

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Evaluación de perforadora manual Auger en la recuperación de  
muestras en rumas proyecto 86-03- Zona Nor- Este. Mina San Rafael**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Julio Jean CONDEZO AGUILAR**

**Asesor:**

**Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco - Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Evaluación de perforadora manual Auger en la recuperación de  
muestras en rumas proyecto 86-03- Zona Nor- Este. Mina San Rafael**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Eder Guido ROBLES MORALES**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Con gratitud y afecto, dedico este proyecto a aquellos que han sido mi constante fuente de inspiración y apoyo.

A Dios, por ser mi guía y sostén en cada paso. Su gracia y misericordia han sido mi fuerza y consuelo en los momentos difíciles.

A mi familia, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido el motor de mis logros. A mis padres, cuyo ejemplo de perseverancia y dedicación me ha guiado en cada paso. A mis hermanos, por su aliento y compañía en este viaje.

A mis maestros y mentores, cuya sabiduría y orientación han moldeado mi pensamiento y ampliado mis horizontes. Gracias por compartir su conocimiento y experiencia.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente al equipo de Geología de la Mina San Rafael por la oportunidad de realizar este estudio de tesis. Mi reconocimiento también va hacia mi universidad, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, y los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Geológica por su sabiduría y conocimientos. A mis padres, agradezco su constante apoyo y guía en mi camino. A todos quienes contribuyeron a este logro, les expreso mi más sincero agradecimiento por su invaluable ayuda y acompañamiento en este viaje.

## RESUMEN

La Empresa Minera San Rafael necesita conocer las leyes de estaño de los depósitos de relaves para su posible recuperación y usarlo en incrementar las leyes de estaño.

Los depósitos de relaves de estaño se han acumulado en lugares convenientemente adecuados para que posteriormente se puedan recuperar material con leyes de estaño enriquecidos por la lixiviación que ocurre cuando se exponen a la filtración de aguas pluviales.

La Empresa necesita saber el grado de recuperación de las muestras al realizar el muestreo en este caso utilizando la perforadora manual Auger. Es importante por lo tanto determinar las bondades e inconvenientes del uso de la perforadora en realizar los muestreos en material del relave.

Se determina con este proyecto la viabilidad del uso de la perforadora Auger en el muestreo.

**Palabras claves:** Muestreo, Relave, Lixiviación, Pluviales, Leyes.

## **ABSTRACT**

The San Rafael Mine Company needs to know the tin grades of the tailings deposits for possible recovery and use it to increase tin grades.

The tin tailings deposits have been stockpiled in suitable locations so that material with enriched tin grades can be recovered later by leaching that occurs when exposed to storm water seepage.

The Company needs to know the degree of recovery of the samples when sampling in this case using the Auger hand drill. It is therefore important to determine the advantages and disadvantages of using the Auger drill to sample tailings material.

It is determined with this project the feasibility of the use of the Auger drill in the sampling.

**Keywords:** Sampling, Relave, Leaching, Pluvial, Laws.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia minera, se viene afectando el medio ambiente cercano a las actividades mineras con distintos residuos generados por esta actividad, los principales residuos generados después un proceso concentración de minerales económicos son los relaves afectando el ambiente, salud y las relaciones con las comunidades.

En 2004 se implementó la Ley N° 28271 que regula la identificación de los pasivos ambientales asociados a la actividad minera, así como quién es responsable y quién paga la remediación de las áreas afectadas, y se otorgaron 31 derechos de reuso de estos pasivos. en todo el entorno de la nación. Numerosas empresas comenzarán a reutilizar pasivos ambientales a escala nacional.

Un ejemplo significativo es el proyecto B2 de San Rafael - Minsur, que reporta relaves con 7.6 MTM @ 1.05 por ciento Sn y una vida útil de aproximadamente 9 años. Un paso esencial para determinar los grados de recuperación de estaño en la mina San Rafael es el muestreo de tajos en la presa de relaves B2. Desde sus operaciones iniciales de la mina, el relave procedente del proceso metalúrgico de la planta, se han depositado convenientemente en diversos lugares. Hoy día se recuperan estos depósitos de relave para incrementar las leyes del estaño.

Por lo tanto, para realizar la explotación de los depósitos de relave a corto plazo se presenta el problema de establecer el muestreo más adecuado, en este caso es necesario evaluar la recuperación de las muestras con el equipo manual Auger.

## INDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
<i>1.3.1. Problema general.</i> .....	2
<i>1.3.2. Problemas específicos</i> .....	2
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	2
<i>1.4.1 Objetivo General</i> .....	2
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i> .....	2
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS.....	4
2.2.1. <i>Geología Regional</i> .....	4
2.2.2. <i>Geología Local</i> .....	30
2.2.3. <i>Metagenia</i> .....	35
2.2.4. <i>Geología Estructural</i> .....	36
2.2.5. <i>Mineralización y Paragénesis</i> .....	38
2.2.6. <i>Alteración Hidrotermal</i> .....	42
2.2.7. <i>Mineralogía</i> .....	45
2.2.8. <i>Edad De La Mineralización</i> .....	46
2.2.9. <i>Controles De La Mineralización</i> .....	46
2.2.10. <i>Blending</i> .....	47
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	59
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	60
2.4.1. <i>Hipótesis General</i> .....	60
2.4.2. <i>Hipótesis Específicas</i> .....	60
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	60
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	61

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	62
----------------------------------	----

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	63
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	63
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	63
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTO RECOLECCIÓN DE DATOS .....	63
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	63
3.8 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	64
3.9 ORIENTACIÓN ÉTICA .....	64

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	65
4.1.1. <i>Ubicación y accesibilidad</i> .....	65
4.1.2. <i>Pruebas de Perforación y Recuperación de Muestra en Rumas e Insitu</i> .....	66
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	66
4.2.1. <i>Tiempo promedio del muestreo por puntos:</i> .....	66
4.2.2. <i>Recuperación de la muestra</i> .....	68
4.2.3. <i>Limpieza del equipo</i> .....	70
4.2.4. <i>Perforación en rumas en operaciones:</i> .....	70
4.2.5. <i>Muestra acondicionada para su remisión al laboratorio</i> .....	71
4.2.6. <i>Tiempo promedio de perforación, extracción y muestreo en relaves Insitu</i> <i>(Operaciones)</i> .....	71
4.2.7. <i>Contaminación de la muestra</i> .....	73

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	74
--------------------------------	----

4.3.1. <i>Ubicación, peso, porcentaje de recuperación y variación de muestras en relaves del proyecto</i> .....	74
---	----

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	76
------------------------------------	----

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

**ANEXOS**

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Dimensiones De La Pala Jis .....	<b>55</b>
Tabla 2. Matriz De Operacionalización.....	<b>61</b>
Tabla 3. Muestras Coordinadas De Ubicación De Calicatas. ....	<b>74</b>
Tabla 4. Cuadro Comparativo De Muestreo Con Pala Jis Y Auger Manual.....	<b>74</b>
Tabla 5. Cuadro Comparativo Entre Muestras Originales Y Muestras Gemelas.....	<b>76</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Columna Estratigráfica Cuadrangulo Macusani 29 V .....	29
Figura 2. Plano Geológico Local (Fuente: Valdivia, 2016, Departamento De Geología San Rafael) .....	34
Figura 3. Marco Geológico Del Cinturón Estannífero (Tin Belt) Peruano - Boliviano, Con Los Principales Yacimientos. ....	35
Figura 4. Modelo Estructural Del Sistema De La Veta San Rafael (Fuente Departamento De Geología San Rafael) .....	37
Figura 5. Diagrama De Los Cuerpos Mineralizados .....	38
Figura 6. Plano Horizontal De Las Vetas San Rafael En Los Niveles 4533, 4410, 4200, 4050 Y 3950. ....	38
Figura 7. Vetas Y Paragénesis De Antigüedad De Veta San R.....	41
Figura 8. Zoneamiento De Mineralización Estaño Cobre .....	45
Figura 9. Procesos Del Muestreo Geológico .....	49
Figura 10. Muestreo Por Canaletas. ....	51
Figura 11. Muestreo Por Sondaje. ....	52
Figura 12. Pala Jis.....	54
Figura 13. Equipo Rotomartillo Y Auger Helicoidal. ....	56
Figura 14. Muestreo Con Auger - Volumen Bajo (Ab). ....	57
Figura 15. Método De Muestreo Del Auger De Volumen Medio (Am) .....	58
Figura 16. Muestreo De Volumen Alto Del Auger (Aa).....	59

Figura 17. Ubicación De La U.M. San Rafael .....	<b>66</b>
Figura 18. Muestra Puntos Recomendados Y Como Se Realizaría En La Ruma. ....	<b>79</b>

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Monzogranito Peraluminoso Tipo S Mostrando fenocristales De Feldespato Alcalino De Hasta 8 Cm. Abajo, Monzogranito Peraluminoso Tipo S Mostrando Los Típicos Granos De Cordierita.....	<b>34</b>
Fotografía 2. A. Casiterita Botroidal (Cas Bot) Como Cemento De Brecha Con Clastos De Granito Cloritizado (Gr Chl); B. Intercrecimiento De Casiterita Botroidal Y Cuarzo Idiormórfico (Cas Bot + Qtz) Hacia El Centro, En Roca De Caja Cloritizada (Chl); C. D. Detalle De C., Brecha Matriz Soportada Con Clastos Subredondeados A Redondeados De Monzogranito Cloritizado. La Casiterita (Cas) Se Depositó En Aureolas Alrededor De Los Clastos Antes Del Cuarzo (Qtz).....	<b>42</b>
Fotografía 3. Perforación En Relave Menos Saturado Y Granulometría Media.....	<b>67</b>
Fotografía 4. Observamos Que El Auger Queda Limpio, Luego De Realizar Giros En Ambos Sentidos, Cuando El Relave Esta Poco Saturado. ....	<b>68</b>
Fotografía 5. Perforación En Relave Menos Saturado Y Granulometría Media.....	<b>68</b>
Fotografía 6. Muestra Perforación En Relave Saturado, Donde La Extracción.....	<b>69</b>
Fotografía 7. Muestra Recuperación Al 100%, En Relave Seco Y Perforación Insítú. .	<b>69</b>
Fotografía 8. Se Observa Que La Broca Con Restos De Relave Saturado Queda Limpia Cuando Se Lava Con Agua, Esto Consiste En Hacer Girar La Broca En Ambos Sentidos.....	<b>70</b>
Fotografía 9. Muestra Hoyos De Perforación En Ruma Y Relave Saturado. ....	<b>70</b>
Fotografía 10. Se Observa 10 Muestras Obtenidas De Las Rumas Del Proyecto.....	<b>71</b>

Fotografía 11. Muestra Perforaciones Insitu, Que Corresponden A Una Muestra Original Y Gemela, Con Un Espaciamiento De 0.10m. ....	<b>72</b>
Fotografía 12. Se Observa Que La Perforación No Presenta Derrumbes En Relave Saturado Y Relave Con Menor Saturación. ....	<b>72</b>
Fotografía 13. Bolsas Con Muestras Obtenidas Con Un Peso Aproximado De 3.50kg	<b>73</b>
Fotografía 14. Observamos Que La Limpieza De La Broca Es Total, Por Lo Que No Existiría La Posibilidad De Contaminación De La Muestra. ....	<b>73</b>
Fotografía 15. Muestra Mango De La Broca Que Facilita La Extracción. ....	<b>80</b>
Fotografía 16. Muestra Recuperación Al 100% .....	<b>81</b>



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Puntos De Ubicación De Las Calicatas. ....	7
Anexo 2. Dimensiones De La Pala Jis.....	7
Anexos 3. Cuadro Comparativo De Muestreo Con Pala Jis Y Auger Manual – Proyecto 86-03.....	8
Anexo 4. Cuadro Comparativo Entre Muestras Originales Y Muestras Gemelas Proyecto 86-03.....	8
Anexo 5. Capacitación Sobre El Uso Del Martillo Hilti Y La Broca (Auger Manual) ...	9
Anexo 6. Plano De Ubicación Del Muestreo De Las Calicatas Donde Se Realizaron Las Pruebas De Perforación Y Muestreo. ....	10
Anexo 7. Plano Del Depósito De Relaves B2. ....	11

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema.**

El muestreo en rumas de calicatas en el depósito de relaves B2, es un procedimiento importante en la Mina San Rafael para determinar las leyes de recuperación del estaño. Desde sus operaciones iniciales de la mina, el relave procedente del proceso metalúrgico de la planta, se han depositado convenientemente en diversos lugares. Hoy día se recuperan estos depósitos de relave para incrementar las leyes del estaño.

Por lo tanto, para realizar la explotación de los depósitos de relave a corto plazo se presenta el problema de establecer el muestreo más adecuado, en este caso es necesario evaluar la recuperación de las muestras con el equipo manual Auger.

#### **1.2. Delimitación de la investigación**

El proyecto se realizó en el Distrito Antauta, Provincia de Melgar, Departamento Puno.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general.**

¿La evaluación de la perforadora manual Auger determinará la recuperación óptima de muestras en rumas del proyecto 86-03- Zona Nor- Este. Mina San Rafael?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

1. ¿La evaluación del tiempo promedio en la perforación y extracción de muestras con la perforadora Auger determinan un muestreo óptimo?
2. ¿La verificación del proceso de extracción de las muestras con el equipo Auger influyen en la calidad del muestreo?

### **1.4. Formulación de Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar la recuperación óptima de muestras con la perforadora manual Auger en rumas del proyecto 86-03- Zona Nor- Este. Mina San Rafael.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- 1.- Evaluar el tiempo promedio en la perforación y extracción de muestras con la perforadora Auger, que determinan un muestreo óptimo.
- 2.- Verificar como influye el proceso de extracción de las muestras con el equipo Auger en la calidad del muestreo.

### **1.5. Justificación de la investigación**

El presente proyecto se realiza para demostrar la disminución en costos y personal en el proceso de muestreo. Asimismo, demostrar el uso del equipo de perforación contribuirá a la calidad del muestreo realizado en rumas de relaves.

Determinar el tiempo de perforación y extracción en el proceso del muestreo contribuyen a determinar la calidad de un muestreo.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones que se tiene al momento de elaborar el presente proyecto es contar con escasos estudios realizado con anterioridad, asimismo es limitada la información técnica del equipo de perforación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Roberta, W. (2020) en la disertación titulada “Optimización del proceso de control del mineral mediante técnicas de muestreo metodológico en barrenos para el plan minero de corto plazo en la mina Toquepala Southern Peru Copper Corporation”. La Universidad Nacional del Altiplano, expone el uso del equipo manual Auger en la extracción de muestras en blasthole.

#### **2.2. Bases teóricas – científicas**

##### **2.2.1. Geología Regional**

La estratigrafía y rocas ígneas de la mina se pueden describir de la siguiente manera:

### ***2.2.1.1. Estratigrafía***

#### **PALEOZOICO**

##### **✓ Formación San José**

Se caracteriza por presentar una potente secuencia marina del Paleozoico inferior, se identificaron lutitas oscuras intercaladas con areniscas delgadas y claras. La formación San José infrayace a la formación Sandia, por lo cual se define que pertenece al Ordovícico Medio.

##### **✓ Formación Sandia**

Se distingue por una fuerte secuencia marina del Paleozoico inferior que incluye lutitas oscuras entrelazadas con areniscas delgadas y claras. La formación Sandia se clasifica como perteneciente al Ordovícico Medio porque se deriva de la formación San José.

##### **✓ Formación Ananea**

Laurebacher, G. (1973) describió una fuerte secuencia de lutita oscura fina que recubre la formación Sandia y aflora en el distrito de Ananea y en la Cordillera Oriental con esquistosidad de flujo estratificado.

Afloramientos identificados de secuencias afines se encuentran en las quebradas Huicsamani y Huarachan al noroeste de la montaña San Francisco en Quenamari, Hoja 29-V del cuadrilátero Macusani, y al NNO de la hoja. Los afloramientos continúan hasta llegar al cuadrilátero de Nuoá en dirección SSE-NNW. Afloramientos aislados similares se encontraron en la quebrada Chuaahuayjo, la quebrada Anjo Amani y al NE del río Sajosa, así como en el cuadrángulo de Nuoá.

En la formación de caracteriza por estar compuesta por limo-arcillitas pizarrosas, con algunas intercalaciones locales con areniscas cuarzosas, se identificaron pizarras micáceas gris oscuras a negruzcas.

La formación Ananea forma colinas suaves debido a su origen pelítico, y bajos cerros. Con el intemperismo se van a formar suelos amarillentos y gris claros.

Se presentan marcadas foliaciones paralelas a la estratificación en los limo-arcillitas pizarrosas oscuras, con algunos niveles de nódulos de limoarcillitas ferruginosas y calcáreas.

Se desconoce la potencia real de la formación, no se identifico el piso al no tener afloramientos.

La formación Ananea pertenece al Silúrico hasta el Devónico de acuerdo a los datos paleontológicos y la relación estratigráfica.

✓ **Grupo Ambo**

El grupo Ambo cubre una gran extensión de la superficie en dirección NO-SE.

Se va a formar un variado relieve desde moderada a abruptas, controlada por las estructuras que va formando, en cerros elevados se van a tener fuertes laderas escarpadas.

