedrales con tamaños menores de 0.15mm, mayormente se presenta asociado a los ferromagnesianos.

**Matriz microgranular**, constituida por granos de cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos relleno intersticios los que se encuentran parcial o totalmente alterados por cloritas con diseminaciones de minerales opacos de muy fina granulometría. Se hallan microfracturas rellenas por cloritas acompañados con cuarzo, y minerales opacos atravesando la roca.

**Tabla 6. Presencia de minerales en la dacita porfirítica**

<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>	<b>%</b>
Plagioclasas	64	Biotita I	2	Cloritas	
Cuarzo	20	Opacos	1	Biotita II (Secundaria)	
		Biotita II	1	Carbonatos	
		Carbonatos	<1	Sericita	9.8
		Sericita	0.5	Cuarzo secundario	
		Cuarzo secundario	0.5	Óxidos de hierro	
		Óxidos de fierro	Trazas		
		Zircón	Trazas		

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)



### Roca: Andesita

#### Descripción macroscópica

Se observan fenocristales de plagioclasas de color gris claro en matriz afanítica gris con costras e impregnaciones pardas de óxidos de hierro.



Fotografía 02. MM-04 Andesita porfirítica

#### Descripción microscópica

Roca porfirítica compuesta de fenocristales de plagioclasas y moldes de fenocristales de máficos alterados por cuarzo, carbonatos y cloritas en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, arcillas y minerales opacos finamente diseminados.

**Plagioclasas**, fenocristales con formas euhedrales a subhedrales y tamaños hasta de 1.27 mm se encuentran maclados, zonados, parcialmente orientados y alterados por albita, sericita, arcillas, carbonatos. Presentan microfracturas rellenas por carbonatos y óxidos de fierro así como inclusiones de apatito.

**Minerales opacos**, se encuentran con formas euhedrales a subhedrales con tamaños que varían de 0.005 mm a 0.13 mm, diseminados y en cortas microfracturas. Están alterados por óxidos de hierro.

**Vidrio volcánico**, se presenta constituyendo la matriz junto a plagioclasas y minerales opacos diseminados.

**Cuarzo**, se presenta en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.01 mm alterando moldes de fenocristales, junto a cloritas y carbonatos.

**Carbonatos**, en agregados anhedrales se presentan con cuarzo, cloritas y óxidos de hierro, alterando moldes de fenocristales de máficos. Asimismo alteran a fenocristales de plagioclasas y rellenan cavidades.

**Cloritas**, agregados fibrosos, a veces dispuestos en formas radiales, alteran moldes de fenocristales junto a carbonatos y cuarzo y rellenan cavidades. Están parcialmente teñidos por óxidos de hierro.

**Tabla 7. Presencia de minerales en la andesita**

ESENCIALES	%	ACCESORIOS	%	SECUNDARIOS	%
Plagioclasas	74	Vidrio volcánico	8	Cloritas	
		Cloritas	5	Carbonatos	
		Carbonatos	4	Óxidos de hierro	
		Minerales opacos	3	Arcillas	
		Óxidos de hierro	2	Cuarzo	0.7
		Arcillas	2	Sericita	
		Cuarzo	1	Calcedonia	
		Calcedonia	Trazas		
		Apatito	Trazas		
		Sericita	Trazas		

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)

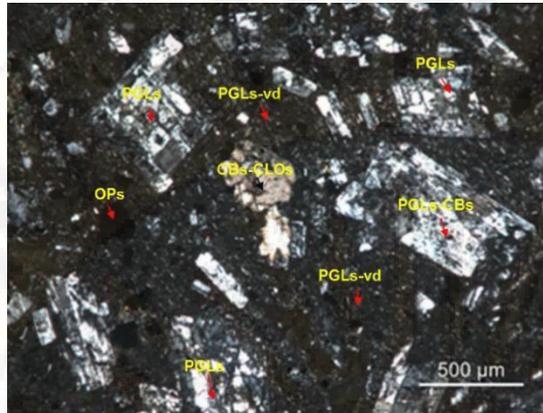


Figura 18. Muestra Nº MM-04 Código de Laboratorio: 28101002 NXs

Fenocristales de plagioclasas (PGLs), algunos alterados por carbonatos (PGLs-CBs) y moldes de fenocristales alterados por carbonatos y cloritas (CBs-CLOs) en matriz de plagioclasas y vidrio volcánico (PGLs-vd). Se observan minerales opacos (OPs) diseminados.

### Roca: Cuarzoandesita

#### **Descripción macroscópica**

Roca porfirítica con fenocristales de plagioclasas y cuarzo de color gris claro con tonalidad ligeramente verdosa en matriz afanítica gris con impregnaciones y costras pardas rojizas de óxidos de hierro.



Fotografía 03. MM-05 Cuarzoandesita

#### **Descripción microscópica**

Ocurren fenocristales de plagioclasas, cuarzo y biotita en matriz de plagioclasas argilizadas, cuarzo primario y epidotas intersticiales. Se observan venillas de cuarzo y de limonitas.

**Plagioclasas**, se encuentran como fenocristales con formas euhedrales a subhedrales, bordes subredondeados a redondeados, maclados, zonados, microfracturados, alterados por albita, sericita, arcillas, epidotas, cloritas, carbonatos y óxidos de hierro, en ciertos casos se encuentran rodeados por óxidos de hierro.

**Cuarzo**, presenta tres generaciones.

*Cuarzo I*, como fenocristales con formas subredondeadas a redondeadas, tamaños hasta de 2.40 mm, bordes corroídos o de resorción y microfracturas rellenas por epidotas, minerales opacos y óxidos de hierro.

*Cuarzo II*, en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.04 mm se alteran escasos moldes de fenocristales.

*Cuarzo III*, ocurre en agregados anhedrales con granulometría promedio de 0.10 mm relleno fina venilla.

**Biotita**, fenocristales corroídos con tamaños hasta de 0.90 mm se hallan con minerales opacos y óxidos de hierro en clivaje. Se encuentran también como inclusiones en plagioclasas. Están ligeramente alterados por óxidos de hierro.

**Piroxenos**, se presentan como fenocristales con tamaños hasta de 0.25 mm y en pequeños cristales en intersticios de la matriz. Están alterados por cloritas y epidotas.

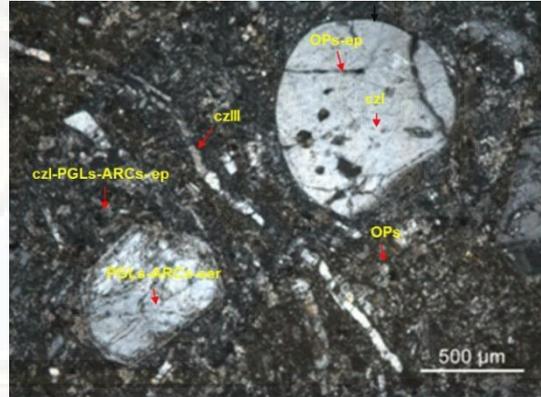
**Minerales opacos**, fenocristales con formas euhedrales, subhedrales y anhedrales se encuentran diseminados, en clivaje de biotita, en microfracturas de plagioclasas y cuarzo así como relleno fracturas. Los tamaños varían de 0.005 mm a 0.12 mm. Están ligeramente alterados por óxidos de hierro.

**Arcillas**, agregados micro a criptocristalinos alteran a plagioclasas tanto en fenocristales como en la matriz.

**Epidotas**, se hallan en agregados alterando cristales de piroxenos, moldes de cristales y relleno microfracturas de plagioclasas y cuarzo. Asimismo se encuentran en intersticios de la matriz.

**Apatito**, se observa microfenocristal de 0.50 mm y como pequeños cristales incluidos en plagioclasas.

**Zircón**, cristal euhedral de 0.10 mm se encuentra como inclusión en la matriz.



**Figura 19. Muestra N° MM-05** Código de Laboratorio: 28101003 **NXs**

Fenocristales de plagioclasas alteradas por arcillas y sericita (PGLs- ARCs-ser), de cuarzo (czl) con microfracturas rellenas por minerales opacos y epidotas (OPs-ep) en matriz de cuarzo, plagioclasas con epidotas intersticiales (PGLs-czl-ARCs-ep) y minerales opacos (OPs) diseminados. Se observa fina venilla de cuarzo (czlII).

**Tabla 8. Presencia de minerales en la cuarzoandesita**

ESENCIALES	%	ACCESORIOS	%	SECUNDARIOS	%
Plagioclasas	76	Arcillas	5	Arcillas	
Cuarzo I	10	Biotita	3	Cuarzo III	
		Minerales opacos	2	Epidotas	
		Piroxenos	2	Óxidos de hierro	
		Cuarzo III	1	Cloritas	0.3
		Epidotas	Trazas	Carbonatos	
		Óxidos de hierro	Trazas	Cuarzo II	
		Cloritas	Trazas	Sericita	
		Carbonatos	Trazas		
		Cuarzo II	Trazas		
		Sericita	Trazas		
		Apatito	Trazas		
		Zircón	Trazas		

**Fuente: Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)**

## **Textura Brechosa:**

### **Roca alterada a cuarzo-turmalina-arcillas**

#### ***Descripción macroscópica***

Roca de aspecto brechoide debido al intenso fracturamiento de color blanco grisáceo a negro, parcialmente afanítica, constituida en su mayoría por cuarzo, turmalina, también se observa poros y cavidades rellenas por turmalina, óxidos de hierro, en parte con impregnación de limonitas.



**Fotografía 05. MM-06 Roca alterada a cuarzo-turmalina-arcillas**

#### ***Descripción microscópica***

Roca en parte de aspecto brechoide, posiblemente debido al intenso fracturamiento.

**Cuarzo I**, de origen primario, con ligera extinción ondulante, de formas subredondeadas, de tamaños menores de 0.8mm.

**Cuarzo II**, de origen secundario, otros moldes de cristales se encuentran alterados por arcillas criptocristalinas y/o turmalina.

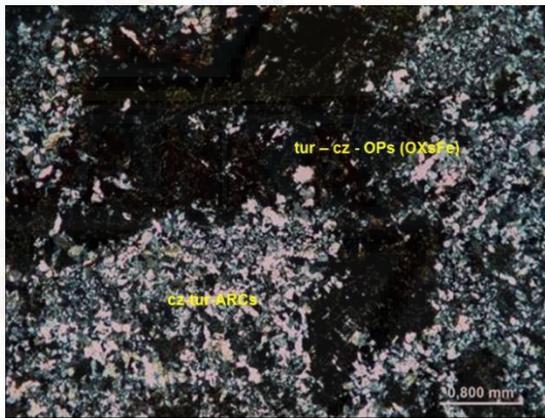
**Fragmentos líticos**, de formas subangulosas con tamaños hasta de algunos mm de diámetro son de origen volcánico, con textura relíctica y se encuentran intensamente alterados por cuarzo-turmalina, la alteración es intensa. Los fragmentos presentan espacios vacíos, así como cavidades rellenas por turmalina.

**Los opacos**, de formas subhedrales con tamaños menores de 0.5mm, ocurren diseminados en los fragmentos, o a veces acompañan a la turmalina en fracturas, los minerales opacos se presentan parcialmente alterados por los óxidos de hierro.

**Tabla 9. Presencia de minerales en roca de cuarzo-turmalina-arcillas**

ESENCIALES	%	ACCESORIOS	%	SECUNDARIOS	%
Cuarzo II		Sericita	7	Cuarzo II, III	
Cuarzo III	60	Opacos	<2	Turmalina	
Turmalina	20	Óxidos de fierro	1	Óxidos de fierro.	0.2
Arcillas	10	Cuarzo I	traza		

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)



**Figura 20. Muestra N° MM-06 Código de Laboratorio 28101004 NXs**

Se observa agregados de granos de cuarzo (cz) con turmalina (tur) y agregado cripto-cristalino de arcillas (ARCs) relleno de intersticios. Asimismo se observa agregados de granos de turmalina-cuarzo y escasos granos de minerales opacos (OPs) ligeramente alterados por los óxidos de fierro (OXsFe) como material cementante.

**Textura Obliterada:**

**Roca volcánica intensamente silicificada**

**Descripción macroscópica**

Roca de color blanco lechoso con impregnaciones rojizas y pardo claro, parcialmente afanítica, se observa escasos moldes de cristales ahora alterados por las arcillas, presenta abundantes porosidades (vuggy silica), algunas rellenas por óxidos de fierro.



**Fotografía 06. MM-06 Roca intensamente silicificada Posible roca volcánica**

### **Descripción microscópica**

Roca volcánica intensamente alterada por cuarzo. La roca presenta cavidades en cuyas paredes están rellenas por cuarzo bipiramidal acompañados con los óxidos de hierro. La roca presenta numerosas porosidades.

**Cuarzo**, que sustituye la paragénesis de la roca original se presenta en mosaicos de cuarzo mayormente esferulíticos, con tamaños hasta de 0.4mm, asimismo se observa agregados de granos de cuarzo de menor granulometría de 0.1mm. en intersticios. Por zonas los granos de cuarzo se hallan recristalizados.

**Calcedonia**, en forma de agregados relleno intersticios, también está presente en las paredes de las cavidades.

**Sericita**, se localiza en forma de agregados relleno intersticios, por zonas se presenta con impregnación de óxidos de hierro.

**Baritina**, de forma subhedral con tamaños menores de 0.3mm, se presenta relleno intersticios o entre los granos de cuarzo.

**Óxidos de hierro**, mayormente de formas coliformes (goetita) se halla relleno cavidades, algunas veces se hallan en intersticios o como impregnación en la sericita.

**Tabla 10. Presencia de minerales en roca volcánica intensamente silicificada**

<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>	<b>%</b>
Plagioclasas	76	Arcillas	5	Arcillas	
Cuarzo I	10	Biotita	3	Cuarzo III	
		Minerales opacos	2	Epidotas	0.9
		Piroxenos	2	Óxidos de hierro	
		Cuarzo III	1	Cloritas	
		Zircón	Trazas		

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)

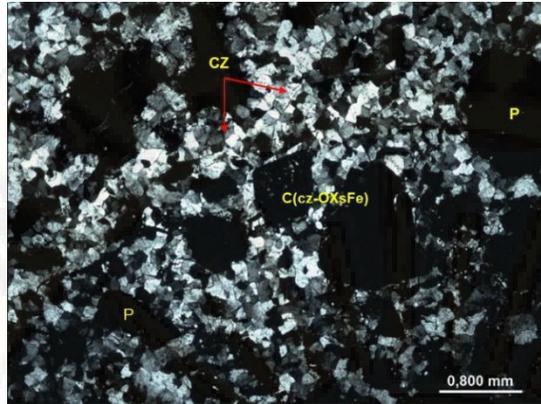


Figura 21. Muestra Nº MM-07 Código de Laboratorio 28101005 NXs

Roca intensamente silicificada (cz), en la que se observa un molde de cristal subhe-dral (C) parcialmente alterado por cuarzo-óxidos de fierro (cz-OXsFe). La roca pre numerosas porosidades. (P).

### Textura relíctica:

**Roca:** Brecha intensamente alterada a cuarzo-sericita y arcillas.

### *Descripción macroscópica*

Fragmentos de color gris en matriz de color gris claro alterada por cuarzo y sericita con costras e impregnaciones pardas rojizas de óxidos de hierro. Presenta porosidades submilimétricas rellenas por óxidos de hierro y vena de cuarzo.



Fotografía 07. MM-08 Brecha intensamente alterada a cuarzo-sericita y arcillas

### *Descripción microscópica*

Se observan moldes de fragmentos alterados por arcillas, moldes de cristales alterados por cuarzo, sericita, arcillas y óxidos de hierro así como escasos cristales de cuarzo primario en matriz intensamente alterada por cuarzo con sericita intersticial. Venas rellenas por agregados anhedrales de cuarzo atraviesan la muestra.

**Fragmentos Líticos**, se presentan moldes de fragmentos líticos alterados por arcillas. Presentan venillas de limonitas.

**Cuarzo I**, se presentan escasos cristales de cuarzo primario con formas angulosas a subangulosas, bordes ligeramente corroídos y tamaños hasta de 0.76 mm.

**Cuarzo II**, en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.15 mm se hallan con sericita y óxidos de fierro intersticiales, alterando moldes de cristales.

**Cuarzo III**, agregados anhedrales alteran, junto a sericita, la matriz de la roca.

**Cuarzo IV**, ocurre en agregados anhedrales con granulometría promedio de 0.26 mm relleno de venas.

**Minerales opacos**, con formas euhedrales a subhedrales y tamaños que varían de 0.01 mm a 0.35 mm se presentan diseminados, en intersticios y en cortas venillas. Están alterados por óxidos de fierro.

**Sericita**, se encuentra en agregados anhedrales alterando moldes de cristales y en intersticios de la matriz. Se hallan teñidos por óxidos de fierro.

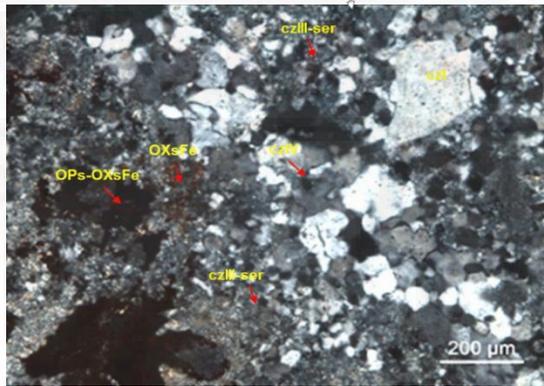
**Turmalina**, se observan agregados aciculares dispuestos en formas radiales en molde de fragmento alterado por arcillas. El tamaño promedio es de 0.10 mm.

**Óxidos de fierro**, alteran moldes de cristales y a minerales opacos, observándose pseudomorfos de los mismos. Asimismo rellenan intersticios y venas.

**Tabla 11. Presencia de minerales en brecha alterada a cuarzo-sericita-arcillas**

ESENCIALES	%	ACCESORIOS	%	SECUNDARIOS	%
Cuarzo III	45	Óxidos de hierro	7	Cuarzo III	
Sericita	30	Cuarzo IV	5	Sericita	
		Arcillas	5	Óxidos de hierro	
		Cuarzo II	4	Cuarzo IV	6.8
		Minerales opacos	2	Cuarzo II	
		Cuarzo I	Trazas	Arcillas	
		Turmalina	Trazas	Turmalina	

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)



**Figura 22. Muestra N° MM-08** Código de Laboratorio: 28101006 NXs

Cristal de cuarzo primario (czI) en matriz alterada por cuarzo y sericita intersticial (czIII-ser) observándose minerales opacos diseminados y en intersticios, están alterados por óxidos de hierro (OPs-OXsFe). Así también se encuentran óxidos de hierro (OXsFe) en intersticios. Ocurre vena rellena por agregados de cuarzo (czIV).

## Roca: Brecha intensamente silicificada

### Descripción macroscópica

Se observan moldes de fragmentos de color gris con tonalidades parduzcas alterados por cuarzo y óxidos de hierro en matriz de color gris intensamente silicificada. Se presentan numerosas porosidades submilimétricas a milimétricas y costras pardas rojizas de óxidos de



**Fotografía 08. MM-12 Brecha intensamente silicificada**

### **Descripción microscópica**

Ocurren moldes de fragmentos intensamente silicificados observándose escasos cristales de cuarzo primario en matriz intensamente alterada por cuarzo con óxidos de fierro intersticiales.

**Fragmentos líticos**, moldes de fragmentos líticos con textura porfirítica en los que se observan fenocristales de cuarzo primario y escasos moldes de fenocristales alterados por cuarzo en matriz intensamente silicificada.

**Cuarzo I**, ocurren escasos cristales de cuarzo primario con formas subredondeadas a redondeadas y tamaños hasta de 0.45 mm, como relictos de roca original. Presentan bordes corroídos e inclusiones de apatito.

**Cuarzo II**, en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.12 mm se encuentran alterando moldes de cristales, en ciertos casos con sericita intersticial.

**Cuarzo III**, agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.03 mm se presentan alterando intensamente a la matriz de la roca.

**Cuarzo IV**, se hallan en agregados anhedrales relleno de venas entrecruzadas que son cortadas por venas de óxidos de fierro. El tamaño promedio es de 0.17 mm.

**Minerales opacos**, con formas euhedrales a subhedrales y tamaños menores de 0.16 mm se hallan diseminados y en finas venillas. Están alterados por óxidos de fierro.

**Sericita**, agregados anhedrales se encuentran alterando moldes de cristales y en intersticios de la matriz. Están parcialmente impregnados por óxidos de fierro.

**Óxidos de hierro**, se hallan alterando a minerales opacos, rellenando intersticios y venas que cortan a venas de cuarzo. Tiñen parcialmente a sericita.

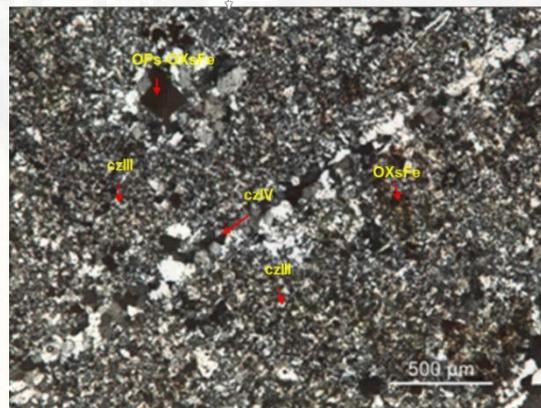
**Baritina**, se encuentra en agregados subhedrales con tamaño promedio de 0.20 mm rellenando intersticios de molde de cristal silicificado (cz II) y de venas de cuarzo (cz IV).

**Rutilo**, agregados anhedrales se encuentran en moldes de cristales alterados por óxidos de hierro y en intersticios.

**Tabla 12. Presencia de minerales en brecha intensamente silicificada**

ESENCIALES	%	ACCESORIOS	%	SECUNDARIOS	%
Cuarzo III	80	Cuarzo IV	7	Cuarzo III	
		Cuarzo II	4	Cuarzo IV	
		Óxidos de hierro	3	Cuarzo II	
		Sericita	3	Óxidos de hierro	
		Minerales opacos	2	Sericita	0.7
		Cuarzo I	Trazas		
		Rutilo	Trazas		
		Baritina	Trazas		

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio petrográfico)



**Figura 23. Muestra MM-12, código de laboratorio: 28101008 NXs**

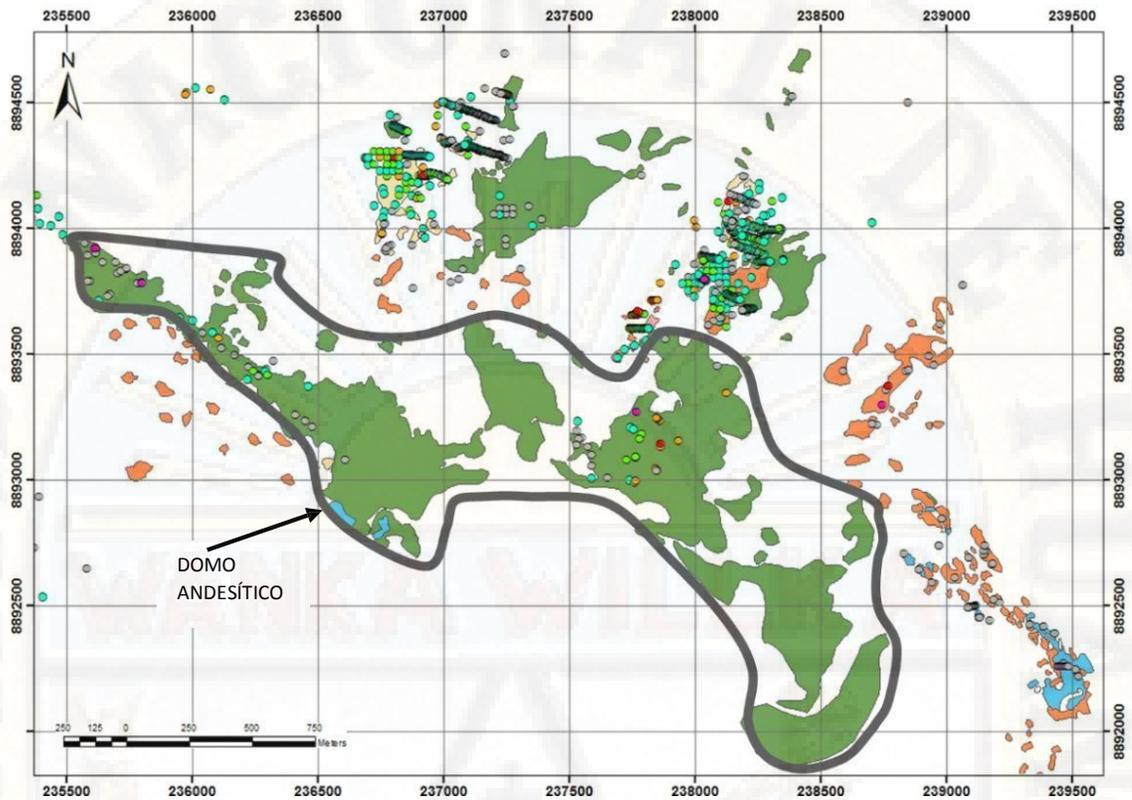
Se observa molde de cristal alterado por agregados de cuarzo (czII) y vena rellena por agregados de cuarzo (czIV) con escasos óxidos de hierro (OXsFe) intersticiales en matriz intensamente alterada por cuarzo (czIII) y localmente impregnada por óxidos de hierro. Ocurren minerales opacos alterados por óxidos de hierro (OPs-OXsFe).

#### **4.1.2. Estudio Geoquímico**

Para el estudio geoquímico hemos analizado 1426 muestras de superficie, las mismas que han sido tomadas en diferentes sectores de las concesiones que abarca el proyecto, y 4139 muestras de testigos diamantinos resultado de 36 sondajes diamantinos. La recolección de las muestras se llevó a cabo teniendo en cuenta los métodos de muestreo ya mencionados (muestreo en chispas de roca, canales, calicatas, trincheras y el muestreo de testigos) y bajo estricto procedimiento de control de calidad QA/QC previsto en los protocolos internos de muestreo de Blue Dome Exploraciones S.A.C. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios de la empresa especializada ALS Chemex, y se mandaron analizar por Au-AA23, ME-MS41. *(Ver tablas de la geoquímica de los principales elementos en la sección de anexos)*

##### **Geoquímica de superficie**

Durante las primeras etapas del muestreo se recolectaron muestras con evidencias de mineralización y alteración, esto nos permitió identificar la presencia del mineral económico dentro de las concesiones que conforman el proyecto.

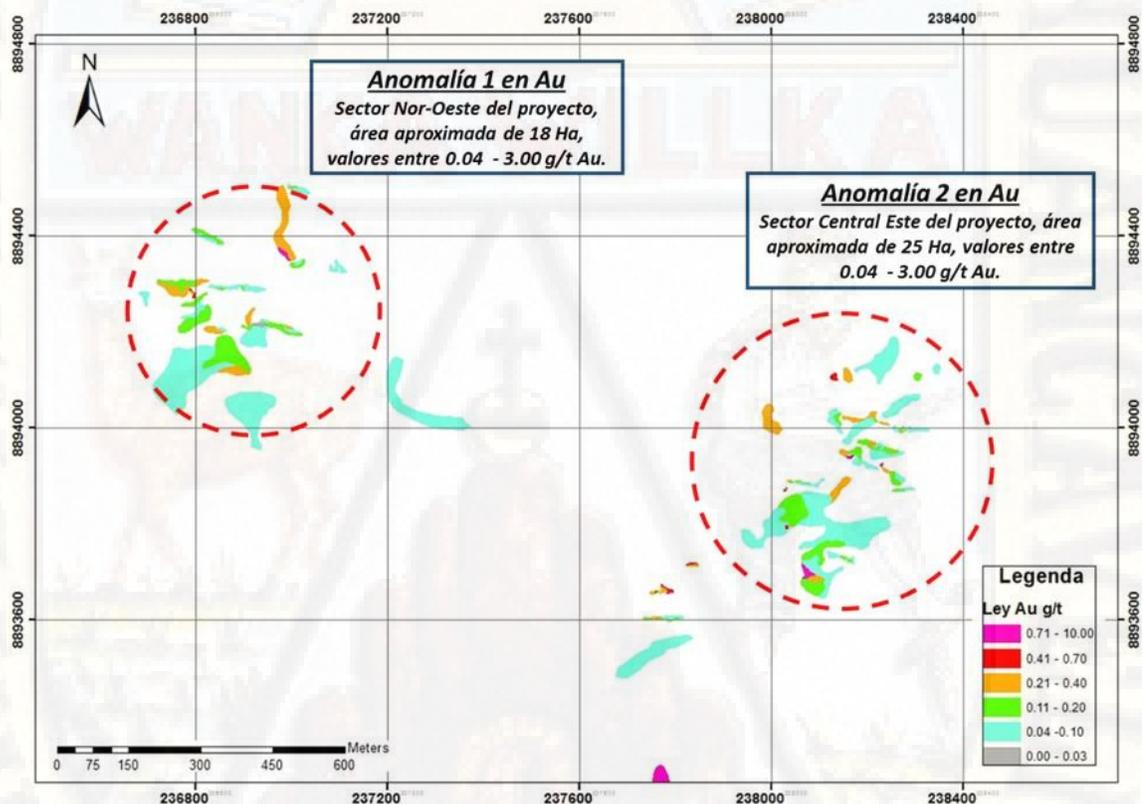


**Figura 24. Detalle del muestreo realizado en el proyecto, en colores verde, naranja, y rojo los valores económicos, cómo se observa generalmente la buena respuesta geoquímica se encuentra en el borde del domo andesítico. Plano a escala y mayor detalle en el acápite de anexos. Fuente: Elaboración propia.**

En un inicio todo hacía suponer de que nuestro depósito mineralizado se trataba de un típico modelo Dome Margen (Borde de Domo) ya que los más altos valores coincidían con el borde del gran domo andesítico que se elonga con una dirección Nor-Oeste en la zona, ahora tenemos la seguridad de que solo es una gran coincidencia y que el domo no tiene ningún aporte para la mineralización, y que todo tiene que ver con las buena porosidad y permeabilidad (primaria y secundaria) de los tufos dacíticos y andesíticos que cubren la zona y que están en contacto con el domo. El área con buena respuesta geoquímica en Au(oro) coincide con alteraciones hidrotermales tales como: argilización, sílice masiva, sílice granular, sílice gris, todas

estas alteraciones en las rocas fueron reconocidas mediante el análisis macroscópico de cada una de las muestras recolectadas.

