

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA**



TESIS

**Propuesta de exploración geológica en
la zona Esperanza - Mina Raura**

Para optar título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor : Bach. Cerezo Jhocimar INGARUCA ASCANOA

Asesor : Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO

Cerro de Pasco – Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

GEOLÓGICA



TESIS

**Propuesta de exploración geológica en la
zona Esperanza - Mina Raura**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN
PRESIDENTE

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y un privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

RECONOCIMIENTO

- Mi eterna gratitud a la Universidad “Nacional Daniel Alcides Carrión”, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica, por las enseñanzas impartidas en mi realización y formación profesional.
- A cada uno de los maestros por brindarme su amistad, sus conocimientos y experiencia durante mi vida universitaria
- A mis colegas de estudio con quienes compartí las aulas y vivencia universitaria.
- A todas las personas que de una u otra forma hicieron posible la culminación de este trabajo.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo realizar una propuesta geológica para realizar la exploración en profundidad de la estructura mineralizada Esperanza, con la finalidad de conocer su comportamiento geológico en la Mina Raura.

Para incrementar la vida útil y generar un beneficio económico de un yacimiento, es necesario incrementar sus recursos de minerales, para lograrlo es necesario determinar el comportamiento geológico de la mineralización en profundidad utilizando en este caso perforaciones diamantinas.

Para realizar esta propuesta fue importante realizar el estudio de la estructura mineralizada, en superficie y en profundidad hasta el nivel donde actualmente es explotada (Nv.380).

Se espera que esta propuesta sea ejecutada en el más breve tiempo para realizar una confirmación de lo planteado, para que se utilizado en futuras propuestas.

Los rasgos característicos para la identificación de la estructura mineralizada en la Mina Raura, ha sido reconocer el contacto entre las calizas e intrusivos pórfidos con importantes leyes de Zn, Pb y Cu. Es importante mencionar el papel que juega el control estructural en este caso fallas que se encuentran asociadas con la mineralización.

Con las perspectivas establecidas se determina una estimación de recursos que se lograra en el tiempo si se realiza la propuesta.

La estimación de recursos se realiza utilizando la Geoestadística, para ello se realiza una serie de procesos, los cuales servirán como parámetros de entrada para la estimación de recursos.

Palabras clave: Exploración geológica; factibilidad económica del mineral.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to make a geological proposal to carry out an in-depth exploration of the Esperanza mineralized structure, in order to know its geological behavior in the Raura Mine.

To increase the useful life and generate an economic benefit of a deposit, it is necessary to increase its mineral resources, to achieve this it is necessary to determine the geological behavior of deep mineralization using in this case diamond drilling.

To carry out this proposal it was important to carry out the study of the mineralized structure, in surface and in depth to the level where it is currently exploited (Nv. 380).

It is expected that this proposal will be executed in the shortest time to make a confirmation of the proposal, so that it will be used in future proposals.

The characteristic features for the identification of the mineralized structure in the Raura Mine, has been to recognize the contact between limestone and intrusive porphyry with important laws of Zn, Pb and Cu. It is important to mention the role that structural control plays in this case failures that are associated with mineralization.

With the established perspectives, an estimate of resources is determined that will be achieved over time if the proposal is made.

The estimation of resources is carried out using Geostatistics, for this a series of processes is carried out, which will serve as input parameters for the estimation of resources.

Keywords: Geological exploration; economic feasibility of the mineral.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento minero Raura, es un yacimiento del tipo Skarn de Zn-Pb, que se desarrolló dentro en un ambiente de óxido-reducción.

Por la profundidad de las series magmáticas se le identifica como un yacimiento de nivel mesotermal, el origen de las mismas están relacionadas a plutones precursores de trasarcos que corresponden al batolito de la cordillera blanca, provocando cámaras de magma parental que proporcionaron el magma necesario para la formación de stocks granodioríticos y monzoníticos de 10-15 Ma. y diques sub volcánicos de cuarzo monzonita y dacita porfídica de 7-10 Ma. respectivamente, de composición calco alcalina que se encuentran por debajo de las tobas de lapilli soldadas del cenozoico.

El yacimiento estructuralmente se halla en el borde oeste de la Faja Corrida, Plegada y Fallada del Marañón, limitada regionalmente por la Falla Chonta y Sistemas de Fallas Marañón; localmente está limitada directamente por el oeste por la Falla Chonta y por el este la Falla Raura ambas de rumbo andino NW-SE, estos sistemas están conformados por dos o más fallas, de las cuales se puede decir que, las fallas con buzamiento menor corresponden a fallas inversas y de corrimiento, en cambio las fallas con buzamiento sub verticales son fallas transcurrentes; también presenta un segundo sistema fallas transversales de las cuales se diferencian tres familias NWW-SEE, E-W y NE-SW, las dos primeras conforman un corredor estructural transversal al rumbo andino.

Los depósitos minerales del yacimiento minero Raura, presentan una paragénesis de Cu-Zn-Pb-Ag, la mineralización se encuentra estrechamente ligada a las zonas de contacto con stocks de cuarzo monzonita y granodiorita con rocas carbonatadas pertenecientes a la formación Jumasha del Cretáceo Superior; se puede distinguir una etapa de mineralización prograda de granate-piroxeno cálcico y una fase retrograda con calcita, epidota, cuarzo, clorita, y sulfuros. Los minerales metálicos son la calcopirita, esfalerita, galena, galena argentífera, pirita, y freibergita.

Aparentemente existe una relación directa entre la mineralización de Skarn y los diferentes sistemas estructurales los cuales muestran una transición de zonas de contacto a enriquecimiento en vetas, clavos y bolsonadas mineralizadas, los pórfidos propiamente dicho poseen un sistema de venillas Tipo A, B, y D cuanto más profundo las leyes de Cu-Mo se hacen más notorias.

ÍNDICE

| | |
|---------------------------|--|
| DEDICATORIA | |
| RECONOCIMIENTO | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | |
| ÍNDICE | |
| ÍNDICE DE IMÁGENES | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | |
|--|---|
| 1.1. Identificación y Determinación del Problema | 1 |
| 1.2. Delimitación de la investigación | 2 |
| 1.3. Formulación del Problema | 2 |
| 1.3.1. Problema General | 2 |
| 1.3.2. Problemas específicos | 2 |
| 1.4. Formulación de Objetivos | 2 |
| 1.4.1. Objetivo General | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 1.5. Justificación de la investigación | 3 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación | 3 |

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|-------------------------------------|----|
| 2.1. Antecedentes de estudio | 4 |
| 2.2. Bases teóricas-Científicas | 5 |
| 2.3. Definición de Términos básicos | 61 |
| 2.4. Formulación de Hipótesis | 62 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1. Hipótesis General | 62 |
| 2.4.2. Hipótesis Específicas | 62 |
| 2.5. Identificación de Variables | 62 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores | 62 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