En este grupo se identificaron 2 secuencias, una que forma una secuencia inferior que tiene intercalaciones monótonas de limoarcillitas con areniscas con 2:1 en proporción respectivamente.

En las limoarcillas se descubrieron micas con potencias superiores a un metro. Las areniscas son de grano fino, contienen mucho cuarzo y

moscovita y exhiben una laminación pronunciada, lo que hace que se fracturan en losas de resistencia delgada a media (0,11 a 0,03 m). Las areniscas varían en color de gris a gris blanquecino, y eventualmente se vuelven beige.

Areniscas de cuarzo con niveles laminares de arcilla limosa conforman los paquetes superiores. Las areniscas son de grano medio a fino, de color blanco grisáceo, gris a beige, a excepción de las que tienen contenido en hierro, que toman un color parduzco, y ocasionalmente moscovita.

Los estratos varían entre 0.15 0.90 m de potencia, con laminación interna en ciertos estratos, se identificaron estructuras de paleocorrientes, truncadas por otros estratos subhorizontales y se encuentran alineadas lateralmente en un solo nivel, de origen fluvial. No se ha podido determinar la potencia del grupo Ambo, debido a que no se ha podido identificar los límites. Se midió dos secciones en lugares diferentes con 372 y 484 m de potencia respectivamente.

Se asigna una edad correspondiente al Misisipiano (Carbonífero Inferior).

#### ✓ **Grupo Tarma**

El Grupo Tarma aflora en las porciones central y sur de la capa Macusani como franjas delgadas que van de noroeste a sureste.

La porción inferior del Grupo está compuesta por areniscas feldespáticas blanquecinas a verdosas, a veces blanquecinas con algunas intercalaciones de calizas; las areniscas verdosas se distinguen por ser guía; suprayacente se distingue por intercalaciones



de piedra caliza y arenisca calcárea; las calizas son ocasionalmente micríticas y de color gris rojizo, se presentan en capas medias con algunos nódulos de pedernal.

El rango de potencia del grupo Tarma es de 50 a 180 metros.

En Antauta, los afloramientos de este grupo están formados por areniscas con cemento calcáreo de color rojo rojizo (rojo violáceo) y verde a gris verdoso, calizas arenosas y areniscas carbonatadas de color violeta rojizo con intercalaciones de calizas esparíticas parcialmente granulares. Estratificación cruzada de un fino color rojo violáceo. En los estratos más débiles se han encontrado areniscas calcáreas verdosas de grano medio, calizas violáceas y areniscas calcáreas beige.

Se determinó que su edad estaba en Pensilvania (Carbonífero superior) en función de su ubicación estratigráfica y similitud litológica con afloramientos de hojas junto a este grupo.

✓ **Grupo Copacabana**

Este grupo se destaca en las cercanías de Carlos Gutiérrez y los pasos Usicayos y Coasa, extendiéndose ampliamente en dirección NW-SE. Los escarpes verticales prominentes de esta hoja son típicamente causados por afloramientos en este grupo.

Este grupo se compone típicamente de calizas fuertes que tienen colores variables debido a la meteorización y se destacan morfológicamente de las otras unidades, lo que facilita su identificación a distancia.

Este grupo se superpone concordantemente al Grupo Tarma y de manera discordante subyace al Grupo Mitu. Su potencia es variable, desde 70 m a 180 m.

La edad Pennsylvanian se asigna con base en la identificación de la flora y fauna que pertenecen a este grupo y su posición estratigráfica; se correlaciona con afloramientos de edad similar encontrados en la Cordillera Oriental en el sur y centro de Perú.

✓ **Grupo Mitu**

Los afloramientos de este grupo tienen una dirección NW-SE y están situados en el sector del río Chullumayo en el sur del Perú, donde han experimentado un mayor desarrollo y extensión.

Los afloramientos de este grupo crean una topografía escarpada con relieve abrupto, picos altos, pendientes pronunciadas y, en algunos lugares, acantilados con paredes subverticales. Al identificar esta unidad a distancia, su superficie presenta una coloración violácea a rojiza violácea o rojo brunácea.

Debido a su interdigitación, las dos litofacies que componen el grupo, una secuencia volcánica y una secuencia clásica, tienen un fuerte vínculo entre sí. Brechas clásticas sedimentarias con clastos de calizas micríticas, areniscas arcósicas rojizas y areniscas cuarzosas, a profundidades de 1 punto 50 metros, constituyen la base de la unidad. Las litofacies volcánicas son lavas andesíticas porfídicas con fenocristales mayores de 30 mm, micro a criptocristalinas con menos feldespato potásico, cuarzo, piroxenos y anfíboles. Hubo algunas intercalaciones de brechas con pizarras y algunas con clastos

volcánicos. Se descubren inusuales areniscas arcólicas de grano fino, de color rojo parduzco, con potencias superiores a 0,60 m.

El magmatismo identificado del Grupo Mitu es una instancia de magmatismo de arco interno.

Este grupo tiene una potencia de alrededor de 1000 m., y tiene una discordancia angular que se puede ver en el paso de Usicayos donde se superpone al Grupo de Copacabana.

Se consideraría material de la edad del Pérmico Superior en función de su posición estratigráfica. "Kontak y otros". , (1986) determinaron una edad Rb/Sr de 270 a 210 Ma. Mc Bride (1983) descubrió edades K/Ar que van desde 280 a 245 Ma al noroeste de Bolivia. en rocas volcánicas comparables. El grupo Mitu estaría situado entre el Pérmico Superior y el Triásico Inferior, según información recogida por varios autores.

## **MESOZOICO**

### ✓ **Formación Muni**

Newell, N. Un grupo de lutitas y areniscas rojizas que están expuestas en el distrito de Muni, al oeste de Pirin y al norte del lago Titicaca, recibieron el nombre de Formación Muni en 1945. Esta unidad aflora principalmente hacia el sureste, en la quebrada Cuchapata, cerro Yanuarani, y región Ococha Cunca, en la sabana Macusani. Debido a la litología de esta formación, se desarrollará una morfología muy blanda que se encuentra cubierta por un suelo rojizo, subproducto de la erosión de la unidad.

Típicamente, las areniscas arcósicas de lutita y de color bruñido rojizo están intercaladas con arcilla limosa en la formación. Las arcillas limosas dominan con una potencia de 0.40 m, cubriendo uniformemente el grupo Mitu y subyaciendo uniformemente a la Fm. Representan el 70% de la formación. Huancane.

La flora y fauna en este reporte no pudo ser identificada, según Newell, N. (1949) describió fósiles típicos que fueron atribuidos a la Fm. Muni, que sería del Cretácico inferior. Esta formación, que está relacionada con la Fm pero está menos desarrollada, se encuentra alrededor del lago Titicaca. En Cusco, Huambuto.

✓ **Formación Huancané.**

Newell, N. Su nombre proviene del pueblo de Huancané, donde se estudió por primera vez esta formación en 1949; se distingue por una serie de areniscas de cuarzo. Los afloramientos se sitúan al suroeste de la sabana Macusani, en el río Condoriri, la quebrada Caicoto y el río Angostura. Los afloramientos de esta unidad producen una geomorfología que resulta en fuertes pendientes pronunciadas y, ocasionalmente, pequeños cañones.

La formación se distingue por la presencia de areniscas cuarzosas en toda la unidad, y donde aflora, areniscas de grano medio de color blanco a blanco amarillento con variaciones puntuales pardo-rojizas (contenido de  $OxFe$ ), cuya resistencia varía de 0.30 a 0.60 m. Estructuras como laminaciones paralelas, lenticulares, estratificación sesgada, estratos algo conglomerados con mayor potencia, y algunos intercales delgados.

La Fm Huancané superpone en unos lugares y en otros, Muni está en discordante con el Grupo Mitú y apoya a la Fm. Viluyó.

El Grupo Gollarisquizga en el norte y centro de Perú y la Fm están relacionados por la formación Huancané. Hualhuani en Arequipa por su ubicación estratigráfica debajo de la Fm. Viluyo, que es de edad albiana y sobreyace a la FM. A Muni se le da una edad neocomiana.

✓ **Grupo de Moho.**

Las secuencias de areniscas, limoarcillosas y calizas que se encuentran alrededor del pueblo de Moho, al norte del lago Titicaca, han sido identificadas como pertenecientes a este Grupo. Newell, N., estudió el grupo y le dio un nombre. (1949). Hacia el suroeste se exponen las rocas mesozoicas que conforman la lámina de Macusani. Se utilizaron tres formaciones para organizar el grupo: Fm. Viluyo Fm. Tanto Ayavacas como FM. Hanchipacha.

✓ **Formación Viluyo.**

Esta radio Puede superponerse a la FM con una potencia de hasta 126 m. subyacente a la Fm Huancané y Ayavacas.

En el nacimiento del río Condoriri, finca Cangalle en la sabana Macuani, se encontraron afloramientos. Él exhibe una coloración rojiza distintiva y suaves relieves.

Estratigráficamente debajo de la Fm. No se encontraron fósiles en la formación Huancané, lo que situaría su edad entre el Albiano y el Cenomaniano. Esta formación está relacionada con la Fm. Acomayo del Cusco, con la descripción de E. Audebaud de su unidad "A". (Sicuani y Ocongate) entre 1967 y 1973.

✓ **Formación Ayabacas**

En el poblado de Ayabacas sobre la carretera Juliaca-Taraco, fue descrita y estudiada por Cabrera La Rosa y G. Petersen en 1936. Debido a su resistencia a la erosión, esta formación aflora al suroeste del cuadrilátero de Macusani, formando camellones o acantilados. en forma de estrechas franjas que tienden de noroeste a sureste.

Los estratos pueden variar en espesor de 0 a 70 metros, y la secuencia se compone típicamente de calizas micríticas de color gris oscuro a gris claro. También se encuentran areniscas calcáreas lenticulares. Hay estratificación laminar en las calizas.

El espesor de la Formación Ayavacas es esencialmente constante y nunca supera los 20 metros. Esta formación se encuentra en la misma relación que la Formación Hanchipacha y la Formación Viluyo, cubriendo concordantemente a ambas.

Como no hay fósiles en el cuadrilátero de Macusani, se adoptó lo de Newell, N. (1949), cuya edad se fijó como equivalente al Cenomaniano inferior.

✓ **Formación Hanchipapas**

Según Audebaud, E. (1967, 1973), esta formación es una secuencia de arcilitas limosas, areniscas y calizas encontradas en los cuadriláteros de Ocongate y Sicuani. Sus afloramientos en el área de estudio se encuentran en la esquina suroeste de la lámina, en la franja Mesozoica. Algunas crestas y colinas suaves son donde se encuentran los orígenes de esta unidad.

En términos generales, esta formación está compuesta por una serie de areniscas cuarzosas blanquecinas de grano fino a medio y areniscas arcólicas rojas de grano fino en capas que van desde 0 coma 10 hasta 0 coma 35 metros. Ocasionalmente, se descubren horizontes de limolitas y lutitas con buenas laminaciones en color rojo púrpura. Aproximadamente 200 metros de la secuencia son de espesor. Una estratificación paralela de capas delgadas que juntas presentan una coloración gris a marrón crema con algunos niveles violetas en la parte superior caracteriza esta unidad.

Esta formación está en contacto concordante con la Formación Ayavacas y también está en contacto concordante con la Formación Ausangate.

Se ha considerado la misma edad que se le dio a esta unidad en la región de Ocongate y Sicuani, el Campaniense-Maastrichtiano.

✓ **Formación Ausangate**

Esta formación recibió el nombre de Audebaud, E. (1967 y 1973) como una secuencia pelito-samita roja que se superpone a la Formación Hanchipacha. La Formación Ausangate, que forma parte de la lámina Macusani, está aflorando y formando núcleos sinclinales en el suroeste del área de estudio. Las formas suaves producidas por esta unidad incluyen colinas anchas y colinas con laderas suavemente inclinadas.

La Formación Ausangate se compone típicamente de una secuencia monótona de limoarcillolitas, limolitas, areniscas arcólicas y lutitas. También es posible encontrar algunos horizontes de areniscas de

cuarzo blanquecino de grano fino en capas tabulares de 0,10 metros a 0,30 metros de espesor. En la parte baja predominan las limoarcillosas y las limolitas; se presentan en capas de hasta 0,20 metros de espesor y con estructura laminar.

Sobre la Formación Hanchipacha descansa la Formación Ausangate con un contacto distinto y concordante.

Se le asigna una edad correspondiente al Campaniense - Maastrichtiano, que es la misma que le otorga Carlotto (1991) a esta unidad en la región del Cuzco, teniendo en cuenta su posición estratigráfica y su relación concordante con la formación Hanchipapa.

## **CENOZOICO.**

### **✓ Grupo Puno**

Las capas de areniscas rojas y conglomerados que están expuestas al noroeste de Puno fueron identificadas por primera vez como tales por Gerthi en 1915. Tiempo después, Cabrera la Rosa y G. Esta secuencia recibió el nombre de Puno por (1936), y la categoría de Grupo más tarde le fue asignado por Newell (1949).

El Grupo Puno aparece en la esquina SE de la hoja, en el asentamiento de Potoni, ya lo largo del río Pacobamba en el cuadrángulo de Macusani. En términos generales, esta unidad crea pendientes y colinas suaves.

La secuencia del Grupo Puno está compuesta principalmente por areniscas de color rojo púrpura con intercalaciones de conglomerados que tienen matriz arenosa y clastos hasta 0,15 metros en capas de 1,00 metros.



Dado que el Grupo Puno no muestra la base o la parte superior, es difícil estimar el espesor; sin embargo, se anotan 77 metros en una sección medida. En todos los casos en el área de estudio, el contacto del Grupo Puno con las unidades subyacentes falla. Este grupo se superpone al Grupo Tarma - Copacabana, así como al Grupo Ambo. Como no se han descubierto fósiles, se desconoce la edad del Grupo Puno en la hoja de Macusani. Sin embargo, diferentes autores, entre ellos Chanove, G., han determinado que se puede asignar una edad que va desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno debido a su similitud litológica con afloramientos de este grupo encontrados en otras localidades. et. hacia. (1969).

En el altiplano y en la Formación Casapalca del Perú central, esta unidad está correlacionada con el Grupo Puno.

✓ **Formación Cayconi.**

Laubacher, G. fue el primero en utilizar el nombre de Formación Cayconi. et. al hacía (1988) para explicar una secuencia sedimentaria intercalada con rocas volcánicas basálticas y silicoperalúmicas.

Tiene una textura porfídica y contiene agregados de minerales opacos (pequeños), vidrio vesicular y fenocristales de plagioclasa, olivino, piroxenos y minerales opacos. Las escamas de plagioclasa alteradas con carbonato ocasionalmente contienen pequeñas inclusiones de minerales opacos. Los piroxenos y olivinos, que son raros, son alterados por carbonatos.

Los carbonatos rellenan microfracturas de olivino y aparecen en la matriz intersticialmente en moldes con bordes de olivino remanentes alterados a carbonatos.

Esta secuencia volcánica varía en espesor entre 100 y 150 metros. Dado que el material cuaternario los cubre, es un desafío determinar sus relaciones estratigráficas.

Laubacher, G. et. En dos muestras de basalto datadas en 1988 arrojaron edades de 23,7 -1,3 y 22,3 -0,7 Ma, respectivamente, y el feldespató potásico en las tobas riódacíticas arrojó una edad de 23,5 - 0,3 Ma. Según lo revelado, la edad de esta formación podría oscilar entre el Oligoceno Superior y el Mioceno Inferior.

✓ **Formación Quenamari**

Tres personas componen esta formación. En la hoja de Macusani sólo están presentes dos de los tres miembros mencionados. Son los siguientes:.

✓ **Miembro Chacacuniza.**

Este nombre se refiere a una secuencia tobácea que exhibe una estratificación distintiva y se cree que es el primer episodio volcánico en la región. Emerge en el barranco del mismo nombre. Se sitúa en el barranco de Ajoyo y la zona Acumarina del sector NO de la Hoja, donde los afloramientos de esta secuencia han formado lomas de relieve moderado.

Las tobas son de composición riolítica y de naturaleza lapillítica. Contienen cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespató potásico, sanidina, biotita, trazas de vidrio volcánico, zeolitas y litoclastos. En

la matriz criptocristalina, también pueden estar presentes amígdalas llenas de vidrio. porque contiene litoclastos de varias composiciones, esta unidad es solo explosiva. Las capas en la secuencia varían en espesor de 0 a 1 metro. El grosor de la secuencia puede variar y puede llegar a tener un grosor de 170 metros.

Se observa una relación entre los dos miembros en el área Chacacuniza (Hoja Nuoá) con el Miembro Chacacuniza debajo del Miembro Sapanuta y superpuesto al Grupo Mitu con discordancia angular.

Considerando la datación realizada por Cheilletz, A. et. hacia. La edad del Miembro Chacacuniza se estima en el Mioceno medio, según (1992), quien determinó una edad que oscila entre 6 y 10 Ma.