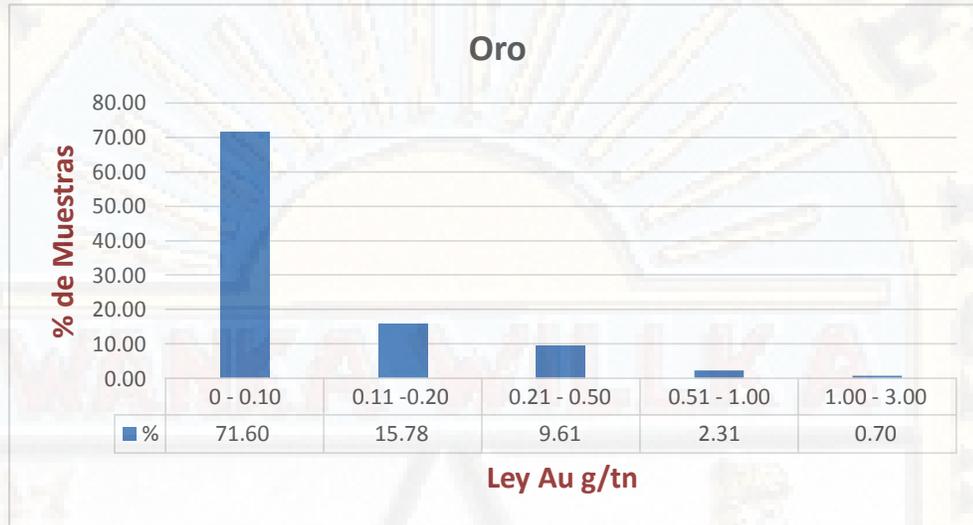
Gracias al estudio geoquímico de superficie en el proyecto Don Marcelo se identificaron más de dos zonas con anomalías geoquímicas, en la figura 5 podemos observar el detalle de las dos principales, **Anomalía 1 en Au** ubicada al Nor-Oeste y **Anomalía 2 en Au** ubicada de la parte central hacia el este del proyecto.



**Figura 25. Anomalías geoquímicas identificadas en el proyecto Don Marcelo.**  
Plano a escala y mayor detalle en el acápite de anexos.  
Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de nuestro estudio solo presentaremos el detalle del estudio geoquímico en la anomalía 1 de Au. Ésta tiene una extensión superficial aproximada de 18 Ha con tendencia a crecer. Los reportes de la geoquímica indican valores en Au en un intervalo de 0.04 – 3.00 g/t de Au,

predominando los valores anómalos bajos de 0.04 a 0.10 g/t de Au (color celeste) y los valores entre 0.11 – 0.20 g/t Au (color verde), mucho más restringidos los valores entre 0.21 – 3.00 g/t Au (colores naranja, rojo y magenta).



**Figura 26. Detalle estadístico del muestreo realizado. Del total de las muestras en superficie El 71.60% está entre los valores 0.00-0.10 g/tn Au, el 15.78% está entre los valores de 0.11 – 0.20 g/t Au, el 9.61% está entre 0.21 – 0.50 g/tn Au, mientras que solo un 0.70% de las muestras está entre 1.00-3.00 g/tn Au.**

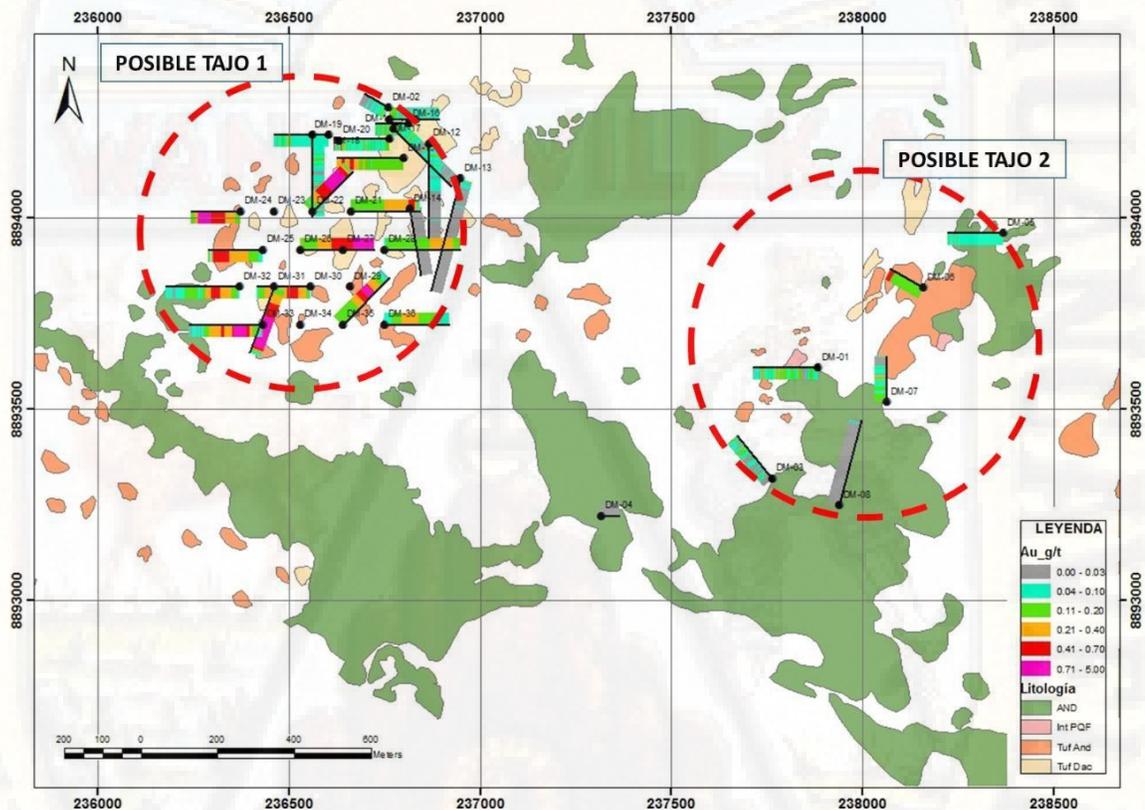
**Fuente: Elaboración propia.**

La respuesta geoquímica no solo fue en oro (Au), sino también en otros elementos que sirvieron de guía para continuar con la exploración tales como el mercurio (Hg) y el arsénico (As). Gracias a estos elementos se determinó que el sistema mineralizado estaba casi completo al albergar aun a los elementos volátiles tales como el Hg y As. En las siguientes figuras veamos el estadístico geoquímico para estos elementos.

### **Geoquímica de sondajes diamantinos**

En lo que se refiere a la geoquímica de sondajes diamantinos, en el proyecto Don Marcelo se ejecutaron varias campañas de perforación, para

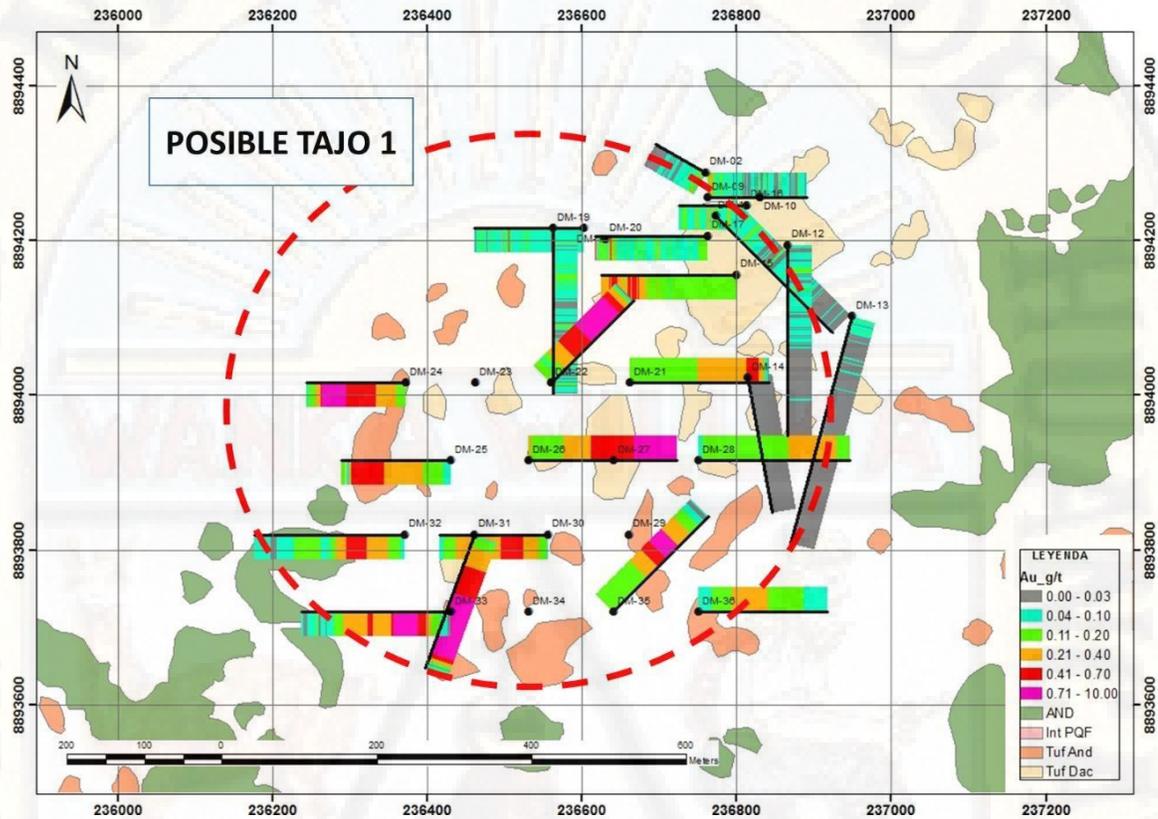
efectos de nuestro estudio analizaremos información de la última campaña de la misma que tenemos información de 36 taladros, los mismos que fueron ejecutados en áreas de anomalía geoquímica en correlación con las anomalías geofísicas y lógicamente contemplando las evidencias de los taladros ejecutados en campañas anteriores. Se identificaron 2 principales anomalías geoquímicas con los trabajos de la geoquímica de superficie. La anomalía 1 ubicada en el sector Nor-Oeste (Posible Tajo 1), y la anomalía 2 ubicada en la parte central de la zona (posible Tajo 2).



**Figura 27. Campaña de perforación en áreas con anomalías geoquímicas que se corresponden con los tufos andesíticos y dacíticos. Posibles tajos 1 y 2 en la futura explotación del depósito.**  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 podemos observar la anomalía geoquímica 1 ubicada en el sector Nor-Oeste de la concesión, así mismo el comportamiento de la geoquímica en sondajes diamantinos. La zona mineralizada en superficie tiene una extensión aproximada de 36 ha. Los sondajes tienen una

profundidad promedio de 300 m, en color naranja, rojo y magenta tenemos los niveles mineralizados a profundidad.



**Figura 28. Detalle de la campaña de perforación diamantina en el área del tajo 1.**  
*Fuente: Elaboración propia*

Con la información de los sondajes en la zona de anomalía 1 (posible tajo 1) se llegó a compositar los niveles mineralizados, posteriormente se generaron secciones de dirección E-O que contemplen toda la zona con potencial, seguidamente se ha modelado el cuerpo mineralizado en oro (Au) en cada una de las secciones. Las secciones están separadas cada 100 metros y se las construyo utilizando el software Target que es una extensión del Argis. Observemos algunas secciones más representativas.

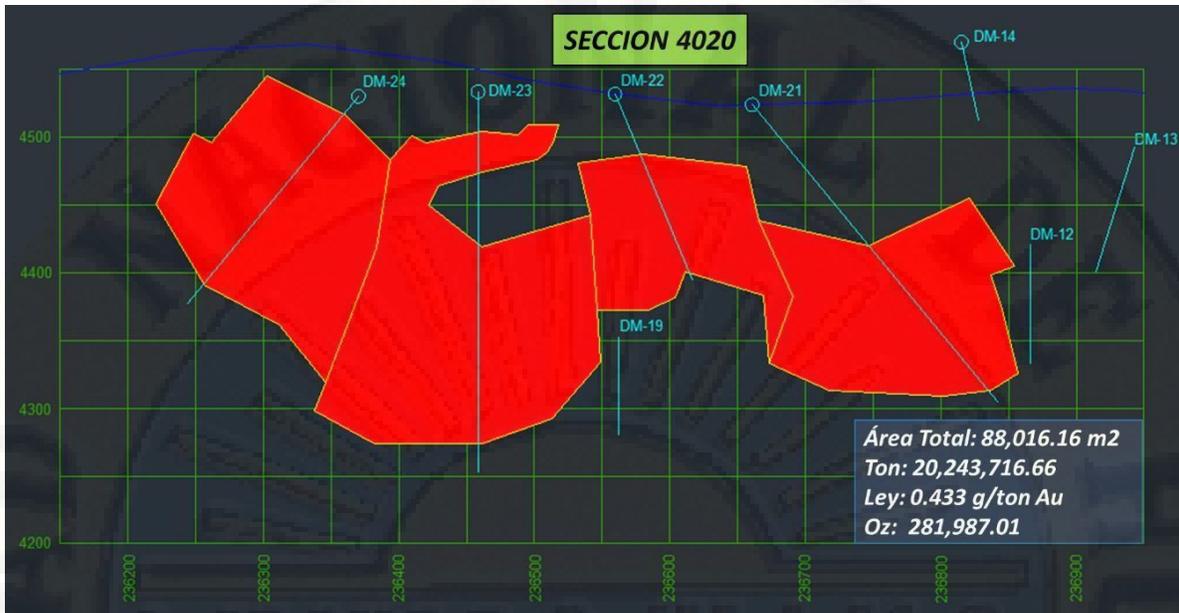


Figura 29. Sección 4020, de dirección Este-Oeste, límites del cuerpo de oro interpretado con la información de los sondajes diamantinos ejecutados.  
Fuente: Elaboración propia

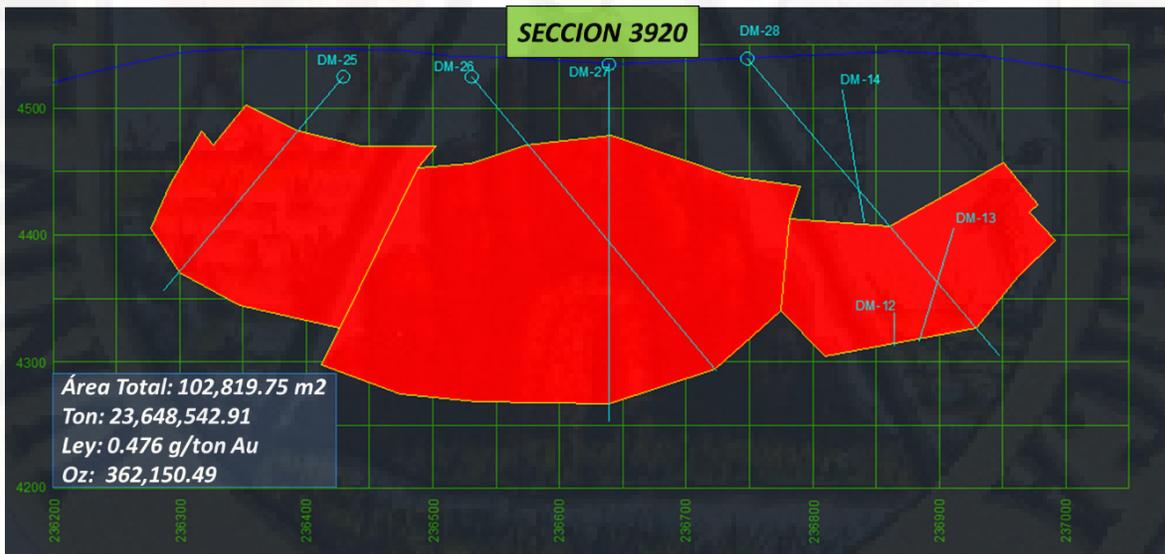


Figura 30. Sección 3920, de dirección Este-Oeste, límites del cuerpo de oro interpretado con la información de los sondajes diamantinos ejecutados.  
Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Sección 3820, de dirección Este-Oeste, límites del cuerpo de oro interpretado con la información de los sondajes diamantinos ejecutados.  
Fuente: Elaboración propia

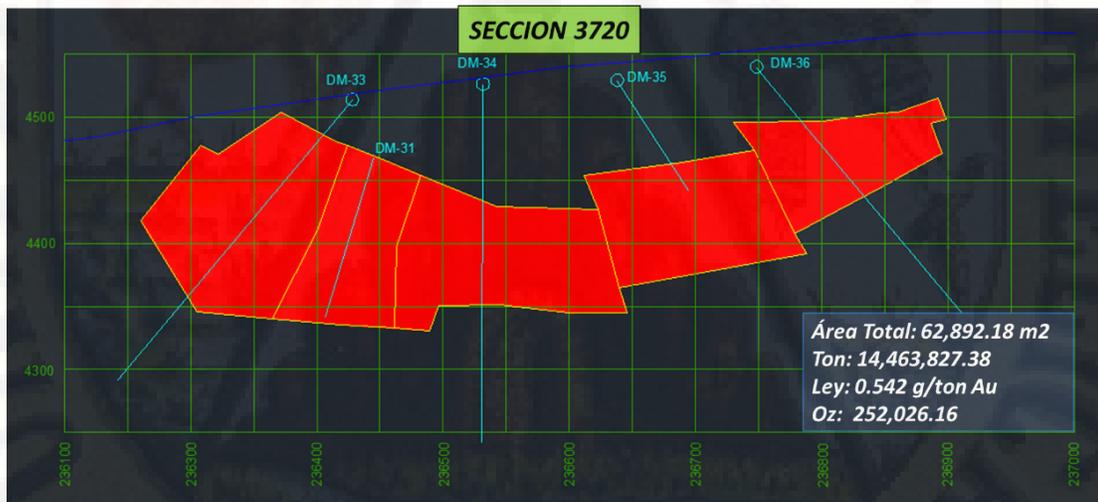


Figura 32. Sección 3720, de dirección Este-Oeste, límites del cuerpo de oro interpretado con la información de los sondajes diamantinos ejecutados.  
Fuente: Elaboración propia

Dadas la geometría y características del depósito, el pit se ha diseñado usando la técnica de “Cono Flotante” (Lerchs - Grossman). Se ha modelado el cuerpo mineral en el software MineSight, a través del cual se ha determinado los siguientes parámetros de diseño:

- Ángulo de cara de banco: 65°.
- Altura de banco de 15 m.
- Ancho de bermas o banquetas de 8.5 m
- Ancho de rampa: 36 m.
- Pendiente de rampas: de 8%.
- Los parámetros adicionales de diseño para cada uno de los tajos son presentados a continuación:
- Banco más alto: 3550 m.s.n.m.
- Banco más bajo: 2770 m.s.n.m.

#### **4.1.3. Estudio Mineralógico**

La caracterización mineral ha sido evaluada gracias a los análisis petrográficos y minerográficos realizados en el INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico), se aplicó el método de difracción de rayos X cualitativo. Estos estudios han sido llevados a cabo en 12 muestras tomadas de este yacimiento. Los resultados están en el Anexo B junto con las fotografías relevantes para cada caso.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos a través de los métodos microscópicos. En las tablas MINERALOGÍA= MIN, TEXTURA= TEX, APROXIMADO= APROX, ALTERACIONES= ALT, SECUENCIA DE FORMACIÓN= SEC FOR.

## Roca alterada a cuarzo-turmalina-arcillas (Muestra MM-06)

### Descripción macroscópica

Roca aparentemente de aspecto brechoide debido al intenso fracturamiento de color blanco grisáceo a negro, parcialmente afanítica, constituida en su mayoría por cuarzo, turmalina, también se observa poros y cavidades rellenas por turmalina, óxidos de hierro, en parte con impregnación de limonitas.

### Descripción microscópica

**Pirita:** Se presentan como escasos granos de formas ebrales de tamaños menores de 0.02mm, se hallan incluidos en la ganga y como relictos en goethita-limonitas.

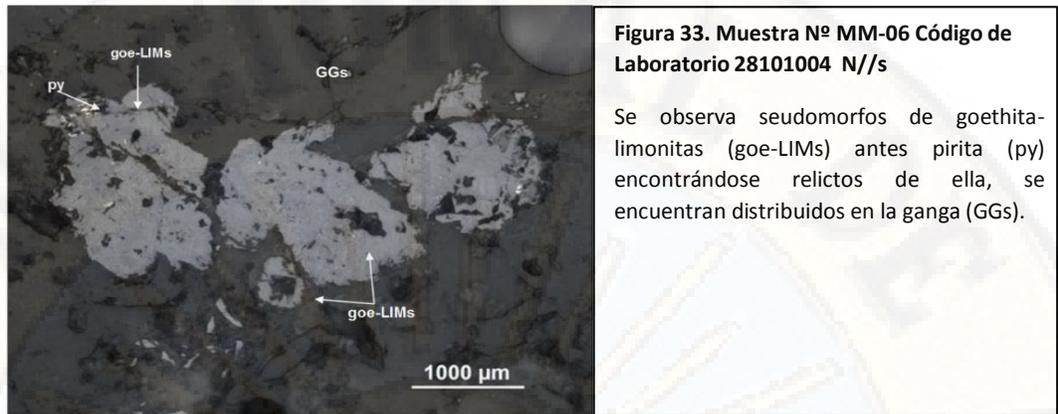
**Magnetita:** de forma anhídra con tamaños menores de 0.035mm.

**Goethita-limonitas:** se presentan como pseudomorfos, antes pirita, quedando relictos de ella., por sectores se presenta como impregnación y en venillas cortas de la ganga. La ganga corresponde a la parte no metálica.

Tabla 13. Mineralogía en muestra MM-06

MIN	% APROX	TEX	ALT	SEC FOR
Pirita	Trazas	De desplazamiento por alteración, y de relleno	Oxidación (Goethita-Limonitas) muy débil	1. Magnetita 2. Pirita 3. Goethita-limonitas.
Goethita-limonitas	< 1			
Magnetita	Trazas			
Ganga	99			

Fuente: Elaboración propia (Información tomada del estudio minerográfico)



### Roca volcánica silicificada (Muestra MM-07)

#### Descripción macroscópica

Roca de color gris parduzca con costras e impregnaciones pardas rojizas de óxidos de hierro. Se observan numerosas cavidades submilimétricas a milimétricas, lagunas rellenas por óxidos de hierro.

#### Descripción microscópica

**Pirita:** Escasos cristales subhedrales se hallan diseminados en la ganga y como relictos en limonitas. El tamaño promedio es de 0.02 mm.

**Especularita:** Se observan cristales con formas aciculares y tamaño promedio de 0.03 mm dispersos en la ganga.

**Magnetita:** Escasos cristales con formas subhedrales y tamaño promedio de 0.05 mm se hallan en la ganga.

**Electrum:** Se observan dos granos con tamaños menores de 0.01 mm como inclusiones en la ganga.

**Hematita:** Se encuentra alterando moldes de cristales, en bordes de porosidades y rellenando fracturas de la ganga.

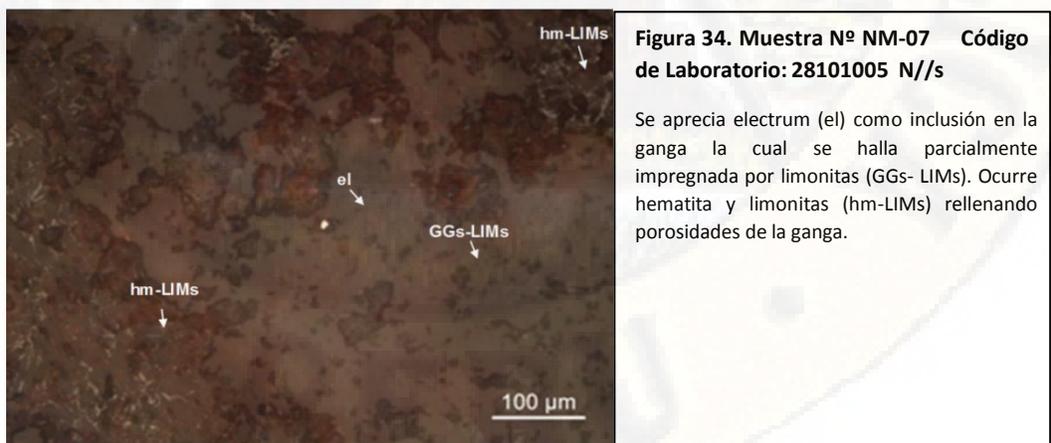
**Limonitas:** Se presentan en intersticios, porosidades y fracturas de la ganga. Asimismo se hallan alterando moldes de cristales, en algunos casos siguiendo direcciones cristalográficas. Impregnan parcialmente a la ganga.

**Goethita:** Ocurren agregados en bordes de porosidades de la ganga, junto a limonitas.

Tabla 14. Mineralogía en muestra MM-07

MIN	% APROX	TEX	ALT	SEC FOR
Pirita	Trazas			
Especularita	Trazas			
Magnetita	Trazas			1. Especularita
Pirita	Trazas	De relleno, reemplazamiento, diseminado (incipiente)	Moldes de cristales alterados por hematita y limonitas	2. Magnetita
Electrum	1			3. Pirita
Goethita	1			4. Electrum
Hematita	7			5. Hematita
Limonitas	90			6. Limonitas-Goethita
Ganga	Trazas			

Fuente: Elaboración propia (Información tomada del estudio minerográfico)



## Brecha intensamente alterada a cuarzo – sericita y arcillas (MM-08)

### Descripción macroscópica

Roca de color blanco grisáceo con impregnaciones pardas amarillentas alterada mayormente por cuarzo, y arcillas, presenta algunas oquedades rellenas por limonitas, arcillas y escasos espacios vacíos. Asimismo se observa venillas de limonitas perpendiculares a venillas de cuarzo.

### Descripción microscópica

**Pirita:** se presenta como granos de formas anhedrales con tamaños menores de 0.015 micrones, ocurre diseminado en la ganga, se observa granos relictos de pirita han sido alterados por las limonitas.

**Limonitas:** Se observa pseudomorfos de formas euhedrales y subhedrales. Es el óxido de hierro con mayor proporción

**Goetita:** De forma coliformes posiblemente han alterado a la pirita, así también se presenta como impregnación o relleno porosidades y cavidades de la ganga.

La ganga corresponde a la parte no metálica.

**Tabla 15. Mineralogía en muestra MM-08**

MIN	% APROX	TEX	ALT	SEC FOR
Pirita	0.2	Escasamente diseminado y de reemplazamiento por alteración.	Oxidación (goetita-limonitas) moderada.	1. Pirita 2. Goethit-limonitas.
Goetita-limonitas	15			
Ganga	84.8			

**Fuente:** Elaboración propia (Información tomada del estudio minerográfico)

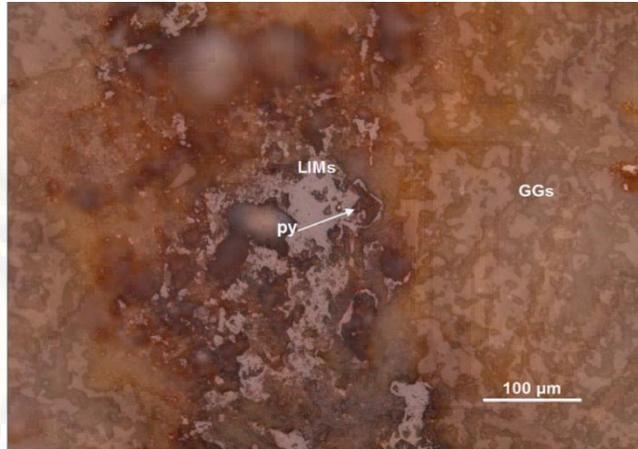


Figura 35. Muestra N° MM-08 Código de Laboratorio 28101004 N//s

Limonitas (LIMs) relleno de cavidades y con impregnación en la ganga (GGs), con inclusión de pirita (py).

### Roca silicificada cortada por venillas de sílice gris (Muestra MM-11)

#### Descripción macroscópica

Roca constituida por fragmentos de color gris claro con impregnaciones y costras pardas rojizas y amarillentas de óxidos de hierro, observándose venas de cuarzo y de óxidos de hierro así como porosidades y cavidades submilimétricas a centimétricas, algunas rellenas por óxidos de hierro.



Fotografía 09. MM-11 Roca volcánica intensamente silicificada

#### Descripción microscópica

**Pirita:** Escasos cristales euhedrales a subhedrales con tamaños menores de 0.02 mm se hallan dispersos en la ganga y como inclusión en esfalerita.

**Calcopirita:** Ocurren pequeños cristales disseminados en la ganga y como inclusión en bornita la cual la reemplaza por sus bordes. Presenta inclusión de pirrotita.

**Bornita:** Se encuentra con forma subredondeada y tamaño de 0.02 mm en la ganga. Presenta inclusión de calcopirita. Es reemplazada por digenita.

**Esfalerita:** Cristal subhedral de 0.007 mm se presenta reemplazada por calcopirita. Presenta inclusión de pirita.

**Digenita:** Se encuentra alterando por sus bordes a bornita.

**Hematita:** Alteran moldes de cristales y rellenan intersticios de la ganga.

**Limonitas:** Se presentan alterando escasos moldes de cristales, relleno de porosidades e intersticios así también impregnando localmente a la ganga.