| | |
|---|----|
| 3.1. Tipo de Investigación | 63 |
| 3.2. Métodos de Investigación | 63 |
| 3.3. Diseño de la investigación | 64 |
| 3.4. Población y muestra | 64 |
| 3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos | 64 |
| 3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos | 65 |
| 3.7. Tratamiento estadístico | 65 |
| 3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación | 65 |
| 3.9. Orientación ética | 66 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo | 67 |
| 4.1.1. Ubicación | 67 |
| 4.1.2. Accesibilidad | 68 |
| 4.1.3. Clima | 69 |
| 4.1.4. Geomorfología | 69 |
| 4.1.5. Vegetación y flora | 70 |
| 4.1.6. Geología Regional | 71 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.7. Estratigrafía | 72 |
| 4.1.8. Geología Local | 91 |
| 4.1.9. Geología Estructural | 101 |
| 4.1.10. Alteraciones | 104 |
| 4.1.11. Mineralización | 106 |
| 4.1.12. Geología económica | 106 |
| 4.1.13. Comportamiento veta esperanza | 106 |
| 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados | 109 |
| 4.3. Prueba de hipótesis | 110 |
| 4.4. Discusión de resultados | 111 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|-----|
| Imagen 01. Equipo de perforación a rotación para exploración minera | 23 |
| Imagen 02. Operación de extracción de testigo (Atlas Copco) | 28 |
| Imagen 03. Equipo de perforación a rotopercusión (Sandvik) | 31 |
| Imagen 04. Proyectos de exploración en zonas aisladas | 33 |
| Imagen 05. Trabajo con testigos de roca y cajas porta testigos | 45 |
| Imagen 06. Sierra de disco para testigos de roca | 50 |
| Imagen 07. Vegetación tipo pajonal bajo. | 70 |
| Imagen 08. Vista Frontal (E-W), Volcánicos Raura | 88 |
| Imagen 09. Muestra del Tajo 978EE | 109 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 01. Relación espacial de los stocks porfiríticos. | 5 |
| Fig. 02. Endoskarn | 10 |
| Fig. 03. Exoskarn | 11 |
| Fig. 04. Metamorfismo Isoquímico. | 14 |
| Fig. 05. Fase Prograda. | 14 |
| Fig. 06. Fase Retrograda. | 15 |
| Fig. 07. Esquema de influencia en la profundidad de formación del skarn | 16 |
| Fig. 08. Estructura de un tricono | 20 |
| Fig. 09. Coronas de diamante para recuperación de testigo | 30 |
| Fig. 10. Testigo de roca (ABRA Mining) | 30 |
| Fig. 11. Situación ideal de los sondeos, en relación a la mineralización | 34 |
| Fig. 12. Fundamento del sistema ODEX | 38 |
| Fig. 13. Tipos de sondajes | 38 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 14. Sondeos en una previamente explotada | 39 |
| Fig. 15. Secuencia de perforación de proyectos de sondeos | 42 |
| Fig. 16. Obtención de muestras de detritus en perforación con circulación inversa | 44 |
| Fig. 17. Aspecto de estructuras planas y fallas en testigos de roca | 46 |
| Fig. 18. Efecto de escala en los testigos de sondeos | 47 |
| Fig. 19. Representación de datos | 57 |
| Fig. 20. Métodos convencionales de estimación del área de influencia | 58 |
| Fig. 21. Ejemplo de semi-variogramas | 59 |
| Fig. 22. Plano de ubicación Yacimiento Minero Raura. | 68 |
| Fig. 23. Plano Geológico Regional. | 89 |
| Fig. 24. Columna Estratigráfica Regional. | 90 |
| Fig. 25. Columna generalizada de la Formación Jumasha. | 95 |
| Fig. 26. Plano Geológico Local. | 99 |
| Fig. 27. Columna Estratigráfica Local. | 100 |
| Fig. 28. Eventos Magmáticos y Dominios Geotectónicos. | 103 |

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación y Determinación del Problema

El estudio tiene como objetivo determinar la propuesta geológica para explorar la estructura mineralizada en la zona Esperanza a partir de los datos geológicos obtenidos a la fecha y determinar que trabajos de exploración se pueden realizar para conocer el comportamiento geológico de la mineralización de la estructura Esperanza.

Así mismo es necesario determinar la estimación de recursos, de la estructura mineralizada Esperanza que se encuentra en explotación, para conocer más rasgos geológicos que nos ayuden a determinar la continuidad de la mineralización y proponer los trabajos de exploración a realizarse para incrementar los recursos en la mina Raura.

Una de las características de la estructura Esperanza para su identificación, es que se encuentra en una zona favorable para la mineralización, como zonas de

contacto metasomático entre las calizas e intrusivos como el cuarzo monzonita, granodiorita y pórfido cuarcífero con importantes leyes de Zn, Pb y Cu. Otra característica importante en el yacimiento es el control estructural de la mineralización.

Los controles geológicos de la mineralización de la estructura mineralizada son necesarios para realizar una estimación de recursos.

1.2 Delimitación de la investigación

La delimitación del proyecto implica solo en el yacimiento, ello determinará la mineralización de la veta Esperanza y con ella determinar el incremento de las reservas en la mina Raura.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

¿La propuesta de exploración geológica de la zona Esperanza, determinará el incremento de reservas minerales en la Mina Raura?

1.3.1 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características geológicas del yacimiento?
2. ¿Cuáles son los controles estructurales de la mineralización?
3. ¿Cuáles son los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos de la mineralización de la estructura mineralizada?

1.4. Formulación de Objetivos

Para el desarrollo del presente tema de investigación hemos trazado lo siguiente:

1.4.1. Objetivo General

- Determinar una propuesta geológica para explorar la estructura mineralizada en la zona Esperanza de la Mina Raura.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la geología del yacimiento.
- Describir los controles estructurales de la mineralización.
- Describir los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos

1.5. Justificación de la investigación

El proyecto se justifica porque es necesario incrementar los recursos minerales en el yacimiento, con ello se realiza un beneficio económico para el yacimiento minero, esto se logra describiendo y analizando las características geológicas de la estructura mineralizada de la zona Esperanza.

1.6. Limitaciones de la investigación

La información geológica de la zona como las conclusiones a las que se arriba en este estudio solo es aplicable para el yacimiento estudiado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Se tiene como un antecedente el estudio de la tesis intitulada “Formulación de un modelo geológico – estructural, en el sistema skarn Santa Rosa Compañía Minera Raura” realizado por A. J. Suaña A., donde se describe a los yacimientos tipo Skarn, al cual pertenece el Yacimiento de Raura.

En el 2007, en la zona Esperanza se han realizado mapeos en un área de aproximadamente 50 Has con los respectivos muestreos habiéndose determinado áreas con anomalías de Ag en el contacto Caliza Jumasha Intrusito Granodiorítico. Se ha realizado por medio de la empresa Valdor prospección geofísica, para determinar la posible presencia de cuerpos mineralizados en profundidad, se realizaron perforaciones Diamantinas para determinar el potencial de las Vetas Esperanza 1 y Esperanza 2 para luego pasar también a

fase de perforación hacia los cuerpos mineralizados en contacto cuyos afloramientos han sido mapeados y cubiertos por la prospección geofísica.

Actualmente se viene explotando entre las cotas 5200 al 4850, faltando determinar la prolongación de la estructura mineralizada en profundidad.

2.2. Bases teóricas-científicas

Definición científica

El depósito es considerado de tipo Skarn emplazado en rocas sedimentarias y volcánicas asimismo tiene zonas de mineralización epitermal.

ZONACIÓN DEL SKARN

RELACIONES SKARN-PÓRFIDOS

La relación intrínseca que existe entre las intrusiones multifásicas de niveles batolíticos (diorítica-granito) y los plutones precursores son determinantes para la generación de depósitos como rocas hospedantes; los plutones precursores con respecto a los stocks del pórfido pueden estar separados por un lapso de tiempo de 1 a 2 ma. o menos, ellos son considerados como de media a alta cristalización de la corteza, y varían de magmas máficos a félsicos que asciende desde un reservorio más profundo para desarrollar un sistema pórfidoskarn.