✓ **Miembro de Yupamayo.**

Este es el nombre que se le ha dado al evento más reciente, que involucró un flujo piroclástico aflorante en el sector noroeste de la lámina. Este miembro tiene una morfología suave y forma llanuras con flujos que se inclinan en ángulos muy leves, menores a 5 grados. Se intercalan tobas lapillíticas en capas gruesas, así como tobas blancas o blanco grisáceas a lo largo de la secuencia, la cual está compuesta por gruesas capas de toba que miden 300 metros. Las tobas más gruesas son más friables porque son más cohesivas durante la recristalización debido a que son de naturaleza riolítica (Arribas y Figueroa, 1985). Una muestra del estudio petrográfico de esta unidad revela la presencia de fragmentos cristalinos y líticos en una matriz criptocristalina parcialmente desvitrificada por sericitas y arcillas.

Tanto las lascas de obsidiana, que son un componente de la matriz texturizada vitroclástica, como la macusanita, un tipo de vidrio volcánico no hidratado, se pueden encontrar como vidrio volcánico en las tobas (Ross y Smith, 1955).

Pizarra, toba soldada, piedra pómez y arenisca son solo algunos de los diferentes elementos líticos que se pueden encontrar.

La Formación Quenamari sería más antigua que el Plioceno por el Mioceno, según datos geocronométricos.

✓ **Últimos Depósitos.**

Hay numerosos depósitos recientes en el cuadrángulo de Macusani que llenan llanuras, valles y depresiones. Depósitos morénicos, depósitos glaciofluviales, depósitos aluviales y depósitos fluviales son algunos de estos.

✓ **Depósitos morrénicos**

Estos depósitos se encuentran por encima de los 4.200 metros, llenando antiguos valles glaciares. Son típicamente morrenas formadas por brechas de diferente composición, con los clastos incrustados en una matriz de arena, y presentan una estratificación muy pobre.

✓ **Sedimentos glaciofluviales**

Como resultado de la desglaciación, los depósitos de morrenas se han erosionado y removilizado, creando estos depósitos. Depósitos de este tipo se mantienen en las fincas Pampa Lacca, Pampa Ccaluyo, Amaysanca, Huari Umaa y Ajamani.

Estos depósitos están constituidos por gravas con clastos de hasta 0 coma 50 metros de diámetro subredondeadas a redondeadas en una matriz arenosa o areno-limosa, presentando cuerpos lenticulares de areniscas de grano fino a medio.

✓ **Depósitos aluviales.**

Son los depósitos que se acumulan en las laderas de los valles y quebradas tributarias. También se pueden encontrar formando superficies subhorizontales, como las pampas de Calapampa, Patinapampa y Pacchani. Están compuestos por arena y grava polimíctica.

✓ **Depósitos fluviales.**

Estos depósitos se encuentran en las riberas y fondos de los ríos. En el área de estudio, el río Crucero alberga el principal yacimiento de este tipo, el cual está compuesto por depósitos limo-arcillosos, arenas gruesas y finas, y gravas polimícticas gruesas y finas de diversa composición.

#### ***2.2.1.2. Rocas Ígneas***

Se han identificado hasta cuatro tipos diferentes de rocas ígneas intrusivas dentro del cuadrángulo de Macusani:.

- Plutones de roca granítica.
- Plutones monzograníticos.
- Invasiones riolíticas.
- Intrusiones de basalto.

✓ **Plutones graníticos.**

Esta clase de intrusiones se encuentra en el Paleozoico en la lámina de Macusani, donde destaca por su considerable tamaño el plutón Coasa.

✓ **El Plutón de Cassa.**

Los cuadriláteros adyacentes de Ayapata, Esquena y Limbani están al norte y al este de la misma, que se sitúa al noreste de la hoja de Macusani. Este cuerpo intrusivo globular masivo, que abarca un área de aproximadamente 800 km<sup>2</sup> y solo el 20% (165 km<sup>2</sup>) del cual corresponde al cuadrángulo de Macusani, está cortado por fallas de rumbo NE-SW. Se distingue por presentar una morfología abrupta y prominente que forma parte de la Cordillera Oriental.

Cristales grandes y pequeños de grano muy grueso a medio se encuentran en el granito porfídico que forma el cuerpo intrusivo. Roca leucocrática, holocristalina, no equigranular con cristales de ortesis de tamaño considerable y fuertemente maclados que exhiben una estructura perítica de plagioclasa An<sub>10/15</sub> que ocasionalmente está zonada. Se ha encontrado cuarzo que es xenomorfo. Las inclusiones de apatito y circón son comunes en las biotitas que se transforman en cloritas. Según los análisis químicos, el porcentaje de CaO es bajo, y la relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O es de alrededor de 1:2. En las regiones más externas del núcleo intrusivo se han descubierto facies monzograníticas y pegmatitas.

Las areniscas del Grupo Ambo y las pizarras de la Formación Ananea están intruidas por él, lo que da como resultado un metamorfismo de

contacto, que en el caso de las areniscas produjo cuarcitas con grandes cantidades de pirita dispersa. Se han encontrado algunas búsquedas en las formas intrusivas skarn de la serie de carbonatos de los Grupos Tarma y Copacabana.

Las estructuras rocosas paleozoicas en el contacto sur de este plutón han elegido una dirección E-W que es más o menos paralela al borde, y la vergencia de los pliegues y fallas sugeriría un empuje asociado con el cuerpo plutónico. Sin embargo, no se observa foliación ni esquistosidad en los contactos.

Se puede suponer que este plutón se depositó durante la era del Pérmico Superior en base al metamorfismo que provocó en las calizas del Pérmico Inferior. La primera datación, realizada sobre un trozo de granito, reveló un resultado de 207 Ma. según el método K/Ar (Stewart et al. al. 1974); La datación posterior por el método U/Pb sobre diferentes fracciones de circón en una muestra tomada en el centro del batolito produjo edades que oscilan entre los 238 Ma. In (Lancelot et. al. 1978), lo que, en opinión de Laubacher, situaría la datación de Stewart como resultado de un rejuvenecimiento provocado por la cataclasis, durante la Fase Andina.

Cerca de Ccayrani, en el centro de Plutón, se han descubierto pequeños cuerpos intrusivos oscuros que han sido identificados petrográficamente como gabros. En el macizo plutónico de la región de Macusani, los diques y otros cuerpos pequeños son poco comunes.

✓ **Pequeño Plutón.**

Ha sido informado que un intrusivo alargado de 2,5 km de largo por 1 km de ancho está presente a unos 6 km al suroeste de Antauta, cerca del pueblo de Occecunca. (1978) sería un granito herciniano que se depositó cortando el Grupo Ambo; por lo que se supone que su emplazamiento se produjo después del Carbonífero Inferior. No se han encontrado pruebas de que haya afectado a las calizas del Grupo Copacabana.

Cerca de la intersección de Antauta y Crucero en el Cerro Pumani se observa un intrusivo félsico de textura granular, muy alterado y con una intensa agilización. Tiene una longitud de aproximadamente 1 punto 5 km y, según las relaciones de campo, está conectado con el intrusivo Occecunca. La muestra recolectada, sin embargo, produjo un cuerpo subvolcánico muy cuarzoso que pudo haber sido un microgranito con textura porfídica, en el que se destacan algunos fenocristales de cuarzo junto a fragmentos líticos y cristales alterados a cloritas y sericitas en matriz. cuarzo con microgránulos alotrimorfos. El cuerpo corta a través de las limolitas grises monótonas de la Formación Ananea.

En los alrededores del intrusivo se pueden observar varias operaciones mineras con mineralización de manganeso y una ganga de baritina.

Dada la relación de corte entre estas intrusiones y el Grupo Ambo del Carbonífero y las relaciones de campo y grado de alteración, es claro



que se trata de intrusiones muy antiguas, posiblemente del Paleozoico Superior.

✓ **Plutones formados por monzogranitos y granodioritas.**

El cuadrángulo de Macusani contiene el San Francisco de Quenamari Plutón y el Yurac Apacheta Plutón, dos cuerpos intrusivos del Cenozoico.

✓ **Plutón de San Francisco de Quenamari.**

Se encuentra a unos 25 km al sureste de Macusani. Crea un cuerpo intrusivo rectangular de aproximadamente 10 km<sup>2</sup> de tamaño, 7 km de largo y 4 puntos de 5 km de ancho. Este cuerpo es el núcleo del nevado San Francisco de Quenamari, el cual se destaca morfológicamente como un macizo cónico destruido que es claramente visible en las imágenes satelitales.

El plutón está compuesto por una pasta microgranular alotriomorfa de cuarzo y feldespato potásico, y es una granodiorita con una facies de monzogranito porfídico en los bordes. Los megacristales de feldespato en esta facies pueden crecer hasta varios centímetros de largo. También se descubrieron cuarzo automórfico, feldespato corroído y biotita que se había transformado en turmalina. Una abundancia de potasio en la roca en relación con el sodio, como lo revelan los análisis químicos, apuntaría a un magmatismo ácido.

Las areniscas del Grupo Ambo y las pizarras de la Formación Ananea son cortadas directamente por él, y las rocas corneales y cuarcitas circundantes sufren un metamorfismo que es visible en ellas como un

cambio de color. Este plutón está conectado a la mineralización de estaño que actualmente explota la mina San Rafael.

Indicando indirectamente que la intrusión es del Mioceno es la presencia de mineralización bipiramidal de cuarzo y estaño, que en Bolivia datan del Mioceno. Sin embargo, Clark et. estudio de citas de al. hacia. (1984) y Kontak (1985) proporcionó valores que oscilan entre 25,9 y 22,06 Ma. en el límite Oligoceno-Mioceno, para ser precisos.

✓ **Yurac Apacheta Plutón.**

En el borde sur del cuadrilátero, en el sector central, consiste en un cuerpo intrusivo que se sitúa a 6 km al sureste de la finca Cangallo, en el arroyo Coicoto, afluente por la margen izquierda del río Crucero y Azángaro.

Según la muestra tomada, se trata de un monzogranito gris con un tono ligeramente parduzco y una textura granular hipidiomorfa. En este material destacan los megacristales de feldespatos que presentan alteraciones arcillosas y cloríticas. En lugar de biotita, se ha descubierto esfena.

El cuerpo intruye los conglomerados del Grupo Puno, las calizas del Grupo Copacabana y las areniscas del Grupo Tarma, silicificando las calizas como resultado de la pobre alteración. Está conectado a la mineralización epitermal e hidrotermal.

Según Laubacher (1977), este plutón pertenece a la fase andina y pudo haber sido depositado durante el Mioceno.

✓ **Rocas riolíticas.**

Consiste en tres afloramientos de roca félsica que se encuentran a más de 10 km al este de Macusani. Dos cuerpos más fueron encontrados en los cerros Oquecunca cerca del paso Macusani, así como otros dos en el cerro Carcapata, que tiene más de 4 km de largo por 2 km de ancho. Un tercer cuerpo fue encontrado en el cerro Mamajora, que tiene 3 km de largo y 1 km de ancho, y se encuentra a 5 km del primero.

Se asemeja a tobas de matriz afanítica con amígdalas rellenas de feldespato y trozos de cuarzo, plagioclasa y biotita. Estas amígdalas son subangulares y subredondeadas. Adicionalmente, incluye fragmentos volcánicos subangulares y subredondeados de textura porfídica que presentan fenomoldes transformados en feldespatos y minerales opacos, así como fragmentos ígneos líticos con feldespatos potásicos y plagioclasas. Además de los cristales de cuarzo y plagioclasa, también se descubrió sílice en las venillas y microfracturas de los fragmentos. Estas microfracturas se rellenaron con sericita y clorita.

Los macizos de los tres afloramientos deben estar conectados a apófisis que cortaron las calizas del Grupo Copacabana y del Grupo Mitu, metamorfoseando levemente ambos conjuntos de rocas. Estos cuerpos, que consisten principalmente en lavas y tobas, probablemente fueron creados por flujos piroclásticos que cubrieron las rocas preexistentes. En el caso de Cerro Carcapata, a 1,5 km al oeste se ha descubierto una disyunción columnar radial asociada a un

cuerpo intrusivo que adopta la forma de un dique alargado rumbo N 50 W. Esto sugiere que la alineación a través de la cual emergió el material que formó los cuerpos riolíticos indicados.

De acuerdo con la datación realizada mediante los métodos K-Ar (Clark, A. et. al., 1990), reciben la designación de edad 20 Ma. es decir, son del Mioceno inferior en edad.

Un cuerpo subvolcánico riolítico se posiciona en Llauchune cerca del contacto Paleozoico - Cretácico, en la margen izquierda del río Condoriri, al sur de la laguna Cerrera, y en la zona de la contacto biotita-biotita. El cuerpo se divide a través de la arenisca de la Formación Muni, produciendo un halo metamórfico que recuerda un poco a San Francisco de Quenamari.

✓ **Rocas basálticas.**

En el cerro Moro Moroni (Kontak et al. al, 1986) se indica la ubicación de rocas basálticas shoshoníticas cercanas al poblado de Antauta, las cuales se caracterizan por megacristales de cuarzo y fenocristales de ortopiroxeno de olivino y aluminio. Está ubicado encima de las pseudocapas que originalmente se mapearon como parte de los conglomerados del Grupo Mitu (Newell et al. 1953), pero finalmente se descubrió utilizando el método K-Ar (Kontak, et. al 1983). resultado en la era Neógena.

Hay basaltos afaníticos de color gris oscuro con textura porfídica y vesicular en Querichani, que se encuentra al sur de Ajoyani y en la margen derecha del mismo río. La plagioclasa en la muestra tiene inclusiones de vidrio además de pseudomorfos de carbonato en lugar

de clinopiroxenos. Observando las relaciones de campo y el modo de emplazamiento de las capas se relaciona con los basaltos de Moro Moroni, pero inicialmente se supuso que se trataba de lavas pertenecientes al Grupo Mitú porque parecen estar situadas sobre las brechas sedimentarias rojo-púrpura de ese grupo. Se da una edad Miocena.

En la margen izquierda del río Ititamayo, cerca de Chullutiana y del Paso Macusani, se encuentra una andesita basáltica porosa de color gris oscuro con cavidades milimétricas que está rellena de carbonatos de textura porfídica y una escasa cantidad de fenos de plagioclasa que han sido maclados, microfracturados y ligeramente alterados a sericitas. Se forman venillas finas y breves de carbonatos y cloritos intersticiales. Su ubicación y la del cerro Moro Moroni se encuentran en estratos que inicialmente se confundieron con el Grupo Mitú, pero por relaciones de campo se han relacionado con los basaltos de Moro Moroni.



## 2.2.2. Geología Local

### 2.2.2.1. Estratigrafía

#### PALEOZOICO

##### ✓ **Formación Sandia.**

De edad Ordovícico Superior, esta Formación está constituida principalmente por pizarras muy plegadas, fracturas y regiones alteradas por la intrusión de dos cuerpos monzograníticos.

El fósil "Michelinoceros Nautilus" del Ordovícico Superior, descubierto en rocas pizarrosas por Palma en 1981, permitió establecer la Formación Sandia como la edad de estas rocas en la zona mineralizada. Las rocas más comunes son las filitas, de color gris oscuro y con moscovita en los planos de foliación. Estas rocas han sufrido un metamorfismo de contacto para convertirse en hornfels masivos de color marrón grisáceo oscuro, que están en contacto con el intrusivo. Las filitas y cuarcitas se intercalan; se encuentran principalmente en la laguna Chogacota, alrededor del campamento San Rafael y en el paso Umbral. El siguiente es el orden estratigráfico:.

Pizarras de Sandia. - Muestra el inicio de la secuencia de la región de San Rafael; se hunde aproximadamente 40 grados hacia el noreste y promedia un rumbo SE-NW. Debido a una intrusión ígnea de tipo ácido, se está produciendo un fuerte metamorfismo que se caracteriza por plegamiento antiguo, presión de confinamiento y un período geológico reciente. Se cree que la serie Ordovícico Hualla-Hualla los incluye.

Cuarcitas de Sandia. - En la porción sur de la laguna Chogacota, se expone roca metamórfica en menor escala que la anterior. Aflora sobre las pizarras y mira hacia el lado de la montaña Nevado Quenamari. Son duros y de grano fino, de color blanquecino con tonos de gris a gris verdoso en fractura fresca, y de naranja a marrón en superficie meteorizada. Es posible que se hayan originado a partir de areniscas de cuarzo.

Debido a las fuerzas dinámicas, se pueden identificar juntas irregulares. Dado que presentan una variación significativa en rumbo (NW) y buzamiento (NE), como se observa en la parte superior del Nevado, las grandes fracturas y fallas que se han mineralizado posteriormente parecen continuar de pizarra a cuarcita.

Los Hornfels Sandia. Estos hornfels, que han sido endurecidos por el calor de las masas ígneas, son las pizarras que sufrieron metamorfosis en contacto con el intrusivo; son de color gris oscuro a marrón con un brillo aterciopelado debido a la abundancia de pequeños cristales de mica negra brillante.

✓ **Grupo Ambo.**

El grupo Ambo está compuesto por limos de arenisca-arcillosa grises y oscuros, graduando hasta un nivel delgado intercalado con areniscas, y en su parte superior conformado por areniscas que terminan en un intercalado de areniscas y arcillosas en capas de hasta 4 metros de espesor.

Rynchonellacea ind. se han descubierto fósiles (ALDANA, M. 1995).

En el cerro Ichumorojo, donde se identificó la siguiente fauna:



Punctospirifer cf. Especies de P. Micronatus. derivado del Visean Tournesian; compuesto cf. C. ozarkana MATHER, una especie de Schellwienella, del Carbonífero Inferior. La especie Derbya se encontró en el Carbonífero Devónico. el Misisipiense (Carbonífero Inferior) y el Carbonífero-Pérmico).