Tabla 16. Mineralogía en muestra MM-11

MIN	% APROX	TEX	ALT	SEC FOR
Pirita	Trazas			
Pirrotita	Trazas			1. Pirita
Esfalerita	Trazas			2. Pirrotita
Calcopirita	Trazas	De relleno, reemplazamiento y	Moldes de cristales alterados por hematita y limonitas.	3. Esfalerita
Bornita	Trazas	diseminado o		4. Calcopirita
Digenita	Trazas	(incipiente)		5. Bornita
Limonitas	6			6. Digenita
Ganga	93			7. Limonitas

Fuente: Elaboración propia (Información tomada del estudio minerográfico)

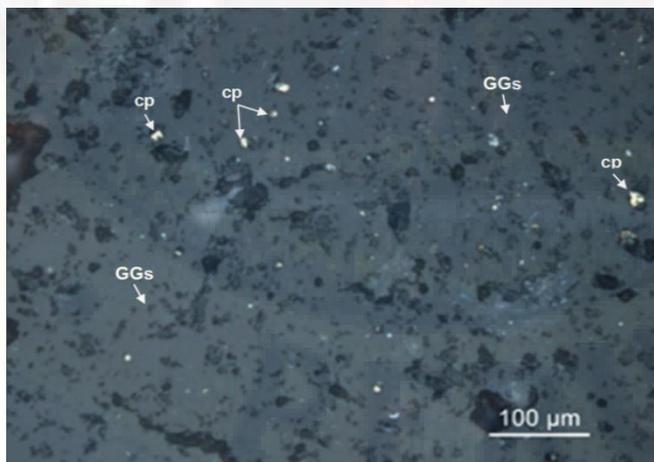


Figura 36. Muestra N° MM-11 Código de Laboratorio: 28101007 N//s

Se observan pequeños cristales de calcopirita (cp) incipientemente diseminados en la ganga (GGs).

## Brecha intensamente silicificada (Muestra MM-12)

### Descripción macroscópica

Roca de color blanco grisáceo con impregnación amarillenta, en parte rojizas por presencia de limonitas y goetita los que también rellenan porosidades, se ha observado escasos granos de calcopirita.

### Descripción microscópica

**Pirita:** se presentan granos de formas anhedrales con tamaños que varían de 0.003 a 0.02mm, ocurren diseminados en la ganga, asimismo ocurre como inclusión en las limonitas-goetita.

**Goetita-limonitas:** se ha observado pseudomorfos de goetita-limonitas posiblemente ha alterado a la pirita., asimismo se observa a la goetita-limonita relleno microfracturas y cavidades de la ganga.

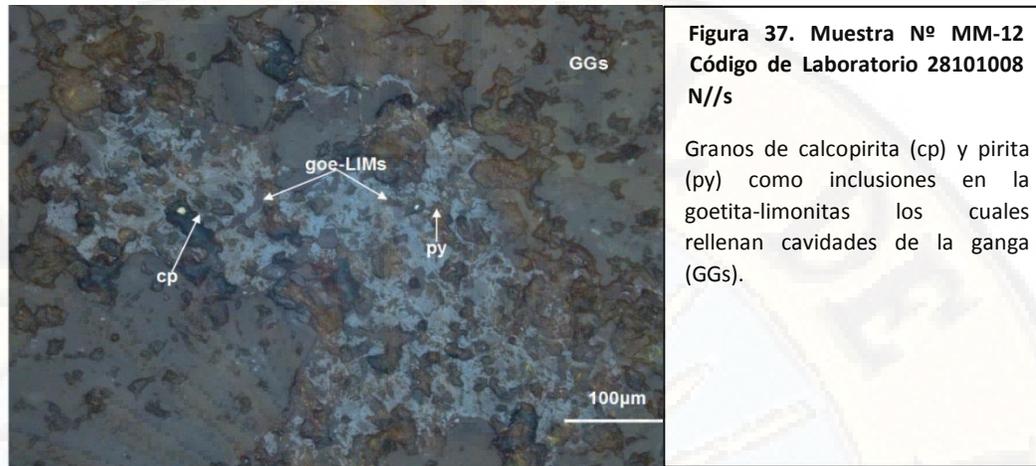
**Magnetita:** ocurre como cristales de formas anhedrales con tamaños menores de 0.05 mm incluidos en la ganga.

**Calcopirita:** se observan escasos granos de forma anhídrica con tamaño menor de 0.05mm, ocurre como inclusión en la ganga y en goethita-limonitas los cuales rellenan cavidades. La ganga corresponde a la parte no metálica.

Tabla 17. Mineralogía en muestra MM-12

MIN	% APROX	TEX	ALT	SEC FOR
Pirita	0.3	Diseminado, parcialmente de reemplazamiento y de relleno	Oxidación (goetita-limonita) moderada	1. Magnetita
Goetita-limonitas	12			2. Pirita
Ganga	87.7			3. Calcopirita
Magnetita	traza			4. Goetita-limonitas
Calcopirita	traza			

Fuente: Elaboración propia (Información tomada del estudio minerográfico)



**Calcopirita:** se observan escasos granos de forma anhídrica con tamaño menor de 0.05mm, ocurre como inclusión en la ganga y en goethita-limonitas los cuales rellenan cavidades. La ganga corresponde a la parte no metálica.

#### 4.1.4. Estudio físico-mecánico para la predicción de la fragmentación

En minería la estimación de la curva granulométrica de los fragmentos de la voladura es importante para estimar el diseño, ejecución y optimización de la misma. Para el caso del depósito mineralizado Don Marcelo hemos creído por conveniente la aplicación del Modelo de Kuz-Ram, el mismo que es aplicable para diferentes escenarios de voladura.

Explicaremos el modelo aplicado a detalle. Los tipos de rocas sometidos a los diferentes análisis han sido las lavas andesíticas, y los tufos andesíticos y dacíticos. Para ello partimos de la siguiente información:

**D** = diámetro del taladro = 50, 75, 115, 165, 200, 250 y 310mm

**S/B** = relación espaciamento-burden = 1.30

**J** = Taco = 20 x diámetro del taladro (m)

**W** = desviación del taladro = 0.45 m

**A** = constante de roca = 9.59

**P** = densidad del ANFO = 900 Kg/m<sup>3</sup>

**H** = Altura de banco = 10 m

**USC** = Resistencia a la compresión uniaxial = 240 MP

**Y** = Modulo de Young (GPa) = 37 GPa

Para el caso del proyecto, los diseños para cada uno de los 7 diferentes diámetros de taladros deben ser determinados bajo la restricción de que la fragmentación media para cada uno debe ser constante en  $\bar{X} = 30$  cm. Este es el mismo tipo de problema que se tiene cuando el mineral debe pasar a través de una trituradora pequeña. La distribución de la fragmentación y el tamaño máximo de bancos también deben ser calculados.

**Paso 1:** La cantidad de explosivo  $Q_e$  que debe contener cada taladro, sobre el nivel del pie del banco, se calcula:

$$Q_e = \frac{\pi D^2}{4} L \rho \quad (12)$$

Donde  $D$  = diámetro del taladro (m),  $L$  = longitud de carga sobre el pie del banco (m) =  $H - 20D$ ,  $H$  = altura de banco.

Los valores de  $L$  y  $Q_e$ , son mostrados en la Tabla 21 para los diversos diámetros del taladro. Debe notarse que el efecto de cualquier subperforación no ha sido incluido.

**Entonces:**

Para:

$H = 10$  m

**Para el diámetro de 50 mm.**

$$L = H - 20 D; L = 9m$$

$$Q_e = \frac{\pi D^2}{4} L \rho$$

$$Q_e = \frac{3.1416 (50 \text{ mm})^2 9 \text{ m} (900 \text{ Kg/m}^3)}{4}$$

$$Q_e = \frac{3.1416 (0.0025 \text{ m}^2) (8100 \text{ K/m}^2)}{4}$$

$$Q_e = 15.90 \text{ kg}$$

Para los siguientes diámetros: 75, 115, 165, 200, 250 y 310mm, se sigue el mismo procedimiento.

**Paso 2:** El Factor Triturante (K) requerida para obtener el tamaño medio de la fragmentación  $\bar{X} = 30 \text{ cm}$ . Para ello previamente calculamos A (Factor de roca). Cunningham (1983) indica que en su experiencia el límite más bajo para A incluso en tipos de roca muy débiles es A=8 y el límite superior es A = 12.

$$A = 0.06 \times (\text{RMD} + \text{JF} + \text{RDI} + \text{HF}) \quad (13)$$

**Se tiene los siguientes valores:**

RMD = Descripción de la masa rocosa = Las lavas andesíticas y los tufos son generalmente **MASIVOS** = 50

JPS = Espaciamiento de las fracturas verticales = Entre MS a DP = 50

JPA = Angulo del plano de las fracturas = buzamiento hacia dentro de cara = 40

$$JF = JPS + JPA = 50 + 40 = 90$$

$$RD = \text{Densidad promedio de las rocas} = 2.3 \text{ T/m}^3$$

$$RDI = 25 \times RD - 50 = 25 \times 2.3 - 50 = 57.5 - 50 = 7.5$$

$$Y = \text{El módulo de Young para la andesita} = 37 \text{ GP}$$

$$HF = Y/3 = 37/3 = 12.33$$

**Reemplazando datos:**

$$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF)$$

$$A = 0.06 \times (50 + 90 + 7.5 + 12.33)$$

$$A = 9.59$$

Ahora calculamos K:

$$K = \left[ \frac{A}{\bar{X}} Q_e^{1/6} \left( \frac{115}{S_{ANFO}} \right)^{19/30} \right]^{1.25} \quad (14)$$

$$A = 9.59$$

$$\bar{X} = 30 \text{ cm.}$$

$$Q_e = 15.90 \text{ Kg}$$

$$S_{ANFO} = 100$$

Reemplazando en la fórmula para el diámetro de 50 mm.

$$K = [ (0.317) (1.60) (1.09) ]^{1.25}$$

$$K = 0.48 \text{ Kg/m}^3$$

Se sigue el mismo procedimiento para los demás diámetros.

Los valores resultantes son mostrados en la Tabla 18.

**Tabla 18. Valores calculados para, L, Qe y K como una función del diámetro del taladro para el caso del depósito Dom Marcelo.**

D (mm)	L (m)	Qe (Kg/taladro)	K (Kg/m <sup>3</sup> )
50	9.00	15.90	0.48
75	8.5	33.80	0.57
115	7.7	70.11	0.66
165	6.7	127.87	0.75
200	6.0	169.65	0.80
250	5.0	220.89	0.87
310	3.8	258.13	0.90

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 3:** Utilizamos los valores conocidos de K y Qe para determinar el volumen de la roca ( $V_0$ ) que puede romperse.

$$V_0 = \frac{Q_e}{K} \quad (15)$$

Volumen para 50 mm

$$V_0 = 15.90 \text{ Kg} / 0.48 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_0 = 33.13 \text{ m}^3$$

Se sigue el mismo procedimiento para los demás diámetros.

Ya que la altura de banco ( $H = 10 \text{ m}$ ) y la relación de espaciamento-burden es mantenido constante ( $S/B = 1.30$ ), los valores de B y S se hallan usando la Ecuaciones (15) y (16).

$$B \times S = \frac{V_0}{H} \quad (16)$$

$$B = \left( \frac{B \times S}{1.30} \right)^{1/2} \quad (17)$$

Los valores son mostrados en la Tabla 22.

**Tabla 19. Valores calculados de Vo, B y S en función del diámetro del taladro**

D (mm)	Vo (m3)	B x S (m2)	B (m)	S (m)
50	33.13	3.31	1.59	2.07
75	59.30	5.93	2.14	2.78
115	106.23	10.62	2.86	3.72
165	170.50	17.05	3.62	4.71
200	212.06	21.21	4.04	5.25
250	253.90	25.39	4.42	5.75
310	286.81	28.68	4.70	6.11

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 4:** Los valores de n (Índice de uniformidad) son calculados usando la Ecuación (10)

$$n = \left( 2.2 - 14 \frac{B}{D^*} \right) \left[ \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right]^{0.5} \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left( \frac{L}{H} \right) \quad (18)$$

Donde D' = diámetro de la perforación en milímetros.

W = desviación del taladro = 0.45 m.

Reemplazando valores para el diámetro de 50 mm tenemos:

$$n = (2.2 - 14 \times \frac{1.59m}{50}) \left[ \frac{1 + 1.30}{2} \right]^{0.5} (1 - \frac{0.45m}{1.59m}) \left( \frac{9.00m}{10m} \right)$$

$$n = (2.2 - 0.45) (1.07) (0.72) (0.9)$$

$$n = (1.75) (1.07) (0.72) (0.9)$$

$$n = 1.21$$

Se sigue el mismo procedimiento para los demás diámetros. Los resultados son mostrados en la Tabla 20.

Tabla 20, Valores calculados para n y Xc

D (mm)	n	Xc (cm)
50	1.21	41.09
75	1.24	40.50
115	1.19	41.09
165	1.07	42.25
200	0.96	44.12
250	0.81	47.62
310	0.62	54.55

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 5:** El tamaño característico (Xc) se determina aplicando la Ecuación (8)

$$X_c = \frac{\bar{X}}{\left[ \ln \frac{1}{R} \right]^{1/n}} \quad (19)$$

Para el caso especial cuando:

$$\bar{X}_c = X = 30 \text{ cm}$$

$$R = 0.5$$

Así

$$X_c = \frac{30}{(\ln 2)^{1/n}} \quad (20)$$

Los valores resueltos, para Xc, son mostrados en la Tabla 21.

**Paso 6:** Utilizamos la siguiente ecuación:

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad (21)$$

Para calcular valores de R (la fracción retenida) para diferentes tamaños (Xc). En estos casos los tamaños seleccionados son 5 cm, 30 cm, 50 cm y 100 cm. Usando los valores de n y de Xc para un diámetro de taladro = 200 mm encontramos lo siguiente.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{40.5}\right)^{1.217}} \quad (22)$$

Sustituyendo los valores deseados de X.

**Tabla 21, Valores calculados para X y R**

X (cm)	R
5	0.88
30	0.50
50	0.32
100	0.11

**Fuente:** Elaboración propia.

Que quiere decir que 11% (R = 0.11) del material sería retenido en una malla con una abertura de 100 cm. Tal como esperar que el 50% (R = 0.50) del material sea retenido en una malla con 30cm de abertura. Los valores, para los otros diámetros de taladro se dan en la Tabla 22.

**Tabla 22. Porcentaje (expresado como una relación) retenido como una función del diámetro del taladro y el tamaño de la malla**

DIÁMETRO DEL TALADRO (MM.)	PORCENTAJE RETENIDO (R)			
	X = 5 CM.	X = 30 CM.	X = 50 CM.	X = 100 CM.
50	1.081	0.500	0.281	0.053
75	0.928	0.500	0.273	0.046
115	0.921	0.500	0.283	0.056
165	0.903	0.500	0.302	0.081
200	0.880	0.500	0.320	0.110
250	0.851	0.500	0.353	0.161
310	0.797	0.500	0.388	0.233

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 7:** Utilizamos la Ecuación (23) para calcular el máximo tamaño de los bancos producidos (MTB).

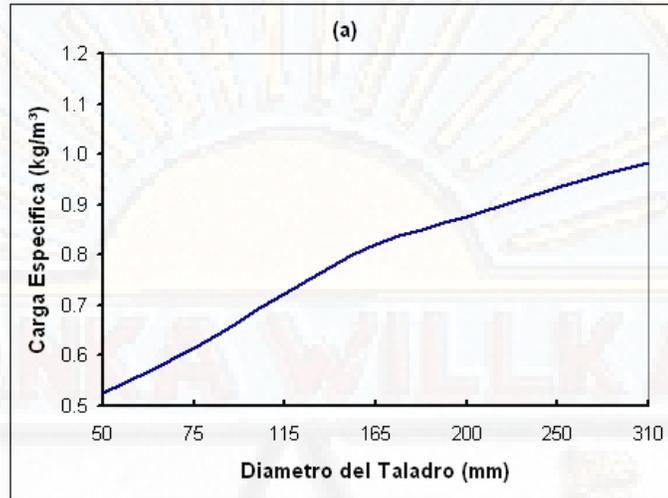
$$X = X_c \left( \ln \frac{1}{R} \right)^{1/n} \quad (23)$$

Esto se define como el tamaño de la malla por el cual el 98% (el tamaño medio + 2 desviaciones estándar) del material pasaría. El Tamaño máximo de los fragmentos para los diversos diámetros de taladro, que corresponde a  $R = 0.02$  son mostrados en la Tabla 26. Los resultados son trazados en el la Figura 39. Se puede ver que cuando el diámetro del taladro aumenta,

- La carga específica requerida aumenta muy abruptamente.
- El tamaño máximo de los fragmentos aumenta drásticamente cuando el diámetro del taladro es mayor de 115mm. Esto es debido a resultados contradictorios de la relativa precisión de perforación y la igualdad de

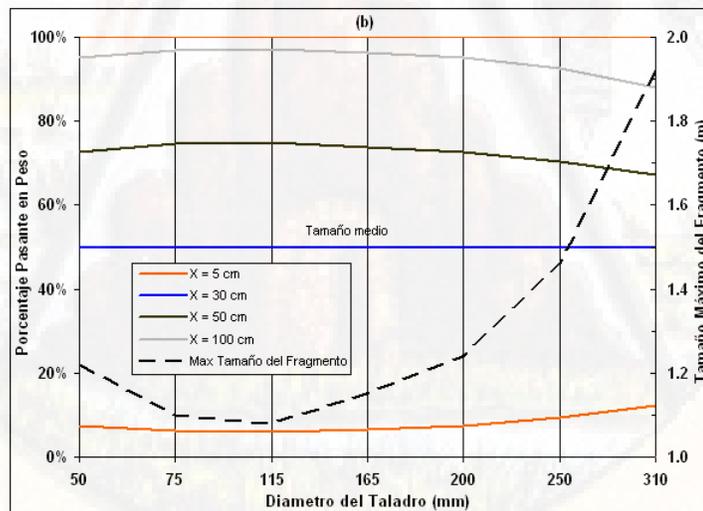
distribución de los explosivos. Lo anterior mejora y lo posterior empeora con el aumento del diámetro del taladro.

- c. Aunque la fragmentación media es constante, la proporción de ambos finos y gruesos aumenta.



**Figura 38. (a) Carga Específica, Porcentaje Pasante en Peso y Tamaño máximo de los fragmentos como función del Diámetro del Taladro**

**Fuente: Tomado del Modelo de Kuz-Ram**



**Figura 38. (b) Carga Específica, Porcentaje Pasante en Peso y Tamaño máximo de los fragmentos como función del Diámetro del Taladro**

**Fuente: Tomado del Modelo de Kuz-Ram**

**Tabla 23. Tamaño Máximo de los fragmentos (cm) como función del diámetro del taladro**

D (mm)	TAMAÑO MÁXIMO DE LOS FRAGMENTOS (cm)
50	122
75	110
115	108
165	115
200	124
250	145
310	193

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.2. Discusión de resultados.

### 4.2.1. Influencia del análisis textural de las rocas mineralizadas en la optimización de la recuperación del oro.

El estudio petrográfico realizado en los laboratorios del INGEMMET confirma que las rocas que predominan en la zona son las andesitas, conformando éstas en gran parte los domos andesíticos que afloran en la zona con un emplazamiento Nor-Oeste a manera de intrusivos hipabisales, estos intrusivos atraviesan los tufos andesíticos y dacíticos, generando permeabilidad secundaria y el brechamiento en las rocas volcánicas.

**Tabla 24. Rocas identificadas en campo y en laboratorio**

ROCA IDENTIFICADA EN LABORATORIO	TEXTURA	ROCA IDENTIFICADA EN CAMPO	TEXTURA
Dacita porfirítica	Porfirítica	Intrusivo PQF	Porfirítica
Andesita	Porfirítica	Andesita	Porfirítica
Cuarzoandesita	Porfirítica	Andesita silicificada	Porfirítica
Cuarzo-Turmalina-arcillas	Brechosa	Tufo andesítico, dacítico	Brechosa
Roca volcánica	Obliterada	Tufo andesítico, dacítico	Obliterada
Bx alterada a cuarzo-sericita-arcillas	Relictica	Brecha hidrotermal	Relictica
Bx intensamente silicificada	Relictica	Brecha hidrotermal	Relictica

*Fuente: Elaboración propia.*

Siendo las texturas porfíricas, las relícticas (cuarzo sericita y arcillas) y las texturas brechadas las que predominan en el yacimiento. Las texturas relacionadas con la mineralización de Au son las texturas brechadas y las relícticas, ambas son la consecuencia de la presencia de fluidos mineralizantes de PH generalmente ácido. De esto podemos concluir que la mineralización de Oro está relacionada directamente con la sílice, ésta sílice está presente en los diferentes tipos de cuarzo identificados en el estudio petrográfico (Cuarzo I, Cuarzo II, Cuarzo III y Cuarzo IV) y que son producto de varios eventos mineralizantes, el detalle de estos tipos de cuarzo es el siguiente:

**Cuarzo I:** Ocurren escasos cristales de cuarzo primario con formas subredondeadas a redondeadas y tamaños hasta de 0.45 mm, como relictos de roca original. Presentan bordes corroídos e inclusiones de apatito.

**Cuarzo II:** En agregados anhedrales con tamaños que van desde de 0.12 mm hasta unos cuantos milímetros, se encuentran alterando moldes de cristales, en ciertos casos con sericita intersticial (Silice Granular).

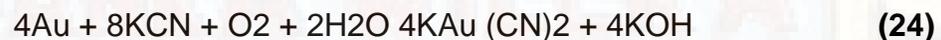
**Cuarzo III:** Agregados anhedrales con tamaño que van de 0.03 mm hasta unos cuantos milímetros, se presentan alterando intensamente a la matriz de la roca. (Silice Vuggy).

**Cuarzo IV:** Se hallan en agregados anhedrales relleno de venas entrecruzadas que son cortadas por venas de óxidos de hierro. El tamaño promedio es de 0.17 mm (Silice Masiva, Silice Gris).

La alteración que han sufrido las rocas del Yacimiento Don Marcelo producto de los fluidos mineralizantes son muy similares a las alteraciones observadas en las rocas del yacimiento de la Mina Pierina ubicada a 64 Km hacia el Norte-Oeste, donde el oro generalmente está asociado a los diferentes eventos silicificados (Silice Masiva, Silice Gris, Silice Vuggy, Silice

Granular) por lo que estamos considerando, que el tratamiento de este mineral debería hacerse por el método de lixiviación por pilas, utilizando como principal material lixivante al Cianuro. Esta idea la reforzamos con la tabla de resultados de las pruebas metalúrgicas en botella, donde se precisa que la recuperación promedio del oro en este tipo de material está entre el 80 a 90%. (ver tabla de pruebas en botella en la sesión de anexos)

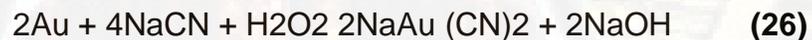
Nuestro sustento se ampara en la ecuación de Elsner, quien realizó el primer estudio amplio sobre las reacciones químicas involucradas en la acción de soluciones acuosas de cianuros alcalinos sobre el oro, y propuso la ecuación que desde entonces se ha conocido como la Ecuación de Elsner:



El oxígeno forma parte integral de la reacción y es absolutamente necesario para que ésta proceda. Se han sugerido otras reacciones para la disolución de oro por soluciones de cianuro. La propuesta por Bodlaender es [1]:



El peróxido de hidrógeno, formado durante la reacción anterior, participa en una reacción subsiguiente, así [1]:



Sin embargo, la ecuación global de las reacciones de Bodlaender es la misma que la ecuación de Elsner. [1]

#### **4.2.2. Importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico y el cálculo de recursos minerales.**

El estudio geoquímico realizado en el proyecto Don Marcelo reportó importantes valores en oro (Au) con una ley promedio de 0.46 g/t en todo el yacimiento, por lo que de ser explotado sería por este mineral. Se aprecia una buena dispersión en superficie en el sector Nor-Oeste, y en la parte central, dando oportunidades económicas en ambos sectores, para casos del análisis y discusión nos concentraremos en el sector sector Nor-Oeste.

Al trabajar los datos geoquímicos de superficie con la matriz de correlación de Pearson y los rangos de isocontornos basados en la metodología de Owen Lavin para 5 rangos al 60% de la data, proceso que varía la metodología clásica de rangos empleando la media más la primera desviación estándar y la media más dos veces la desviación estándar, esta metodología permite ajustar los intervalos a rangos ligeramente menores a través de la frecuencia acumulada logarítmica. Los resultados son los siguientes.

El Sector Nor-Oeste corresponde a un ensamble de firma geoquímica: oro-plata-plomo-antimonio-cobre-arsénico-mercurio (Au-Ag-Pb-Sb-Cu-As-Hg), más típicamente relacionado a Intermedia Sulfuración con presencia de carbonatos como: siderita, dolomita, ankerita, relacionados a alteración argílica (caolín, illita) y venillas de óxido de hierro (limonita, hematita, goethita) con sutil presencia de galena fina asociado a las venillas, también la Sílice Opalina con textura volcánica conservada tiene la misma respuesta geoquímica, con lo cual podemos afirmar que el nivel del sistema en este sector se presenta alto y emplazado en venillas de óxido de hierro. Todo lo mencionado nos hace suponer que el yacimiento "Don Marcelo" en su sector Nor-Oeste estaría dando mayores evidencias de un depósito Epitermal de Intermedia Sulfuración, con valores económicos en oro de hasta 3 gr/t.



Fotografía 10. Mirando al Sur, flanco NW del domo andesítico cortado por fallamientos tensionales NE, este sector presenta un nivel alto del sistema de Intermedia Sulfuración Au-Ag-Pb-Sb-As-Hg-Bi, presencia de galena fina en vnlls, CBs (siderita-ankerita-dolomita).

Tabla 25. Tabla Estadística de Matriz de Correlación de Pearson (Sector Nor-Oeste).

AU	1.00											
AG	0.98	1.00										
AS	0.83	0.81	1.00									
BA	-0.01	-0.01	-0.03	1.00								
BI	0.99	0.99	0.81	0.01	1.00							
CU	0.89	0.87	0.79	-0.03	0.87	1.00						
HG	0.97	0.97	0.82	0.06	0.98	0.84	1.00					
MO	0.01	-0.02	0.14	-0.01	0.01	-0.01	0.02	1.00				
PB	0.63	0.74	0.56	-0.01	0.62	0.60	0.63	-0.06	1.00			
SB	0.95	0.95	0.83	0.02	0.94	0.83	0.98	-0.01	0.65	1.00		
ZN	0.01	0.15	0.00	-0.06	0.00	0.03	-0.01	-0.07	0.73	0.00	1.00	
	AU	AG	AS	BA	BI	CU	HG	MO	PB	SB	ZN	
	0.30 - 0.49											
	0.50 - 0.69											
	0.70 - 1.00											

Fuente: Elaboración propia.

El sector Nor-Oeste presenta una buena dispersión del Au en superficie y en el subsuelo, abarca un área aproximadamente de (800 x 600)

m<sup>2</sup>, con tendencia a crecer. Las campañas de perforación confirman la concentración del importante mineral hasta una profundidad de 300 metros.

Con el estudio geoquímico de superficie y del subsuelo a través de las perforaciones diamantinas hemos logrado generar el modelo geológico del yacimiento con su respectivo cálculo de recursos en el sector Nor-Oeste, lo que posteriormente permitirá delimitar los límites del PIT optimizado, empleando para ello una adecuada ley de corte para el mineral económico.

En la tabla 26 se detalla las toneladas cubicadas, la ley promedio calculada y el total de onzas de oro estimadas en el yacimiento. Cabe destacar que para este cálculo hemos trabajado las secciones más representativas del cuerpo de oro (SECCIONES: 4020N, 3920 N, 3820N, 3720N).

**Tabla 26. Detalle de las reservas estimadas en el Yacimiento Don Marcelo**

SECCION	TONELADAS	LEY (g/t Au)	MINERAL: Au (oz)
1: 4020 N	20,243,716.66	0.433266484	281,987.01
2: 3920 N	23,648,542.91	0.476322323	362,150.49
3: 3820 N	16,725,632.02	0.386437021	207,799.75
4: 3720 N	14,463,827.38	0.54197423	252,026.16
<b>TOTAL</b>	<b>75,081,718.97 Ton</b>	<b>LP: 0.46 g/t Au</b>	<b>1,103,963.41 Oz Au</b>

Proyección de la vida óptima de la mina y el ritmo óptimo de producción aplicando la ley de Taylor (1976)

#### Vida óptima de la Mina

$$\text{VOE (años)} = 6.5 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.25} \times (1 \pm 0.2) \quad (27)$$

$$\text{VOE} = 19.136 \times 1.2 = 22.96 = 23 \text{ años}$$

$$\text{VOE} = 19.136 \times 0.8 = 15.31 = 15 \text{ años}$$

Según fórmula la vida óptima de la mina estaría oscilando entre 15 y 23 años, eso lógicamente dependerá del ritmo óptimo de producción diaria.

### Ritmo óptimo de producción

$$\text{ROP (ton/año)} = 0.15 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.75} \times (1 \pm 0.2)$$

(28)

$$3.827 \times 1.2 = 4.59 \text{ MT/año}$$

$$4590000 / 360 = 12750 \text{ T/día}$$

$$3.827 \times 0.8 = 3.06 \text{ MT/año}$$

$$3060000 / 360 = 8500 \text{ T/día}$$

Para el caso del ROP, según fórmula este podría oscilar entre 8500 y 12750 toneladas diarias, eso lógicamente dependerá de la capacidad de la empresa para invertir.

#### 4.2.3. influencia del estudio mineralógico en la optimización de la recuperación del Au.

El estudio mineralógico nos ha permitido interpretar que para la formación del yacimiento existieron 3 eventos con carga mineral.