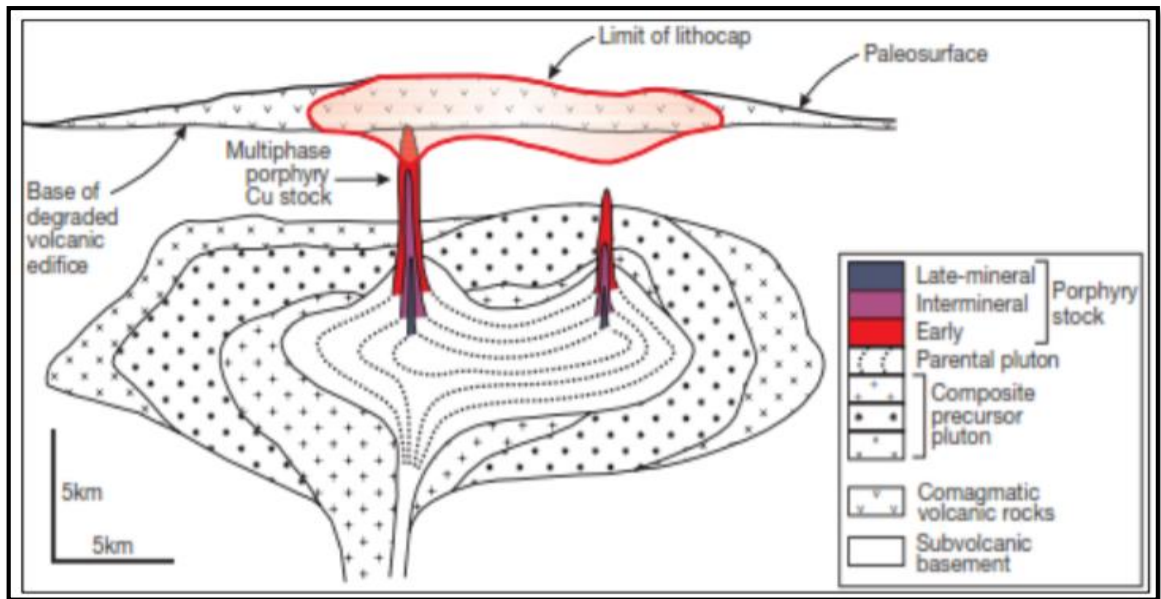


Figura 01. Relación espacial de los stocks porfíricos, magmas parentales, y los plutones precursores.

CRITERIOS DE REEMPLAZAMIENTO DEL SKARN

- Restos de la roca caja inicial.
- Contactos netos cortantes.
- Tamaño de grano grueso (> 1 mm).
- Zonación mineralógica y geoquímica.
- Mineralogía característica (granates, piroxenos, etc.).
- Preservación y continuidad de las estructuras.
- Geoquímica isotópica (desequilibrio).

PÓRFIDO ASOCIADO

Los pórfidos son formados por procesos magmáticos-hidrotermales, caracterizados en muchos casos por la presencia de minerales de mena como los sulfuros y los óxidos, en venillas y diseminados, la alteración presente en los pórfidos suele ser pervasiva y zonada de acuerdo con el tipo de alteración, la

relación tectónica se da a través de zonas de subducción y arcos de isla. Los pórfidos pueden clasificarse de acuerdo al metal económico como de Au-Cu-Mo-W-Sn, y los tamaños varían desde el Cu>Mo>Au>Sn>W.

En condiciones específicas los pórfidos se relacionan a magmas de composición andesítica a dacítica, los mismos que tienden a formar los pórfidos económicos, además este magmatismo tiene que ser calcoalcalino o alcalino; para que un magma sea considerado fértil tiene que contener un 4% de agua aproximadamente dentro de su composición, esta característica es determinada por la presencia de fenocristales de hornblenda.

En los pórfidos los controles magmáticos sobre los elementos de mena, están en función del grado de evolución composicional, fraccionación y estado de oxidación, los pórfidos económicos son asociados con magmas relativamente oxidados y poco evolucionados, siendo un magma evolucionado aquel que se ha formado lejos del manto y de sus elementos compatibles; el grado de oxidación de un sistema químico está determinado por la presencia del Fe⁺³, el cual se encuentra en la magnetita, el Fe⁺² denota el estado de reducción y está relacionado a la ilmenita. La reducción de un magma oxidado se da cuando este reacciona con rocas básicas, es decir rocas carbonatadas, carbón, u otro material orgánico, además si la corteza por la cual asciende el magma contiene paquetes de rocas ricas en materia orgánica estos se van a reducir a través de su recorrido.

METAMORFISMO DE CONTACTO

Se forma a partir de aureolas adyacentes al plutón a altos gradientes de temperatura, pueden extenderse por kilómetros en ambientes relativamente profundos, en ambientes subvolcánicos a superficiales el metamorfismo es de menor magnitud; el metamorfismo isoquímico se denomina de contacto, que no es más que la deshidratación y de carbonatación de las rocas sedimentarias como las calizas, margas, lutitas, etc. El tiempo de formación del metamorfismo isoquímico varía de 1,000 a 10,000 años, en esta fase no hay circulación de fluidos y solo la temperatura juega un papel importante en su formación. Como característica mecánica de la roca, esta disminuye su permeabilidad y volumen, pero aumenta su fragilidad haciendo que sea susceptible a una porosidad secundaria.

Las etapas de metamorfismo son esencialmente estériles de minerales de mena, pero al parecer es una etapa de formación temprana de minerales, en el caso de los hornfels calcáreos estos son fácilmente fracturados durante la adaptación estructural ocurrida en el emplazamiento de magma o debido a la pérdida de volátiles, esto genera un incremento en la porosidad.

Los calcosilicatos formados durante el metamorfismo de contacto, reflejan los componentes de los protolitos originalmente sedimentarios; en muchos casos las impurezas dominantes de los mismos son el magnesio y el aluminio, y los minerales calcosilicatos resultantes son la grosularita y diópsido; los protolitos sedimentarios ricos en hierro, forman rocas metamórficas con calcosilicatos ricos en hierro; la distinción de los calcosilicatos de origen metamórfico y de origen metasomático es muy compleja, en algunos casos el criterio usado para su diferenciación dada la complejidad, está dado a partir del número de fases

de formación, mientras que los calcosilcatos metamórficos tienen un gran número de fases para la formación de sus componentes, los metasomáticos tienen muy pocas fases con respecto a sus componentes.

Las reacciones entre la fase metamórfica y la fase metasomática en los depósitos del tipo Skarn son importantes porque los minerales metamórficos son sobreimpuestos y alterados por el metasomatismo tardío, las asociaciones mineralógicas pueden conducir a un mejor entendimiento de las condiciones generales de presión y temperatura del sistema en la formación temprana de Skarn, y a entender la distribución termal y patrones de flujo de fluidos en aureolas de contacto.

Las reacciones metamórficas involucran solamente cambios en la cantidad de componentes volátiles presentes en la roca, como son el O₂, CO₂ y H₂O, y están en función de las condiciones de presión, temperatura y la fugacidad de estos componentes volátiles.

ENDOSKARN

Formado dentro del plutón, es generado a partir de la recirculación de fluidos hidrotermales, sus espesores varían de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas de formación del Skarn. El endoskarn es más abundante en sistemas someros, es decir en las zonas laterales del contacto, en cambio es rara su ocurrencia en zonas de cúpula. Su formación se debe al intercambio metasomático entre el plutón y los componentes aportantes de Ca y Mg del exterior (roca caja).