El Carbonífero Inferior está representado por el stock de granito Quenamari, que aflora al norte del área de estudio y exhibe una relación consistente con los grupos indiferenciados de Tarma y Copacabana.

✓ **Grupo Copacabana.**

El Grupo Copacabana subyace discordantemente al Grupo Mitu y se superpone concordantemente al Grupo Tarma. Esta secuencia abarca un área considerable y se extiende de noroeste a sureste.

Los afloramientos de este grupo dan lugar a formas distintivas que suelen ser abruptas con importantes escarpes verticales.

El grupo Copacabana se compone típicamente de caliza en capas gruesas, de color claro como resultado de la meteorización y morfológicamente excepcional entre las unidades, lo que facilita su reconocimiento a distancia.

La secuencia tiene espesores que van desde los 70 hasta los 180 metros, por lo que son variables.

Esta unidad tiene asignada una edad de Pensilvania basada en la fauna y la posición stratigráfica. Se correlaciona con afloramientos de edad similar encontrados en la Cordillera Oriental del sur y centro del Perú.

✓ **Intrusiones rocosas.**

Se formó cuando un cuerpo monzogranítico intrusivo del Oligoceno superior al Mioceno inferior provocó extensos sistemas de fracturas en la Formación Sandia.

En el Nevado Quenamari, la erosión ha dejado al descubierto dos stocks: uno en el Nevado San Bartolomé de la mina San Rafael y otro en el Nevado San Francisco de la mina Quenamari, de los cuales sobresalen varios diques.

El eje mayor del intrusivo San Rafael se dirige al NE-SW y mide 1000 m. de longitud y 300 m. de ancho. Donde los contactos se congregan frecuentemente es a una profundidad de 2000 m. El intrusivo de la mina Quenamari es de aproximadamente 1000 m. de diámetro, y los trabajos subterráneos presentan una elongación hacia el sureste. Debido a que las cuarcitas de la Formación Sandia cubren parcialmente el afloramiento del intrusivo, éste es discontinuo.

Los dos intrusivos tienden a ser el mismo cuerpo, con un eje mayor NE-SW de 5000 m. de longitud, según un corte realizado en la cota 4200 entre las minas San Rafael y Quenamari. Mientras que el contacto noreste está en la veta Nazareth, el contacto SW de este cuerpo estaría cerca del dique semianular.

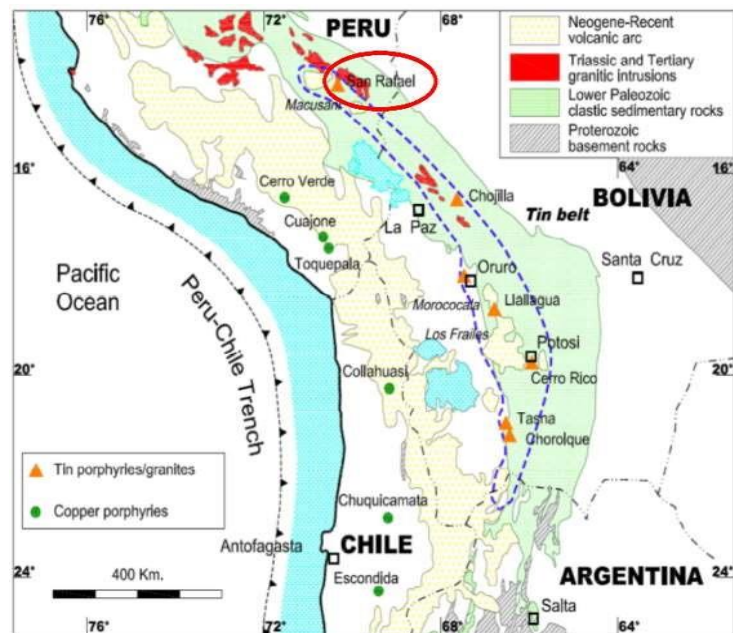
El intrusivo es un monzogranito peraluminoso (Arenas, 1980; Palma, 1981; Kontak, 1984; Clarck, 1983) con microfenocristales de biotita, cordierita, silimanita y feldespatos alcalinos euhédricos que pueden alcanzar una longitud de 12 cm. Según el método K-Ar, el intrusivo Quenamari tiene una antigüedad de 27,1 ± 0,10 millones de años,



### 2.2.3. Metalogenia

Desde el punto de vista metálico, la mineralización Sn-Cu-W está conectada a stocks peraluminosos "tipo S", que van desde monzogranitos hasta granodioritas. La Cordillera Real de Bolivia, que está gobernada por las fallas del mismo nombre, incluye los granitoides. Pizarras y cuarcitas de época ordovícica fueron cortadas por los cepos. San Rafael es el depósito principal, pero Palca 11 y Santo Domingo se destacan entre los más pequeños. Las edades de mineralización oscilan entre 25 y 22 Ma. El yacimiento Cerro Rico de Potosí, sin embargo, registra una edad de 14 Ma en Bolivia. Por otro lado, existen epitermales de Ag-Pb-Zn (Au) de sulfuración intermedia a baja que se vinculan a los eventos volcánicos de 25 y 14 Ma, siendo Corani el depósito más representativo.

Marco geológico del cinturón estannífero (Tin Belt) Peruano-Boliviano, con los principales yacimientos.



Fuente: Dietrich et al., 2000.

#### 2.2.4. Geología Estructural

- **Controles estructurales de la beta San Rafael**

El monzogranito antiguo con un huésped de 24 Ma (Oligoceno superior) de los cuerpos minerales de San Rafael es un sistema de vetas con una fisura lateral sinistral. La Veta San Rafael es la estructura principal, ya cada lado de ella existe vetas paralelas pero inferiores llamadas Pedro, Victoria, Mariano, Kimberly, Vicente y Jorge que están espaciadas entre 75 y 150 metros.

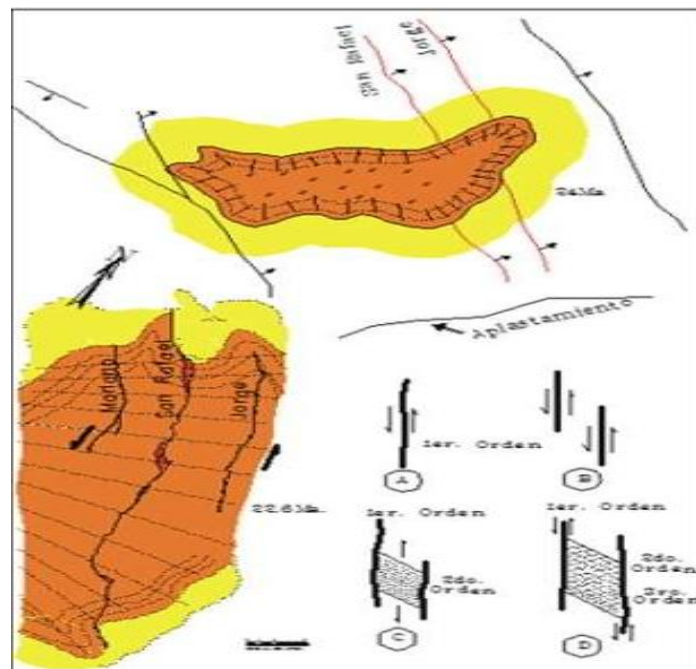
Las vetas principales típicamente apuntan al NW-NNW y se inclinan entre 40 y 75 grados hacia el NE. La estructura de la veta San Rafael golpea 325 grados al este en las rocas metasedimentarias al sur del granito, pero refracta un desplazamiento de 345 grados al este cuando ingresa al intrusivo.

Las distintas diferencias geológicas del monzogranito y las pizarras son la causa de la refracción. La estructura de la veta San Rafael se curva gradualmente hacia la izquierda a medida que continúa corriendo casi paralela al contacto intrusivo que se encuentra al noreste en el monzogranito a medida que avanza hacia el norte. Los pasos se utilizan para crear la curva, lo que da como resultado curvas con cambios sutiles y abruptos. Donde realmente termina la vena, otra rama emerge a la izquierda y continúa. El desplazamiento ha cambiado de 320°E a 325°E a medida que la veta San Rafael se acerca al contacto norte de pizarra-monzogranito (Figuras 13–15). La estructura se refracta a 345°E después de pasar por la zona de contacto.

Todos los signos encontrados bajo tierra apuntan a que el sentido frágil de la estructura de la veta San Rafael está principalmente hacia la izquierda con un componente menor de desplazamiento inverso. Estas estructuras experimentan con frecuencia un desplazamiento hacia abajo normal después de la reactivación (relajación) posterior a la extracción de minerales (Figura 14).

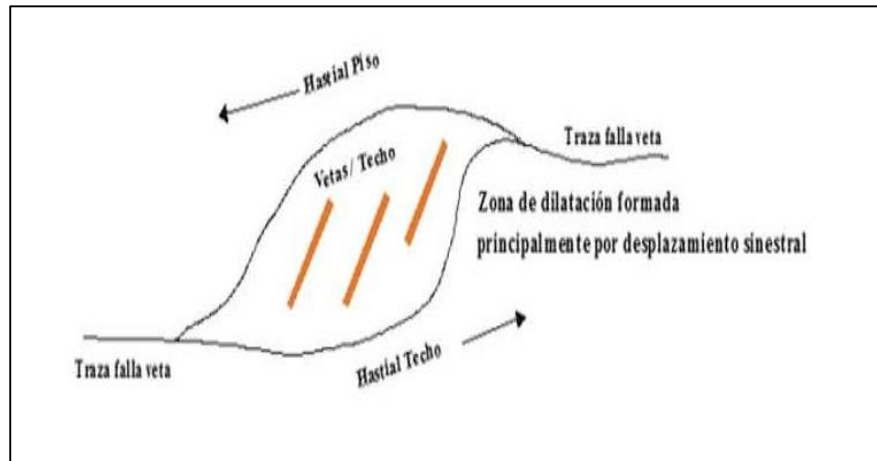
Un prisma romboidal de dilatación (movimiento estructural) o de curva inversa conocido como el pico mineral aparece donde la estructura primaria de la veta San Rafael salta hacia la izquierda de las estructuras secundarias. Según nuestra teoría, la mayoría o la totalidad de las estructuras secundarias representan sistemas de fracturas radiales y concéntricas que se desarrollaron durante el enfriamiento y cristalización del magma (figura 4).

Modelo estructural del sistema de la veta San Rafael (Fuente departamento de geología San Rafael)



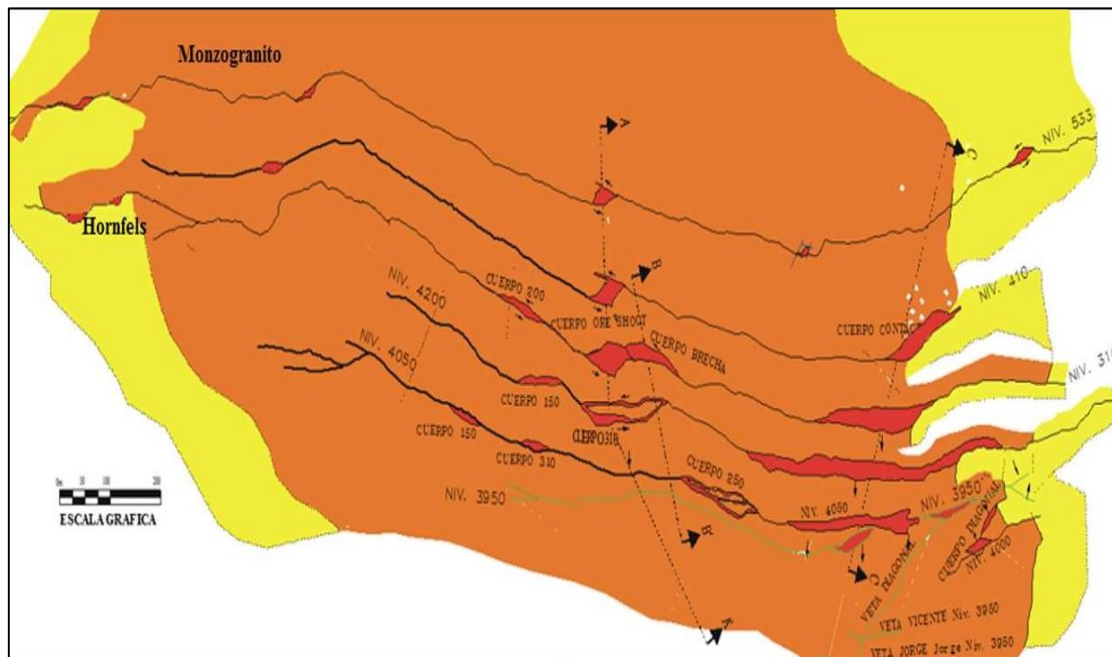
Fuente: Departamento de Geología - Minsur

## Diagrama de los cuerpos mineralizados



Fuente: Departamento de Geología - Minsur

Plano horizontal de las vetas San Rafael en los Niveles 4533, 4410, 4200, 4050 y 3950.



Fuente: Departamento de Geología – Minsur

### 2.2.5. Mineralización y Paragénesis

En su estudio sobre mineralización, Palma (1981), identificó 4 etapas. La secuencia de mineralización de la veta San Rafael es complicada porque el

cuarzo, la clorita, la casiterita y la calcopirita se precipitaron repetidamente en varias etapas.

Similar a las vetas Sn-Cu de Cornwall-Devon, Inglaterra, esta mineralización es una mineralización. (Palma 1981; Clark 1983).

### **Las vetas de cuarzo y turmalina son la primera etapa.**

Las vetas, vetillas y brechas de cuarzo-turmalina son todas formas de turmalina. No existe valor económico en este punto. Las temperaturas de homogeneización de las inclusiones fluidas oscilan entre 385 y 545 grados centígrados, y sus salinidades oscilan entre el 38 y el 60 por ciento del equivalente de NaCl en peso.

### **Segunda Etapa: Caserita Botrioidal, Cuarzo y Clorita.**

La etapa clave de la mineralización en San Rafael se encuentra en este punto. La casiterita botrioidal está compuesta por agregados con formas aproximadamente hemisféricas y curvas que se crearon por la precipitación de una o más capas megascópicas de casiterita. El color de esta variedad de caserita, conocida como lata de madera, va del marrón claro al marrón. La clorita y el cuarzo también prevalecen en esta etapa, con calcopirita, wolframita, scheelita y arsenopirita presentes en concentraciones menores. La casiterita botrioidal y la clorita se encuentran frecuentemente en asociación de grano fino. Una capa delgada de valmorfitita, un mineral de color amarillo pálido, puede estar ocasionalmente presente sobre la casiterita botrioidal.

Las temperaturas de homogeneización de las inclusiones fluidas oscilan entre 220 y 400 °C, y sus salinidades oscilan entre 5 y 18 % de NaCl equivalente en peso.



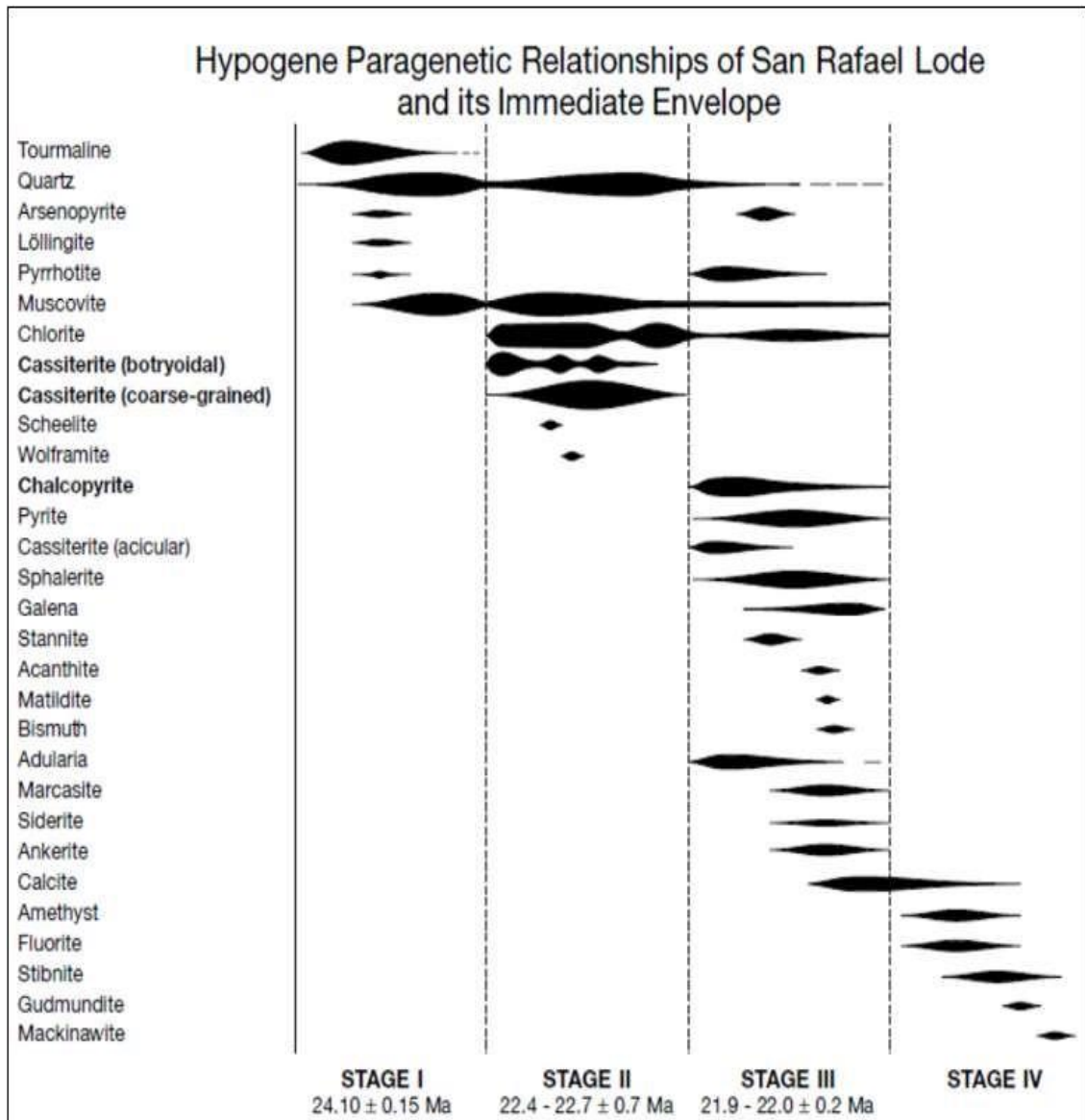
**La calcopirita, la casiterita acicular, el cuarzo y la clorita constituyen la tercera etapa.**

La etapa principal de sulfuro contiene calcopirita junto con esfalerita, galena, pirita, arsenopirita, pirrotita, estanita, fluorita, bismuto nativo, clorita, cuarzo, adularia y cantidades menores de casiterita. Los agregados radiales contienen la casiterita acicular (estaño de aguja). Los minerales de ganga más comunes son el cuarzo y la clorita. Según Kontak (1984), durante la etapa final de esta mineralización, la pirrotita se transformó en marcasita, arsenopirita, pirita y siderita. Las temperaturas de homogeneización de las inclusiones fluidas oscilan entre 210 °C y 420 °C, y su salinidad es del 18 % de NaCl equivalente en peso.