##### Primer evento mineralizante

En el primer evento los fluidos mineralizantes presentan los siguientes minerales. (Ver fotografías 11, 12)

**Especlarita:** Se observan cristales con formas aciculares y tamaño promedio de 0.03 mm dispersos en la ganga.

**Magnetita:** De forma anhidra con tamaños menores de 0.035mm.

**Pirita:** Escasos cristales subhedrales se hallan diseminados en la ganga y como relictos en limonitas. El tamaño promedio es de 0.02 mm.

**Pirrotita:** Pequeños cristales diseminados siguiendo las venillas de sulfuros.

**Goethita:** se ha observado pseudomorfos de goethita posiblemente ha alterado a la pirita, asimismo se la observa relleno de microfracturas y cavidades de la ganga.

**Limonitas:** Se presentan como pseudomorfos, antes pirita, quedando relictos de ella., por sectores se presenta como impregnación y en venillas cortas de la ganga.



**Fotografía 11. Muestra de mano, venilla de magnetita de 0.5 cm., pirrotita y pirita en los bordes de la venilla y de manera diseminada, pátinas de epidota y clorita en una matriz silicificada.**



**Fotografía 12.** Venilla de sílice de 0.7 cm con pirita, pirrotita y calcopirita, patinas de clorita epidota.

### **Segundo evento mineralizante**

En el segundo evento los fluidos mineralizantes presentan los siguientes minerales. (Ver fotografías 13, 14, 15, 16)

**Magnetita:** De forma anhidra con tamaños menores de 0.035mm.

**Pirita:** Pirita, se presenta como granos de formas anhedrales con tamaños menores de 0.015 micrones, ocurre diseminado en la ganga, se observa granos relictos de pirita han sido alterados por las limonitas.

**Esfalerita:** Cristal subhedral de 0.007 mm se presenta reemplazada por calcopirita. Presenta inclusión de pirita.

**Calcopirita:** Ocurren pequeños cristales diseminados en la ganga y como inclusión en bornita la cual la reemplaza por sus bordes. Presenta inclusión de pirrotita.

**Bornita:** Se encuentra con forma subredondeada y tamaño de 0.02 mm en la ganga. Presenta inclusión de calcopirita. Es reemplazada por digenita.

**Digenita:** Se encuentra alterando por sus bordes a bornita.

**Electrum:** Se observan dos granos con tamaños menores de 0.01 mm como inclusiones en la ganga.

**Goethita:** Ocurren agregados en bordes de porosidades de la ganga, junto a limonitas.

**Limonitas:** Se presentan en intersticios, porosidades y fracturas de la ganga. Asimismo se hallan alterando moldes de cristales, en algunos casos siguiendo direcciones cristalográficas. Impregnan parcialmente a la ganga. La ganga corresponde a la parte no metálica.



**Fotografía 13.** Venilla de magnetita de 0.2 cm., pirita, calcopirita y bornita de manera diseminada.



**Fotografía 14.** Vena de pirita, calcopirita de 2.5 cm., pátinas de epidota, clorita y goethita.



**Fotografía 15.** Venillas de pirita y calcopirita de 0.3 cm.



**Fotografía 16.** Vena de calcopirita, bornita, con pátinas de digenita (calcosita).

### Tercer evento mineralizante

En el tercer evento los fluidos mineralizantes presentan los siguientes minerales. (Ver fotografías 17, 18)

**Pirita:** Se presentan granos de formas anhedrales con tamaños que varían de 0.003 a 0.02mm, ocurren diseminados en la ganga, asimismo ocurre como inclusión en las limonitas-goethita.

**Hematita:** Se encuentra alterando moldes de cristales, en bordes de porosidades y rellenando fracturas de la ganga.

**Goethita:** Se ha observado pseudomorfos de goethita posiblemente ha alterado a la pirita, asimismo se la observa rellenando microfracturas y cavidades de la ganga.

**Limonitas:** Se presentan alterando escasos moldes de cristales, rellenando porosidades e intersticios así también impregnando localmente a la ganga.



**Fotografía 17.** Muestra MM-11, venillas de Silice Gris, presencia de limonita, hematita.



**Fotografía 18.** Venas de Silice Gris, limonita y hematita producto de la oxidación de los sulfuros.

La presencia de óxidos de hierro (limonita, hematita, goetita), es producto de la oxidación de los sulfuros que contienen hierro, los sulfuros de hierro son auríferos como la pirita y son una importante fuente de mineralización de oro en el yacimiento, así también lo confirma el estudio geoquímico. La presencia de óxidos de hierro sería otra de las razones para recuperar el oro por medio de la lixiviación con sustancias cianuradas.

El oro usualmente se presenta liberado o asociado a los productos de la alteración de pirita y otros minerales sulfurosos; los más comunes son óxidos de hierro como la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), goetita ( $\text{FeOOH}$ ) y limonita ( $\text{FeOOH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) (Azañero, G. 2017).

#### **4.2.4. importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas.**

La fragmentación que se obtiene como resultado de la voladura de rocas es una operación unitaria de suma importancia en el costo global de la Mina-Planta. Para el Yacimiento Don Marcelo es muy importante analizar el impacto que tendrá la fragmentación obtenida, ya que en muchos casos la fragmentación no deseada implica que deben intervenir equipos auxiliares, esto también influye en la efectividad de la máquina chancadora. La idea de predecir la fragmentación en la voladura de rocas en el yacimiento Don Marcelo es que se obtenga la granulometría adecuada y por supuesto, al menor costo posible, y de esta manera tener los argumentos suficientes para considerar el diseño y tamaño de la planta de tratamiento del oro.

Luego de haber procesado nuestros datos relacionados con la perforación y voladura tales como diámetro de taladro, relación espaciamento-burden, constante de la roca, densidad del explosivo, altura del banco, etc, y teniendo en cuenta las características geológicas y geomecánicas del yacimiento, hemos logrado determinar algunos

estándares a tener en cuenta en estas importantes actividades, éstos permitirán optimizar los trabajos de voladura y conseguir una buena fragmentación del mineral, así mismo mejorar otros aspectos relacionados tales como el control de las vibraciones, control de gases nitrosos, control de polvo y control de ruido.

Con la aplicación del modelo de Kuz-Ram, hemos logrado definir los siguientes parámetros detallados en la siguiente tabla.

**Tabla 27. Parámetros utilizados en la perforación y voladura**

IETM	PARÁMETROS
1	Diámetro promedio de las perforaciones estará en 200 mm.
2	Altura de banco (H) será de 10 metros.
3	S/B = relación espaciamiento-burden = 1.30 m.
4	J= Taco = 20 x diámetro del taladro (m) = 20 x 20cm = 400 cm = 0,4 m.
5	W = desviación del taladro = 0.45 m.
6	P= densidad del ANFO = 900 Kg/m <sup>3</sup>
7	Factor triturante K = 0.80 Kg/m <sup>3</sup>
8	Factor de roca A = 9.59
9	Longitud total de carga L = 6m.
10	Burden B= 4.04
11	Espaciamiento S = 5.25
12	Masa del explosivo utilizado Qe = 169.65 Kg/taladro
13	Tipo de perforadoras, serán las DM-45.

**Fuente: Elaboración propia.**

Estos parámetros a su vez permitirán alcanzar las óptimas características en el material volado del Yacimiento Don Marcelo, tal y como se detalla en la siguiente tabla para un diámetro de taladro de 200 mm.

**Tabla 28. Características de los fragmentos**

ITEM	FRAGMENTOS RESULTANTES
1	Tamaño característico de los fragmentos ( $X_c$ ), igual a 44.12 Cm.
2	Volumen por taladro 212.06 m <sup>3</sup> .
3	Indice de uniformidad $n = 0.96$
4	Tamaño crítico de los fragmentos $X_c = 44.12 \text{ cm} = 0.44 \text{ m}$ .
5	Tamaño medio $X = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$ .
6	Porcentaje retenido en malla $R = 0.5 = 50\%$ para 30 cm.

**Fuente: Elaboración propia.**

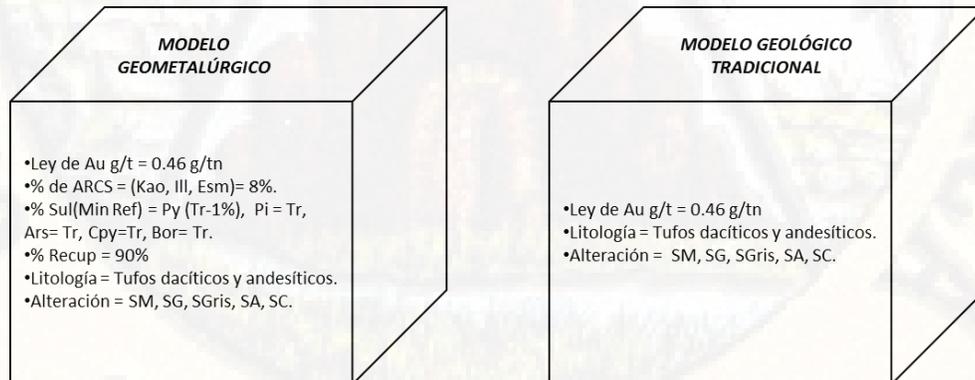
#### 4.2.5. Implementación del modelo geometalúrgico

La implementación del modelo geometalúrgico se realizará en tres etapas:

##### Caracterización mineralógica piloto

Los objetivos de esta etapa son:

- a. Caracterización geo-metalúrgica de zonas representativas del yacimiento.



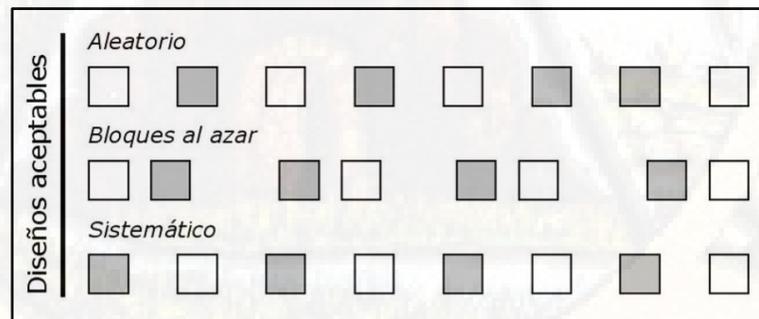
**Figura 39. Modelo geometalúrgico y modelo geológico tradicional en un bloque**  
**Fuente: Elaboración propia**

- b. Identificación de los minerales críticos e indeseables, principalmente desde el punto de vista del tratamiento metalúrgico. Arcillas (Kao, Illi, Esm), Sulfuros (Py, Pi, Ars, Cpy, Bor)

La ocurrencia de estos minerales es muy baja en la zona económica del yacimiento, sin embargo se debe estudiar su impacto en el proceso de beneficio a través de pruebas metalúrgicas específicas.

- c. Determinar la densidad de muestreo óptima (por geoestadística) de los minerales críticos para la implementación del Análisis Mineralógico Secuencial (AMS).

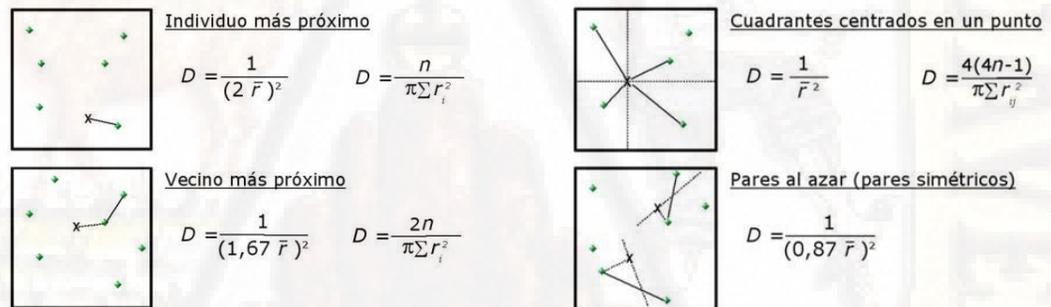
Para determinar la densidad de muestreo óptimo de los minerales críticos utilizaremos un esquema de disposición espacial aceptable donde se considere la adecuada separación o espaciamento (interspersión) de aquellas unidades experimentales con el mismo tratamiento. Aplicaremos un esquema frecuentemente utilizado, es el diseño de bloques. Un bloque es un grupo de réplicas espacialmente agrupadas. Cada bloque consta de una réplica de cada tratamiento, y dentro de los bloques las réplicas se disponen al azar (de ahí la denominación bloques completos al azar).



**Figura 40. Diseños aceptables que aseguran un adecuado espaciamento entre las réplicas de un mismo tratamiento. Adaptado de Hulbert (1984).**

Existen diversos métodos para los cuales se han desarrollado distintas ecuaciones que permiten estimar la densidad. El método más sencillo es el del individuo más próximo, consistente en medir las distancias entre puntos localizados al azar y el individuo más próximo a cada punto. En el método del vecino más próximo la distancia que se considera es la existente entre el individuo más próximo y su vecino más próximo Hulbert (1984).

En el método de los cuadrantes centrados en un punto por cada punto aleatorio se obtienen cuatro distancias: a los individuos más próximos de cada uno de los cuadrantes resultantes de trazar imaginariamente dos líneas perpendiculares. Por último, el método de los pares al azar consiste en localizar el individuo más próximo al punto, trazar imaginariamente la línea que los une y su perpendicular, y finalmente medir la distancia entre dicho individuo y su vecino más próximo al otro lado de la perpendicular Hulbert (1984).



**Figura 41. Métodos de distancia para la estima de densidad. Las “x” representan puntos al azar; las líneas discontinuas se trazan imaginariamente para localizar los individuos a medir, y las líneas continuas representan las distancias r. D es la densidad y n es el número total de puntos. Adaptado de Hulbert (1984).**

$$D = \frac{1}{(z \cdot \bar{r})^2} \quad (29)$$

La ecuación 29 responde al modelo general, donde D es la densidad, r es la distancia media, y z es una constante que depende del método, que se obtiene de tablas para un nivel de probabilidad dado. En el libro de Bonham (1989) pueden encontrarse fórmulas para obtener la varianza de estas estimas.

### Modelamiento metalúrgico de las variables críticas

En esta etapa mostramos resultados de las pruebas metalúrgicas para definir el comportamiento de las menas y gangas críticas; así como definir los límites de especificación de los minerales críticos y su modelamiento. Se trata de encontrar relaciones entre las variables de entrada Xi (mineralógicas) con las de salida Yi (metalúrgicas):  $Y_i = f(X_i)$ .

El estudio metalúrgico realizado para el proyecto indica lo siguiente con respecto a la recuperación de Oro:

**Tabla 29. Resultados de las pruebas metalúrgicas en los diferentes minerales ganga que alojan al oro en el yacimiento**

ZONA	MINERALES GANGA	RM Au %
Óxidos de Hierro	Lim, Hem, Goe	80.00
Material Mixto	OxFe/Sul	74.00
Sulfuros	Py, Pir, Ars	49.00

**Fuente:** *Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas.*

Los óxidos de Hierro permiten una mejor recuperación del oro, con un promedio de 80%, por encima de lo que se recupera en el material mixto y en los sulfuros.

## **Análisis Mineralógico Sistemático (AMS) para la implementación del Modelo Geometalúrgico**

Teniendo plenamente identificados y modelados a los minerales críticos o sus combinaciones (v.gr. ratios), se realizará el análisis sistemático de los mismos (AMS), compósito por compósito, para alimentar estos datos al modelo geológico tradicional (basado en: leyes, alteración y litología) para implementar así el Modelo Geometalúrgico.

**Tabla 30. Resultados de las pruebas metalúrgicas por tipo de alteración**

<b>ALTERACIÓN</b>	<b>ENSAMBLE MIN</b>	<b>RM Au %</b>
Argílica	Kao, ill, Esm	64.70
Propilítica	Cal, Clo, Ep	74.47
Sílice Masiva	Sílice	86.86
Sílice Granular	Sílice	86.33
Sílice Vuggy	Sílice	87.50

*Fuente: Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas.*

El material silicificado es aquel que permite una mejor recuperación metalúrgica de oro, con respecto a las demás alteraciones de las rocas con un promedio de 87%.

**Tabla 31. Resultados de las pruebas metalúrgicas por tipo de litología**

<b>LITOLOGÍA</b>	<b>RECUP. MET %</b>
Tufos andesíticos	76.40
Tufos dacíticos	82.38
Andesita	82.00
Intrusivo PQF	76.00

*Fuente: Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas.*

Los tufos dacíticos son los que permiten una mejor recuperación metalúrgica de oro con respecto a las demás litologías existentes en el yacimiento.

### 4.3. Proceso de prueba de hipótesis.

#### Hipótesis General

El modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo influirá positivamente en los procesos de explotación y beneficio del Au. Con los diferentes estudios y análisis realizados se comprobó que las rocas volcánicas presentan condiciones favorables (textura, geoquímica, mineralogía, y comportamiento mecánico) para optimizar los procesos cuando el proyecto pase a etapa de mina. La influencia se medirá en función al nivel de conocimiento del yacimiento y sus principales características gracias al modelo geometalúrgico y la posibilidad de tomar las decisiones más acertadas durante la etapa de explotación y el posterior tratamiento metalúrgico.

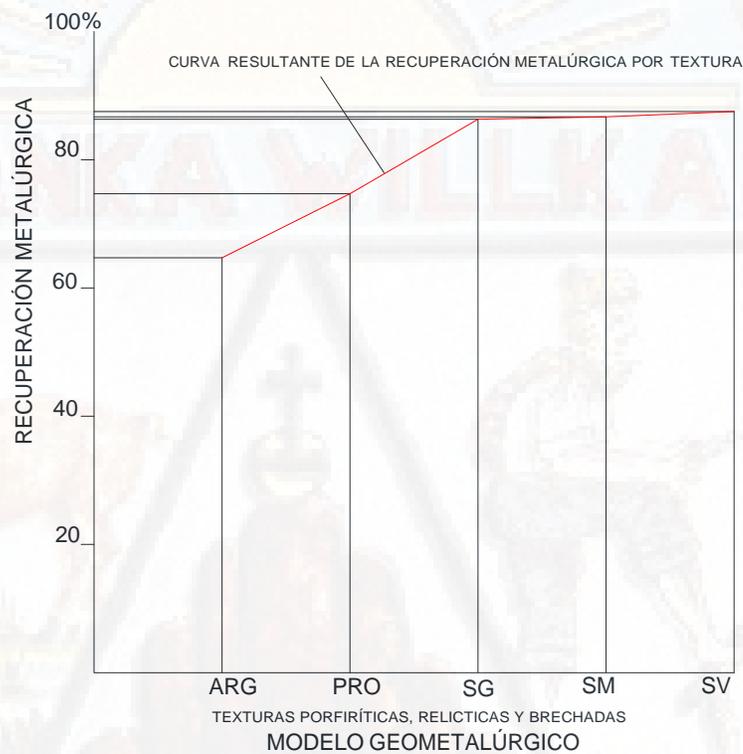
#### Influencia del análisis textural

*Tabla 32. Relación texturas, alteración, recuperación, nivel de conocimiento, decisión acertada e Influencia*

TEXTURAS	ALTERACIÓN	RM %	NC %	DA	I %
Relicticas	Argílica	64.70	100	SÍ	100
	Propilítica	74.74	100	SÍ	100
Brechadas	Silice Granular	86.33	100	SÍ	100
	Silice Masiva	86.86	100	SÍ	100
	Silice Vuggy	87.50	100	SÍ	100

*Fuente: Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas (RM: recuperación metalúrgica, NC: nivel de conocimiento, DA: decisión acertada, I: influencia)*

El nivel de conocimiento de las texturas en las rocas mineralizadas influirá de manera favorable en la capacidad para tomar decisiones acertadas y con ello buscar la optimización del beneficio del Au. Según nuestro estudio las texturas donde se aloja el oro corresponden generalmente a Sílice Vuggy, Sílice Masiva y Sílice Granular, con una recuperación metalúrgica de 87.50%, 86.86% y 86.33% respectivamente. Esto permitirá una mejor planificación en los procesos de tratamiento para la recuperación del Au.



**Figura 42. Recuperación metalúrgica de acuerdo a las texturas de las rocas. Arg: Argílico, Pro: propilítica, SG: sílice granular, sílice masiva, sílice vuggy.**

**Fuente: Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas.**

### Importancia del estudio geoquímico

El estudio geoquímico permitirá la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo. Se generó el modelamiento geológico para el yacimiento, se identificaron las mejores zonas con potencial sector Nor-Oeste de la zona (Posible tajo 1), se definió la concentración de Au por tipo de material de acuerdo a su comportamiento geológico (tufos dacíticos, tufos andesíticos y andesitas), en los cuales la recuperación promedio es de 80.26 %. Esto permitirá el planeamiento de la explotación optimizando las actividades en tajo.

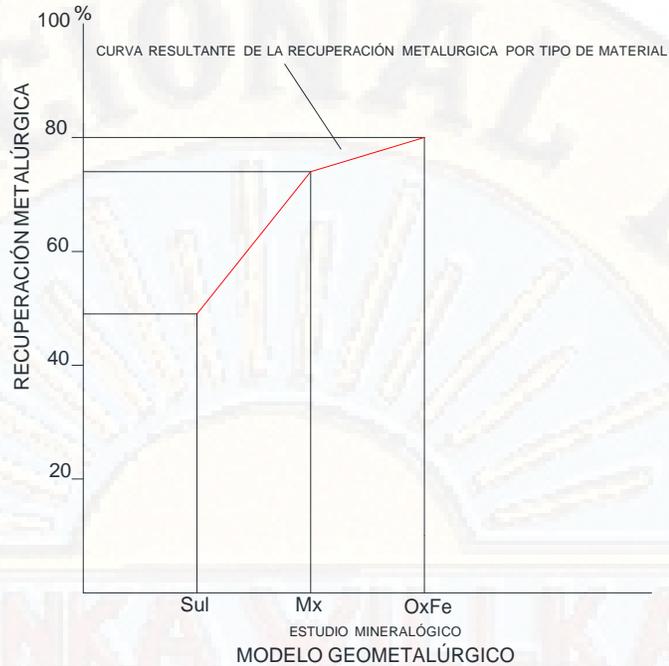
### Influencia del estudio mineralógico

El estudio mineralógico facilitará los trabajos de optimización del beneficio del Au. Según nuestro estudio los minerales principales que alojan al oro son OxFe, en los cuales la recuperación es de 80% en promedio, esto permitirá una planificación de la recuperación en óxidos y material mixto.

Tabla 33. Relación mineralogía, recuperación, nivel de conocimiento, decisión acertada e Influencia

MINERALOGÍA	RM %	NC %	DA	I %
Sulfuros	49	100	SÍ	100
Material Mixto	74	100	SÍ	100
Oxidos de Hierro	80	100	SÍ	100

Fuente: Elaboración propia, tomado de las pruebas metalúrgicas (RM: recuperación metalúrgica, NC: nivel de conocimiento, DA: decisión acertada, I: influencia)



**Figura 43. Recuperación metalúrgica de acuerdo al tipo de material. Sul: sulfuros, Mx: Mixto, OxFe: óxidos de hierro.**

**Fuente: Elaboración propia**

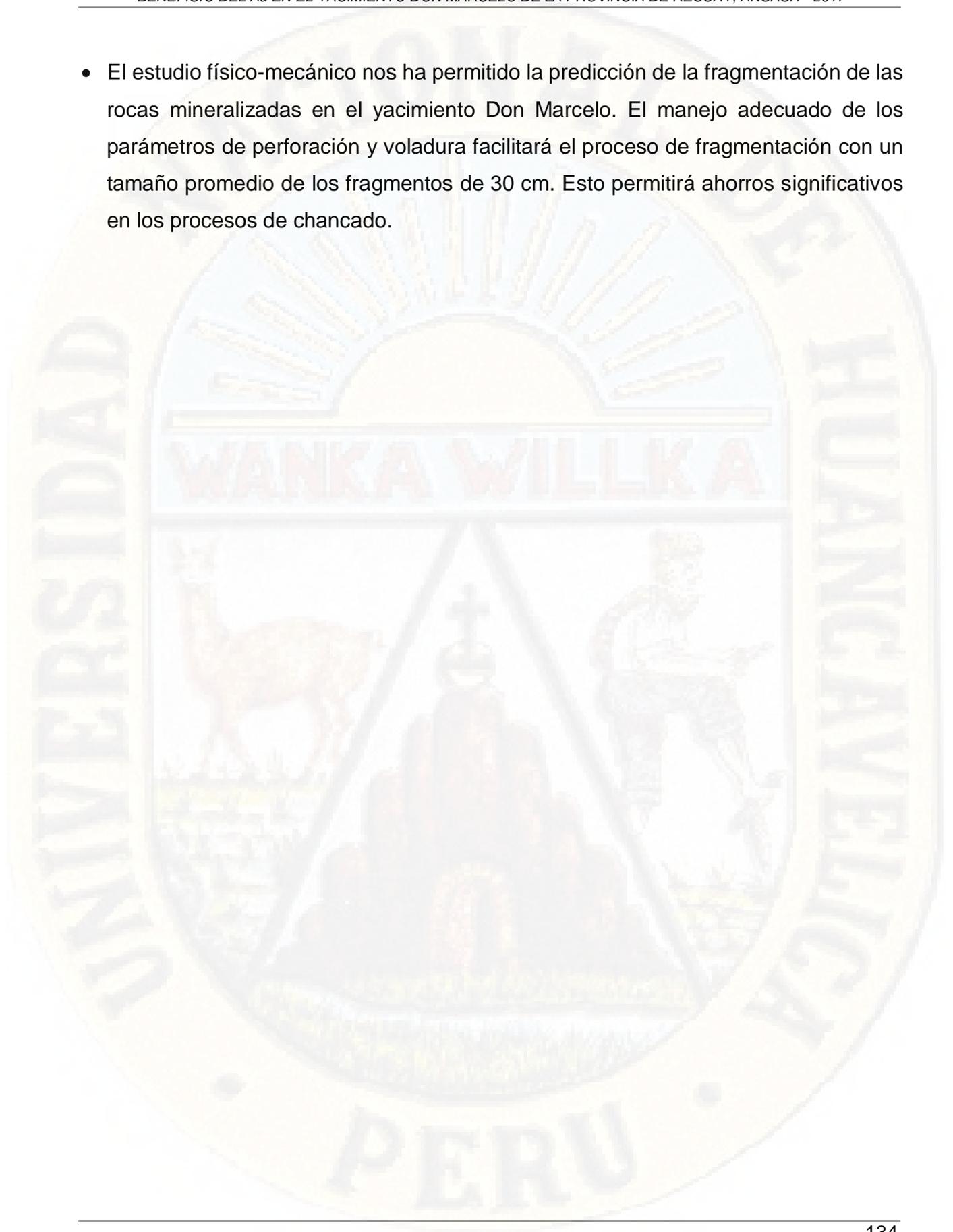
### **Importancia del estudio físico mecánico**

*El estudio físico-mecánico permitirá la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo. Nuestro estudio nos ha permitido diseñar la carga óptima para nuestros taladros en los cuales el tamaño promedio de los fragmentos será de 30 cm. Esto permitirá ahorros significativos en los procesos de chancado.*

## CONCLUSIONES

- El modelo geometalúrgico del Yacimiento Don Marcelo tiene una influencia positiva en un 100%, esto por el nivel de conocimiento generado del yacimiento, el mismo que posibilitará el mejorar los criterios para la toma de decisiones que permitan la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro. Con los diferentes estudios y análisis realizados se comprobó que las rocas volcánicas presentan condiciones favorables (textura, geoquímica, mineralogía, y su comportamiento mineralógico) para optimizar los procesos cuando el proyecto pase a etapa de mina.
- El nivel de conocimiento de las principales texturas que presentan las rocas también influirá positivamente en un 100% para tomar decisiones acertadas, definiendo tratamientos adecuados por tipo de textura y su relación con la mineralización de Au. El análisis textural permitió identificar las texturas brechadas y relícticas, y tienen que ver directamente con la sílice que está presente en los diferentes tipos de cuarzo identificados en el estudio petrográfico (Cuarzo I, Cuarzo II, Cuarzo III y Cuarzo IV) dando como resultado alteraciones en la roca tales como Silice Vuggy y Silice Granular donde la recuperación metalúrgica sobrepasa el 85%.
- Con el estudio geoquímico de superficie y del subsuelo a través de las perforaciones diamantinas se definió la concentración de Au por tipo de material de acuerdo a su comportamiento geológico en tufos dacíticos, tufos andesíticos y andesitas, en los cuales la recuperación promedio es de 80.26%. Esto posteriormente permitirá delimitar los límites del PIT optimizado, empleando para ello una adecuada ley de corte para el mineral económico.
- El estudio mineralógico influirá positivamente en un 100%, esto porque nos ha permitido identificar a los óxidos de hierro (limonita, hematita, goetita), y los mixtos (óxidos de hierro con sulfuro en menos de 8%) donde la recuperación metalúrgica oscila entre un 74% y 80% en este tipo de materiales. Esto posteriormente permitirá el tomar la decisión más acertada sobre el tratamiento metalúrgico para estos minerales.

- El estudio físico-mecánico nos ha permitido la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo. El manejo adecuado de los parámetros de perforación y voladura facilitará el proceso de fragmentación con un tamaño promedio de los fragmentos de 30 cm. Esto permitirá ahorros significativos en los procesos de chancado.