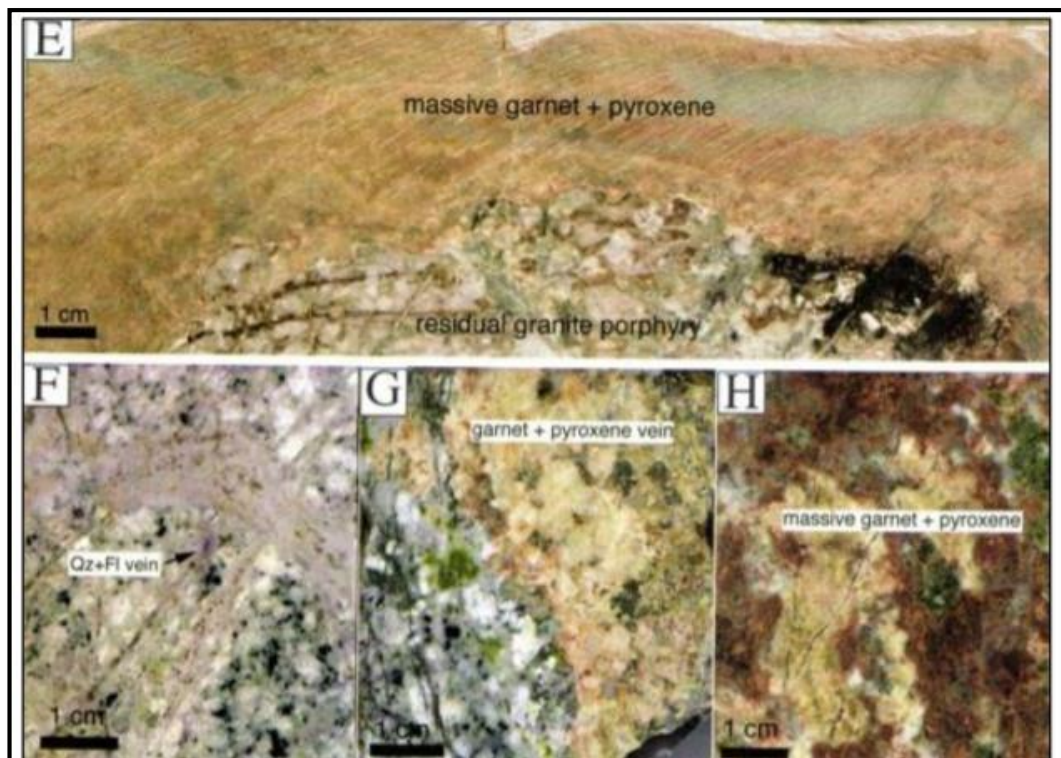


Figura 02. Endoskarn, recirculación de fluidos y alteración de la textura original de la roca magmática.

Contiene estructuras tabulares de espesor centimétrico con granate y piroxeno cálcico, los cuales también se encuentran en vetillas o disseminaciones. La zonación típica del endoskarn está dado por los anfíboles, piroxenos, granates, también se manifiesta por la alteración del feldespato potásico y las plagioclasas conocido como skarn de plagioclasa y albitización. En los sistemas oxidantes, la mineralización típica refiere la aparición del cuarzo, epidota, con un mayor contenido de granates, la mineralización económica es menor en comparación con el exoskarn.

En el endoskarn con granate en mayor proporción que piroxeno. Existe un desarrollo generalizado del skarn progrado que oblitera la litología original. El

skarn progrado afecta de manera masiva a la roca, aunque hay también menor presencia de diseminaciones o vetillas que contienen calcita, clorita y hematita.

EXOSKARN

Formado a partir del reemplazamiento metasomático de rocas carbonatadas con contenidos de calcio (calizas) o magnesio (dolomitas) asociados a la generación de granates-piroxenos, poseen una morfología tabular o lenticular de hasta 500m de distancia del intrusivo en el caso de skarn proximales, se forman generalmente en los techos de las intrusiones (cúpulas), y raramente en las zonas laterales siendo los mismos de baja ley. Los procesos de formación del exoskarn sugieren dos formas:

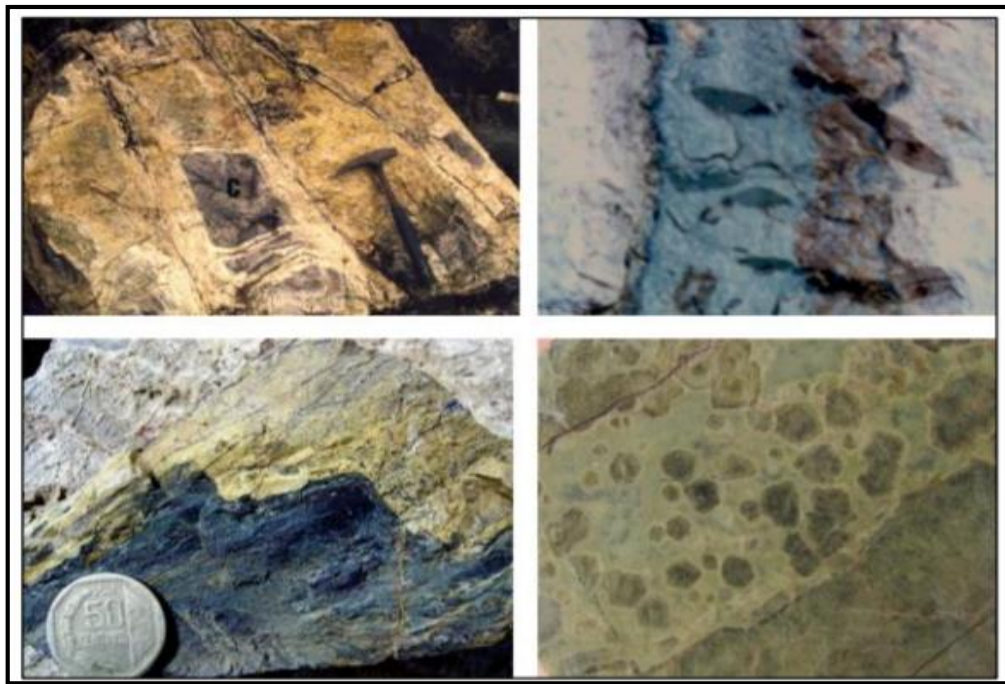


Figura 03. Exoskarn, generada a partir del reemplazamiento metasomático.

a) Difusión, se da a partir de la circulación del fluido en múltiples direcciones, esto de acuerdo con la porosidad y permeabilidad primaria, este proceso suele

ser muy lento y solo efectivo si el grado de porosidad es elevado, el zoneamiento es gradual.

b) Infiltración, se da a partir de la circulación del fluido a lo largo de discontinuidades, esto gracias a la porosidad secundaria (fracturas y fallas), el fluido se mueve en una sola dirección siendo este un proceso relativamente rápido; la infiltración es efectiva tanto a escala local como regional, el zoneamiento es neto.

c) La combinación de ambos es muy efectiva para la generación de zonas importantes de mineralización ocurriendo casi siempre en forma combinada.

EVOLUCIÓN DEL SKARN

METAMORFISMO ISOQUIMICO

Se da partir de la recristalización metamórfica y cambios mineralógicos reflejando el protolito y circulación de fluidos a alta temperatura formando minerales calcosilicatados. Incluye además el desarrollo de: mármol, rocas córneas, cuarcitas, skarn de reacción, skarnoides, talco y wollastonita hacia la periferia.

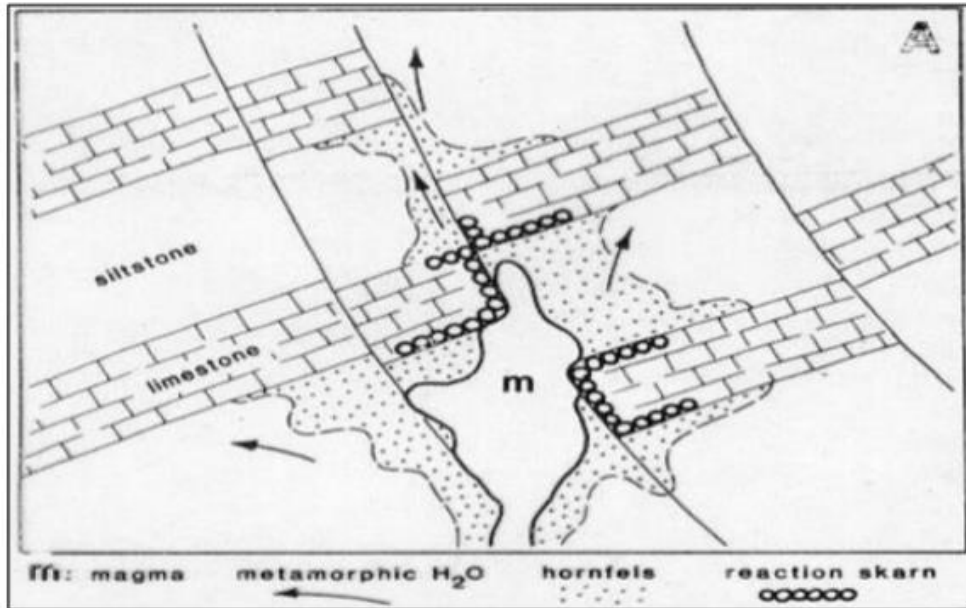


Figura 04. Metamorfismo Isoquímico.