**Las vetas de cuarzo-calcita son la cuarta etapa.**

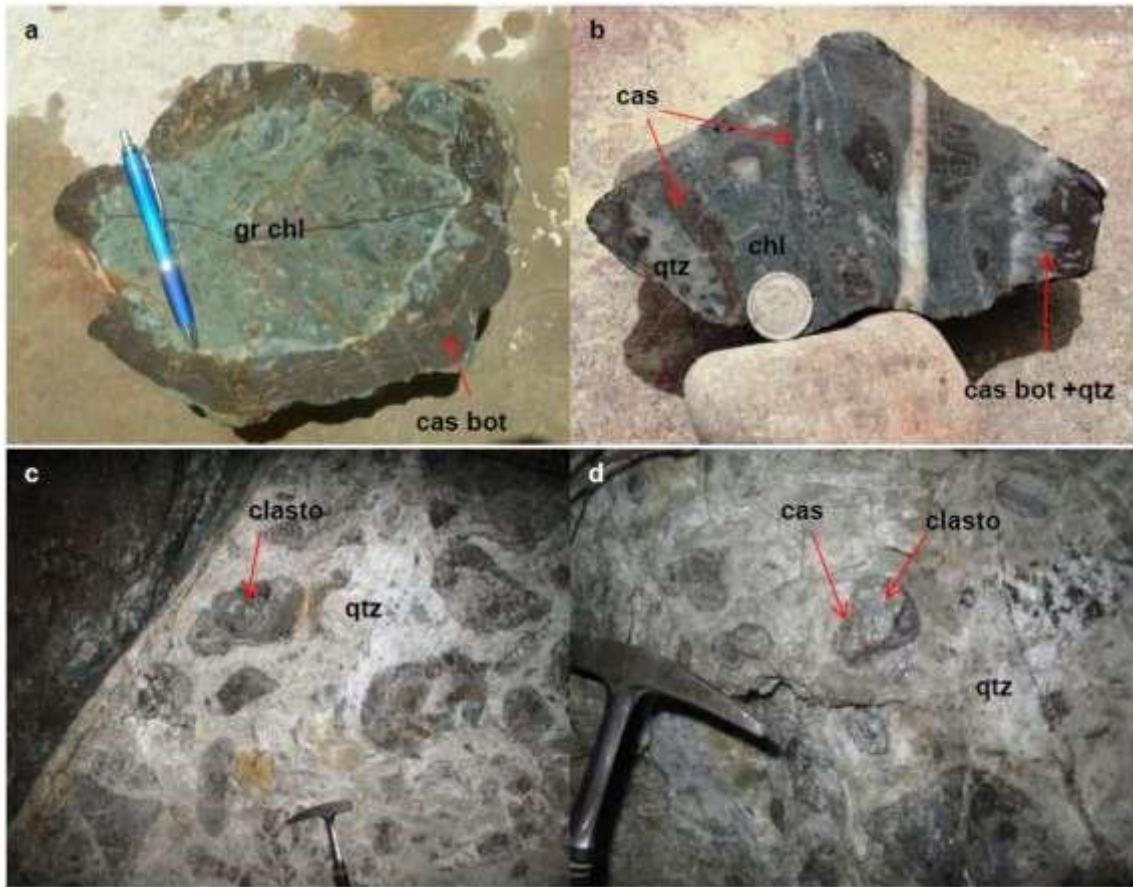
Vetas de cuarzo o vetas de cuarzo y calcita, esta última también puede presentar alteraciones cloríticas y calcopiritas. Estas venas tienen unos pocos centímetros de largo. a 12 cm. o más fuerza. Las temperaturas de homogeneización oscilan entre 190 °C y 290 °C, y las salinidades oscilan entre el 1 y el 5 por ciento del equivalente de NaCl en peso.

Vetas y paragénesis de antigüedad de veta San R.



Fuente: Departamento de Geología – Minsur.

## Casiterita botroidal



Fuente: Departamento de Geología – Minsur.

### 2.2.6. Alteración Hidrotermal

Con la excepción de una turbidez en los bordes de los megacristales de feldespato alcalino, el monzogranito de la roca de caja parece fresco a simple vista, pero las secciones delgadas revelan texturas secundarias y minerales. Alrededor de las venas, el intrusivo se cloriza. Palma (1981) y Kontack (1984) identificaron tres etapas diferentes de cambio.

**(a) Turmalina, clorita y casiterita.**

Representa la etapa inicial del cambio. La turmalina está presente en la matriz o ha tomado el lugar del feldespatos alcalino, y la biotita ha sufrido diversos grados de alteración por clorito. Hay diferentes concentraciones de casiterita.

**(b) Feldespato alcalino.**

Cuando se crea albita secundaria o feldespatos de potasio.

**(c) Sericita.**

Los feldespatos se reemplazan durante este tiempo por mica blanca.

**2.2.7. Zonas de Mineralización.**

- **Zonificación horizontal.**

Alrededor de la mineralización de cobre y cobre-estaño de San Rafael hay agujas de esfalerita, galena, calcopirita y casiterita. Las vetas Vicente, Mariano y Rosario de Antauta al sur, los Andes peruanos y Marianela al oeste, la veta Marianela y las localidades de José, Nazareth 17 y San Martín al este, la quebrada Umbral al norte, el prospecto Linso, la veta Marianela al oeste y el arroyo Umbral al norte contienen esta mineralización.

- **Zonificación Vertical.**

La zonificación vertical de la veta San Rafael está representada por una caída de 450 metros en los valores de cobre y una caída de 550 metros en los valores de estaño a profundidades por debajo del nivel 533.

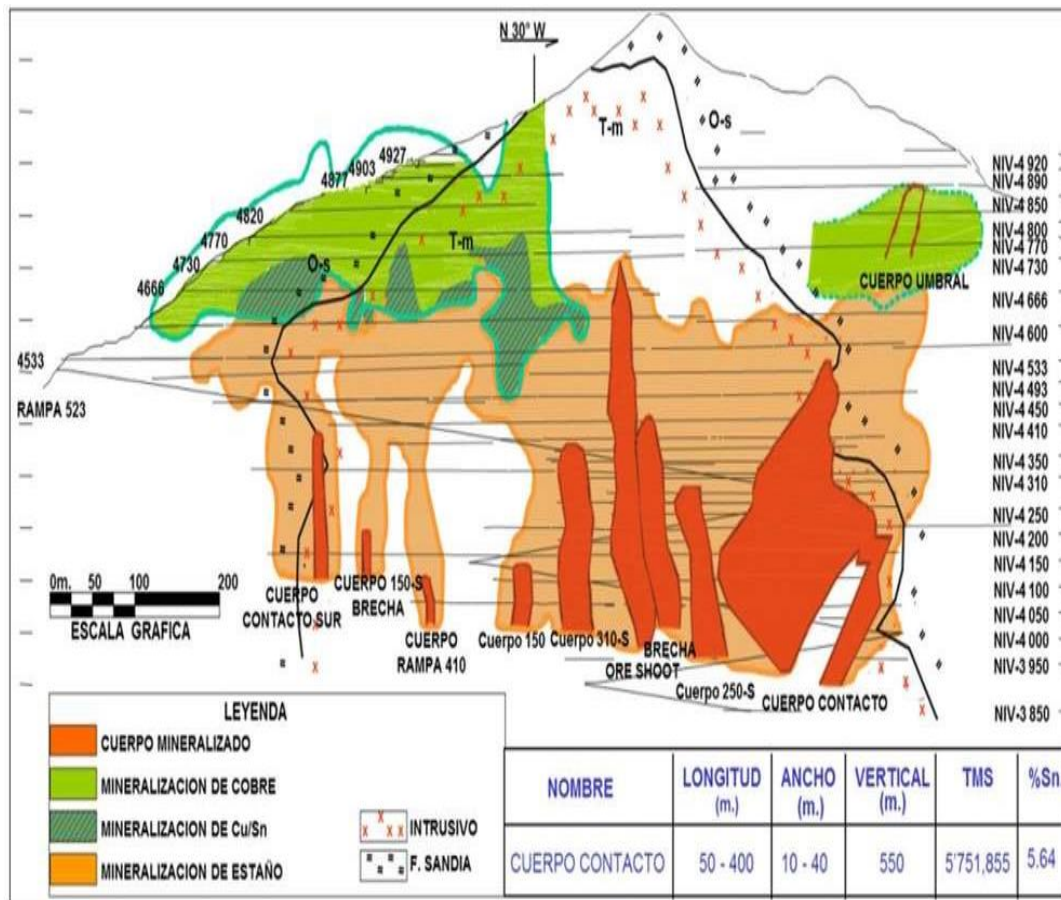
El máximo de mineralización de cobre, que corresponde al isovalor 5 en rojo en los niveles superiores hasta el nivel 666, es esencialmente horizontal. En el medio de la intrusiva, donde los niveles 600 y superiores están cerca, los isovalores superiores a 3 se muestran en verde. El isovalor 1, mostrado en azul, representa el mínimo de esta mineralización; comienza en el nivel 533

y disminuye a 0,2 en los niveles más bajos, en los cuerpos minerales. Los isovalores de cobre son simétricos y se encuentran a ambos lados de los picos casi subhorizontalmente, donde la parte superior se ha erosionado en gran medida.

La profundidad de los isovalores de estaño se eleva de menos de 1 a más de 10 (Ver figura 17). El intrusivo, a ambos lados del contacto sur, contiene la menor cantidad de esta mineralización, lo que se muestra en el isovalor 1, que es azul, casi horizontal y coincide con el nivel 533. El nivel 600 coincide con el isovalor verde ondulado. 2. El máximo de esta mineralización se muestra en el isovalor 10, que es rojo, en varias zonas aisladas y concentradas cerca del contacto norte entre los niveles 533 y 050. Los isovalores de estaño 1 y 2 están cerca y tienden a ser simétricos en la dirección del contacto sur. El nivel máximo de mineralización es inferior al nivel mínimo.

La relación Sn/Cu es el mejor indicador de la zonificación vertical de la veta San Rafael. Estas proporciones aumentan de 0:1 a 30:1, lo que muestra un aumento en el estaño en profundidad junto con una disminución en el cobre, que prevaleció en los niveles superiores. El nivel del 0.1 el isocociente es 820. En el nivel 533, el isocociente 10 es claramente horizontal; sin embargo, en las porciones media y norte del intrusivo, se profundiza a niveles más bajos. Cerca del contacto norte, la relación Sn/Cu alcanza su máximo, representado por una relación de 30 que es simétrica con una relación de 10.

## Zoneamiento de mineralización estaño cobre



Fuente: Departamento de Geología – Minsur.

### 2.2.8. Mineralogía

Los principales minerales hipogénicos son la casiterita, la estanita y la calcopirita; la bismutinita y la plata (posiblemente tetraédrica) son menos comunes. Valamorfita, esfalerita, galena, enargita, stibnita, scheelita y wolframita son minerales adicionales. Cuarzo, clorita, sílice, pirita, arsenopirita, turmalina, calcita, fluorita, marcasita, pirrotita, rodocrosita, siderita y adularia se encuentran entre los minerales de ganga.

Bornita, calcocina, covelita, cuprita, malaquita, cobre nativo, acantita en ganga con goethita, limonita, pirolusita y psilomelana son ejemplos de

minerales secundarios por oxidación o por enriquecimiento supergénico. Estos prevalecieron en las vetas superior San Rafael y Quenamari.

### **2.2.9. Edad de la Mineralización**

Con el método K-Ar se determinó una edad de  $22.6 \pm 0.2$  Ma de la mineralización en la U.M. San Rafael, al evaluarla con nivel 4820.

### **2.2.10. Controles De La Mineralización**

#### **Controles litográficos.**

Mientras que los picos minerales de los hornfels están mejor definidos cerca del contacto, las vetas, los picos y los cuerpos minerales del intrusivo están mejor definidos en profundidad. La veta es errática y poco persistente cuando está completamente incrustada en metasedimentos.

#### **Controles a nivel estructural.**

En las ramas y uniones, los sigmoides compuestos se mineralizan de manera desigual y separada, pero toda la estructura está mineralizada en los cuerpos de mineral, con la excepción de algunas áreas.

La formación de cuerpos minerales en las vetas San Rafael y Jorge se ve favorecida por cambios abruptos en el curso este de las vetas.

El enriquecimiento y el ensanchamiento de las venas se ven favorecidos por buzamientos de menos de  $65^\circ$ .

#### **Controles de minerales.**

Los valores altos de estaño están relacionados con la abundancia de clorito en la veta y los cuerpos minerales. La persistencia de la mineralización de estaño en profundidad está indicada por la presencia de caserita botrioidal y estaño negro en los cuerpos o en la veta.

El aumento de los precios de la esfalerita, la galena y la plata denota la finalización de la mineralización de estaño y el inicio inminente de la mineralización polimetálica.

#### **2.2.11. Blending**

Se utiliza un cargador frontal CAT 966H para mezclar los minerales altos, medios y bajos para la alimentación a la planta concentradora, que sigue una ley uniforme del estaño.

#### **2.2.12. Definiciones Básicas del muestreo**

Los procedimientos de muestreo son importantes en el control de calidad del mineral que es enviado a la planta concentradora para realizar procesos metalúrgicos en la industria minera.

Cuando el proceso es deficiente produce en el sistema de información de las leyes de muestreo de los minerales económicos, errores y grandes pérdidas a las empresas mineras.

Por lo tanto, el proceso de muestreo debe considerar estos parámetros:

- Extracción de la muestra
- Preparación de la muestra
- Análisis de la característica de la muestra.

Se debe considerar que, aunque este bien realizada el análisis de la muestra, este resultado será mala, cuando la muestra ha sido mal extraído y preparado.

Por eso es importante la extracción y preparado de la muestra para el análisis de las leyes correspondientes. Por lo tanto, el procedimiento de la



extracción de muestras es una operación de vital importancia en la industria minera.