## RECOMENDACIONES

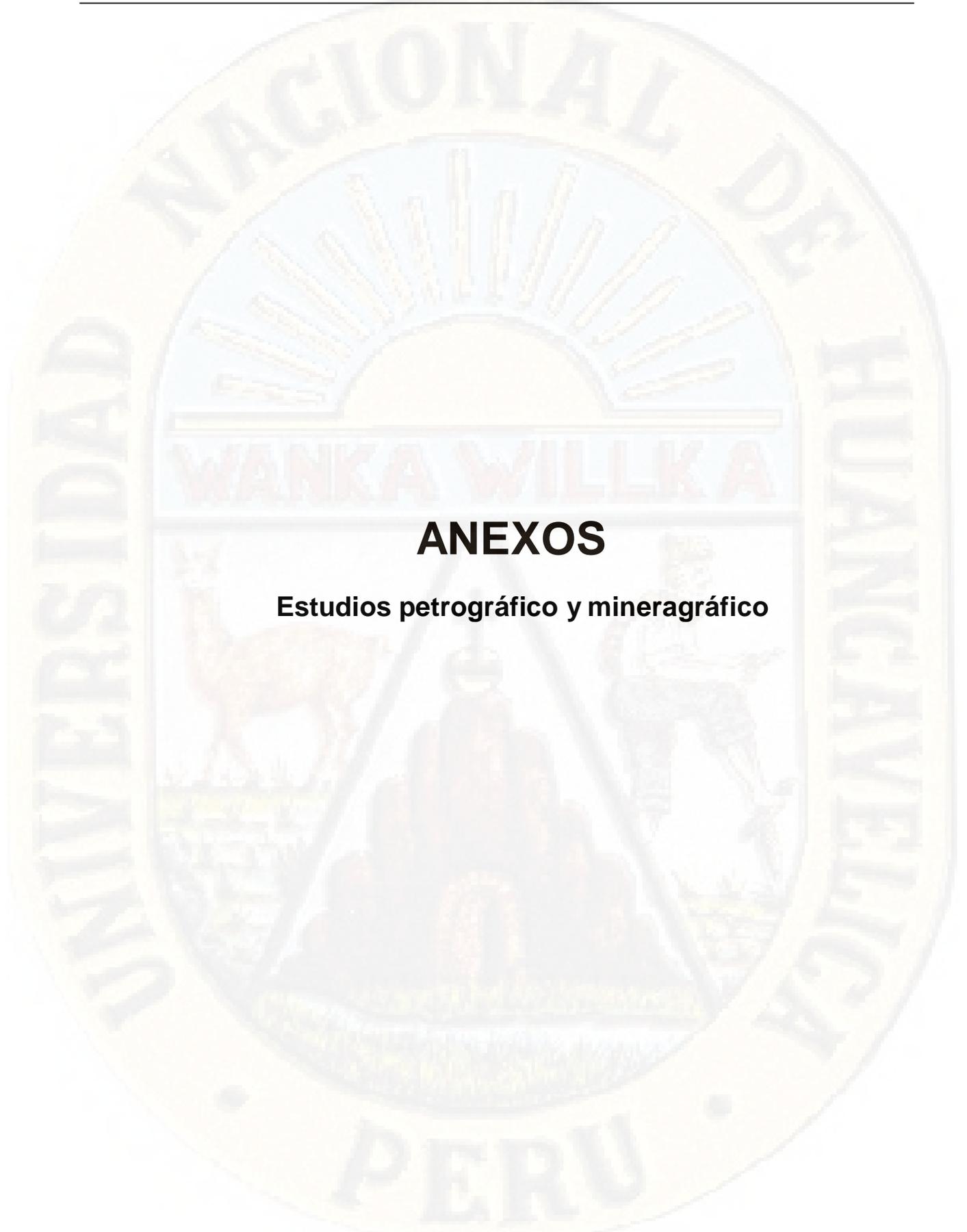
- Se recomienda a la empresa que implemente el modelo geometalúrgico del proyecto de manera inmediata, y que lo haga en simultaneo entre los trabajos de exploración que actualmente se vienen realizando y en la definición del proceso metalúrgico a emplear. Las consecuencias económicas que derivan de una adecuada selección del proceso son altamente favorables para el proyecto minero.
- Se recomienda a la empresa concientizar y capacitar a sus profesionales en geología, minería, y metalurgia en temas de geometalurgia, y de esta manera integrar las disciplinas y mejorar los procesos productivos para la futura mina.
- Se recomienda a la empresa que en la planificación de las actividades para continuar desarrollando el proyecto haga participar de manera más activa a sus profesionales geólogos, mineros y metalurgistas, con la única idea de encontrar las alternativas para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azañero, G. (2017) Minerales Oxidados. Intermet. Consultores Metalurgistas, Perú.
2. Ashley KJ, Callow MI. Ore Variability, (2000). Exercises in Geo- Metallurgy, Engineering & Mining Journal, USA.
3. Baumgartner, R. y otros (2016). Caracterización mineralógica detallada en el depósito de Cu-Au Cerro Corona - La clave fundamental para la geometalurgia y la optimización de procesos, Perú.
4. Benavides, V. (1956) Cretaceous System in Northern Peru. In: Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.108, p. 252-494.
5. Boyle y otros (1979) "The Association of Applied Geochemists"
6. Bustos S, (2001). Curso Metalurgia para Geólogos de Exploración, Lakefield Research, Lima.
7. Cabrera, M. (1994). Opciones de tratamiento de minerales refractarios de oro, Boletín de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Lima.
8. Canchaya, S. (2008). El modelo geometalurgico.
9. Candiotti, H. (1996). Estudio y análisis mineralógico en la industria minera. Minero Perú, sección petromineralogía (pp. 37-47). Perú.
10. Chahuayo, E. & Alejandro, A. (2012). Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de Huampar, Lima.
11. Chris, B. & Lozano, C. (2004). The Architecture of the Geometallurgical Model, PROCEMIN 2004, Chile.
12. Clarke (1924). "Evolución y desintegración de la materia".
13. Cunningham, C. (1983). Predicción de la fragmentación según el modelo Kuz-Ram, En Gavilan, H. ( 2009) (Ed). (pp. 01-08). Perú.
14. Dávila, J. (2005). Diccionario de Geología INGEMMET. Lima Perú.

15. Explotación Minera. (2008), de <http://definicion.de/explotacion-minera/#ixzz43el8dMq9>.
16. Fortescue (1980). Geoquímica Aplicada o “Geoquímica del Paisaje”. Localización en el espacio y en el tiempo, de las anomalías geoquímicas.
17. Henley, R.W., 1985, The geothermal framework of epithermal deposits, in Berger, B.R. y Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Reviews in Economic Geology*, v.2, p. 1-24.
18. Heresi, N. (2002). Aplicación de conceptos geo-minero-metalúrgicos en la lixiviación de minerales de cobre, *Revista Minerales*, Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
19. Hernández, Fernández & Baptista, 1991, p. 66. El objetivo de los estudios explicativos es “responder a las causas de los eventos físicos”
20. Hibbard (1995). Tabla con límites específicos de tamaños de granos.
21. Huaypar, C. (2006). *Costos de operaciones mineras*. Compumet Ingenieros. Lima.
22. Hugo Candiotti (2000). *Estudio y análisis mineralógico en la industria minera*. Minero Perú.
23. Inegi Mexico, (2015). *Información Geológica*, México.
24. Joseph, A. (2012). *Dimensionamiento de Equipos: Carguío y Transporte*.
25. López, J. & Bellos, L (2006) *Parámetros Texturales*. En. Dr. Florencio G. Aceñolaza Ed. *Texturas y Estructuras de las Rocas Igneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas*. (pp. 7-31). San Miguel de Tucumán – Argentina.
26. Marchese, A. (2012). *Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica* (pp.1-34). Lima-Perú: Tecsup.
27. Millán A. (1998). *Evaluación y factibilidad de proyectos mineros*, Universidad de Chile, capítulo 8, Chile.
28. Minería Chilena. (2004). *Modelo geometalúrgico*.

29. Mineros S.A. (2016). Minería Responsable del Siglo XXI. Glosario, Información Corporativa. Medellín Colombia.
30. Munier, N. (2013). Esan, Programa de Magister MATC-39/2. Casillero N° 144.
31. Órdenes, J. (2014). Influencia de la mineralogía de la veta Bonanza en el proceso hidrometalúrgico de extracción de Au y Ag, yacimiento el Peñón, Chile.
32. Pérez, E. (2013). et al: Unison / Epistemus 14 / Año 7/ pág.: 73-76.
33. Pulgar, J. (1938). Las ocho regiones naturales del Perú.
34. SGS SA. (2007). La Geometalúrgia. Societe Generale de Surveillance S.A
35. Sillitoe, R.H. (1993): Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features; in Mineral Deposit Modeling, Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and duke, J.M., Editors, Geological Society of Canada, Special Paper 40, pp. 403-417.
36. Tapia G. (2005). Modelos Geometalúrgicos: El rol de la Metalurgia, X Simposium sobre Procesamiento de Minerales Moly Cop, Chile.
37. Vargas J. (1984). Causas de Errores y Recomendaciones para Evaluar Económicamente Minas de Oro, Mundo Minero.
38. Viladevall M. (2008). La prospección geoquímica. Barcelona.
39. Vernadsky (1924). De determinación de aureolas primarias y secundarias.
40. WILSON J.J., Reyes L. & Garayar J. (1967) Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. In: Serv. Geol. Bol. 16. 95p.



## **ANEXOS**

**Estudios petrográfico y minerográfico**

## ANEXO IA ESTUDIO PETROGRÁFICO

	<b>FORMATO</b>	Código : DL-F-158 Versión : 00 Aprobado por: DL Fecha aprob.:
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	Página : 140 de 186

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CACERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-01	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101001	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	DACITA PORFIRITICA
----------------------------------	--------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca de color gris verdoso con tonalidad amarillenta en la que se observa fenocristales de cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos alterados parcialmente por cloritas, carbonatos con minerales opacos diseminados.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Plagioclasas, se presentan como fenocristales de formas euhedrales y subhedrales con tamaños menores de 5.6mm, algunos fenocristales de plagioclasas zonadas por sectores presentan estructura en tamiz conteniendo inclusiones de vidrio, algunas plagioclasas presentan venillas rellenas por cloritas o carbonatos.
Cuarzo, fenocristales de formas redondeadas y subredondeadas con tamaños menores de 1.8mm, algunos granos se presentan ligeramente corroídos por la matriz.
Se observa moldes de fenocristales con contornos relicticos de ferromagnesianos (relictos de piroxenos y anfíboles) alterados por las cloritas, carbonatos e impregnación de óxidos de hierro, sericita. Se encuentran reemplazados parcialmente por los opacos, otros moldes de fenocristales de ferromagnesianos, están alterados casi totalmente por biotitas de origen secundario y contienen numerosas inclusiones de minerales opacos.
Biotita, ocurren como fenocristales de formas subhedrales con tamaños menores de 1.4mm, se encuentran reemplazados por agregados de minerales opacos de muy fina granulometría ya sea a modo de corona o a través de su clivaje o como inclusión en dicha biotita, así mismo se encuentran ligeramente corroídos por la matriz. Los granos de biotita se hallan parcialmente alterados por las cloritas y sericita. Por sectores la biotita acompañados con inclusiones de minerales opacos de muy fina granulometría reemplaza a las plagioclasas.
Se observa moldes de relictos de fenocristales de ferromagnesianos ahora alterados por biotita secundaria acompañados con los minerales opacos, de formas subhedrales y anhedrales, algunos moldes de fenocristales contienen inclusiones de granos de feldespatos.
Zircón, de forma euhedral con tamaño de 0.1mm, ocurre incluido en ferromagnesianos.

Opacos, ocurren de formas euhedrales a anhedrales con tamaños menores de 0.15mm, mayormente se presenta asociado a los ferromagnesianos, ya sea a modo de corona, o como numerosas inclusiones en ellos, y algunos minerales opacos se presentan como microfenocristales.

Matriz microgranular constituida por granos de cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos relleno intersticios los que se encuentran parcial o totalmente alterados por cloritas con diseminaciones de minerales opacos de muy fina granulometría.

Se hallan microfracturas rellenas por cloritas acompañados con cuarzo, y minerales opacos atravesando la roca.

<b>TEXTURA</b>	Porfirítica
----------------	-------------

<b>MINERALOGÍA</b>					
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>	
Plagioclasas	64	Ferromagnesianos (relictos de piroxeno anfíboles)		Cloritas	
Cuarzo	20	Cloritas		Biotita II (Secundaria)	
		Biotita I	2	Carbonatos	
		Opacos	1	Sericita	
		Biotita II	1	Cuarzo secundario	
		Carbonatos	<1	Óxidos de hierro	
		Sericita	0.5		
		Cuarzo secundario	0.5		
		Óxidos de hierro	Trazas		
		Zircón	Trazas		

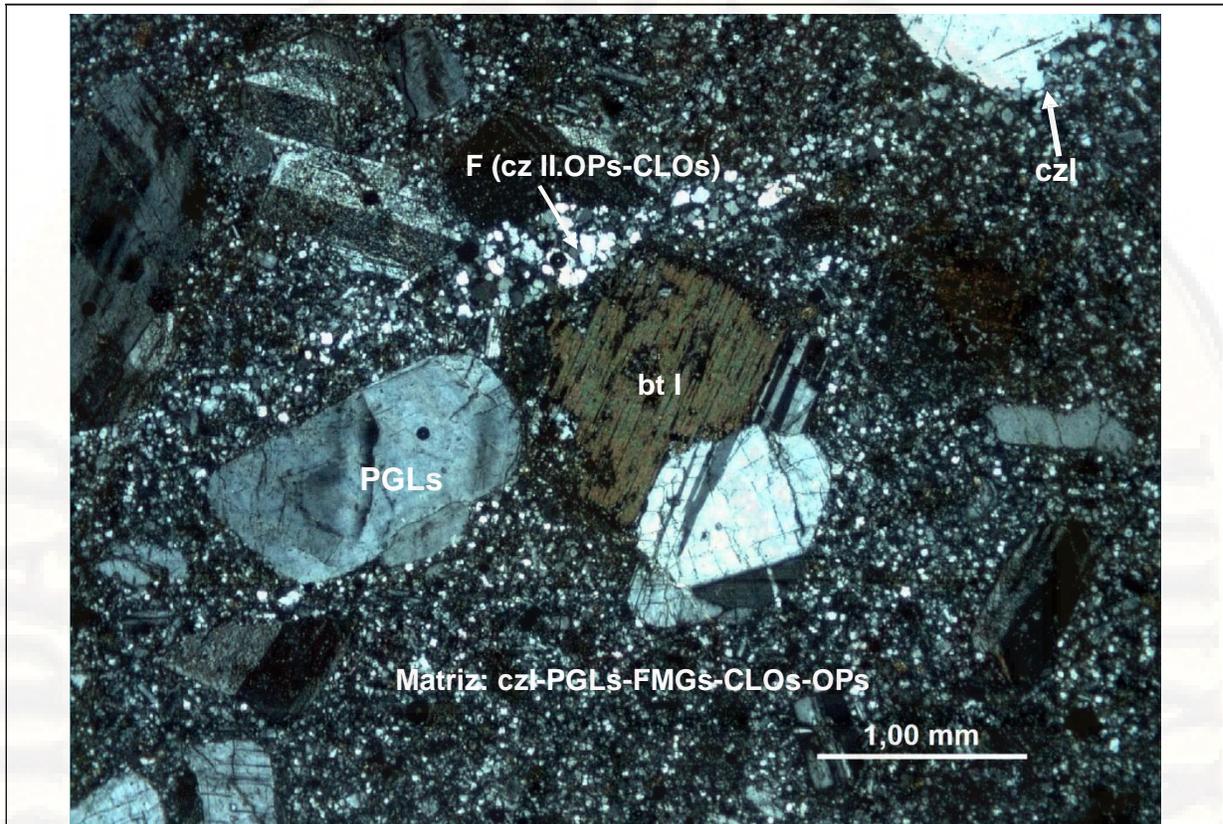
**ALTERACIONES**

Cloritización débil. Carbonatación muy débil. Biotitización y oxidación incipientes.  
Silicificación incipiente (en fracturas).

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones

**FOTOMICROGRAFÍA/S**



Muestra Nº MM-01 Código de Laboratorio 28101001

NXs

Fenocristales de plagioclasas (PGLs), cuarzo (cz I) biotita (bt I) rodeada por minerales de sericita-cloritas y opacos los que también se presentan siguiendo direcciones de clivaje embebidos en matriz microgranular constituida por granos de cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos (FMGs) parcial o totalmente alterados por las cloritas relleno intersticios y diseminaciones de minerales opacos (OPs) de muy fina granulometría.

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-04	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101002	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	ANDESITA
----------------------------------	----------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Se observan fenocristales de plagioclasas de color gris claro en matriz afanítica gris con costras e impregnaciones pardas de óxidos de hierro.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Roca porfírica compuesta de fenocristales de plagioclasas y moldes de fenocristales de máficos alterados por cuarzo, carbonatos y cloritas en matriz de plagioclasas, vidrio volcánico, arcillas y minerales opacos finamente diseminados. Se observa xenolito de igual composición mineralógica pero con menor granulometría. Ocurren cavidades rellenas por cloritas y por carbonatos con calcedonia en sus bordes.
Plagioclasas, fenocristales con formas euhedrales a subhedrales y tamaños hasta de 1.27 mm se encuentran maclados, zonados, parcialmente orientados y alterados por albita, sericita, arcillas, carbonatos. Presentan microfracturas rellenas por carbonatos y óxidos de hierro así como inclusiones de apatito. Ocurren también como microcristales con tamaño promedio de 0.02 mm constituyendo la matriz.
Minerales opacos, se encuentran con formas euhedrales a subhedrales con tamaños que varían de 0.005 mm a 0.13 mm, diseminados y en cortas microfracturas. Están alterados por óxidos de hierro.
Vidrio volcánico, se presenta constituyendo la matriz junto a plagioclasas y minerales opacos diseminados.
Cuarzo, se presenta en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.01 mm alterando moldes de fenocristales, junto a cloritas y carbonatos.
Carbonatos, en agregados anhedrales se presentan con cuarzo, cloritas y óxidos de hierro, alterando moldes de fenocristales de máficos. Asimismo alteran a fenocristales de plagioclasas y rellenan cavidades.
Cloritas, agregados fibrosos, a veces dispuestos en formas radiales, alteran moldes de fenocristales junto a carbonatos y cuarzo y rellenan cavidades. Están parcialmente teñidos por óxidos de hierro.

<b>TEXTURA</b>	Porfírica
----------------	-----------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasas	74	Vidrio volcánico	8	Cloritas
		Cloritas	5	Carbonatos
		Carbonatos	4	Óxidos de hierro
		Minerales opacos	3	Arcillas
		Óxidos de hierro	2	Cuarzo
		Arcillas	2	Sericita

	Cuarzo	1	Calcedonia
	Calcedonia	Trazas	
	Apatito	Trazas	
	Sericita	Trazas	

**ALTERACIONES**

Cloritización, carbonatación, oxidación, argilización débiles .

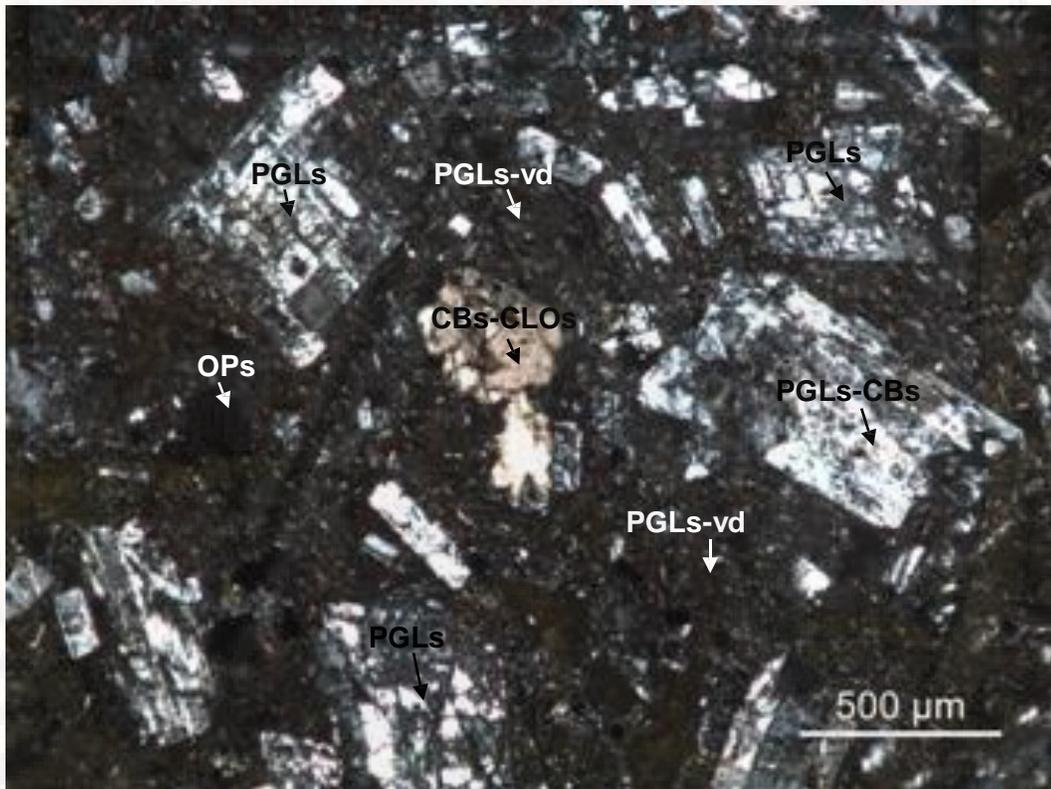
Silicificación muy débil.

Sericitización incipiente.

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍA/**



Muestra Nº MM-0 Código de Laboratorio: 28101002

NXs

Fenocristales de plagioclasas (PGLs), algunos alterados por carbonatos (PGLs-CBs) y moldes de fenocristales alterados por carbonatos y cloritas (CBs-CLOs) en matriz de plagioclasas y vidrio volcánico (PGLs-vd). Se observan minerales opacos (OPs) diseminados.

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-05	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101003	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	CUARZOANDESITA
----------------------------------	----------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca porfírica con fenocristales de plagioclasas y cuarzo de color gris claro con tonalidad ligeramente verdosa en matriz afanítica gris con impregnaciones y costras pardas rojizas de óxidos de hierro.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Ocurren fenocristales de plagioclasas, cuarzo y biotita en matriz de plagioclasas argilizadas, cuarzo primario y epidotas intersticiales. Se observan venillas de cuarzo y de limonitas.
Plagioclasas, se encuentran como fenocristales con formas euédrales a subédrales, bordes subredondeados a redondeados, maclados, zonados, microfracturados, alterados por albita, sericita, arcillas, epidotas, cloritas, carbonatos y óxidos de hierro, en ciertos casos se encuentran rodeados por óxidos de hierro. Presentan microfracturas rellenas por carbonatos, epidotas, minerales opacos y óxidos de hierro e inclusiones de apatito y biotita. Ocurren también como microcristales alterados por arcillas, constituyendo la matriz. El tamaño promedio es de 0.05 mm.
Cuarzo.- Presenta tres generaciones.
Cuarzo primario (cz I) como fenocristales con formas subredondeadas a redondeadas, tamaños hasta de 2.40 mm, bordes corroídos o de resorción y microfracturas rellenas por epidotas, minerales opacos y óxidos de hierro. Ocurren inclusiones de material de la matriz. Se encuentra también cuarzo primario como constituyente de la matriz.
Cuarzo secundario (czII) en agregados anhédrales con tamaño promedio de 0.04 mm se alteran escasos moldes de fenocristales.
Cuarzo III ocurre en agregados anhédrales con granulometría promedio de 0.10 mm relleno de fina venilla.
Biotita, fenocristales corroídos con tamaños hasta de 0.90 mm se hallan con minerales opacos y óxidos de hierro en clivaje. Se encuentran también como inclusiones en plagioclasas. Están ligeramente alterados por óxidos de hierro.
Piroxenos, se presentan como fenocristales con tamaños hasta de 0.25 mm y en pequeños cristales en intersticios de la matriz. Están alterados por cloritas y epidotas.
Minerales opacos, fenocristales con formas euédrales, subédrales y anhédrales se encuentran diseminados, en clivaje de biotita, en microfracturas de plagioclasas y cuarzo así como relleno de fracturas. Los tamaños varían de 0.005 mm a 0.12 mm. Están ligeramente alterados por óxidos de hierro.
Arcillas, agregados micro a criptocristalinos alteran a plagioclasas tanto en fenocristales como en la matriz.

Epidotas, se hallan en agregados alterando cristales de piroxenos, moldes de cristales y rellenando microfracturas de plagioclasas y cuarzo. Asimismo se encuentran en intersticios de la matriz.

Apatito, se observa microfenocrystal de 0.50 mm y como pequeños cristales incluidos en plagioclasas.

Zircón, Cristal euhedral de 0.10 mm se encuentra como inclusión en la matriz.

**TEXTURA**

Porfirítica

**MINERALOGÍA**

<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasas	76	Arcillas	5	Arcillas
Cuarzo I	10	Biotita	3	Cuarzo III
		Minerales opacos	2	Epidotas
		Piroxenos	2	Óxidos de fierro
		Cuarzo III	1	Cloritas
		Epidotas	Trazas	Carbonatos
		Óxidos de fierro	Trazas	Cuarzo II
		Cloritas	Trazas	Sericita
		Carbonatos	Trazas	
		Cuarzo II	Trazas	
		Sericita	Trazas	
		Apatito	Trazas	
		Zircón	Trazas	

**ALTERACIONES**

Argilización débil

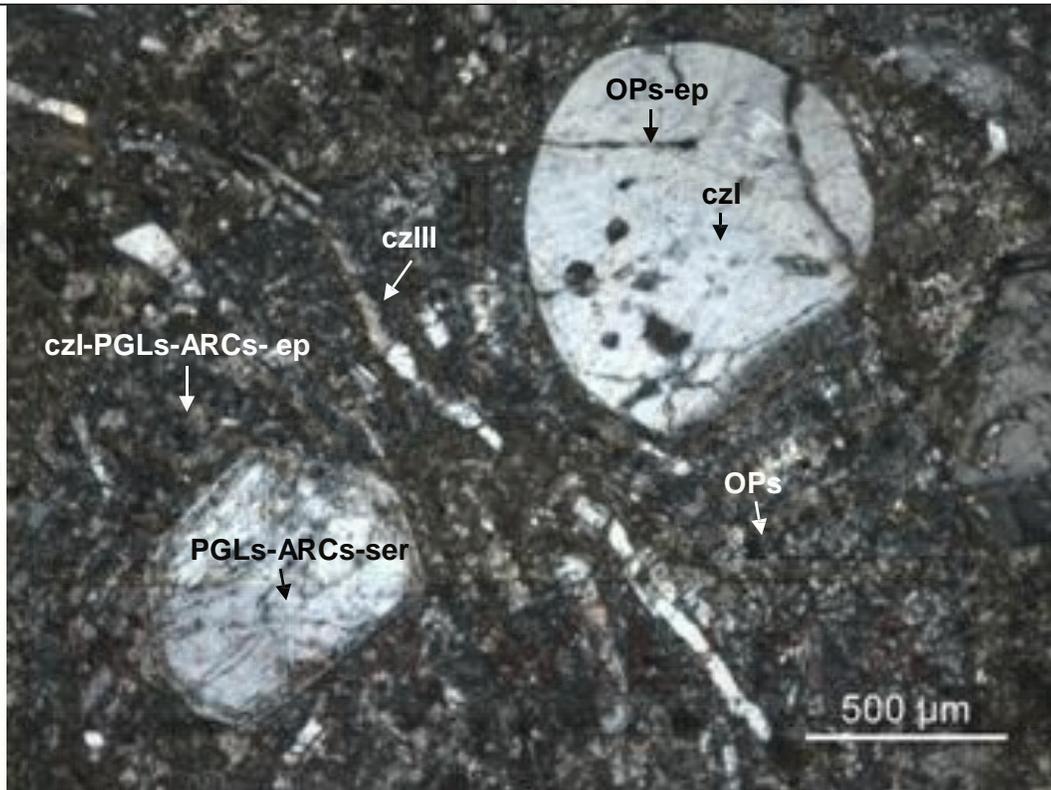
Silicificación muy débil

Epidotización, oxidación, cloritización, carbonatación y sericitización incipientes

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones

**FOTOMICROGRAFÍAS**



Muestra Nº MM-05 Código de Laboratorio: 28101003

NXs

Fenocristales de plagioclasas alteradas por arcillas y sericita (PGLs- ARCs-ser), de cuarzo (czl) con microfracturas rellenas por minerales opacos y epidotas (OPs-ep) en matriz de cuarzo, plagioclasas con epidotas intersticiales (PGLs-czl-ARCs-ep) y minerales opacos (OPs) diseminados. Se observa fina venilla de cuarzo (czIII).

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-06	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101004	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	ROCA ALTERADA A CUARZO-TURMALINA-ARCILLAS
----------------------------------	---

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca aparentemente de aspecto brechoide debido al intenso fracturamiento de color blanco grisáceo a negro, parcialmente afanítica, constituida en su mayoría por cuarzo, turmalina, también se observa poros y cavidades rellenas por turmalina, óxidos de hierro, en parte con impregnación de limonitas.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Roca en parte de aspecto brechoide, posiblemente debido al intenso fracturamiento, La roca está constituida por moldes de cristales de cuarzo I de origen primario, con ligera extinción ondulante, de formas subredondeadas, de tamaños menores de 0.8mm. Se observa moldes con contornos relícticos de cristales ahora alterados por agregados de granos de cuarzo II de origen secundario, otros moldes de cristales se encuentran alterados por arcillas criptocristalina y/o turmalina. Los fragmentos líticos de formas subangulosas con tamaños hasta de algunos mm de diámetro son de origen volcánico, con textura relíctica y se encuentran intensamente alterados por cuarzo-turmalina, la alteración es intensa. Los fragmentos presentan espacios vacíos, así como cavidades rellenas por turmalina. Se observa microfracturas cortas rellenas por turmalina, algunas veces con impregnación de óxidos de hierro. Los opacos de formas subhedrales con tamaños menores de 0.5mm, ocurren diseminados en los fragmentos, o a veces acompañan a la turmalina en fracturas, los minerales opacos se presentan parcialmente alterados por los óxidos de hierro Están cementados por agregados de granos de cuarzo anhedral, y mayormente turmalina en intersticios en forma anhedral y agregados de cristales en forma de agujas dispuestos radialmente los mismos que se encuentran como inclusiones en el cuarzo.