SKARN METASOMATICO - FASE PROGRADA

Generado por la cristalización del magma y liberación de una fase fluida. Se forman principalmente minerales anhidros por acción de fluidos de derivación magmática a temperaturas de 400°-800°C produciendo la obliteración de la textura original del protolito. Usualmente en esta etapa ocurre o comienza la mineralización.

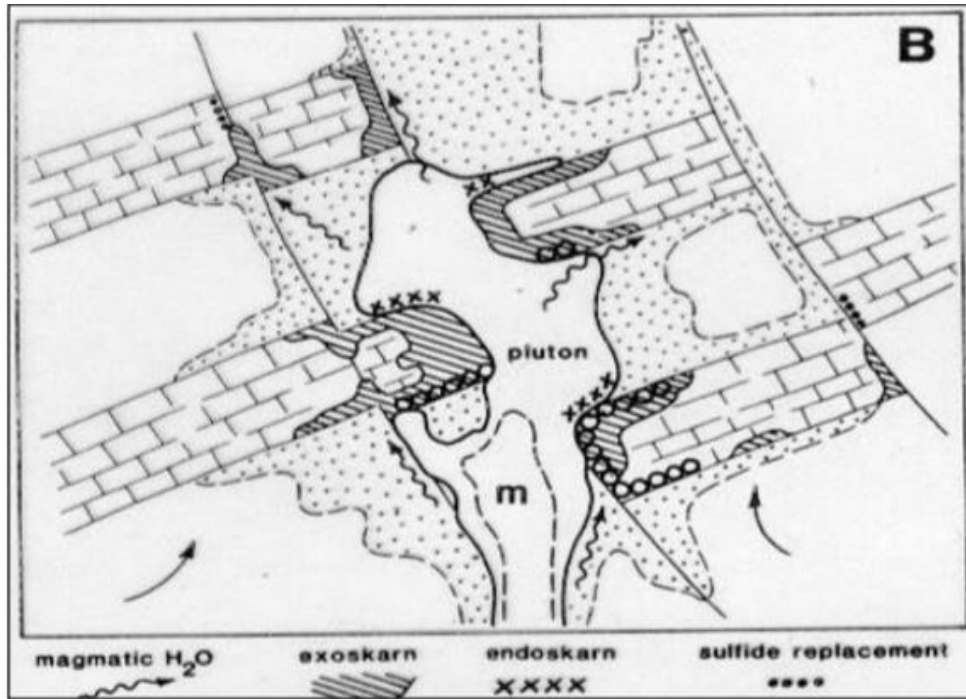


Figura 05.Fase Prograda.

SKARN RETROGRADO

Se manifiesta por el enfriamiento del plutón y la circulación de aguas de temperatura más baja, posiblemente meteóricas, oxigenadas, causando alteración retrógrada de los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos. En esta etapa se forman nuevos minerales hidratados de temperatura más baja, a partir de los minerales anhidros formados previamente.

Incluyen: epidota, actinolita, clorita y otras fases minerales hidratadas, típicamente con control estructural y sobreimpuestos a la secuencia de progrado (fallas, contactos estratigráficos o intrusivos).

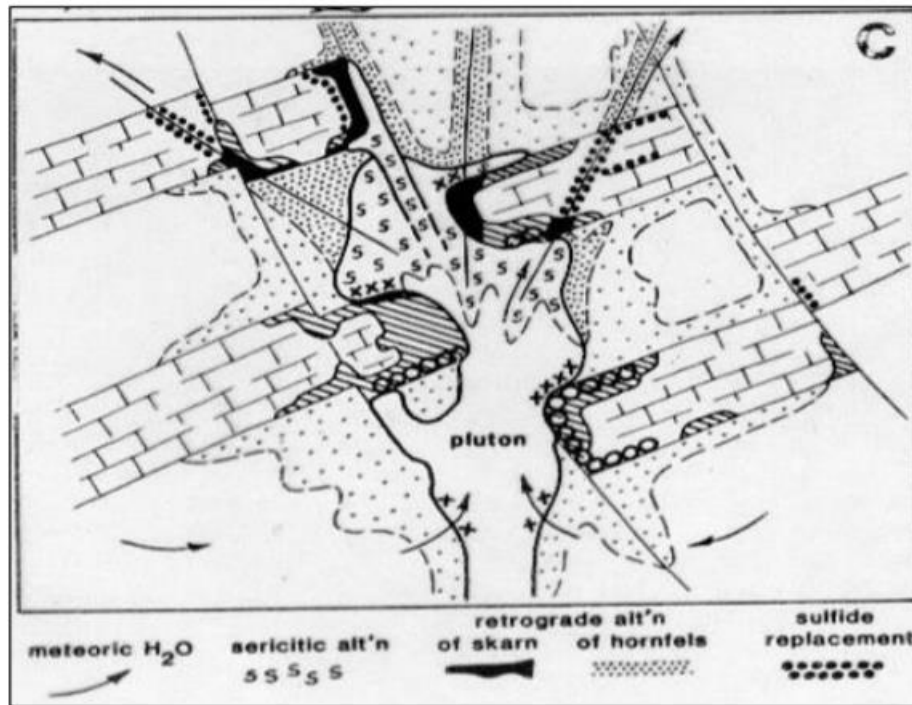


Figura 06. Fase Retrograda.

FACTORES CONDICIONANTES EN LA FORMACIÓN DEL SKARN

INFLUENCIA DE LA PROFUNDIDAD

La profundidad de los skarn influye mucho en su morfología, tamaño, tipo, alteraciones, y leyes de los minerales económicos; estos se subdividen en someros y profundos.

A) SISTEMAS PROFUNDOS

Comprenden los yacimientos de W, y Sn, generalmente son pequeños y sub verticales, poseen poca permeabilidad y están relacionados con los Skarn bimetasomáticos. Su morfología comprende cuerpos masivos e irregulares, con una deformación dúctil con contactos control hacia las rocas caja, el periodo de formación es limitado de aproximadamente menor a 2Ma. Las características de las rocas plutónicas refieren a rocas de textura equigranular asociadas al metamorfismo regional como las pegmatitas

(rocas ácidas); en estos niveles los pulsos poseen una mayor saturación de agua teniendo una exsolución temprana.

B) SISTEMAS SOMEROS

Comprenden los yacimientos de Cu, Zn-Pb, generalmente son grandes, masivos irregulares, poseen una mayor permeabilidad y porosidad donde la aureola de metamorfismo de contacto es de mayor extensión; su deformación es frágil, con contactos discordantes, en este nivel el control estructural juega un rol determinante en la formación de los cuerpos mineralizados, con alteraciones retrogradas más desarrolladas a partir del hidro fracturamiento.