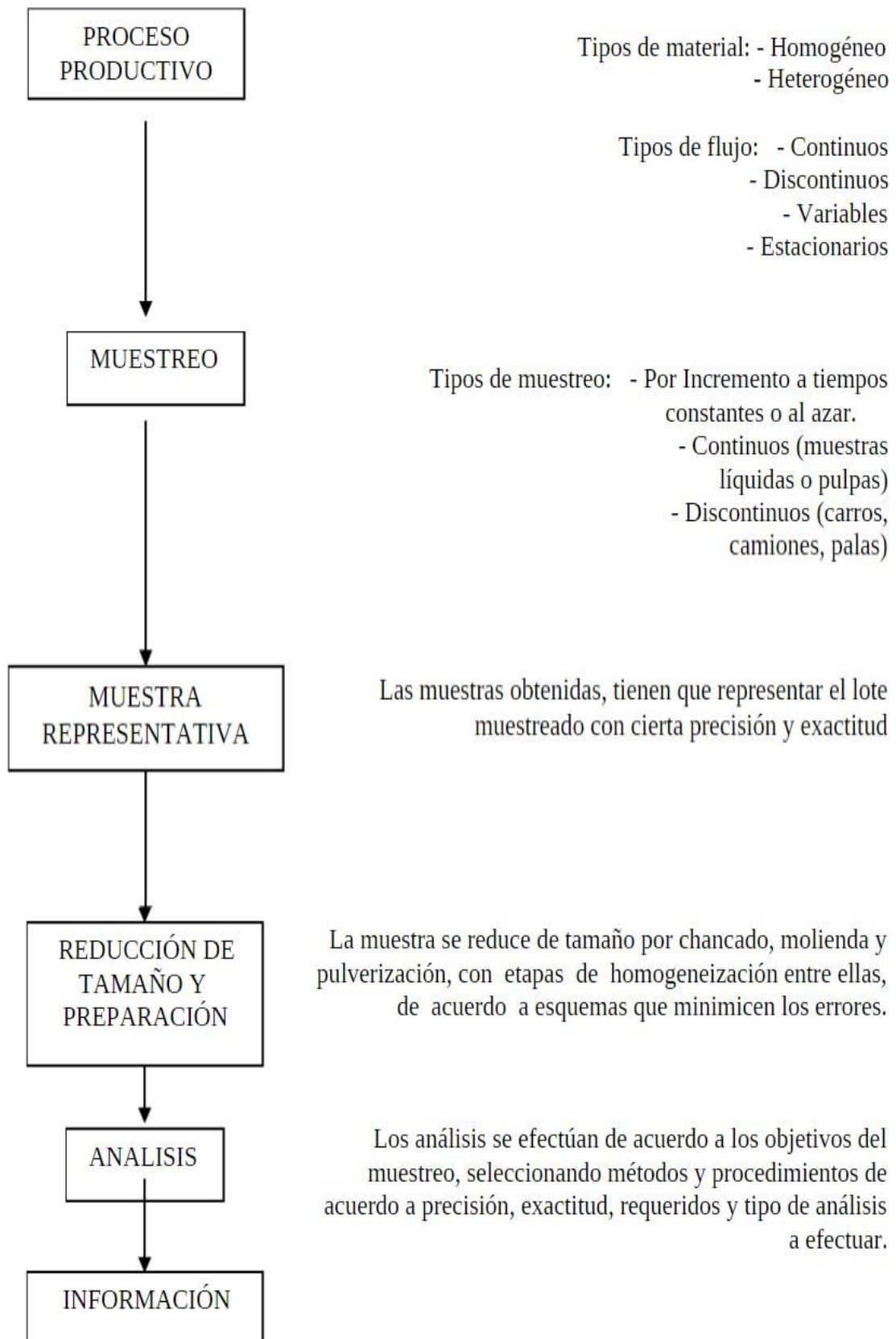
### **El muestreo geológico y el control de calidad**

Para determinar un buen control de la calidad del muestreo se debe reunir información sobre toda información del proceso, los protocolos o pasos que se requieren para realizar el muestreo. Revisando los pasos o protocolos en la ejecución del mismo nos remitirá información para su control respectivo. Con esos datos recopilados se realizarán actividades de optimización de los procesos para alcanzar la calidad en el muestreo.

Como el muestreo geológico es la parte inicial de todo el proceso de control de calidad en el análisis metalúrgico, está se debe realizar con los protocolos normados en el control de calidad.

El muestreo geológico como parte del proceso de calidad de las leyes de los procesos analíticos metalúrgicos se encuentra inmerso en los procesos mostrados en el siguiente esquema:

## Procesos del muestreo geológico



Fuente: Propia.

### **El muestreo geológico del Subsuelo.**

Es el proceso de extraer una muestra sólida desde la profundidad a la superficie con un equipo artificial, que tenga representatividad de lugar de donde fue extraída y debe conocerse su ubicación.

En la etapa de exploración, se usan los métodos de sondajes y galerías de reconocimiento.

### **Muestreo por Sondajes.**

- Sondajes tipo Martillo de Fondo
- Sondajes tipo diamantina
- Sondajes tipo circulación inversa

### **Muestreo mediante galería de reconocimiento.**

- Muestreo de labores horizontales
- Muestreo de labores verticales.
- Muestreo en Labores Antiguas.

### **Muestreo en diversos procesos de extracción**

- En Stock Pile
- En unidades de Carguio y/o Transporte.
- En Torta

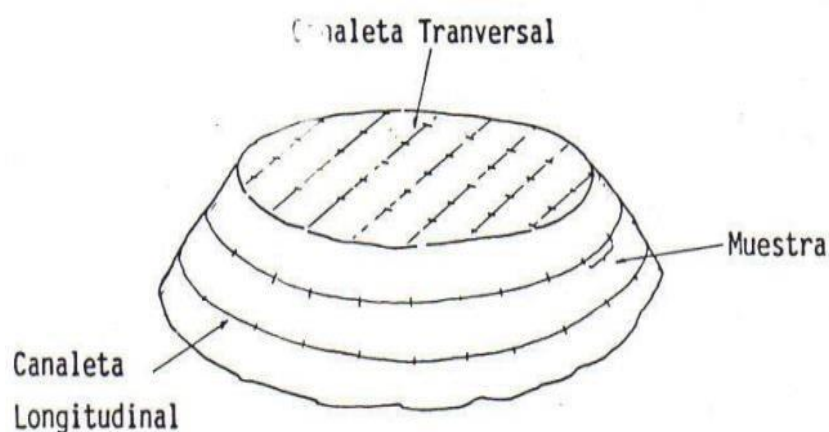
## Muestreo en Acopios Permanentes

- Muestreo en Desmontes.
- Muestreo de Ripios de Lixiviación o Relaves de Flotación

### Muestreo por canaleta:

Se realizan pequeños canales de más o menos 30 a 50 cm de profundidad, transversal a la plataforma y longitudinal al diámetro, en la cual se muestreara por tramos subdivididos sistemáticamente.

Muestreo por canaletas.



Fuente: Departamento de Geología – Minsur.

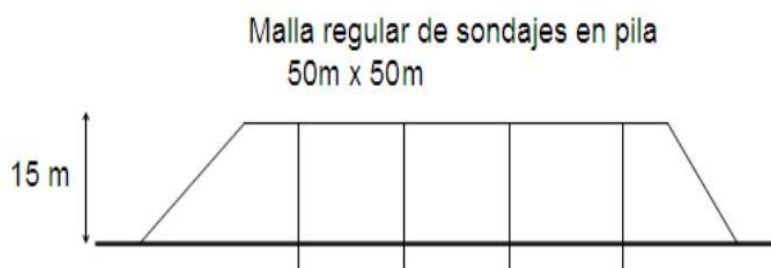
### Muestreo de los puntos de malla rectangulares:.

Se trata de crear una malla parecida a la de los claros y obtener muestras de sus vértices. Este método se utiliza para escombros o relaves que tienen poca altura y mayor extensión; para ello es necesario excavar un pozo de 30 a 50 cm de profundidad y recoger las muestras del fondo.

### **Muestreo con fines de investigación:.**

El muestreo de superficie no sería representativo de la cantidad total de grava o relaves en este caso, por lo que es necesario realizar una malla regular de perforación, de la cual la perforación con polvo sería la más representativa. y utilizando el sistema de aire inverso, así como otras técnicas como el sistema Becker, Hammer, Auger Drills, que se muestreará a intervalos regulares en todos los pozos.

Muestreo por sondaje.



Fuente: Departamento de Geología – Minsur.

### **Descripción de la plataforma de lixiviación.**

Los gradientes en las pilas de lixiviación rara vez son constantes. En algunos lugares, la pendiente del curso se puede elevar para adaptarse mejor a la topografía natural del suelo mientras se reducen los costos asociados con las operaciones de movimiento de tierras, o simplemente las variaciones locales pueden ser el resultado de un manejo deficiente del suelo. debido a modificaciones de campo realizadas para acomodar una condición inesperada, una encuesta de encuesta, o ambas. Como resultado, el gradiente puede ser en

ocasiones significativamente más alto que el gradiente que se especifica generalmente.

### **Muestreo de pilas de lixiviación de óxidos.**

El sistema de perforación Auger es el método de muestreo más práctico para pilas de lixiviación de óxidos porque permite realizar muestreos en pilas de menos de 15 metros de altura y que pueden ser soportadas por riego y humedad con equipos livianos.

### **Técnica de muestreo:.**

El método de muestreo utiliza brocas de arrastre y perforación con barrena helicoidal con un diámetro de 4 1/2" pulgadas para recuperar muestras usando tubos y láminas de plástico para la recuperación continua e inalterada de muestras de cámaras de aire de 0,75 m.

### **Muestreo de pilas de lixiviación de sulfuros.**

El método de muestreo más práctico para pilas de lixiviación de sulfuros, dado que la altura máxima de las pilas es de 16 metros, sería la perforación con aire inverso. Y a diferencia de las pilas de Óxido, estas se acumulan directamente desde el depósito hasta el stock, dejando materiales de mayor granulometría que, en algunos casos, no se pueden reducir con el sistema Auger porque necesita un nivel de humedad específico para mantener la muestra en el tubo interior sobre el muestreo.

### **Técnica de muestreo:.**

Para evitar la contaminación del sistema anular tradicional, la perforación se realiza con un sistema de aire inverso y un tricón de 514" de diámetro. Las muestras se recuperan cada dos metros y la muestra, que pesa más o menos entre 45 y 50 kg, se recupera por completo. Es de conocimiento público que estos acopios se vierten a una determinada altura y pendiente después de ser descargados directamente de los camiones de extracción con malla regular.

### **Determinar el método de muestreo en rumas de relave**

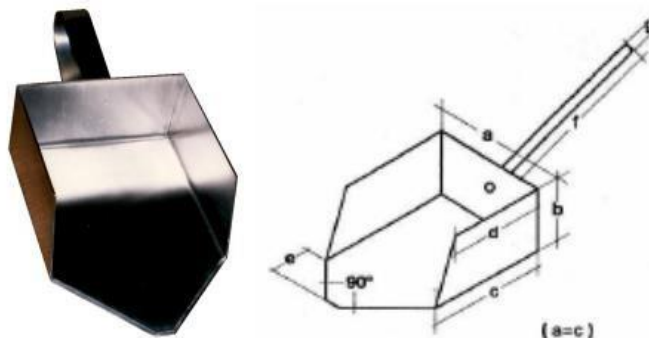
En rumas de relave se pueden utilizar:

- ✚ Muestreo utilizando la pala de Jis.
- ✚ Muestreo utilizando la herramienta Auger

### **Muestreo utilizando la pala JIS**

La pala Jis es una pala de acero inoxidable AISI 304, que tiene sus dimensiones de acuerdo a la norma JIS, según el detalle siguiente:

Pala JIS



Fuente: Hilti Corporation.

**Tabla 1. Dimensiones de la pala JIS**

N°	Partícul a (mm)	Dimensiones (mm)						Espesor (mm)	b/ c	Volumen (ml)
		a	b	c	d	e	f g			
150	150	350	140	350	300	140		2	16000	
125	125	300	120	300	250	120		2	10000	
100	100	250	110	250	220	100		2	7000	
75	75	200	100	200	170	80		2	4000	
50	50	150	75	150	130	65		2	1700	
40	40	110	65	110	95	50		2	790	
30	30	90	50	90	80	40		2	400	
20	20	80	45	80	70	35		2	300	
15	15	70	40	70	60	30		2	200	
10	10	60	35	60	50	25		1	125	
5	5	50	30	50	40	20		1	75	
3	3	40	25	40	30	15		0.5	40	
1	1	30	15	30	25	12		0.5	15	
0.25 R	0.25	15	10	15	12	0		0.3	2	

Fuente: Hilti Corporation.

El muestreo se realiza removiendo los detritos que se encuentran en las rumas con la pala JIS hasta que las partículas se acumulan en el recipiente, estas son luego son enviadas al laboratorio para su análisis respectivo.

### **Métodos de muestreo utilizando Auger**

Bobadilla, W. (2020), describe al Auger como una herramienta manual de perforación rotatoria que tiene un mecanismo de tornillo para poder penetrar y recolectar la muestra, consiste de un equipo rotomartillo para que gire a batería y un Auger helicoidal que ingresa sobre el material y recolecta la muestra, ensamblado queda como se muestra en la siguiente figura.



### Equipo rotomartillo y Auger helicoidal.



Fuente: Hilti Corporation.

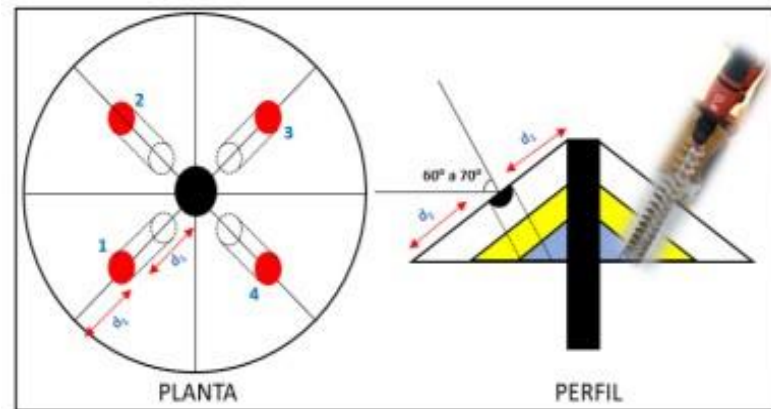
Asimismo W. Bobadilla (2020) menciona que con esta herramienta manual se tienen tres métodos de posibles métodos de empleo para realizar el muestreo de las rumas de relave.

La diferencia sustancial se encuentra en la forma de la toma de muestras y el volumen del material recolectado en el muestreo. Se puede también diferenciar en el tiempo de extracción de la muestra y el proceso de extracción de la muestra.

#### **Método Auger de volumen bajo (AB)**

Con este método se recolecto aproximadamente 10 kg en 3.5 minutos, con 4 perforaciones, realizadas en la parte central del cuadrante a la cual representa, con 60° a 70° con respecto a la horizontal.

## Muestreo con Auger - Volumen bajo (AB).



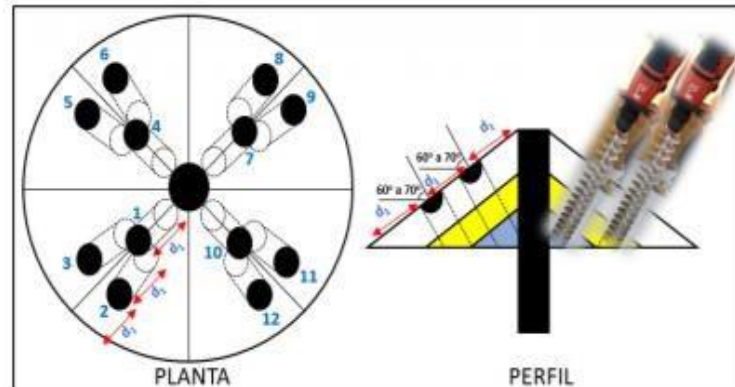
Fuente: Elaboración Propia.

Este muestreo tiene como objetivo resolver la segregación que se generan dentro de estos relaves y obtener una muestra representativa y equiprobable de acuerdo a donde se realiza las perforaciones, la dirección y el ángulo con que se realiza. Alfaro (2002) determina las tendencias de acumulación de los detritos de mayor granulometría a depositarse en la parte central, y los finos hacia la superficie de la ruma generada, la cual no se supera en su totalidad.

### **Método Auger de volumen medio (AM)**

Considerando las investigaciones de Pitard (2008), se simula un corte radial (pedazo de torta) en cada cuadrante del cono, con tres inserciones en cada cuadrante (en los vértices del triángulo), recolectando aproximadamente 12.5 kg en 5.5 minutos, manteniéndose las inserciones de entre 60° a 70°.

## Método de muestreo del Auger de volumen medio (AM)



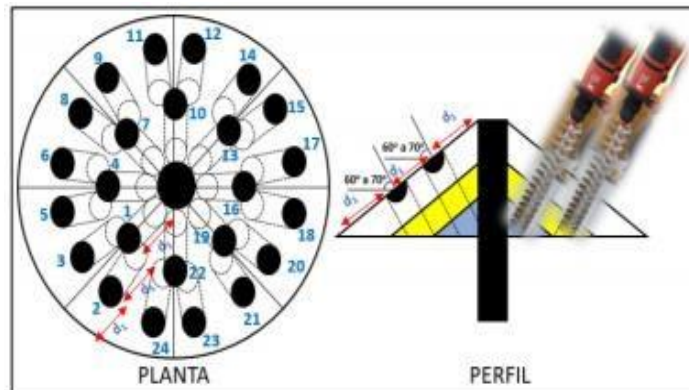
Fuente: Elaboración Propia.

Este tipo de inserciones aparte de buscar resolver la segregación existente y la obtención de todas las capas acumuladas en el cono de detritos, busca también recolectar un cantidad de muestra proporcional al total, intentando superar lo mencionado por Alfaro (2002) respecto a que existen tendencias de acumulación, a su vez también mitiga lo indicado por Pitard (2008) que confirma la naturaleza de los conos formados con segregación lateral debido a muchos factores como el tamaño, la densidad y la forma de fragmentos, viento, velocidad de rotación de la varilla de perforación, y aire comprimido.

### **Método Auger de volumen alto (AA)**

Dependiendo del peso óptimo de muestra requerida, se aumenta la cantidad de incrementos siguiendo los patrones radiales con 3 inserciones en cada octante, teniendo en total 24 inserciones con ángulos entre 60° y 70°, llegando a un peso aproximado de 20.5 kg en 9.5 minutos.