<b>TEXTURA</b>	Aparentemente Brechosa
----------------	------------------------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Cuarzo II	60	Sericita	7	Cuarzo II, III
Cuarzo III		Opacos	<2	Turmalina
Turmalina	20	Óxidos de hierro	1	Óxidos de hierro.
Arcillas	10	Cuarzo I	traza	

**ALTERACIONES**

Sulfidación y turmalinización intensa

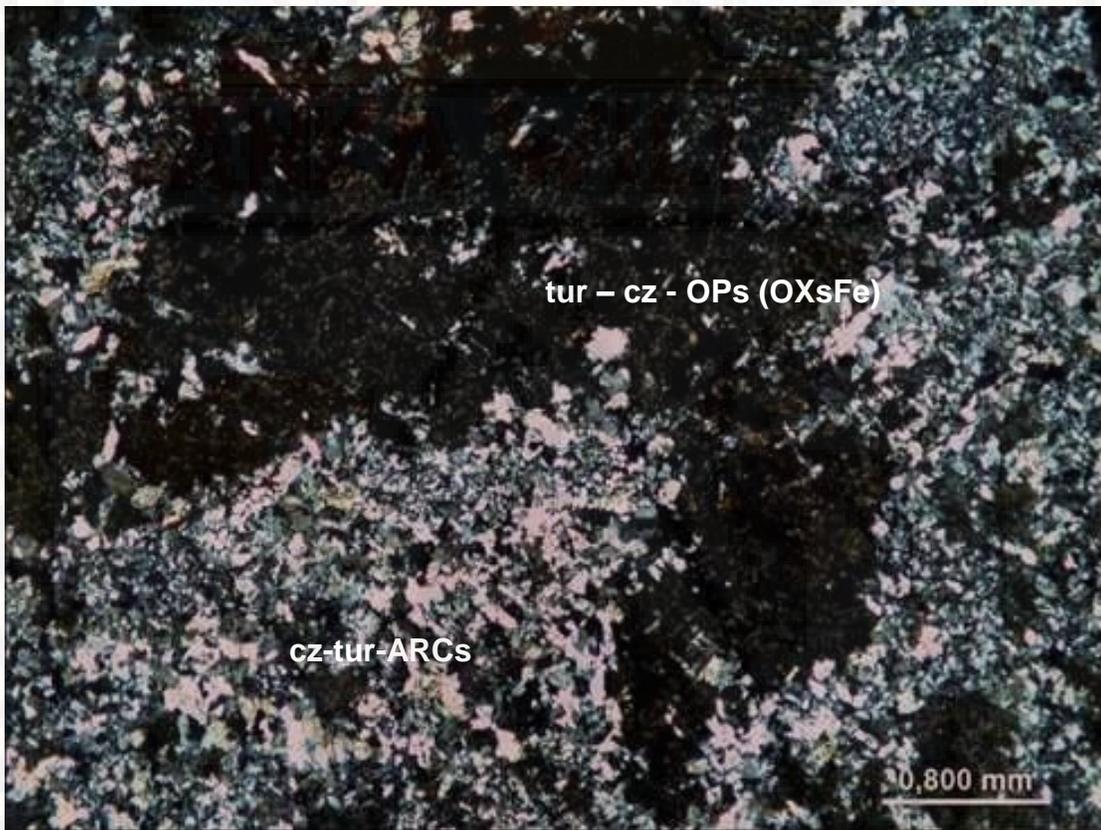
Argilización débil a moderada

Oxidación muy débil.

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones

**FOTOMICROGRAFÍAS**



Muestra Nº MM-06 Código de Laboratorio 28101004

NXs

Se observa agregados de granos de cuarzo (cz) con turmalina (tur) y agregado cripto-cristalino de arcillas (ARCs) relleno de intersticios. Asimismo se observa agregados de granos de turmalina-cuarzo y escasos granos de minerales opacos (OPs) ligeramente alterados por los óxidos de hierro (OXsFe) como material cementante.

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-07	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101005	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	ROCA INTENSAMENTE SILICIFICADA
----------------------------------	--------------------------------

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Roca de color blanco lechoso con impregnaciones rojizas y pardo claro, parcialmente afanítica, se observa escasos moldes de cristales ahora alterados por las arcillas, presenta abundantes porosidades (Vuggy Silica), algunas rellenas por óxidos de hierro.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Roca volcánica, intensamente alterada por cuarzo. La textura y el tamaño del cuarzo que sustituye la paragénesis de la roca original se presenta en mosaicos de cuarzo mayormente esferulíticos, con tamaños hasta de 0.4mm, asimismo se observa agregados de granos de cuarzo de menor granulometría de 0.1mm. en intersticios. Por zonas los granos de cuarzo se hallan recristalizados.

Calcedonia, en forma de agregados relleno intersticios, también está presente en las paredes de las cavidades.

Sericita, se localiza en forma de agregados relleno intersticios, por zonas se presenta con impregnación de óxidos de hierro.

Baritina, de forma subhedral con tamaños menores de 0.3mm, se presenta relleno intersticios o entre los granos de cuarzo.

Óxidos de hierro, mayormente de formas coliformes (goetita) se halla relleno cavidades, algunas veces se hallan en intersticios o como impregnación en la sericita.

La roca presenta cavidades en cuyas paredes están rellenas por cuarzo bipiramidal acompañados con los óxidos de hierro.

La roca presenta numerosas porosidades.

<b>TEXTURA</b>		Obliterada		
<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Cuarzo	93	Óxidos de hierro	3	Cuarzo
		Calcedonia	2	Óxidos de hierro
		Sericita	2	Calcedonia
		Baritina	trazas	Sericita
				Baritina

--

**ALTERACIONES**

Silicificación intensa

Oxidación débil

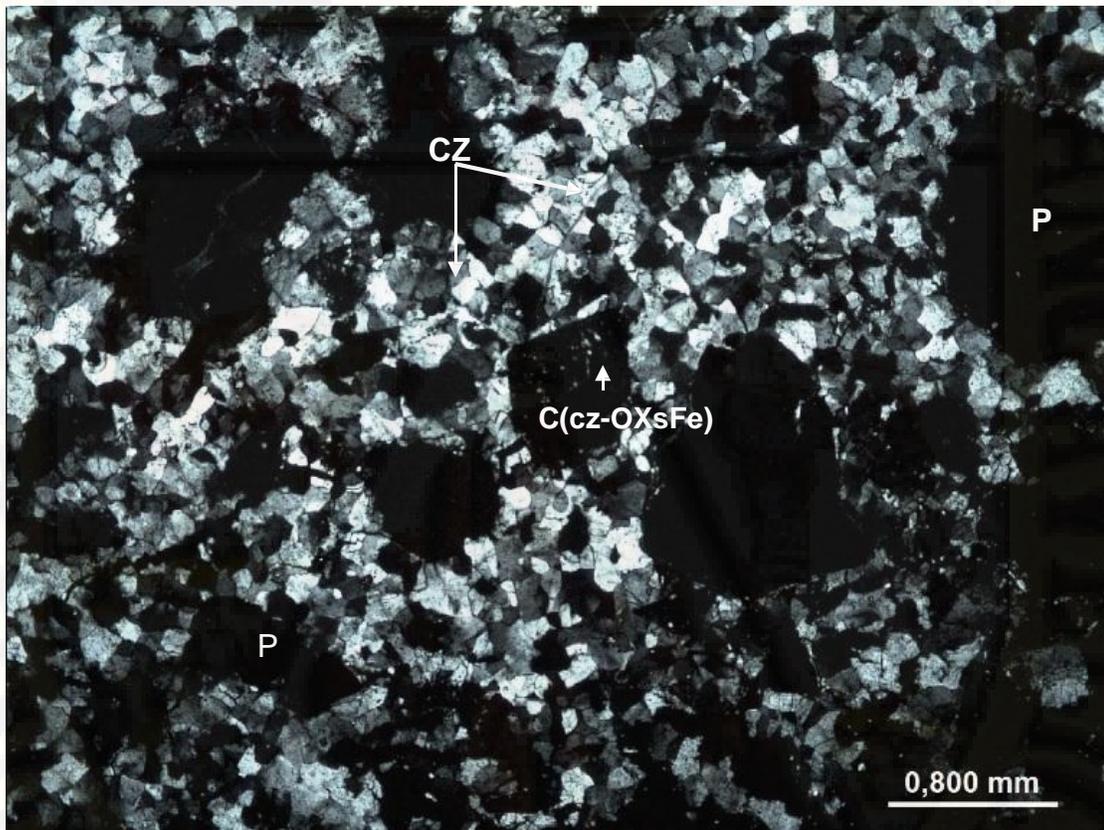
Sericitización muy débil

Baritina de origen secundario incipiente.

**OBSERVACIONES**

Al parecer la roca original ha sido de origen volcánico, se ha observado un molde con contornos relíctico de cristal de forma subhedral ahora alterado por los óxidos de hierro -cuarzo

**FOTOMICROGRAFÍAS**



Muestra Nº MM-07 Código de Laboratorio 28101005

NXs

Roca intensamente silicificada (cz), en la que se observa un molde de cristal subhedral (C) parcialmente alterado por cuarzo-óxidos de hierro (cz-OXsFe). La roca pre-numerosas porosidades. (P).

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-08	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101006	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:</b>	BRECHA INTENSAMENTE ALTERADA A CUARZO-SERICITA Y ARCILLAS
----------------------------------	---

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Fragmentos de color gris en matriz de color gris claro alterada por cuarzo y sericita con costras e impregnaciones pardas rojizas de óxidos de hierro. Presenta porosidades submilimétricas rellenas por óxidos de hierro y vena de cuarzo.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Se observan moldes de fragmentos alterados por arcillas, moldes de cristales alterados por cuarzo, sericita, arcillas y óxidos de hierro así como escasos cristales de cuarzo primario en matriz intensamente alterada por cuarzo con sericita intersticial. Venas rellenas por agregados anhedrales de cuarzo atraviesan la muestra.

Fragmentos Líticos, se presentan moldes de fragmentos líticos alterados por arcillas. Presentan venillas de limonitas.

Cuarzo I, se presentan escasos cristales de cuarzo primario con formas angulosas a subangulosas, bordes ligeramente corroídos y tamaños hasta de 0.76 mm.

Cuarzo II, en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.15 mm se hallan con sericita y óxidos de fierro intersticiales, alterando moldes de cristales.

Cuarzo III, agregados anhedrales alteran, junto a sericita, la matriz de la roca.

Cuarzo IV, ocurre en agregados anhedrales con granulometría promedio de 0.26 mm relleno de venas.

Minerales opacos, con formas euhedrales a subhedrales y tamaños que varían de 0.01 mm a 0.35 mm se presentan diseminados, en intersticios y en cortas venillas. Están alterados por óxidos de fierro.

Sericita, se encuentra en agregados anhedrales alterando moldes de cristales y en intersticios de la matriz. Se hallan teñidos por óxidos de fierro.

Turmalina, se observan agregados aciculares dispuestos en formas radiales en molde de fragmento alterado por arcillas. El tamaño promedio es de 0.10 mm.

Óxidos de fierro, alteran moldes de cristales y a minerales opacos, observándose pseudomorfos de los mismos. Asimismo rellenan intersticios y venas.

<b>TEXTURA</b>	Relictica
----------------	-----------

<b>MINERALOGÍA</b>		
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>
		<b>%</b>
		<b>SECUNDARIOS</b>

Cuarzo III	45	Óxidos de hierro	7	Cuarzo III
Sericita	30	Cuarzo IV	5	Sericita
		Arcillas	5	Óxidos de hierro
		Cuarzo II	4	Cuarzo IV
		Minerales opacos	2	Cuarzo II
		Cuarzo I	Trazas	Arcillas
		Turmalina	Trazas	Turmalina

#### ALTERACIONES

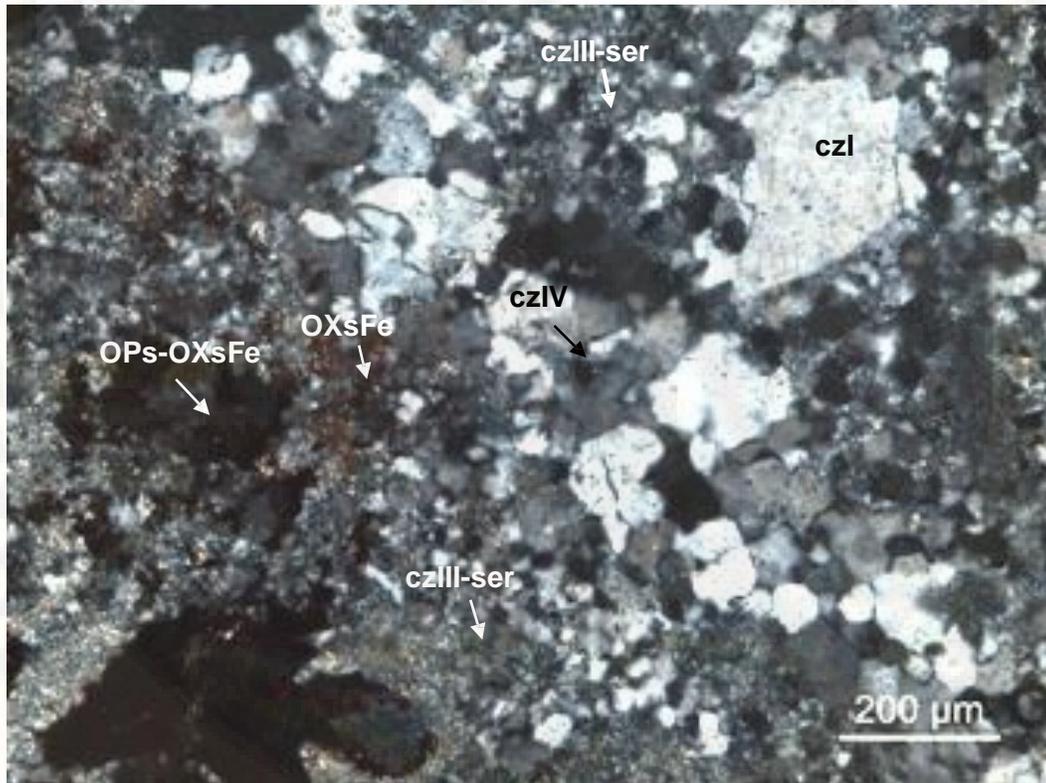
Silicificación y sericitización intensas.

Oxidación y argilización débiles.

#### OBSERVACIONES

Sin observaciones.

#### FOTOMICROGRAFÍA/S



Muestra Nº MM-08 Código de Laboratorio: 28101006

NXs

Cristal de cuarzo primario (czi) en matriz alterada por cuarzo y sericita intersticial (czIII-ser) observándose minerales opacos diseminados y en intersticios, están alterados por óxidos de hierro (OPs-OXsFe). Así

**también se encuentran óxidos de fierro (OXsFe) en intersticios. Ocurre vena rellena por agregados de cuarzo (czIV).**

**SOLICITADO POR :** SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ

**Nº DE MUESTRA ORIGINAL:** MM-12

**REFERENCIA**

**CLAVE DE LABORATORIO:** 28101007

OT Nº 059/2010

SOLICITUD Nº

**COORDENADAS:** SIN COORDENADAS

**ESTUDIO REALIZADO POR:** ING. LEONOR RAMIREZ Y.

**FECHA:** Noviembre del 2010

**CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:**

BRECHA INTENSAMENTE SILICIFICADA

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Se observan moldes de fragmentos de color gris con tonalidades parduzcas alterados por cuarzo y óxidos de fierro en matriz de color gris intensamente silicificada. Se presentan numerosas porosidades submilimétricas a milimétricas y costras pardas rojizas de óxidos de fierro.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Ocurren moldes de fragmentos intensamente silicificados observándose escasos cristales de cuarzo primario en matriz intensamente alterada por cuarzo con óxidos de fierro intersticiales.

Fragmentos líticos, moldes de fragmentos líticos con textura porfírica en los que se observan fenocristales de cuarzo primario y escasos moldes de fenocristales alterados por cuarzo en matriz intensamente silicificada.

Cuarzo I, ocurren escasos cristales de cuarzo primario con formas subredondeadas a redondeadas y tamaños hasta de 0.45 mm, como relictos de roca original. Presentan bordes corroídos e inclusiones de apatito.

Cuarzo II, en agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.12 mm se encuentran alterando moldes de cristales, en ciertos casos con sericita intersticial.

Cuarzo III, agregados anhedrales con tamaño promedio de 0.03 mm se presentan alterando intensamente a la matriz de la roca.

Cuarzo IV, se hallan en agregados anhedrales relleno de venas entrecruzadas que son cortadas por venas de óxidos de fierro. El tamaño promedio es de 0.17 mm.

Minerales opacos, con formas euhedrales a subhedrales y tamaños menores de 0.16 mm se hallan diseminados y en finas venillas. Están alterados por óxidos de fierro.

Sericita, agregados anhedrales se encuentran alterando moldes de cristales y en intersticios de la matriz. Están parcialmente impregnados por óxidos de fierro.

Óxidos de fierro, se hallan alterando a minerales opacos, relleno de intersticios y venas que cortan a venas de cuarzo. Tiñen parcialmente a sericita.

Baritina, se encuentra en agregados subhedrales con tamaño promedio de 0.20 mm relleno de intersticios de molde de cristal silicificado (cz II) y de venas de cuarzo (cz IV).

Rutilo, agregados anhedrales se encuentran en moldes de cristales alterados por óxidos de fierro y en intersticios.

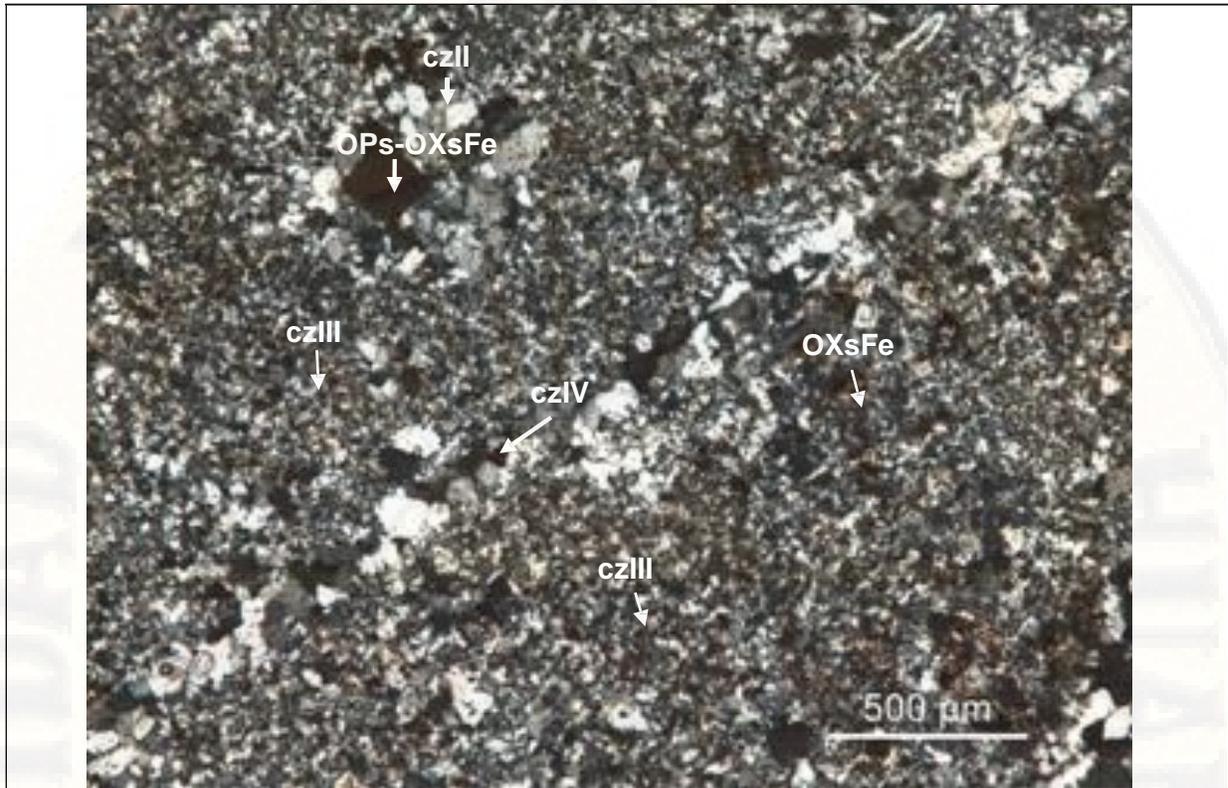
<b>TEXTURA</b>	Relictica
----------------	-----------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES</b>	<b>%</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Cuarzo III	80	Cuarzo IV	7	Cuarzo III
		Cuarzo II	4	Cuarzo IV
		Óxidos de fierro	3	Cuarzo II
		Sericita	3	Óxidos de fierro
		Minerales opacos	2	Sericita
		Cuarzo I	Trazas	
		Rutilo	Trazas	
		Baritina	Trazas	

<b>ALTERACIONES</b>
Silicificación intensa
Oxidación y sericitización débiles

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones

<b>FOTOMICROGRAFÍA/S</b>



Muestra Nº MM-12 Código de Laboratorio: 28101008

NXs

Se observa molde de cristal alterado por agregados de cuarzo (czII) y vena rellena por agregados de cuarzo (czIV) con escasos óxidos de hierro (OXsFe) intersticiales en matriz intensamente alterada por cuarzo (czIII) y localmente impregnada por óxidos de hierro. Ocurren minerales opacos alterados por óxidos de hierro (OPs-OXsFe).

## ANEXO IB ESTUDIO MINERAGRÁFICO

	<b>FORMATO</b>	Código : DL-F-157
	<b>ESTUDIO MINERAGRÁFICO</b>	Versión : 00 Aprobado por: DL Fecha aprob.: Página : 157 de 186

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-06	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101004	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca aparentemente de aspecto brechoide debido al intenso fracturamiento de color blanco grisáceo a negro, parcialmente afanítica, constituida en su mayoría por cuarzo, turmalina, también se observa poros y cavidades rellenas por turmalina, óxidos de hierro, en parte con impregnación de limonitas.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Se presentan escasos granos de pirita de formas enebrales de tamaños menores de 0.02mm, se hallan incluidos en la ganga y como relictos en goethita-limonitas.
Magnetita, de forma anhidra con tamaños menores de 0.035mm
Goethita-limonitas, se presentan como pseudomorfos, antes pirita, quedando relictos de ella., por sectores se presenta como impregnación y en venillas cortas de la ganga.
La ganga corresponde a la parte no metálica.

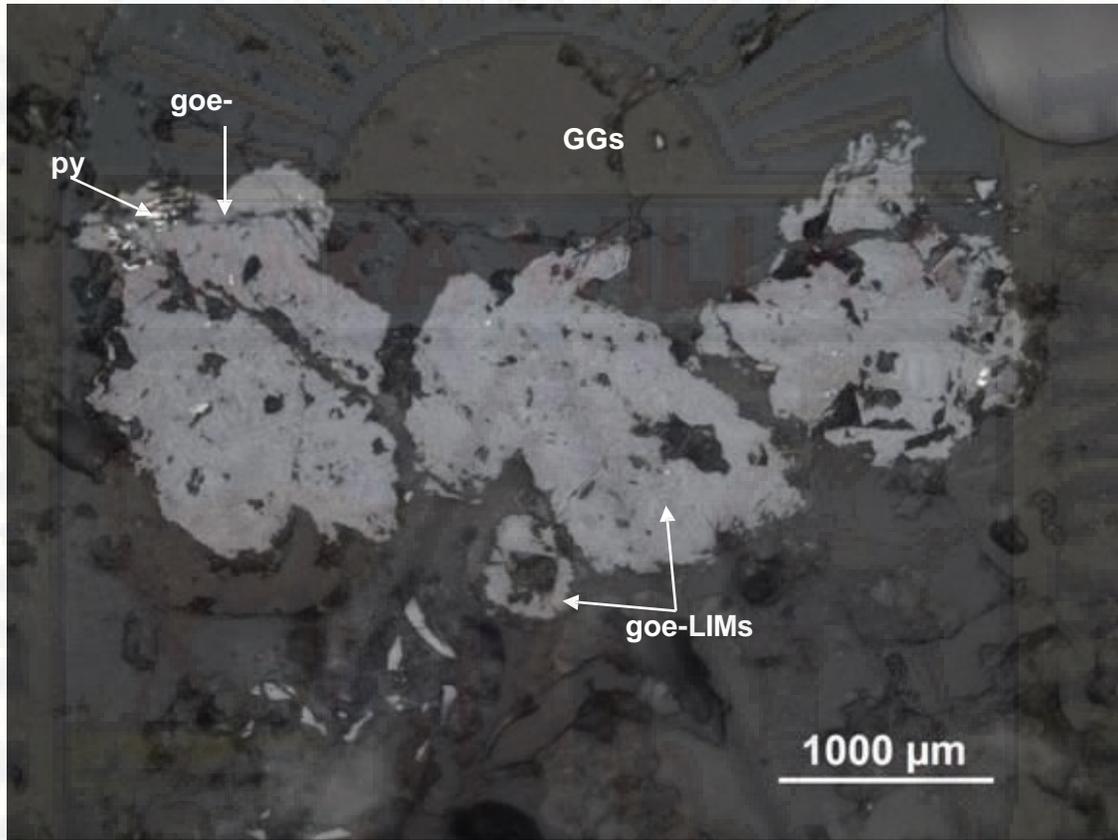
<b>MINERALOGÍA</b>	
<b>PORCENTAJE APROXIMADO</b>	<b>%</b>
Pirita	trazas
Goethita-limonitas	<1
Magnetita	trazas
Ganga	99

<b>SECUENMCIA DE FORMACIÓN PROBABLE</b>
Magnetita
Pirita
Goethita-limonitas

<b>TEXTURA</b>	De desplazamiento por alteración, y de relleno.
----------------	---

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación (goethita-limonitas) muy débil.
<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍAS**



*Muestra Nº MM-06 Código de Laboratorio 28101004 N/s*  
*Se observa pseudomorfos de goethita-limonitas (goe-LIMs) antes pirita (py) encontrándose relictos de ella, se encuentran distribuidos en la ganga (GGs).*

SOLICITADO POR : SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
Nº DE MUESTRA ORIGINAL: MM-07	REFERENCIA	
CLAVE DE LABORATORIO: 28101005	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
COORDENADAS: SIN COORDENADAS		

ESTUDIO REALIZADO POR: ING. LEONOR RAMIREZ Y.	FECHA: Noviembre del 2010
---	---------------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca de color gris parduzca con costras e impregnaciones pardas rojizas de óxidos de hierro. Se observan numerosas cavidades submilimétricas a milimétricas, lagunas rellenas por óxidos de hierro.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Pirita, escasos cristales subhedrales se hallan diseminados en la ganga y como relictos en limonitas. El tamaño promedio es de 0.02 mm.
Especularita, se observan cristales con formas aciculares y tamaño promedio de 0.03 mm dispersos en la ganga.
Magnetita, escasos cristales con formas subhedrales y tamaño promedio de 0.05 mm se hallan en la ganga.
Electrum, se observan dos granos con tamaños menores de 0.01 mm como inclusiones en la ganga.
Hematita, se encuentra alterando moldes de cristales, en bordes de porosidades y relleno de fracturas de la ganga.
Limonitas, se presentan en intersticios, porosidades y fracturas de la ganga. Asimismo se hallan alterando moldes de cristales, en algunos casos siguiendo direcciones cristalográficas. Impregnan parcialmente a la ganga.
Goethita, ocurren agregados en bordes de porosidades de la ganga, junto a limonitas.

<b>MINERALOGIA</b>	
<b>PORCENTAJE APROXIMADO</b>	<b>%</b>
Especularita	Trazas
Magnetita	Trazas
Pirita	Trazas
Electrum	Trazas
Goethita	1
Hematita	1
Limonitas	7
Ganga	90

<b>SECUENCIA DE FORMACIÓN PROBABLE</b>
Especularita
Magnetita
Pirita
Electrum
Hematita
Limonitas- Goethita

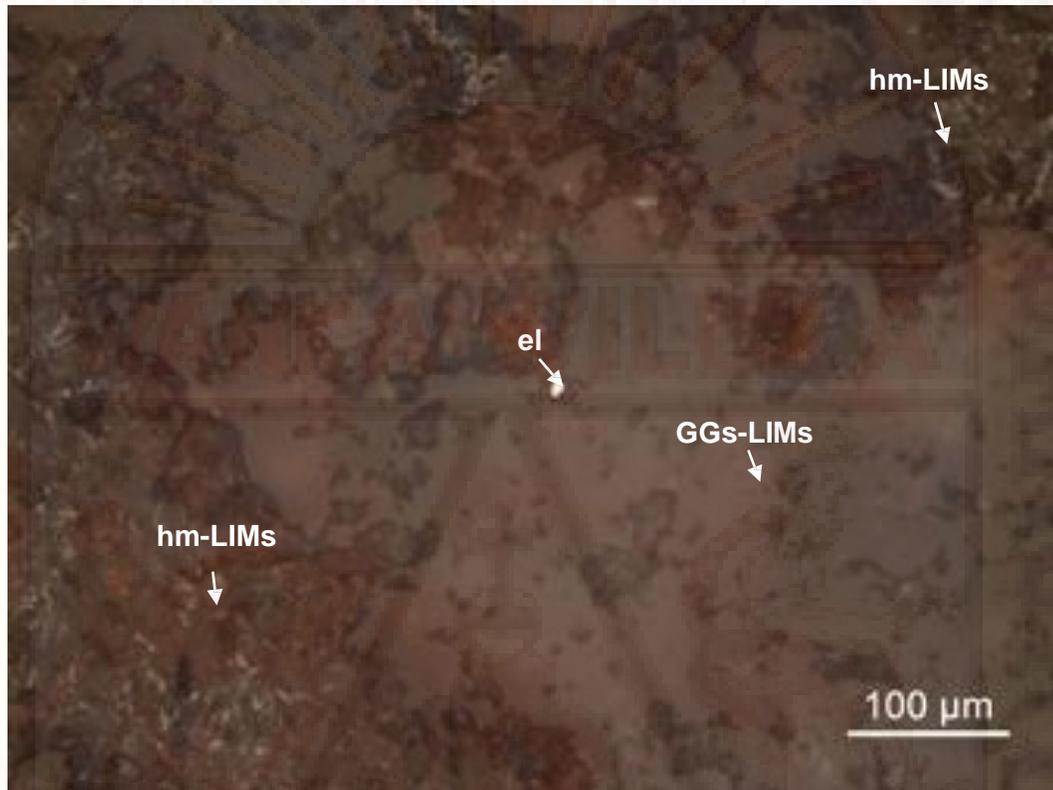
<b>TEXTURA</b>	De relleno, reemplazamiento, diseminado (incipiente).
----------------	---

<b>ALTERACIONES</b>
Moldes de cristales alterados por hematita y limonitas.