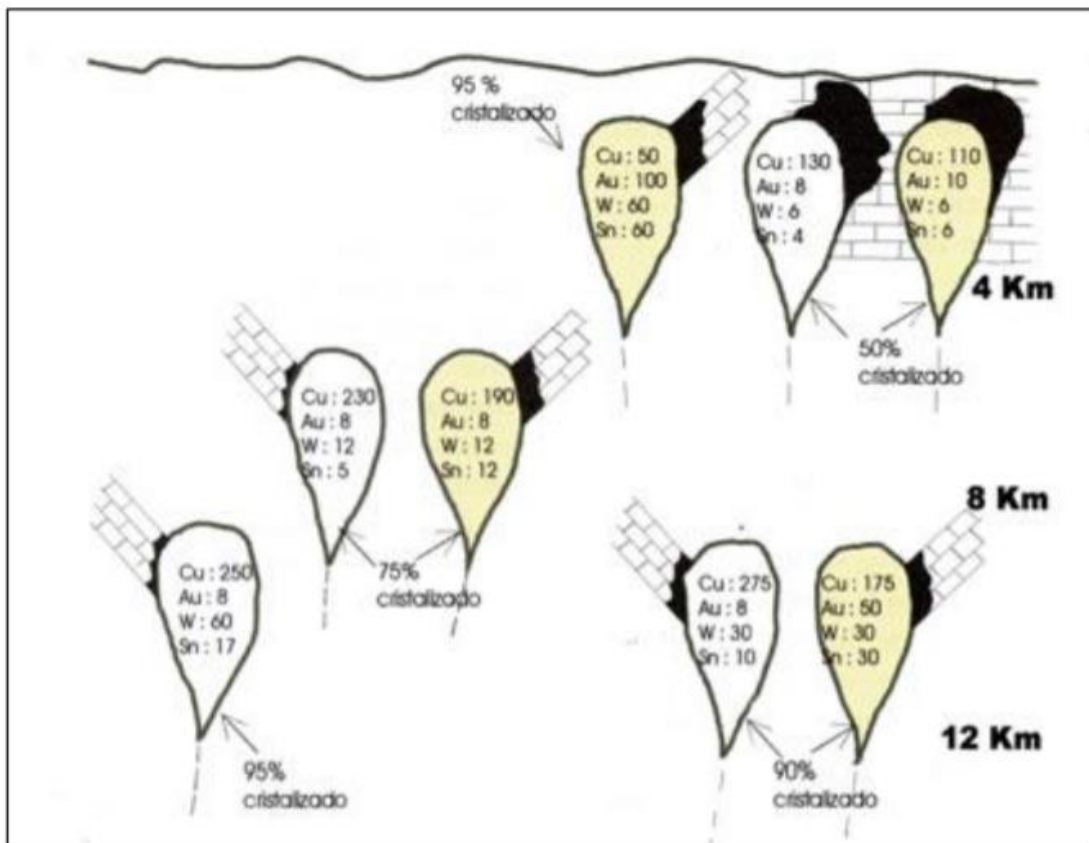


Figura 07. Esquema de la influencia en la profundidad de formación del skarn. Los skarn distales en este sistema se hacen más comunes, el periodo de formación es de larga duración, mayores a los 10Ma.

Las características de las rocas plutónicas refieren a rocas de grano matriz-zonado, con contactos discordantes asociados a diques pórfidos con bordes de enfriamiento; debido al comportamiento frágil de la roca, esta tiende al fallamiento por lo que las condiciones de agua son sub saturadas con una exsolución tardía.

La afluencia de agua meteórica y la consiguiente destrucción de los minerales de Skarn durante la alteración retrograda es uno de los rasgos distintivos de la formación de Skarn en un entorno superficial somero.

REDOX

Determinado por el intercambio físico-químico de componentes entre el magma y la roca caja. Los efectos que tiene el magma en la reacción son ocasionados por la cantidad de elementos volátiles, grado de fraccionamiento y el estado redox del magma; así mismo la roca caja depende de su composición, estado redox, y su permeabilidad.

El estado de reducción y oxidación se puede manifestar a través de la detección del Fe (Fe^{+3} en el caso de oxidación, y Fe^{+2} en el caso de reducción); el intercambio de componentes entre el magma y la roca caja determinará el tipo de Skarn, es decir la longitud, tipo de mineralización, tipo de granates-piroxenos, y zoneamiento.

TÉCNICAS DE PERFORACIÓN APLICADAS A LA EXPLORACIÓN MINERA

Hay un gran número de técnicas de perforación, pero, sin pretender ser un tratado de métodos de perforación, se van a describir los métodos de perforación más empleados en exploración minera. Estos métodos son: perforación a

rotación con recuperación de testigo (perforación con corona de diamante), perforación a rotación y perforación a rotopercusión.

La elección del método de perforación requiere siempre llegar a un compromiso entre velocidad, coste y cantidad y calidad de la muestra a recuperar, además de aspectos logísticos y medioambientales.

Las técnicas de perforación aplicadas a la exploración minera son las siguientes:

- Perforación a rotación
- Perforación a rotopercusión
- Perforación a rotación con recuperación de testigo

Las técnicas más habituales son la perforación a rotación y la perforación a rotación con recuperación de testigo, siendo esta última la técnica que posibilita la obtención de muestras de roca para su posterior análisis.

De menor a mayor coste comparativamente, los métodos a rotación son los más baratos, seguido por la perforación a rotopercusión, siendo la técnica generalmente más cara la perforación con diamante.

PERFORACIÓN A ROTACIÓN

Los sistemas de perforación a rotación (Rotary Drilling, en inglés) se caracterizan por que la perforación realizada únicamente por la rotación del elemento de corte, sobre la que se ejerce un empuje desde el extremo del varillaje, con ausencia del elemento de percusión.

Por este motivo, este sistema es usado principalmente en formaciones rocosas blandas, que son perforadas a través del corte por cizalladura. La perforación rotativa es la más rápida, más barata y más sencilla de los métodos de

exploración minera. Se obtiene un rendimiento óptimo en formaciones sedimentarias, llegando incluso a la centena de metros por relevo.

La rotación se genera por medio de un conjunto de motor y engranajes, llamado “cabeza de rotación” que además mueve hacia arriba o hacia abajo la sarta de perforación para proporcionar el empuje requerido sobre la boca de perforación.

El empuje aplicado a la boca a través de la tubería y de presión adicional, debe ser lo suficientemente poderoso como para que los dientes o insertos de la broca sobrepasen la resistencia a la compresión de la roca.

La limpieza del detritus de perforación es habitualmente realizada por aire comprimido. En perforación de mayor diámetro y longitud, para la extracción de petróleo y/o gas, esta limpieza se realiza con lodos de perforación.

Aunque algunas perforadoras rotativas vienen montadas sobre neumáticos en camiones para obras civiles o canteras, generalmente las mineras son montadas sobre chasis con orugas planas, dependiendo del uso y terrenos a los que se les vaya a destinar.

Las máquinas rotativas se componen de un cuerpo estructural, convertidor de corriente alterna a continua, generador, motor principal, compresor, motor hidráulico, motor del cabezal, motor de propulsión, equipo de empuje e izado y gatos niveladores.

En general, suelen presentar mayores dimensiones y suelen ser más complejos que los de percusión. Si se comparan, ambos coinciden en el tipo de plataforma (tráiler o semitrailer) normalmente con mayor número de ejes para mejor reparto del peso. El mástil, a veces de tipo telescópico, está constituido por una estructura metálica reforzada y es abatible y/o desmontable para el transporte. Además de los motores, cabrestantes, etc., suelen llevar montados sobre el

chasis otros elementos mecánicos como bombas de lodos, compresor, etc., según las características de cada equipo. Pero en cambio, son claramente distintos los elementos que constituyen la sarta de perforación.

En la perforación por rotación se usa generalmente como elemento de corte el tricono, que tritura y desgarrar la roca.

Todas las máquinas mencionadas, se fabrican en muy diversos modelos que varían en peso, potencia, presión de trabajo, consumo de aire comprimido, etc. dependiendo del trabajo a que se les destine. Las marcas comerciales acreditadas en el mercado, son numerosas y los volúmenes de ventas que algunas de ellas alcanzan a tener en ciertas épocas, se debe a la introducción de innovaciones mecánicas o de eficiencia, ya que en principio, todas las máquinas y sus mecanismos de operación son muy parecidos en la mayoría de las marcas.