## Muestreo de volumen alto del Auger (AA)



Fuente: Elaboración Propia.

La mayor toma de incrementos que utiliza este método podría hacer que no resulte adecuada para ser utilizada dentro de los trabajos de muestreo en determinadas condiciones, ya que demanda mayor cantidad de recursos como tiempo y esfuerzo para el muestreador. El método está sujeto al peso óptimo que se requiera para tener una información confiable.

### 2.3. Definición de términos básicos

- Muestra: Es una parte de un todo que cumple ciertas condiciones como la representatividad, equiprobabilidad. Se toma mediante varios métodos, tomando en consideración el objetivo de la toma de muestra.
- Muestra Gemela: muestra tomada en el muestreo primario bajo las mismas condiciones que la muestra original.
- Proceso de Muestreo: Comprende el muestreo primario y muestreo secundario.
- Protocolo: Son instrucciones con detalles y secuencia de pasos para realizar una actividad específica.
- QAQC: Son siglas en inglés “Quality Assurance y Quality Control”.

- Sesgo: Son las variaciones que se encuentran entre un estimado numérico y su valor numérico; que se genera durante el muestreo primario y secundario.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

La evaluación de la perforadora manual Auger define la recuperación óptima de muestras en rumas del proyecto 86-03- Zona Nor- Este- Mina San Rafael.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- 1.- La evaluación del tiempo promedio en la perforación y extracción de muestras con la perforadora Auger determinan un muestreo óptimo.
- 2.- La verificación del proceso de extracción de las muestras con el equipo Auger influyen en la calidad del muestreo.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **2.5.1. Variables Independientes**

Evaluación de la perforadora manual Auger.

### **2.5.2. Variables Dependientes**

Recuperación óptima de muestras en rumas

### **2.5.3. Variables Intervinientes**

- Peso específico de los materiales.
- Ubicación de las rumas.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

**Tabla 2. Matriz de operacionalización.**

VARIABLES	DEFINICION	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTOS
<b>Independiente:</b> Evaluación de la perforadora manual Auger.	Acciones sistemáticas para extraer la muestra.	Proyecto	-Peso.	- Resultado de
		86-03- Zona	-Manejo.	análisis químico de
		Nor- Este. Mina	-Limpieza.	laboratorio.
		San Rafael	-Profundidad de muestreo.	- Plano de Ubicación de calicatas.
<b>Dependiente:</b> Recuperación optima de muestras en rumas.	Probabilidad de que la muestra obtenida tenga el volumen necesario.	Muestras en rumas proyecto	-Tiempo de extracción.	- Registro de tiempo, peso de las muestras.
		86-03.	-Volumen de la muestra extraída.	- Muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El proyecto de investigación tiene las características de tipo descriptivo y aplicado.

Se señala que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernández et al., 2014).

“La investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de

conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo”. (Lozada, 2014).

### **3.2. Nivel de Investigación**

La investigación tiene el nivel aplicativo.

### **3.3. Métodos de investigación**

En el siguiente proyecto de investigación se utilizará el método de Analítico - Sintético, que realiza primero en la descomposición de un todo en sus elementos para estudiarlas en forma individual y separado y posteriormente se integran para formular una solución global.

### **3.4. Diseño de investigación**

Esta investigación tiene un diseño experimental, porque se analiza una sola variable y con un grado de control mínimo, el resultado es útil como un primer análisis al problema de investigación en la realidad. Además, no existe la posibilidad de comparación de grupos.

### **3.5. Población y muestra**

Será en 10 rumas y 77 muestras con palas Jis y el equipo de perforación Auger.

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

Utilizaremos el análisis comparativo de resultados entre ambos métodos.

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

La obtención de los datos e información en la presente investigación se usan de los datos utilizada para el envío de muestras al laboratorio.



### **3.8. Tratamiento Estadístico**

Se utiliza las tablas de Excel para realizar el porcentaje de variación entre ambos métodos.

La evaluación se verifica con estadística descriptiva, de donde obtendremos la la variación porcentual. como también las tablas y gráficos generados en Excel, que permiten facilitar la interpretación de los resultados obtenidos de la investigación.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epsitémica**

El proceso aplicativo de la investigación se realiza sin ocasionar actividades que puedan causar un impacto negativo al ambiente.

## **CAPÍTULO IV**

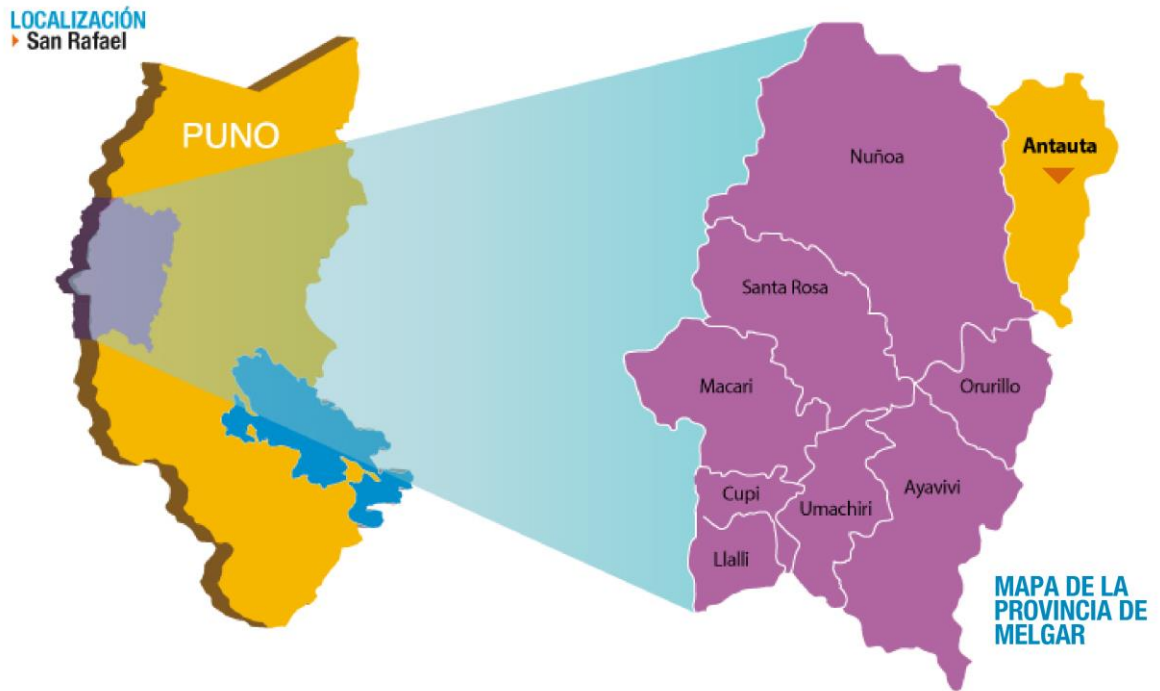
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación y accesibilidad**

La U. M. San Rafael se ubica al Sur-Oeste del Nevado San Bartolomé de Quenamari a 5,299 m.s.n.m. Políticamente se encuentra en el área del distrito de Antauta, provincia del Melgar del departamento de Puno, en las coordenadas geográficas 70°19' longitud oeste y 14°14' latitud sur, o en las coordenadas UTM 357,730 E y 8'426,570 N, de la hoja de Macusani N°29-V.

## Ubicación de la U.M. San Rafael



Fuente: Google: 2021

### 4.1.2. Pruebas de Perforación y Recuperación de Muestra en Rumas e Insitú

Para la realización de las pruebas se ha considerado que se ejecutará en el Depósito de Relaves B2.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

### 4.2.1. Tiempo promedio del muestreo por puntos:

#### 4.2.1.1. *Proceso de perforación, extracción y muestreo en rumas antiguas.*

El tiempo de perforación, extracción y deposición de la muestra obtenida en las rumas es de aproximadamente 12 minutos.

Siendo los intervalos de tiempo los siguientes:

- ❖ 10 segundos para realizar la perforación de 0.65m con un diámetro de 2.75 pulgadas.
- ❖ Se observa una buena recuperación de casi 90%.
- ❖ 40 segundos para extraer la muestra, dependiendo del tipo de relaves, si el relave tiene un % humedad  $< 18\%$  la extracción se realiza con facilidad, pero si el relave tiene un % humedad  $> 20\%$  la extracción se realiza con mayor dificultad y sobre esfuerzo.
- ❖ 10 segundos, para que la muestra se libere del equipo Auger.
- ❖ Haciendo un total de 65 segundos por cada punto de muestreo.
- ❖ La sumatoria por 12 puntos de muestreo en la ruma, nos daría un tiempo aproximado de 12 minutos.

#### **Perforación en relave menos saturado y granulometría media.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Observamos que el Auger queda limpio, luego de realizar giros en ambos sentidos, cuando el relave esta poco saturado.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.2. Recuperación de la muestra**

La recuperación de la muestra está relacionada con la saturación.

- 1.- Cuando el material se encuentra semi saturado, la recuperación de la muestra es del 90%.

**Perforación en relave menos saturado y granulometría media.**



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa una buena recuperación de casi 90%.

2.- Cuando el material es saturado la recuperación es del 80%.

**Muestra perforación en relave saturado, donde la extracción.**



Fuente: Elaboración Propia.

Se requiere más esfuerzo, la recuperación es de 80%.

3.- Cuando el material se encuentra seco la recuperación es del 100%.

**Muestra recuperación al 100%, en relave seco y perforación Insitu.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.3. Limpieza del equipo**

La broca del equipo se limpia con agua, realizando giros.

**Se observa que la broca con restos de relave saturado queda limpia cuando se lava con agua, esto consiste en hacer girar la broca en ambos sentidos.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.4. Perforación en rumas en operaciones:**

**Muestra hoyos de perforación en ruma y relave saturado.**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.5. Muestra acondicionada para su remisión al laboratorio

Se observa 10 muestras obtenidas de las rumas del Proyecto.



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.6. Tiempo promedio de perforación, extracción y muestreo en relaves Insitu (Operaciones)

El tiempo de perforación, extracción, deposición y sellado de la muestra obtenida en relaves insitu es de aproximadamente 05 minutos.

Siendo los intervalos de tiempo los siguientes:

- ❖ **60** segundos para realizar la perforación de 0.60m con un diámetro de 2.75 pulgadas, esta perforación se realiza en 03 ó 04 tiempos dependiendo del tipo de relaves que se encuentre perforando.
- ❖ **60** segundos para extraer la muestra, dependiendo del tipo de relaves, si el relave tiene un % humedad  $< 18\%$  la extracción se realiza con facilidad, pero si el relave tiene un % humedad  $> 20\%$  la extracción se realiza con mayor dificultad y sobre esfuerzo, considerar que en algunos casos se atrapa la broca y no se extrae la muestra.



- ❖ **10** segundos, para que la muestra se libere del equipo Auger en el balde de plástico, que sirve como recipiente.
- ❖ **50** segundos para que se embolse y selle la muestra.
- ❖ **60** segundos para que se rellene las tarjetas con datos de la muestra.
- ❖ **60** segundos para limpieza de broca y balde.
- ❖ haciendo un total de 300 segundos por cada punto de muestreo.

**Muestra perforaciones Insitu, que corresponden a una muestra original y gemela, con un espaciamiento de 0.10m.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Se observa que la perforación no presenta derrumbes en relave saturado y relave con menor saturación.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Bolsas con muestras obtenidas con un peso aproximado de 3.5 kg.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.7. Contaminación de la muestra**

Por las características del equipo y la broca la contaminación de la muestra es mínima.

**Observamos que la limpieza de la broca es total, por lo que no existiría la posibilidad de contaminación de la muestra.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### 4.3.1. Ubicación, peso, porcentaje de recuperación y variación de muestras en relaves del proyecto.

Para determinar el peso y porcentaje de recuperación de la muestra, se han realizado pruebas en 10 rumas y 75 muestras insitú obteniéndose muestreo insitú que corresponden a las calicatas del Proyecto estas pruebas se han realizado en diferentes tipos de relaves, los cuales corresponden a granulometría fina con mayor saturación y granulometría media con menor saturación.

##### 4.3.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo.

Antes del inicio de las pruebas las calicatas han sido ubicados, por el área de topografía y tiene las siguientes coordenadas:

**Tabla 3. Puntos de ubicación de las calicatas.**

Calicata	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m.)
1	357713.26	8425367.91	4488.00
2	357713.26	8425362.91	4487.94
3	357713.26	8425357.91	4487.87
4	357713.26	8425352.91	4487.83
5	357713.26	8425347.91	4487.89
6	357718.26	8425347.91	4488.11
7	357718.26	8425352.91	4488.05
8	357718.26	8425357.91	4487.96
9	357718.26	8425362.91	4487.99
10	357718.26	8425367.91	4488.00

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4. Cuadro comparativo de muestreo con pala jis y Auger manual – Proyecto 86-03.**

Muestreo_Pala Jis (Operaciones)							Muestreo Auger Manual (Pruebas)						Pala Jis Vs Auger Manual			
Calicata	Referencia	Peso (Kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	#Muestra	Peso (Kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	% Variación			
													Sn	S	Fe	FRD
86_03_11	1406005670	4.81	0.78	0.49	5.98	0.27	1506000076	19.30	0.9	0.64	5.82	0.33	8.24	23.44	-2.75	18.18
86_03_10	1406005673	4.72	0.67	0.33	4.22	0.55	1506000077	19.00	0.7	0.42	5.74	0.68	1.47	21.43	26.48	19.12
86_03_09	1406005672	4.79	0.71	0.38	5.24	0.71	1506000078	25.10	0.7	0.61	4.46	0.73	-5.97	37.70	-17.49	2.74
86_03_08	1406005669	4.72	0.65	0.31	6.65	0.40	1506000079	16.80	0.8	0.56	7.07	0.57	21.69	44.64	5.94	29.82
86_03_07	1406005668	4.75	0.90	0.70	4.37	0.30	1506000080	20.40	1	0.72	4.47	0.57	5.26	2.78	2.24	47.37
86_03_28	1406005696	5.42	0.77	0.63	2.67	0.50	1506000081	22.20	0.8	0.61	0.65	0.64	-2.67	-3.28	310.77	21.88
86_03_29	1406005697	4.90	0.64	0.69	4.05	0.59	1506000082	21.40	0.8	0.72	2.60	0.58	15.79	4.17	-55.77	-1.72
86_03_30	1406005698	4.91	0.54	0.29	4.45	0.38	1506000083	18.60	0.7	0.37	4.74	0.53	18.18	21.62	6.12	28.30
86_03_31	1406005699	5.11	0.65	0.53	4.56	0.37	1506000084	20.20	0.7	0.49	3.97	0.58	4.41	-8.16	-14.86	36.21
86_03_32	1406005700	5.07	0.62	0.34	5.27	0.34	1506000085	21.70	0.7	0.40	6.48	0.59	12.68	15.00	18.67	42.37

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.2. Variación:

Para determinar el % de variación se ha utilizado la regla de tres simple, consideraremos como ejemplo la primera muestra de la tabla 4.

$$\begin{array}{ccc}
 0.85 & \text{-----} & 100 \\
 0.78 & \text{-----} & X
 \end{array}
 \Rightarrow
 \mathbf{X = \frac{0.78 \times 100}{0.85} = 91.77 \%}$$

Luego hallamos el % de variación de %Sn (Auger) vs %Sn (Pala Jis):

$$100\% - 91.77\% = \mathbf{8.235}$$

#### 4.4. Discusión de Resultados

##### 4.4.1. Cuadro comparativo:

**Tabla 5. Cuadro comparativo entre muestras originales y muestras gemelas proyecto 86-03.**

Calicata	Tipo de Muestra	# Muestra	Peso (kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	Coordenadas		
								Este	Norte	Cota
86_03_413	Relave	1406005844	3.05	0.89	0.30	4.00	0.92	357798.26	8425392.91	4488.18
86_03_413	MG	1406005845	2.73	0.94	0.30	2.75	0.89	357798.26	8425392.91	4488.18
86_03_391	Relave	1406005862	4.19	1.01	0.27	3.41	0.74	357788.26	8425357.91	4457.81
86_03_391	MG	1406005863	3.97	0.88	0.27	3.67	0.62	357788.26	8425357.91	4457.81
86_03_243	Relave	1406005898	3.91	0.93	-	1.62	0.93	357763.26	8425317.91	4488.24
86_03_243	MG	1406005899	4.90	0.96	-	2.01	0.94	357763.26	8425317.91	4488.24
86_03_421	Relave	1406005910	3.80	0.91	-	3.82	0.73	357758.26	8425347.91	4487.95
86_03_421	MG	1406005911	4.73	0.79	-	4.56	0.62	357758.26	8425347.91	4487.95

Fuente: Elaboración Propia.

##### 4.4.2. Observaciones identificadas en el proceso de perforación, extracción y muestreo.

- Se ha identificado que en la broca queda residuos de la muestra, cuando está se encuentra saturada o moderadamente saturada.
- Se ha observado que la extracción de la muestra se dificulta cuando el relave es saturado y la broca ingresa en su totalidad.
- Se ha identificado que hay pérdida de muestras por el ángulo de perforación en rumas, cuando el relave tiene bajo % de humedad.
- Se ha identificado que la bolsa es muy pequeña para depositar directamente la muestra.