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍAS**



*Muestra N° NM-07 Código de Laboratorio: 28101005*

*N/s*

*Se aprecia electrum (el) como inclusión en la ganga la cual se halla parcialmente impregnada por limonitas (GGs- LIMs). Ocurre hematita y limonitas (hm-LIMs) relleno de porosidades de la ganga.*

<b>SOLICITADO POR :</b> SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-08	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101006	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca de color blanco grisáceo con impregnaciones pardas amarillentas alterada mayormente por cuarzo, y arcillas, presenta algunas oquedades rellenas por limonitas, arcillas y escasos espacios vacíos. Asimismo se observa venillas de limonitas perpendiculares a venillas de cuarzo.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Pirita, se presenta como granos de formas anhedrales con tamaños menores de 0.015 micrones, ocurre diseminado en la ganga, se observa granos relictos de pirita han sido alterados por las limonitas.
Se observa pseudomorfos de formas euhedrales y subhedrales de limonitas, goethita de forma coliformes posiblemente han alterado a la pirita, así también se presenta como impregnación o relleno porosidades y cavidades de la ganga. Las limonitas se presentan en mayor proporción, la goethita en menor proporción.
La ganga corresponde a la parte no metálica.

<b>MINERALOGÍA</b>	
<b>PORCENTAJE APROXIMADO</b>	<b>%</b>
Pirita	0.2
Goetita-limonitas	15
Ganga	84.8

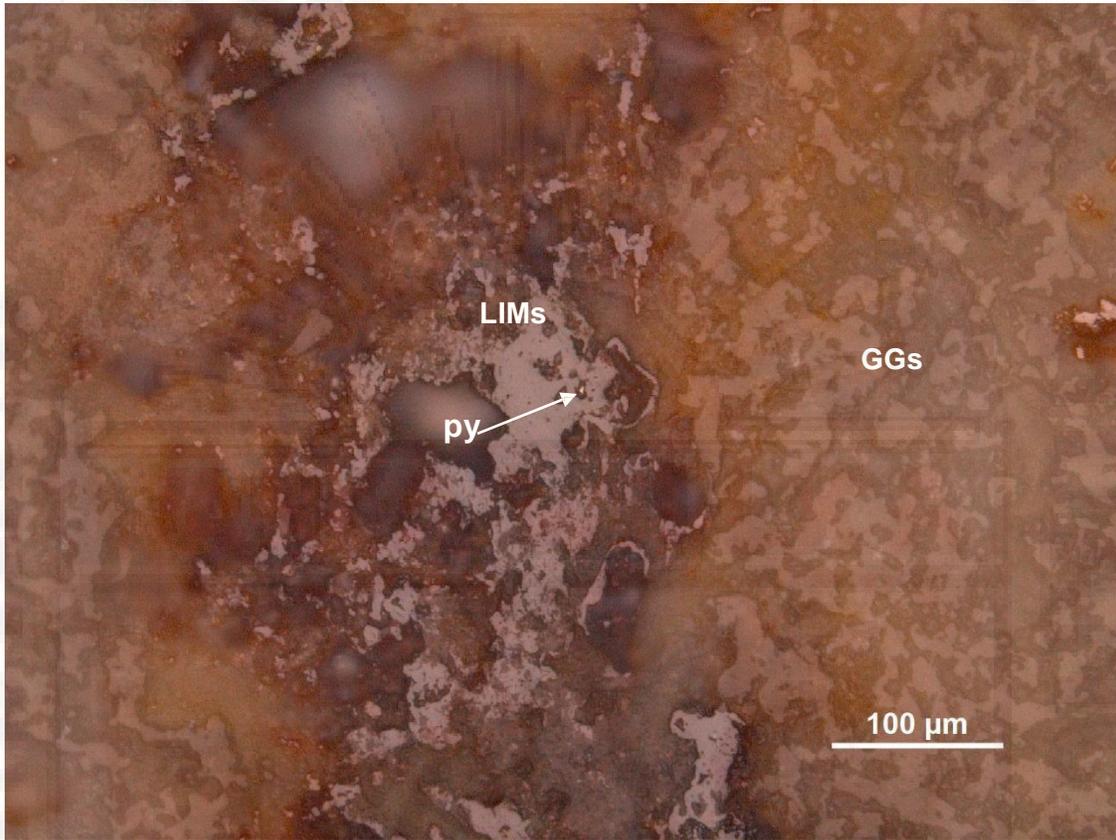
<b>SECUENCIA DE FORMACION PROBABLE</b>
Pirita
Goetita-limonitas

<b>TEXTURA</b>	Escasamente diseminado y de reemplazamiento por alteración.
----------------	---

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación (goethita-limonitas) moderada.

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones

**FOTOMICROGRAFÍAS**



*Muestra Nº MM-06 Código de Laboratorio 28101004 N/s  
Limonitas (LIMs) relleno de cavidades y con impregnación en la ganga (GGs), con inclusión de piritita (py).*

SOLICITADO POR : SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ		
Nº DE MUESTRA ORIGINAL: MM-11	REFERENCIA	
CLAVE DE LABORATORIO: 28101007	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
COORDENADAS: SIN COORDENADAS		

ESTUDIO REALIZADO POR: ING. LEONOR RAMIREZ Y.	FECHA: Noviembre del 2010
---	---------------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca constituida por fragmentos de color gris claro con impregnaciones y costras pardas rojizas y amarillentas de óxidos de hierro, observándose venas de cuarzo y de óxidos de hierro así como porosidades y cavidades submilimétricas a centimétricas, algunas rellenas por óxidos de hierro.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>

Pirita, escasos cristales euhedrales a subhedrales con tamaños menores de 0.02 mm se hallan dispersos en la ganga y como inclusión en esfalerita.
Calcopirita, ocurren pequeños cristales diseminados en la ganga y como inclusión en bornita la cual la reemplaza por sus bordes. Presenta inclusión de pirrotita.
Bornita, se encuentra con forma subredondeada y tamaño de 0.02 mm en la ganga. Presenta inclusión de calcopirita. Es reemplazada por digenita.
Esfalerita, cristal subhedral de 0.007 mm se presenta reemplazada por calcopirita. Presenta inclusión de pirita.
Digenita, se encuentra alterando por sus bordes a bornita.
Hematita, alteran moldes de cristales y rellenan intersticios de la ganga.
Limonitas, se presentan alterando escasos moldes de cristales, relleno porosidades e intersticios así también impregnando localmente a la ganga.

<b>MINERALOGÍA</b>		
<b>PORCENTAJE APROXIMADO</b>	<b>%</b>	
Pirita		Trazas
Pirrotita		Trazas
Esfalerita		Trazas
Calcopirita		Trazas
Bornita		Trazas
Digenita		Trazas
Limonitas		6
Ganga		93

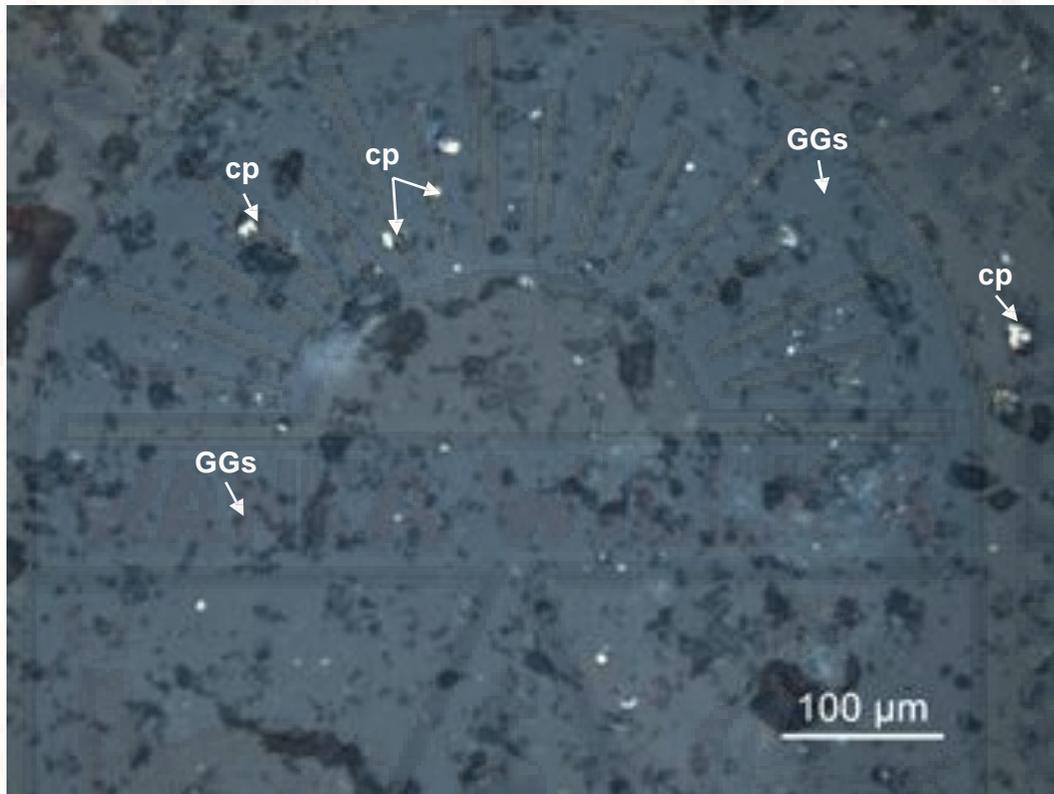
<b>SECUENCIA DE FORMACION PROBABLE</b>
Pirita
Pirrotita
Esfalerita
Calcopirita
Bornita
Digenita
Limonitas

<b>TEXTURA</b>	De relleno, reemplazamiento y diseminado (incipiente).
----------------	--

<b>ALTERACIONES</b>
Moldes de cristales alterados por hematita y limonitas.

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍAS**



**Muestra Nº NM-11 Código de Laboratorio:28101007**

**N/s**

**Se observan pequeños cristales de calcopirita (cp) incipientemente diseminados en la ganga (GGs).**

<b>SOLICITADO POR : SHONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ</b>		
<b>Nº DE MUESTRA ORIGINAL:</b> MM-12	<b>REFERENCIA</b>	
<b>CLAVE DE LABORATORIO:</b> 28101008	OT Nº 059/2010	SOLICITUD Nº
<b>COORDENADAS:</b> SIN COORDENADAS		

<b>ESTUDIO REALIZADO POR:</b> ING. LEONOR RAMIREZ Y.	<b>FECHA:</b> Noviembre del 2010
--	----------------------------------

<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>
Roca de color blanco grisáceo con impregnación amarillenta, en parte rojizas por presencia de limonitas y goetita los que también rellenan porosidades, se ha observado escasos granos de calcopirita.
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>
Pirita, se presentan granos de formas anhedrales con tamaños que varían de 0.003 a 0.02mm, ocurren diseminados en la ganga, asimismo ocurre como inclusión en las limonitas-goetita.
Goethita-limonitas, se ha observado pseudomorfos de goetita-limonitas posiblemente ha alterado a la pirita., asimismo se observa a la goetita-limonita relleno microfracturas y cavidades de la ganga.
Magnetita, ocurre como cristales de formas anhedrales con tamaños menores de 0.05 mm incluidos en la ganga.
Se observa escasos granos de calcopirita de forma anhidra con tamaño menor de 0.05mm, ocurre como inclusión en la ganga y en goethita-limonitas los cuales rellenan cavidades.
La ganga corresponde a la parte no metálica.

<b>MINERALOGÍA</b>	
<b>PORCENTAJE APROXIMADO</b>	<b>%</b>
Pirita	0.3
Goethita-limonitas	12
Ganga	87.7
Magnetita	trazas
Calcopirita	trazas

**SECUENCIA DE FORMACION PROBABLE**

Magnetita

Pirita

Calcopirita

Goetita-limonitas

**TEXTURA**

Diseminado, parcialmente de reemplazamiento y de relleno.

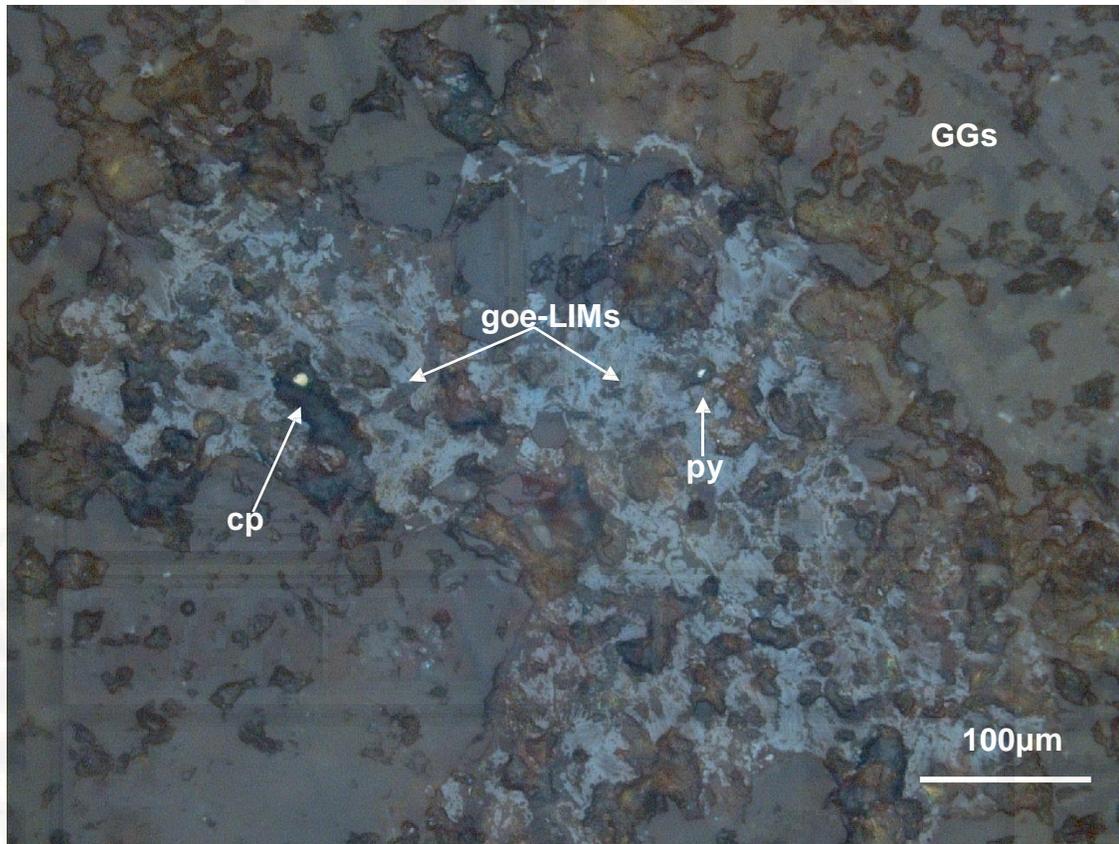
**ALTERACIONES**

Oxidación (goetita-limonitas) moderada.

**OBSERVACIONES**

Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍAS**



**Muestra N° MM-12 Código de Laboratorio 28101008**

**N/s**

**Granos de calcopirita (cp) y pirita (py) como inclusiones en la goetita-limonitas los cuales rellenan cavidades de la ganga (GGs).**

## **ANEXO II**

**Tablas con porcentajes de la recuperación metalúrgica  
Correlacionadas con la geología del yacimiento Don Marcelo.**

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-15	0	17.8	Arg	OxFe	0.13	65
DM-15	17.8	34.3	PROP	OxFe	0.13	65
DM-15	34.3	86.3	SM	OxFe	0.13	65
DM-15	86.3	100	PROP	OxFe	0.13	65
DM-15	100	152.9	SM	OxFe	0.13	65
DM-15	152.9	158	PROP	OxFe	0.13	65
DM-15	158	160	PROP	OxFe	0.135	65
DM-15	160	162	SM	OxFe	0.13	90
DM-15	162	164	SM	OxFe	0.135	90
DM-15	164	166	SM	OxFe	0.143	90
DM-15	166	168	SM	OxFe	0.086	90
DM-15	168	170	SM	OxFe	0.167	90
DM-15	170	172	SM	OxFe	0.18	90
DM-15	172	174	SM	OxFe	0.1	90
DM-15	174	176	SM	OxFe	0.156	90
DM-15	176	178	Arg	OxFe	0.175	65
DM-15	178	180	SM	OxFe	0.172	90
DM-15	180	182	SM	OxFe	0.148	90
DM-15	182	184	SM	OxFe	0.132	90
DM-15	184	186	SM	OxFe	0.173	90
DM-15	186	188	SM	OxFe	0.164	90
DM-15	188	190	SM	OxFe	0.176	90
DM-15	190	192	SM	OxFe	0.154	90
DM-15	192	194	SM	OxFe	0.16	90
DM-15	194	196	SM	OxFe	0.181	90
DM-15	196	198	SM	OxFe	0.161	90
DM-15	198	200	SM	OxFe	0.13	90
DM-15	200	202	SM	OxFe	0.144	90
DM-15	202	204	SM	OxFe	0.219	90
DM-15	204	206	SM	OxFe	0.161	90
DM-15	206	208	SM	OxFe	0.196	90
DM-15	208	210	Arg	OxFe	0.234	68
DM-15	210	212	Arg	OxFe	0.194	68
DM-15	212	214	Arg	OxFe	0.149	68
DM-15	214	216	Arg	OxFe	0.176	68
DM-15	216	218	Arg	OxFe	0.189	68
DM-15	218	220	PROP	OxFe	0.182	77
DM-15	220	222	PROP	OxFe	0.184	77
DM-15	222	224	PROP	OxFe	0.206	77
DM-15	224	226	PROP	OxFe	0.183	77

**INFLUENCIA DEL MODELO GEOMETALÚRGICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO DEL Au EN EL YACIMIENTO DON MARCELO DE LA PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH - 2017**

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-15	226	228	PROP	OxFe	0.122	77
DM-15	228	230	PROP	OxFe	0.199	77
DM-15	230	232	PROP	OxFe	0.195	77
DM-15	232	234	PROP	OxFe	0.255	77
DM-15	234	236	PROP	OxFe	0.235	77
DM-15	236	238	PROP	OxFe	0.331	77
DM-15	238	240	PROP	OxFe	0.327	77
DM-15	240	242	PROP	OxFe	0.336	77
DM-15	242	244	PROP	OxFe	0.352	77
DM-15	244	246	PROP	OxFe	0.388	77
DM-15	246	248	PROP	OxFe	0.349	77
DM-15	248	250	PROP	OxFe	0.456	77
DM-15	250	252	PROP	OxFe	0.357	77
DM-15	252	254	PROP	OxFe	0.576	77
DM-15	254	256	PROP	OxFe	0.257	77
DM-15	256	258	PROP	OxFe	0.268	77
DM-15	258	260	PROP	OxFe	0.539	77
DM-15	260	262	PROP	OxFe	0.448	77
DM-15	262	264	PROP	OxFe	0.441	77
DM-15	264	266	PROP	OxFe	0.455	77
DM-15	266	268	PROP	OxFe	0.431	77
DM-15	268	270	PROP	OxFe	0.451	77
DM-15	270	272	PROP	OxFe	0.399	77
DM-15	272	274	PROP	OxFe	0.436	77
DM-15	274	276	PROP	OxFe	0.44	77
DM-15	276	278	PROP	OxFe	0.512	77
DM-15	278	280	PROP	OxFe	0.483	77
DM-15	280	282	PROP	OxFe	0.298	77
DM-15	282	284	SM	OxFe	0.241	92
DM-15	284	286	SM	OxFe	0.268	92
DM-15	286	288	SM	OxFe	0.283	92
DM-15	288	290	SM	OxFe	0.153	92
DM-15	290	292	SM	OxFe	0.32	92
DM-15	292	294	SM	OxFe	0.265	92
DM-15	294	296	SM	OxFe	0.269	92
DM-15	296	298	SM	OxFe	0.272	92
DM-15	298	300	SM	OxFe	0.258	92
DM-15	300	302	SM	OxFe	0.284	92
DM-15	302	304	SV	OxFe	0.209	88
DM-15	304	306	SV	OxFe	0.278	88

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-15	306	308	SV	OxFe	0.409	88
DM-15	308	310	SV	OxFe	0.533	88
DM-15	310	312	Arg	OxFe	0.566	70
DM-15	312	314	Arg	OxFe	0.565	70
DM-15	314	316	Arg	OxFe	0.687	70
DM-15	316	318	Arg	OxFe	0.678	70
DM-15	318	320	SM	OxFe	0.593	90
DM-15	320	322	SM	OxFe	0.578	90
DM-15	322	324	SM	OxFe	0.57	90
DM-15	324	326	SM	OxFe	0.208	90
DM-15	326	328	SM	OxFe	0.413	90
DM-15	328	330	SV	OxFe	0.371	89
DM-15	330	332	SV	OxFe	0.274	89
DM-15	332	334	SV	OxFe	0.293	89
DM-15	334	336	PROP	OxFe/Sul	0.298	70
DM-15	336	338	PROP	OxFe/Sul	0.3	70
DM-15	338	340	PROP	OxFe/Sul	0.316	70
DM-15	340	342	PROP	OxFe/Sul	0.319	70
DM-15	342	344	PROP	OxFe/Sul	0.36	70
DM-15	344	346	SV	OxFe/Sul	0.377	75
DM-15	346	348	SV	OxFe/Sul	0.391	75
DM-15	348	349.6	SV	OxFe/Sul	0.304	75

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-22	0	2	Arg	OxFe	0.12	65
DM-22	2	4	Arg	OxFe	0.123	65
DM-22	4	6	Arg	OxFe	0.126	65
DM-22	6	8	Arg	OxFe	0.129	65
DM-22	8	10	Arg	OxFe	0.132	65
DM-22	10	12	PROP	OxFe	0.135	75
DM-22	12	14	PROP	OxFe	0.138	75
DM-22	14	16	PROP	OxFe	0.141	75
DM-22	16	18	PROP	OxFe	0.144	75
DM-22	18	20	PROP	OxFe	0.147	75
DM-22	20	22	PROP	OxFe	0.13	75
DM-22	22	24	SM	OxFe	0.113	89
DM-22	24	26	SM	OxFe	0.096	89
DM-22	26	28	SM	OxFe	0.079	89
DM-22	28	30	SM	OxFe	0.062	89
DM-22	30	32	SM	OxFe	0.045	89
DM-22	32	34	SM	OxFe	0.12	89
DM-22	34	36	SM	OxFe	0.13	89
DM-22	36	38	SM	OxFe	0.14	89
DM-22	38	40	SM	OxFe	0.15	89
DM-22	40	42	SM	OxFe	0.16	89
DM-22	42	44	SM	OxFe	0.17	89
DM-22	44	46	SM	OxFe	0.18	89
DM-22	46	48	SM	OxFe	0.19	89
DM-22	48	50	Arg	OxFe	0.2	60
DM-22	50	52	Arg	OxFe	0.21	60
DM-22	52	54	Arg	OxFe	0.22	60
DM-22	54	56	Arg	OxFe	0.23	60
DM-22	56	58	Arg	OxFe	0.24	60
DM-22	58	60	Arg	OxFe	0.25	60
DM-22	60	62	Arg	OxFe	0.26	60
DM-22	62	64	Arg	OxFe	0.27	60
DM-22	64	66	Arg	OxFe	0.28	60
DM-22	66	68	Arg	OxFe	0.29	60
DM-22	68	70	PROP	OxFe	0.3	75
DM-22	70	72	PROP	OxFe	0.31	75
DM-22	72	74	PROP	OxFe	0.32	75
DM-22	74	76	PROP	OxFe	0.33	75
DM-22	76	78	SG	OxFe	0.34	90

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-22	78	80	SG	OxFe	0.35	90
DM-22	80	82	SG	OxFe	0.36	90
DM-22	82	84	SG	OxFe	0.37	90
DM-22	84	86	SG	OxFe	0.38	90
DM-22	86	88	SG	OxFe	0.39	90
DM-22	88	90	SG	OxFe	0.4	90
DM-22	90	92	SG	OxFe	0.41	90
DM-22	92	94	SG	OxFe	0.42	90
DM-22	94	96	SG	OxFe	0.43	90
DM-22	96	98	SG	OxFe	0.44	90
DM-22	98	100	SG	OxFe	0.45	90
DM-22	100	102	SG	OxFe	0.46	90
DM-22	102	104	SG	OxFe	0.47	90
DM-22	104	106	SG	OxFe	0.48	90
DM-22	106	108	SG	OxFe	0.49	90
DM-22	108	110	SG	OxFe	0.5	90
DM-22	110	112	SG	OxFe	0.51	90
DM-22	112	114	SG	OxFe	0.52	90
DM-22	114	116	SG	OxFe	0.53	90
DM-22	116	118	SM	OxFe	0.54	90
DM-22	118	120	SM	OxFe	0.55	90
DM-22	120	122	SM	OxFe	0.56	90
DM-22	122	124	SM	OxFe	0.57	90
DM-22	124	126	SM	OxFe	0.58	90
DM-22	126	128	SM	OxFe	0.59	90
DM-22	128	130	SM	OxFe	0.6	90
DM-22	130	132	SM	OxFe	0.61	90
DM-22	132	134	SM	OxFe	0.62	90
DM-22	134	136	SM	OxFe	0.63	90
DM-22	136	138	SM	OxFe	0.64	90
DM-22	138	140	SM	OxFe	0.65	90
DM-22	140	142	SM	OxFe	0.66	90
DM-22	142	144	SM	OxFe	0.67	90
DM-22	144	146	SM	OxFe	0.68	90
DM-22	146	148	SM	OxFe	0.69	90
DM-22	148	150	SM	OxFe	0.7	90
DM-22	150	152	SM	OxFe	0.71	90
DM-22	152	154	Arg	OxFe	0.72	64
DM-22	154	156	Arg	OxFe	0.73	64

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-22	156	158	Arg	OxFe	0.74	64
DM-22	158	160	SM	OxFe	0.75	89
DM-22	160	162	SM	OxFe	0.76	89
DM-22	162	164	SM	OxFe	0.77	89
DM-22	164	166	SM	OxFe	0.78	89
DM-22	166	168	SM	OxFe	0.79	89
DM-22	168	170	SM	OxFe	0.8	89
DM-22	170	172	SM	OxFe	0.81	89
DM-22	172	174	SM	OxFe	0.82	89
DM-22	174	176	SM	OxFe	0.83	89
DM-22	176	178	SM	OxFe	0.84	89
DM-22	178	180	SV	OxFe	0.85	87
DM-22	180	182	SV	OxFe	0.86	87
DM-22	182	184	SV	OxFe	0.87	87
DM-22	184	186	SV	OxFe	0.88	87
DM-22	186	188	SV	OxFe	0.89	87
DM-22	188	190	SV	OxFe	0.9	87
DM-22	190	192	SV	OxFe	0.91	87
DM-22	192	194	SV	OxFe	0.92	87
DM-22	194	196	SV	OxFe	0.93	87
DM-22	196	198	SV	OxFe	0.94	87
DM-22	198	200	SV	OxFe	0.95	87
DM-22	200	202	SV	OxFe	0.96	87
DM-22	202	204	SV	OxFe	0.97	87
DM-22	204	206	SV	OxFe	0.98	87
DM-22	206	208	SV	OxFe	0.99	87
DM-22	208	210	SV	OxFe	1	87
DM-22	210	212	SV	OxFe	1.01	87
DM-22	212	214	SV	OxFe	1.02	87
DM-22	214	216	SV	OxFe	1.03	87
DM-22	216	218	SV	OxFe	1.04	87
DM-22	218	220	SV	OxFe	1.05	87
DM-22	220	222	SV	OxFe	1.06	87
DM-22	222	224	SV	OxFe	1.07	87
DM-22	224	226	SV	OxFe	1.08	87
DM-22	226	228	SV	OxFe	1.09	87
DM-22	228	230	SV	OxFe	1.1	87
DM-22	230	232	SV	OxFe	1.11	87
DM-22	232	234	SV	OxFe	1.12	87

Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-22	234	236	SV	OxFe	1.13	87
DM-22	236	238	SV	OxFe	1.14	87
DM-22	238	240	SV	OxFe	1.15	87
DM-22	240	242	SG	OxFe	0.88	88
DM-22	242	244	SG	OxFe	0.85	88
DM-22	244	246	SG	OxFe	0.82	88
DM-22	246	248	SG	OxFe	0.79	88
DM-22	248	250	SG	OxFe	0.76	88
DM-22	250	252	SG	OxFe	0.73	88
DM-22	252	254	SG	OxFe	0.7	88
DM-22	254	256	SG	OxFe	0.67	88
DM-22	256	258	SG	OxFe	0.64	88
DM-22	258	260	SG	OxFe	0.61	88
DM-22	260	262	SG	OxFe	0.58	88
DM-22	262	264	Arg	OxFe/Sul	0.55	64
DM-22	264	266	Arg	OxFe/Sul	0.52	64
DM-22	266	268	Arg	OxFe/Sul	0.49	64
DM-22	268	270	Arg	OxFe/Sul	0.46	64
DM-22	270	272	SM	OxFe/Sul	0.43	91
DM-22	272	274	SM	OxFe/Sul	0.4	91
DM-22	274	276	SM	OxFe/Sul	0.37	91
DM-22	276	278	SM	OxFe/Sul	0.34	91
DM-22	278	280	SM	OxFe/Sul	0.31	91
DM-22	280	282	SM	OxFe/Sul	0.28	91
DM-22	282	284	SM	OxFe/Sul	0.25	91
DM-22	284	286	Arg	OxFe/Sul	0.22	63
DM-22	286	288	Arg	Sul	0.19	50
DM-22	288	290	Arg	Sul	0.16	50
DM-22	290	292	Arg	Sul	0.13	50
DM-22	292	294	Arg	Sul	0.1	50
DM-22	294	296	Arg	Sul	0.07	50
DM-22	296	298	Arg	Sul	0.04	50
DM-22	298	300	Arg	Sul	0.01	50

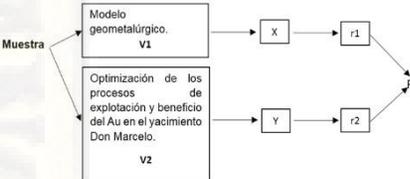
Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-31	0	2	PROP	OxFe	0.09	75
DM-31	2	4	PROP	OxFe	0.1	75
DM-31	4	6	PROP	OxFe	0.11	75
DM-31	6	8	PROP	OxFe	0.12	75
DM-31	8	10	PROP	OxFe	0.13	75
DM-31	10	12	PROP	OxFe	0.14	75
DM-31	12	14	PROP	OxFe	0.15	75
DM-31	14	16	PROP	OxFe	0.16	75
DM-31	16	18	PROP	OxFe	0.17	75
DM-31	18	20	PROP	OxFe	0.18	75
DM-31	20	22	Arg	OxFe	0.19	66
DM-31	22	24	Arg	OxFe	0.2	66
DM-31	24	26	Arg	OxFe	0.21	66
DM-31	26	28	Arg	OxFe	0.22	66
DM-31	28	30	Arg	OxFe	0.23	66
DM-31	30	32	Arg	OxFe	0.24	66
DM-31	32	34	SG	OxFe	0.25	88
DM-31	34	36	SG	OxFe	0.26	88
DM-31	36	38	SG	OxFe	0.27	88
DM-31	38	40	SG	OxFe	0.28	88
DM-31	40	42	SG	OxFe	0.29	88
DM-31	42	44	SG	OxFe	0.3	88
DM-31	44	46	SG	OxFe	0.31	88
DM-31	46	48	SG	OxFe	0.32	88
DM-31	48	50	SG	OxFe	0.33	88
DM-31	50	52	SG	OxFe	0.34	88
DM-31	52	54	SG	OxFe	0.35	88
DM-31	54	56	SG	OxFe	0.36	88
DM-31	56	58	SG	OxFe	0.37	88
DM-31	58	60	SG	OxFe	0.38	88
DM-31	60	62	SG	OxFe	0.39	88
DM-31	62	64	SG	OxFe	0.4	88
DM-31	64	66	SG	OxFe	0.41	88
DM-31	66	68	SG	OxFe	0.42	88
DM-31	68	70	SM	OxFe	0.43	90
DM-31	70	72	SM	OxFe	0.44	90
DM-31	72	74	SM	OxFe	0.45	90
DM-31	74	76	SM	OxFe	0.46	90
DM-31	76	78	SM	OxFe	0.47	90
DM-31	78	80	SM	OxFe	0.48	90

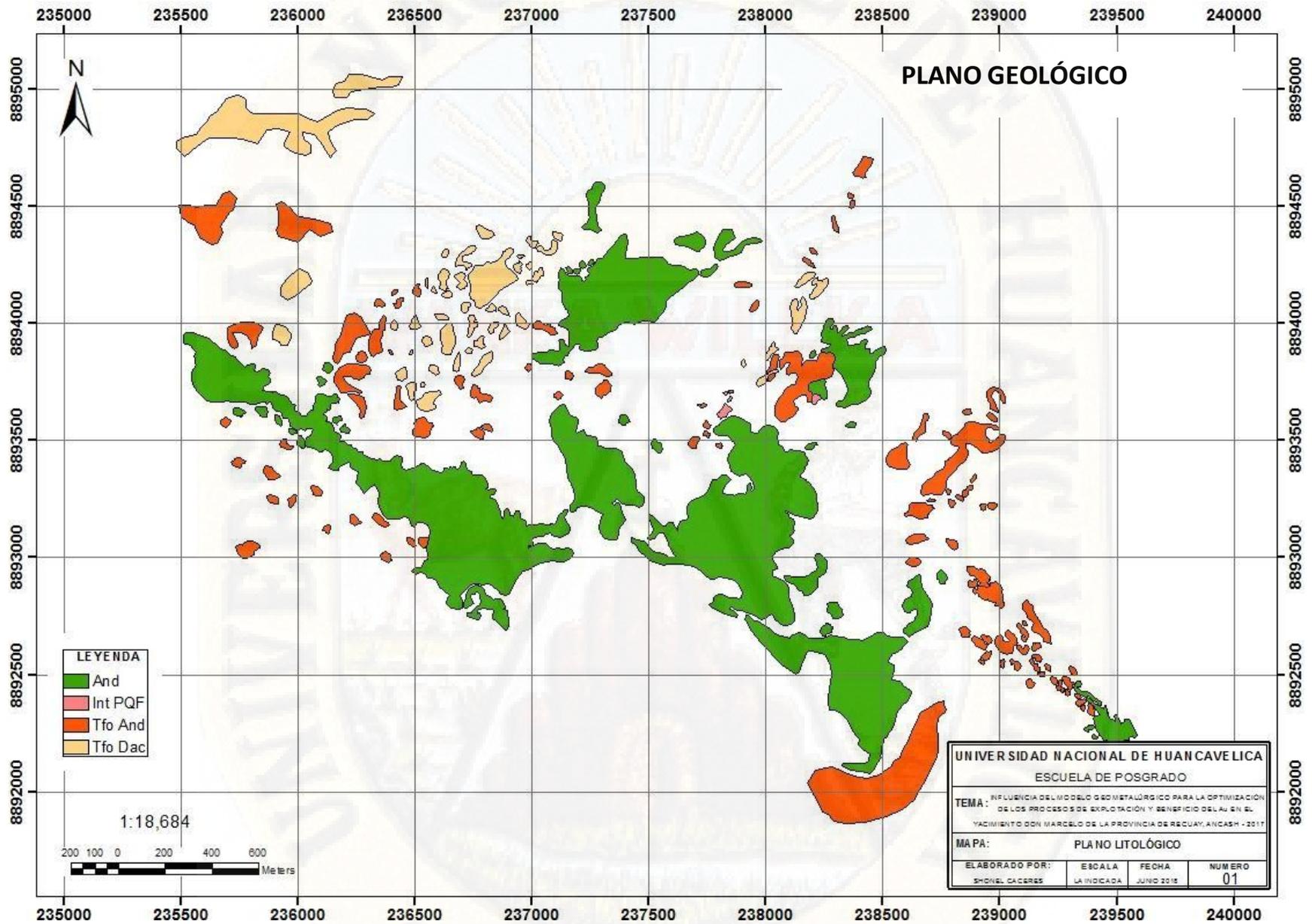
Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-31	80	82	SM	OxFe	0.49	90
DM-31	82	84	SM	OxFe	0.5	90
DM-31	84	86	SM	OxFe	0.51	90
DM-31	86	88	SM	OxFe	0.52	90
DM-31	88	90	SM	OxFe	0.53	90
DM-31	90	92	SM	OxFe	0.54	90
DM-31	92	94	SM	OxFe	0.55	90
DM-31	94	96	SM	OxFe	0.56	90
DM-31	96	98	SM	OxFe	0.57	90
DM-31	98	100	SM	OxFe	0.58	90
DM-31	100	102	SM	OxFe	0.59	90
DM-31	102	104	SM	OxFe	0.6	90
DM-31	104	106	SM	OxFe	0.61	90
DM-31	106	108	SM	OxFe	0.62	90
DM-31	108	110	SM	OxFe	0.63	90
DM-31	110	112	SM	OxFe	0.64	90
DM-31	112	114	SM	OxFe	0.65	90
DM-31	114	116	SM	OxFe	0.66	90
DM-31	116	118	SM	OxFe	0.67	90
DM-31	118	120	SM	OxFe	0.68	90
DM-31	120	122	SM	OxFe	0.69	90
DM-31	122	124	SM	OxFe	0.7	90
DM-31	124	126	SM	OxFe	0.71	90
DM-31	126	128	SM	OxFe	0.72	90
DM-31	128	130	SM	OxFe	0.73	90
DM-31	130	132	SM	OxFe	0.74	90
DM-31	132	134	SM	OxFe	0.75	90
DM-31	134	136	SG	OxFe	0.76	90
DM-31	136	138	SG	OxFe	0.77	90
DM-31	138	140	SG	OxFe	0.78	90
DM-31	140	142	SG	OxFe	0.79	90
DM-31	142	144	SG	OxFe	0.8	90
DM-31	144	146	SG	OxFe	0.81	90
DM-31	146	148	SG	OxFe	0.82	90
DM-31	148	150	SG	OxFe	0.83	90
DM-31	150	152	SG	OxFe	0.84	90
DM-31	152	154	SG	OxFe	0.85	90
DM-31	154	156	SG	OxFe	0.86	90
DM-31	156	158	SG	OxFe	0.87	90

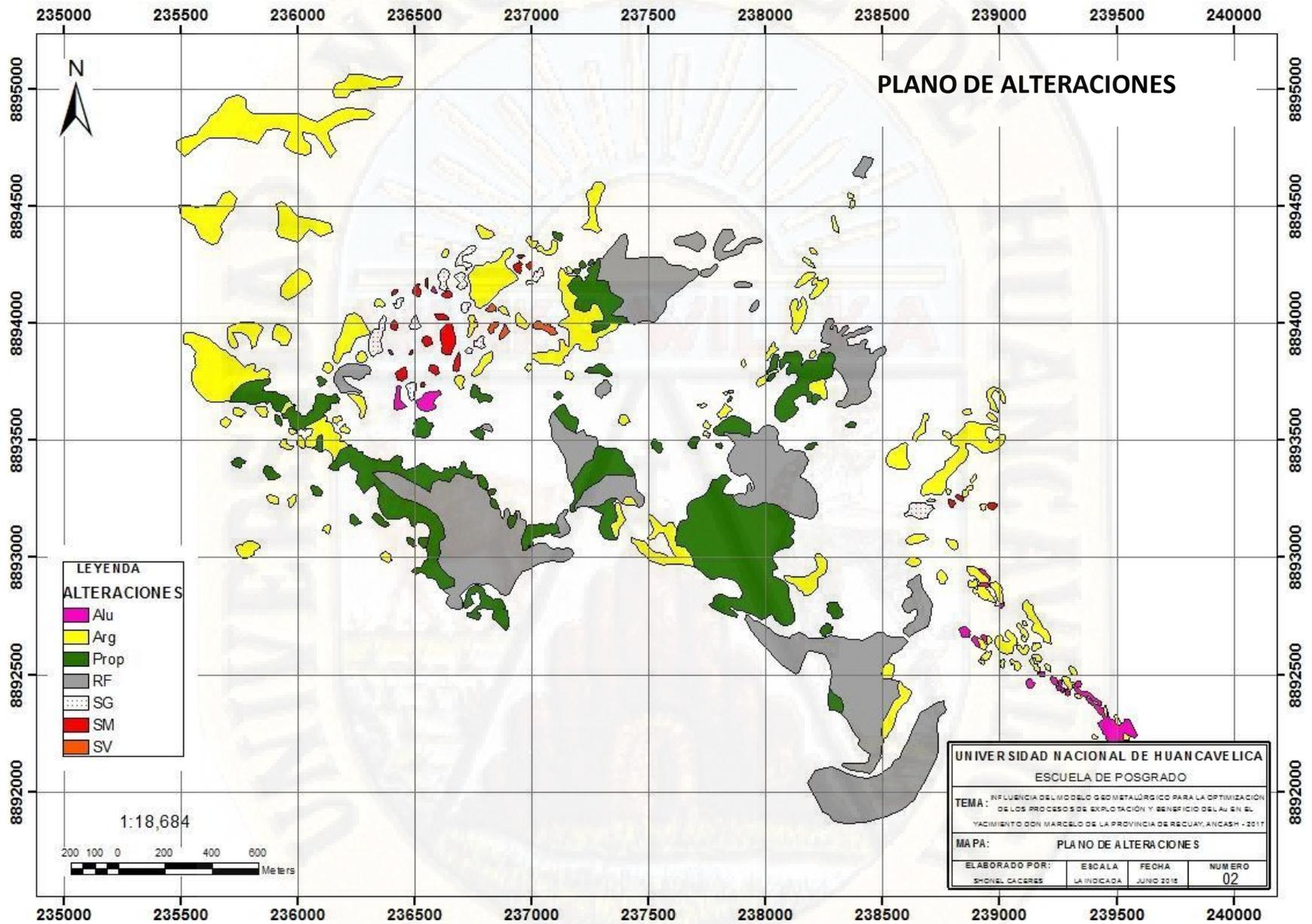
Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-31	158	160	SG	OxFe	0.88	90
DM-31	160	162	SG	OxFe	0.89	90
DM-31	162	164	SG	OxFe	0.9	90
DM-31	164	166	SG	OxFe	0.91	90
DM-31	166	168	SG	OxFe	0.92	90
DM-31	168	170	SV	OxFe	0.93	88
DM-31	170	172	SV	OxFe	0.94	88
DM-31	172	174	SV	OxFe	0.95	88
DM-31	174	176	SV	OxFe	0.96	88
DM-31	176	178	SV	OxFe	0.97	88
DM-31	178	180	SV	OxFe	0.98	88
DM-31	180	182	SV	OxFe	0.99	88
DM-31	182	184	SV	OxFe	1	88
DM-31	184	186	SV	OxFe	1.01	88
DM-31	186	188	SV	OxFe	1.02	88
DM-31	188	190	SV	OxFe	1.03	88
DM-31	190	192	SV	OxFe	1.04	88
DM-31	192	194	SV	OxFe	1.05	88
DM-31	194	196	SV	OxFe	1.06	88
DM-31	196	198	SV	OxFe	1.07	88
DM-31	198	200	SV	OxFe	1.08	88
DM-31	200	202	SV	OxFe	1.09	88
DM-31	202	204	SV	OxFe	1.1	88
DM-31	204	206	SV	OxFe	1.11	88
DM-31	206	208	SV	OxFe	1.12	88
DM-31	208	210	SV	OxFe	1.13	88
DM-31	210	212	SV	OxFe	1.14	88
DM-31	212	214	SV	OxFe	1.15	88
DM-31	214	216	SV	OxFe	1.16	88
DM-31	216	218	SV	OxFe	1.17	88
DM-31	218	220	SV	OxFe	1.18	88
DM-31	220	222	SV	OxFe	1.19	88
DM-31	222	224	SV	OxFe	1.2	88
DM-31	224	226	SV	OxFe	1.21	88
DM-31	226	228	SV	OxFe	1.22	88
DM-31	228	230	SV	OxFe	1.23	88
DM-31	230	232	SV	OxFe	1.24	88
DM-31	232	234	SV	OxFe	1.25	88
DM-31	234	236	SV	OxFe	1.26	88
DM-31	236	238	SV	OxFe	1.27	88

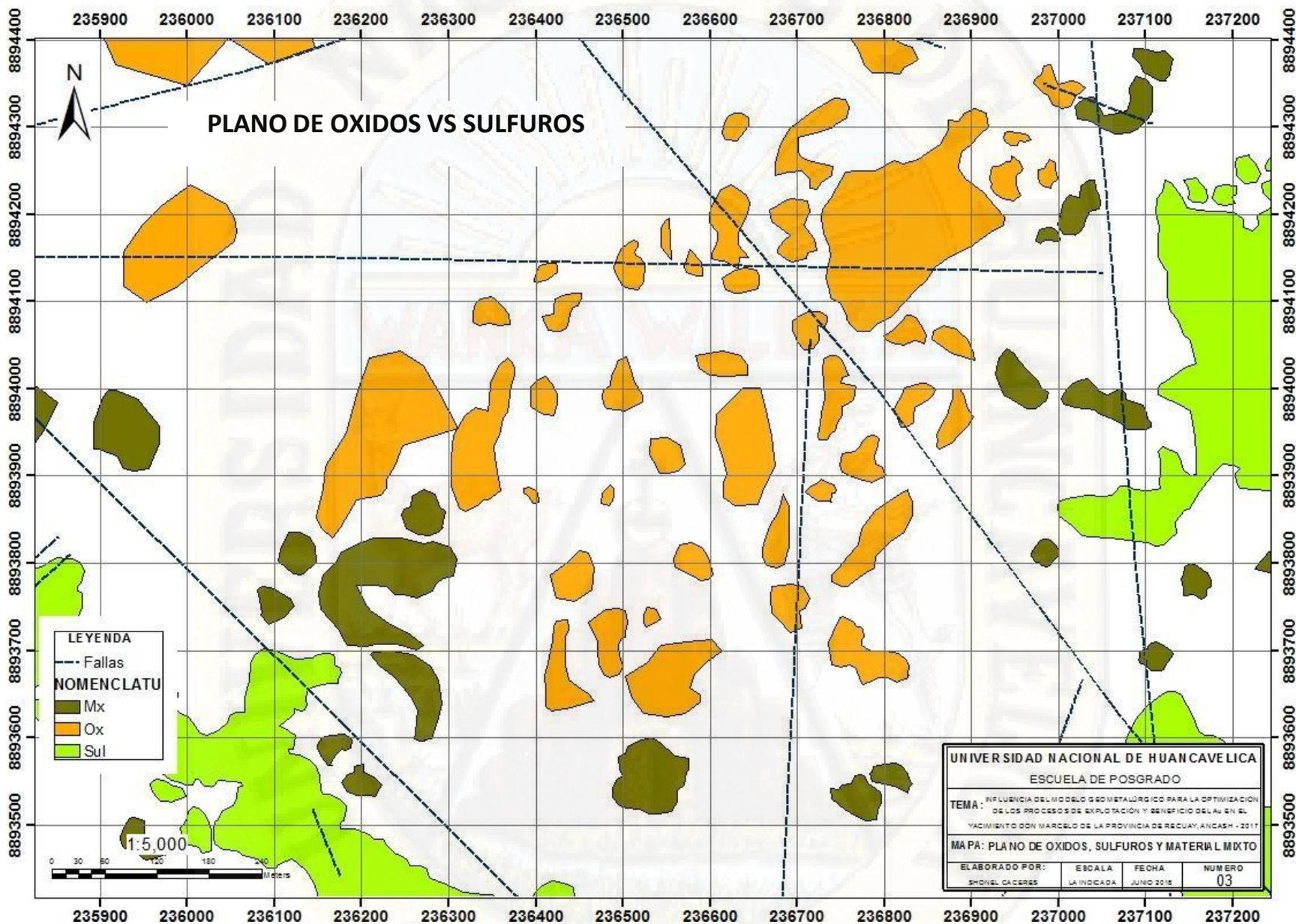
Hole_ID	From	To	Alt	Minerales	Au_ppm	RM %
DM-31	238	240	SV	OxFe	1.28	88
DM-31	240	242	SV	OxFe	1.29	88
DM-31	242	244	SV	OxFe	1.3	88
DM-31	244	246	SV	OxFe	1.31	88
DM-31	246	248	SG	OxFe/Sul	0.9	73
DM-31	248	250	SG	OxFe/Sul	0.8	73
DM-31	250	252	SG	OxFe/Sul	0.74	73
DM-31	252	254	SG	OxFe/Sul	0.68	73
DM-31	254	256	SG	OxFe/Sul	0.62	73
DM-31	256	258	SG	OxFe/Sul	0.56	73
DM-31	258	260	SG	OxFe/Sul	0.5	73
DM-31	260	262	SG	OxFe/Sul	0.44	73
DM-31	262	264	SG	OxFe/Sul	0.38	73
DM-31	264	266	SM	OxFe/Sul	0.32	73
DM-31	266	268	SM	OxFe/Sul	0.26	73
DM-31	268	270	SM	OxFe/Sul	0.2	73
DM-31	270	272	SM	OxFe/Sul	0.14	69
DM-31	272	274	Arg	Sul	0.08	48
DM-31	274	276	Arg	Sul	0.02	48
DM-31	276	278	Arg	Sul	0.09	48
DM-31	278	280	Arg	Sul	0.11	48
DM-31	280	282	Arg	Sul	0.1	48
DM-31	282	284	Arg	Sul	0.09	48
DM-31	284	285	Arg	Sul	0.08	48

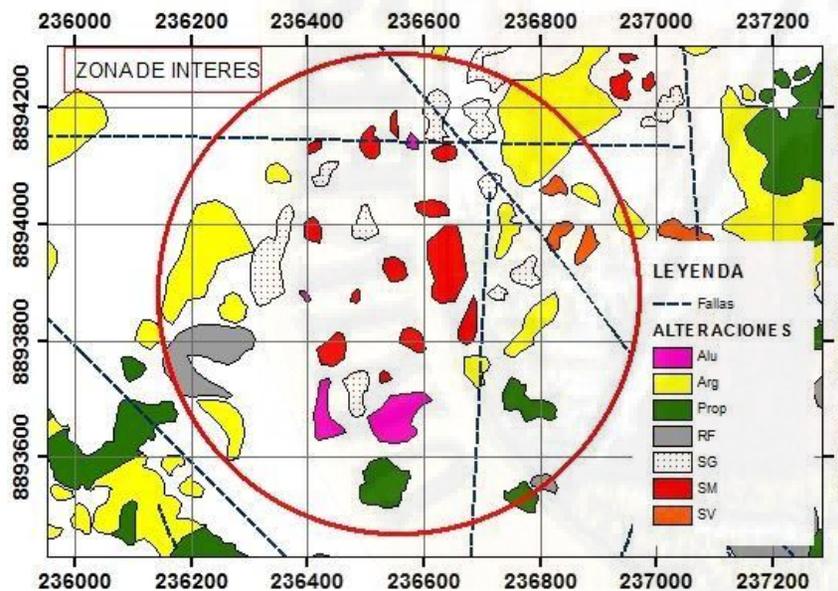
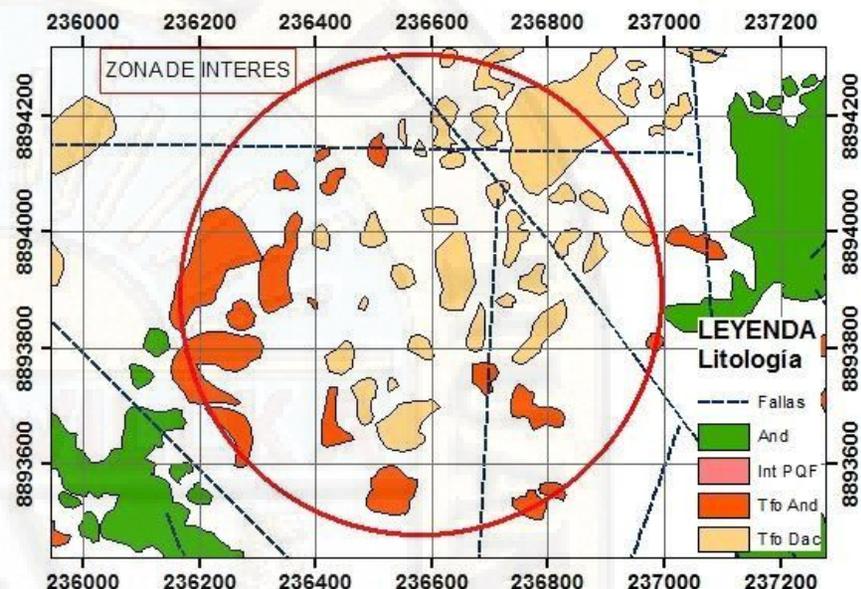
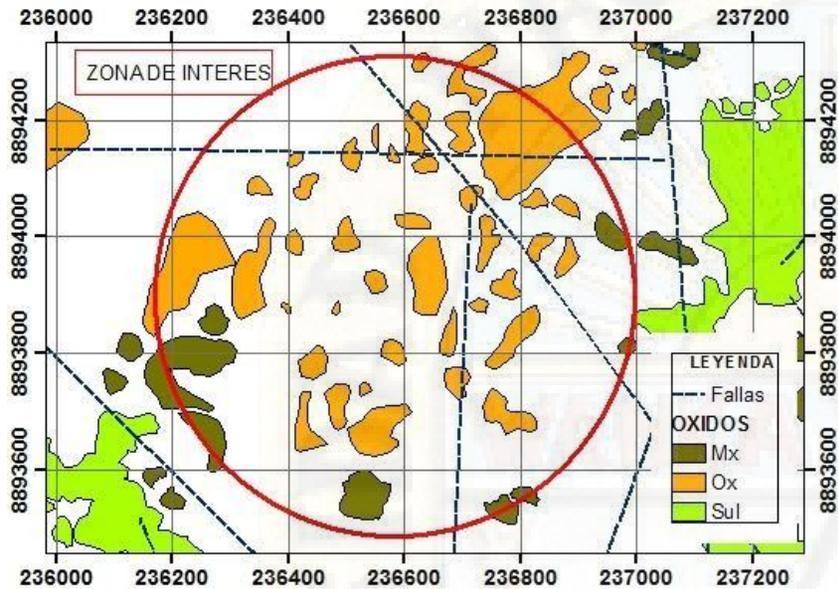
### ANEXO III - MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	MUESTRA	DISEÑO
<p><b>Pregunta general</b></p> <p>¿Cuál es la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo influirá positivamente en la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au, ya que reducirá significativamente el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documentará la variabilidad geológica y mineralógica en el depósito. Esto minimizará el riesgo del proyecto.</p>	<p><b>Variable 1</b></p> <p><b>Variable independiente</b></p> <p>Modelo geometalúrgico del yacimiento Don Marcelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis textural.</li> <li>Análisis geoquímico.</li> <li>Análisis mineralógico.</li> <li>Análisis físico mecánico.</li> </ul>	<p><b>Población</b></p> <p>La población o universo de la presente investigación está representada por el yacimiento minero "Don Marcelo" y sus características geometalúrgicas con una extensión de 1100 hectáreas.</p>	<p><b>Método</b></p> <p>Observacional Analítico</p> <p><b>Nivel de Investigación</b></p> <p>Descriptiva-explicativa-predictiva</p>  <pre> graph LR     M[Muestra] --&gt; v1[Modelo geometalúrgico v1]     M --&gt; v2[Optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo v2]     v1 --&gt; X[X]     v2 --&gt; Y[Y]     X --&gt; r1[r1]     Y --&gt; r2[r2]     r1 --&gt; R[R]     r2 --&gt; R     </pre> <p><b>Donde:</b> M es la muestra (X) (Y) son las medidas de las variables r1, r2 son los resultados R nivel de relación</p>
<p>¿Cuál es la influencia del análisis textural de las rocas mineralizadas en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo?</p> <p>¿Cuál es la importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo?</p> <p>¿Cuál es la influencia del estudio mineralógico en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo?</p> <p>¿Cuál es la importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia del análisis textural de las rocas mineralizadas en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>Conocer la importancia del estudio geoquímico en la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>Determinar la influencia del estudio mineralógico en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>Conocer la importancia del estudio físico-mecánico en la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El análisis textural de las rocas mineralizadas influirá de manera favorable en la optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>El estudio geoquímico permitirá la generación del modelo geológico y el cálculo de los recursos minerales en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>El estudio mineralógico facilitará los trabajos de optimización del beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</li> <li>El estudio físico-mecánico permitirá la predicción de la fragmentación de las rocas mineralizadas en el yacimiento Don Marcelo.</li> </ul>	<p><b>Variable 2</b></p> <p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimización del PIT (Tajo).</li> <li>Beneficio del Au.</li> </ul>	<p><b>Muestra</b></p> <p>Se recolectaron un total de 2900 muestras, 1000 en superficie y 1900 en testigos diamantinos.</p>	









**RECUPERACION**

<b>POR ZONAS:</b>	<b>POR LITOLOGIA:</b>	<b>POR ALTERACIÓN:</b>
Oxidos: 80%	Tufos Dacíticos: 82.38%	Silive Vuggy: 87.50%
Mixtos: 74%	Andesita: 82%	Silice Masiva: 86.86%
Sulfuros: 49%	Tufos Andesíticos: 76.40%	Silice Granular: 86.33%

**TEXTURAS**

Brechadas  
 Obliteradas  
 Porfíricas  
 Relicticas

**GEOQUÍMICA**

En superficie  
 Ley: 0.00 - 3:00  
 En subsuelo  
 Ley Promedio: 0.46 g/tAu

**FRAGMENTACIÓN**

Tamaño Medio  
 X = 30 cm

**MINERALIZACIÓN**

Oxidos de Hierro  
 Limonitas  
 Hematitas  
 Goetitas

**PLANO GEOMETALÚRGICO**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA			
ESCUELA DE POSGRADO			
TEMA: INFLUENCIA DEL MODELO GEOMETALÚRGICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO DEL Au EN EL YACIMIENTO DON MARCELO DE LA PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH - 2017			
MAPA: PLANO GEOMETALÚRGICO			
ELABORADO POR:	ESCALA:	FECHA:	NUMERO:
SHONEL CACERES	LA INDCADA	JUNIO 2015	04