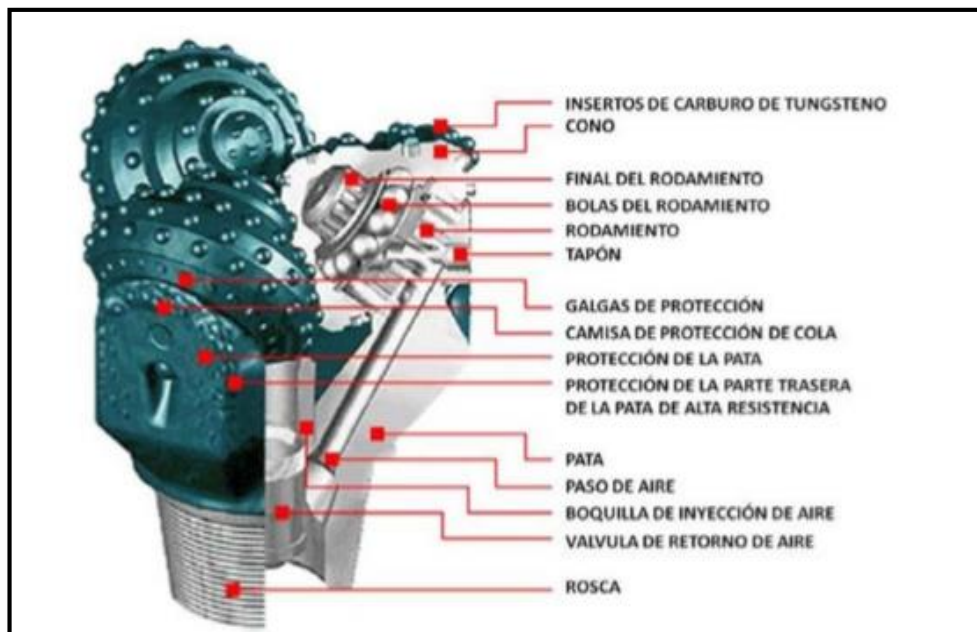


Figura 08. Estructura de un tricono (traducido de Uralbmt)

En condiciones buenas de perforación se suele utilizar el aire como fluido de limpieza. En formaciones difíciles puede usarse agua o lodos, pero la recuperación del detritus requiere equipos complementarios.

El detritus se recoge en ciclones para su posterior análisis. Por ejemplo, para un diámetro de perforación de 114mm se puede obtener un detritus de dimensiones entre 6 y 10 mm, lo que permite efectuar un reconocimiento geológico y mineralógico.

Las dos principales variantes del sistema de rotación son la rotación con circulación directa y la rotación con circulación inversa. La principal diferencia entre ambas radica en el sentido de circulación del fluido de perforación. No obstante, ya los modernos equipos de perforación a rotación suelen estar preparados para trabajar a varios sistemas (circulación directa o inversa, rotoperCUSión, rotación con aire), pudiendo de este modo adaptarse a las condiciones específicas de cada perforación.

Cuando el diámetro de una perforación es grande, la velocidad del fluido de perforación en el anular comprendido entre la pared del varillaje y el terreno, resulta muy pequeña e insuficiente para elevar el detritus o ripio a la superficie, haciendo lenta y peligrosa la perforación.

Para evitar esto se invierte el sentido de circulación del fluido de perforación, es decir, se le hace descender por el anular y retornar por el interior del varillaje, que además, es de mayor diámetro. Con ello se obtienen tres ventajas:

- Gran capacidad de extracción de detritus debido a la alta velocidad del fluido de perforación en el interior del varillaje.

- Pequeña cantidad de descenso del fluido de perforación por el anular, con mínimo efecto de erosión en las paredes del terreno, disminuido aún por tratarse de lodo limpio, sin partículas de detritus.
- Posibilidad de emplear (si la formación se sostiene) fluido de perforación (lodos) de baja densidad y viscosidad, puesto que la capacidad de arrastre del detritus está confiada a su alta velocidad en el interior del varillaje. Con estos lodos ligeros, que pueden llegar a ser agua limpia, no se corre el riesgo de impermeabilizar acuíferos de poca potencia o escasa presión.

La principal diferencia entre los equipos de rotación directa o los de rotación inversa es que, mientras los primeros utilizan una bomba de fluido de perforación (lodos), los segundos utilizan un compresor, que generalmente suele llevar su propio motor. En ambos casos, estos elementos suelen ir montados sobre el propio chasis de la máquina, aunque a veces, debido al tamaño de los compresores suelen ir en remolques independientes.

Otra diferencia entre la rotación directa y la inversa estriba en el varillaje, aunque en la circulación inversa las varillas que se utilizan por debajo de la cota de inyección del aire son comunes a las de circulación directa.

En cuanto a las herramientas de corte son iguales en la rotación directa y en la inversa, aunque adaptadas al particular tipo de circulación. Por ejemplo, a los triconos se les obturan los "jets", mientras que para la aspiración se abre un orificio central. Mientras que el problema más frecuente de la circulación directa es el emboce de las piñas del tricono por insuficiente limpieza, en la circulación inversa, el problema más frecuente es la obstrucción de la aspiración de cantos gruesos.

En sondeos poco profundos, el efecto de circulación inversa se puede provocar por aspiración, generalmente mediante bombas centrífugas, aunque en la práctica, su eficacia se ve limitada a unos seis metros. El efecto de "aspiración" se puede lograr de varios sistemas: utilizando un varillaje de doble pared o con conductos laterales, de forma que puede inyectarse aire a presión mediante un compresor. A una profundidad determinada se introduce el aire, mediante un sistema de válvulas, al interior del varillaje, que está relleno de agua o lodo. La inyección del lodo provoca un "aligeramiento" en la columna de lodo del interior del varillaje con respecto a la columna del anular, con la consiguiente diferencia de presión que induce un efecto



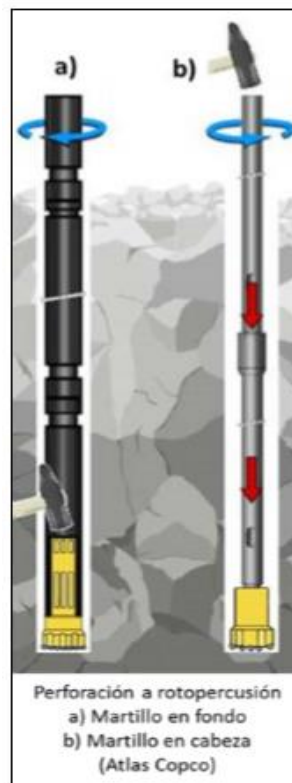
Imagen 01. Equipo de perforación a rotación para exploración minera (Atlas Copco) de "aspiración". De este modo el lodo asciende por el interior del varillaje, arrastrando el detritus de perforación hasta el exterior.

En perforación de sondeos de exploración, es habitual el uso de la circulación inversa, porque se obtiene una alta recuperación y menor contaminación de las muestras.

PERFORACIÓN CON MARTILLO EN CABEZA

El método de perforación con martillo en cabeza (en inglés Top Hammer Drilling) es aquel en la que el martillo de perforación que genera la percusión está situado en el extremo de la sarta de perforación, situado sobre la deslizadera de la columna de perforación. Por tanto, la energía de impacto se transmite desde el martillo hasta la boca de perforación a través de toda la sarta de varillaje en forma de ondas de choque.

Este método es rápido para la perforación en roca en buenas condiciones. Tiene como inconveniente que la sarta de perforación sufre la percusión del martillo y además en la perforación de barrenos largos (>20m, aproximadamente) pueden surgir grandes desviaciones en la perforación.