- Se ha identificado que el recipiente o balde para lavar la broca es muy pequeña.
- Se ha identificado que la balanza portátil(romana), retrasa el proceso.

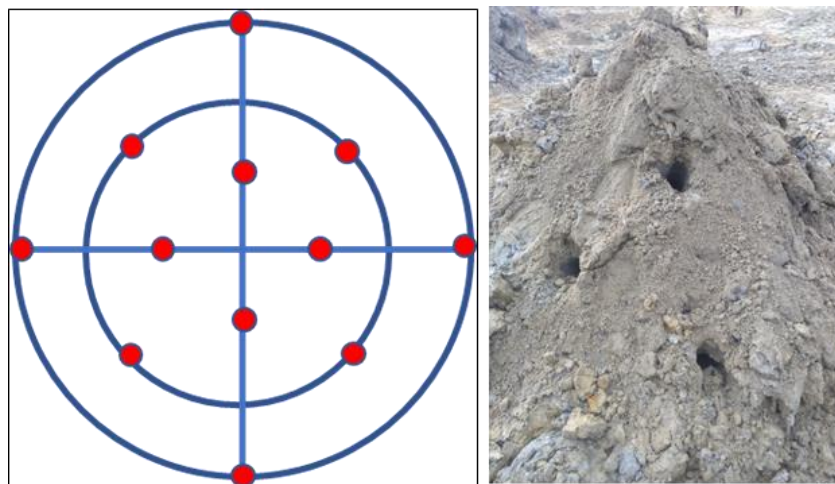
## CONCLUSIONES

1. El equipo es relativamente liviano, con un peso aproximado de 7.5 Kg, el cual incluye el martillo HILTI y la broca (Auger).
2. El equipo es rápido y versátil para desarrollar la perforación y extracción de la muestra, en rumas e Insitu.
3. Durante la extracción de la muestra se ha verificado que la columna se encuentra completa (100%), esto se cumple para terreno con mayor y menor saturación (H<sub>2</sub>O), cuando la perforación se realiza con ángulo vertical (Insitu) o sub vertical (60°), en rumas.
4. El equipo (Martillo HILTI y brocas Auger para suelos) empleado para la perforación en el depósito de relaves, es comercial y de fácil adquisición.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar un contenedor de agua y/o manguera con agua, para que facilite la limpieza de la broca.
2. Preparar o adquirir un recipiente o balde de metal de 1.00m de alto x 0.35m de diámetro, para lavar la broca.
3. Perforar con un ángulo mayor de  $60^\circ$  cuando se perfore en rumas y que contenga un porcentaje de humedad  $<18\%$ ; para perforaciones Insitú deberán ser verticales.
4. Reducir la toma de incrementos de 16 con pala jis a 12 con el equipo Auger manual, altura de ruma 1.20m

Muestra puntos recomendados y como se realizaría en la ruma.



Fuente: Elaboración Propia.

5. Adquirir bolsas de muestreo más grandes para que la descarga de la muestra obtenida se haga directamente en la bolsa, la cual se colocará en un recipiente, evitando el manipuleo de la muestra, el riesgo de contaminación y seguridad para el muestrero.



6. Implementar una balanza de piso de 30.00Kg para que esta parte del proceso se optimice.
7. Adquirir brocas Auger de 1.20m y 1.50m de longitud con un diámetro de 2.50”, para realizar perforaciones Insitu y el equipo no incremente su peso.
8. Solicitar a la empresa proveedora del equipo si existe la posibilidad de diseñar brocas que se acoplen de 1.00m, para poder perforar los 2.00m que es la altura del banco.
9. Reducir el diámetro de la broca de 2.75” a 2.00” para muestrear las rumas.
10. Solicitar al proveedor que las brocas tengan el mango para que la extracción se realice sin dificultad.

**Muestra mango de la broca que facilita la extracción.**



Fuente: Elaboración Propia.

11. Realizar perforaciones en rumas o Insitu por partes de 0.15m a 0.20m para que no dificulte su extracción y su recuperación sea al 100%.

**Muestra recuperación al 100%.**



Fuente: Elaboración Propia.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Damaso, C., & Renee, E. (2018). Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 msnm para el control de contaminación ambiental en la compañía minera Chungar SAC–Pasco–2017.
- Bobadilla Mojo, W. Optimización del proceso de ore control mediante técnicas metodológicas de muestreo en blastholes para el plan de minado de corto plazo en mina Toquepala Southern Peru Copper Corporation.
- Pérez Riaño, S. L. (2016). Aplicación de geoestadística como metodología para la estimación de recursos de un yacimiento sedimentario (Minas Paz del Río SA).
- Compañía De Minas Buenaventura S.A.A. (2014). Workshop – geología, Manual de muestreo y control de calidad.
- Hilti Corporation (2016) Manual-de-instrucciones-TE-6-A36-04-ES-Manualde-instrucciones-PUB-5265012-000.pdf
- Velez, J. (2015). Innovación al control de procesos de muestreo (QAQC), que validan la estimación de recursos y reservas para el yacimiento epitermal de Alta Sulfuración en Coimolache-Cajamarca, desde su etapa de Prospección a Mina de Oro. *Cajamarca, Perú*.
- Lambert, A. (2006). Manual de Muestreo para Exploración, Minería Subterránea y Rajo Abierto. *Coquimbo, Chile*.
- Kalaitzidis, S. (2013). National reporting codes for the mineral industry: The case of JORC in Australia. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(4), 1628-1634.

## **ANEXOS**

- Instrumentos de Recolección de datos.

### Anexo 1. Puntos de ubicación de las calicatas.

Coordenadas UTM			
Calicata	Este	Norte	Cota (m.s.n.m.)
1	357713.26	8425367.91	4488.00
2	357713.26	8425362.91	4487.94
3	357713.26	8425357.91	4487.87
4	357713.26	8425352.91	4487.83
5	357713.26	8425347.91	4487.89
6	357718.26	8425347.91	4488.11
7	357718.26	8425352.91	4488.05
8	357718.26	8425357.91	4487.96
9	357718.26	8425362.91	4487.99
10	357718.26	8425367.91	4488.00

Fuente: Elaboración Propia.

### Anexo 2. Dimensiones de la pala JIS

N°	Partícul a (mm)	Dimensiones (mm)						Espesor (mm)	b/ c	Volumen (ml)
		a	b	c	d	e	f g			
150	150	350	140	350	300	140		2		16000
125	125	300	120	300	250	120		2		10000
100	100	250	110	250	220	100		2		7000
75	75	200	100	200	170	80		2		4000
50	50	150	75	150	130	65		2		1700
40	40	110	65	110	95	50		2		790
30	30	90	50	90	80	40		2		400
20	20	80	45	80	70	35		2		300
15	15	70	40	70	60	30		2		200
10	10	60	35	60	50	25		1		125
5	5	50	30	50	40	20		1		75
3	3	40	25	40	30	15		0.5		40
1	1	30	15	30	25	12		0.5		15
0.25 R	0.25	15	10	15	12	0		0.3		2

Fuente: Hilti Corporation.

**Anexos 3. Cuadro comparativo de muestreo con pala jis y Auger manual –  
Proyecto 86-03.**

Muestreo_Pala Jis (Operaciones)							Muestreo Auger Manual (Pruebas)						Pala Jis Vs Auger Manual			
Calicata	Referencia	Peso (Kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	#Muestra	Peso (Kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	% Variación			
													Sn	S	Fe	FRD
86_03_11	1406005670	4.81	0.78	0.49	5.98	0.27	1506000076	19.30	0.9	0.64	5.82	0.33	8.24	23.44	-2.75	18.18
86_03_10	1406005673	4.72	0.67	0.33	4.22	0.55	1506000077	19.00	0.7	0.42	5.74	0.68	1.47	21.43	26.48	19.12
86_03_09	1406005672	4.79	0.71	0.38	5.24	0.71	1506000078	25.10	0.7	0.61	4.46	0.73	-5.97	37.70	-17.49	2.74
86_03_08	1406005669	4.72	0.65	0.31	6.65	0.40	1506000079	16.80	0.8	0.56	7.07	0.57	21.69	44.64	5.94	29.82
86_03_07	1406005668	4.75	0.90	0.70	4.37	0.30	1506000080	20.40	1	0.72	4.47	0.57	5.26	2.78	2.24	47.37
86_03_28	1406005696	5.42	0.77	0.63	2.67	0.50	1506000081	22.20	0.8	0.61	0.65	0.64	-2.67	-3.28	310.77	21.88
86_03_29	1406005697	4.90	0.64	0.69	4.05	0.59	1506000082	21.40	0.8	0.72	2.60	0.58	15.79	4.17	-55.77	-1.72
86_03_30	1406005698	4.91	0.54	0.29	4.45	0.38	1506000083	18.60	0.7	0.37	4.74	0.53	18.18	21.62	6.12	28.30
86_03_31	1406005699	5.11	0.65	0.53	4.56	0.37	1506000084	20.20	0.7	0.49	3.97	0.58	4.41	-8.16	-14.86	36.21
86_03_32	1406005700	5.07	0.62	0.34	5.27	0.34	1506000085	21.70	0.7	0.40	6.48	0.59	12.68	15.00	18.67	42.37

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 4. Cuadro comparativo entre muestras originales y muestras gemelas  
proyecto 86-03.**

Calicata	Tipo de Muestra	# Muestra	Peso (kg)	%Sn	%S	%Fe	FRD	Coordenadas		
								Este	Norte	Cota
86_03_413	Relave	1406005844	3.05	0.89	0.30	4.00	0.92	357798.26	8425392.91	4488.18
86_03_413	MG	1406005845	2.73	0.94	0.30	2.75	0.89	357798.26	8425392.91	4488.18
86_03_391	Relave	1406005862	4.19	1.01	0.27	3.41	0.74	357788.26	8425357.91	4457.81
86_03_391	MG	1406005863	3.97	0.88	0.27	3.67	0.62	357788.26	8425357.91	4457.81
86_03_243	Relave	1406005898	3.91	0.93	-	1.62	0.93	357763.26	8425317.91	4488.24
86_03_243	MG	1406005899	4.90	0.96	-	2.01	0.94	357763.26	8425317.91	4488.24
86_03_421	Relave	1406005910	3.80	0.91	-	3.82	0.73	357758.26	8425347.91	4487.95
86_03_421	MG	1406005911	4.73	0.79	-	4.56	0.62	357758.26	8425347.91	4487.95

Fuente: Elaboración Propia.

### **Anexo 5. Capacitación sobre el uso del martillo Hilti y la broca (Auger manual)**



Fuente: Elaboración Propia.

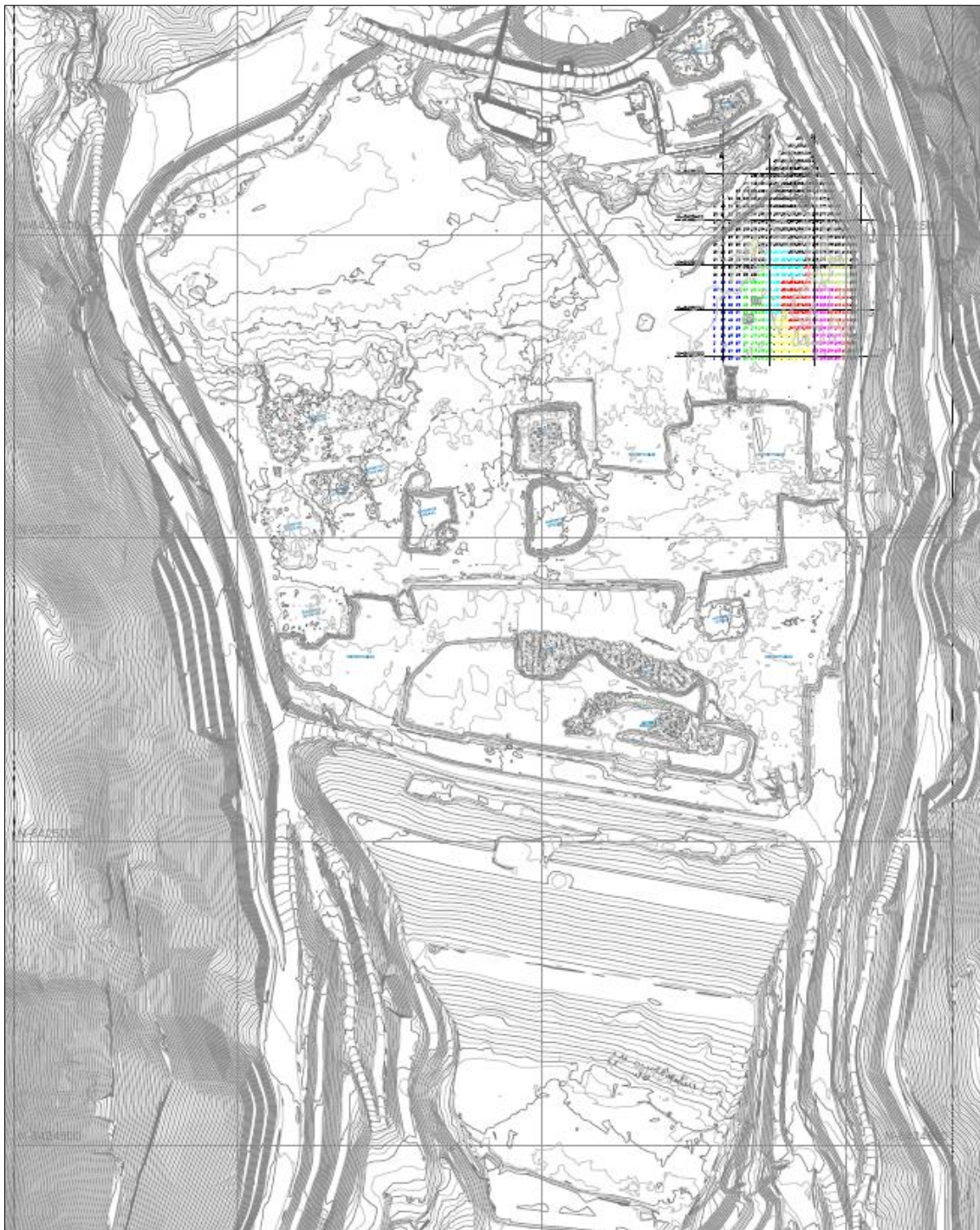
**Anexo 6. Plano de ubicación del muestreo de las calicatas donde se realizaron las pruebas de perforación y muestreo.**

E-357720	E-357750	301 271 300 330 242 270 299 329 214 241 269 298 328 357 187 213 240 268 297 327 356	E-357780	E-357810
N-8425440				
		136 161 186 212 239 267 296 326 355 382		
		111 135 160 185 211 238 266 295 325 354 381 406		
		87 110 134 159 184 210 237 265 294 324 353 380 405		
		64 86 109 133 158 183 209 236 264 293 323 352 379 404		
	21 42	63 85 108 132 157 182 208 235 263 292 322 351 378 403 427		
N-8425410	20 41	62 84 107 131 156 181 207 234 262 291 321 350 377 402 426		
	19 40	61 83 106 130 155 180 206 233 261 290 320 349 376 401 425 446		
	18 39	60 82 105 129 154 179 205 232 260 289 319 348 375 400 424 445		
	17 38	59 81 104 128 153 178 204 231 259 288 318 347 374 399 423 444 463		
	16 37	58 80 103 127 152 177 203 230 258 287 317 346 373 398 422 443 462		
	15 36	57 79 102 126 151 176 202 229 257 286 316 345 372 397 421 442 461		
N-8425380	14 35	56 78 101 125 150 175 201 228 256 285 315 344 371 396 420 441 460		
	13 34	55 77 100 124 149 174 200 227 255 284 314 343 370 395 419 440 459		
	12 33	54 76 99 123 148 173 199 226 254 283 313 342 369 394 418 439 458		
	11 32	53 75 98 122 147 172 198 225 253 282 312 341 368 393 417 438 457		
	10 31	52 74 97 121 146 171 197 224 252 281 311 340 367 392 416 437 456		
	9 30	51 73 96 120 145 170 196 223 251 280 310 339 366 391 415 436 455		
N-8425350	8 29	50 72 95 119 144 169 195 222 250 279 309 338 365 390 414 435 454		
	7 28	49 71 94 118 143 168 194 221 249 278 308 337 364 389 413 434 453		
	6 27	48 70 93 117 142 167 193 220 248 277 307 336 363 388 412 433 452		
	5 26	47 69 92 116 141 166 192 219 247 276 306 335 362 387 411 432 451		
	4 25	46 68 91 115 140 165 191 218 246 275 305 334 361 386 410 431 450		
	3 24	45 67 90 114 139 164 190 217 245 274 304 333 360 385 409 430 449		
N-8425320	2 23	44 66 89 113 138 163 189 216 244 273 303 332 359 384 408 429 448		
	1 22	43 65 88 112 137 162 188 215 243 272 302 331 358 383 407 428 447		
<p>Proyecto 86_03</p> <p>— Muestras en Rumas — 10</p> <p>— Muestras Insitú — 77</p>				

Fuente: Área de topografía – Minsur.



## Anexo 7. Plano del depósito de relaves B2.



Fuente: Área de topografía – Minsur.