PERFORACIÓN CON MARTILLO EN FONDO

En la perforación con martillo en fondo (Down the Hole Drilling, DTH), el martillo que proporciona la percusión está colocado en el interior del barreno, estando en contacto directo con la boca de perforación. De este modo el pistón del martillo transmite de manera más eficiente la energía al elemento de corte. Así, las pérdidas de energía son insignificantes a medida que se aumenta la longitud de perforación. Este es el método más empleado para la perforación de barrenos largos (>20m), ya que se reducen las desviaciones en estos casos y se reduce también el desgaste de la sarta de perforación.

Este método puede usarse tanto en rocas competentes como en rocas más blandas.

Tiene como inconveniente que el diámetro mínimo de perforación debe ser mayor que en la perforación con martillo en cabeza puesto que debe haber espacio para alojar el conjunto de los elementos del propio martillo.

Las barras son tubos de sección circular con diámetro de 63,5 a 102 mm (2½" a 4") para bocas o elementos cortantes entre 76,2 a 152,4 mm (3 a 6") Se caracterizan por conseguir una velocidad de penetración más constante que el martillo en cabeza.

PERFORACIÓN A ROTACIÓN CON RECUPERACIÓN DE TESTIGO

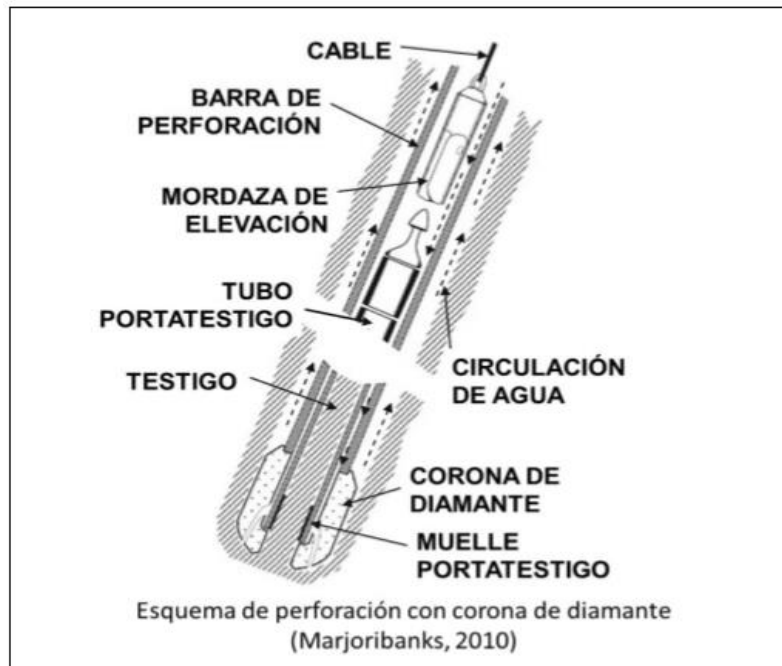
En todo proceso de exploración existe un punto en el que después del estudio realizado con métodos indirectos prospección es necesaria la verificación de éstos mediante la toma de muestras de roca en profundidad. Esta toma de muestras se realiza por medio de los sistemas de perforación con recuperación de testigo.

Los testigos son las muestras del macizo rocoso que nos van a permitir un análisis directo de los diferentes materiales que atraviesa, así como la presencia de mineralizaciones, para estudiar su potencial explotación.

La perforación a rotación con recuperación de testigo se basa en que un elemento de corte de forma anular, con diamantes industriales incrustados colocado en el extremo de una sarta de perforación, “corta” la roca obteniendo un cilindro de roca que se aloja en el interior de la sarta, a medida que el elemento de corte avanza. El elemento de corte se denomina corona de diamante.

La perforación con coronas de diamante y recuperación de testigo es, generalmente, el método de perforación más útil de cara a la obtención de muestras para su análisis, inspección visual y ensayo, particularmente en depósitos masivos de leyes bajas donde la mineralización se distribuye a través de la roca matriz.

Sin embargo, la recuperación de los testigos es baja en las zonas mineralizadas superficiales debido a la fracturación, meteorización o friabilidad del material, siendo entonces necesario recoger muestras procedentes del fluido de perforación, incrementándose los costes.



En la perforación con diamante el agua es el fluido de perforación más usual, aunque el aire es usado en algunas ocasiones con éxito. En ocasiones también se usa una mezcla de agua y lodo. El agua se bombeada por el interior de la sarta de perforación hasta alcanzar la corona de diamante, saliendo por el espacio anular entre la sarta de perforación y la roca. En la superficie, el agua de retorno suele ser recogido en un tanque donde se decanta el contenido de finos en suspensión procedentes del detritus de perforación. Una vez decantado, el agua puede ser recirculado de nuevo.

El testigo recuperado se aloja en los denominados tubos sacatestigos (o portatestigos), que permiten su desmontaje en el exterior para una mejor maniobrabilidad del mismo. Para la extracción de los núcleos de roca se han desarrollado tubos sacatestigos de diferentes características que han permitido mejorar la recuperación en terrenos difíciles. En los sondeos profundos el sistema "Wireline" ha posibilitado la extracción de testigos sin extraer todo el varillaje en cada maniobra.

El testigo entra en el tubo interior (portatestigo), situado dentro del tubo de sarta de perforación inmediatamente detrás de la corona de perforación. Se evita que el testigo caiga de nuevo en el barreno por medio de un casquillo en forma de cuña montado en la base de la sarta, llamado muelle rompetestigo o portatestigo. La longitud de las barras es normalmente de hasta 6 metros de longitud, dependiendo del tamaño del equipo de perforación. Cuando la barra está completa con testigo en su interior, el tubo portatestigo se extrae de la sarta, por medio de una mordaza que se baja por el interior de la sarta hasta que “pesca” anclándose a un dispositivo con forma de arpón. Este es el denominado sistema wireline. En esta posición la barra portatestigos queda liberada y una vez en el exterior el testigo puede extraerse fácilmente gracias a que esta barra suele poder desmontarse longitudinalmente, siendo especialmente útil en el caso de testigos altamente fracturados o alterados. Una vez extraído el testigo se monta de nuevo y se desciende de nuevo hasta la corona de perforación.



Imagen 02. Operación de extracción de testigo (Atlas Copco)

La perforación con coronas de diamante es relativamente lenta y costosa, consiguiéndose rendimientos de 15 a 20m por relevo en buenas condiciones. En cuanto al coste, como regla general, puede decirse que el precio de un metro perforación con corona de diamante equivale a perforar hasta 4 metros de perforación con circulación inversa y hasta 20 metros de perforación a rotación. La perforación con corona de diamante permite realizar sofisticados estudios geológicos, e incluso se pueden obtener gran volumen de muestra para evaluaciones geoquímicas. El testigo puede ser orientado permitiendo la medida de las estructuras geológicas, reproduciendo la posición del testigo en el macizo rocoso.

Los tamaños de testigo estándar van desde 27 mm a 85 mm de diámetro. Los diámetros de testigo usados normalmente con el sistema wireline son: AQ (27 mm), BQ (36,5 mm), NQ (47,6 mm), HQ (63,5 mm) y PQ (85 mm).

Desde casi todos los puntos de vista, el mejor tamaño de testigo es el mayor posible. Mayores diámetros permiten mejor grado de recuperación y permiten menores desviaciones en la perforación. En testigos de mayor tamaño se facilitan los ensayos geoquímicos y los cálculos de estimación de reservas. Sin embargo, el coste de la perforación con corona de diamante crece exponencialmente en relación al tamaño de testigo, por lo que hay que llegar a una solución de compromiso entre diámetro y coste



Figura 09. Coronas de diamante para recuperación de testigo (Sandvik)



Figura10. Testigo de roca (ABRA Mining)

PERFORACIÓN A ROTOPERCUSIÓN

El sistema de perforación a rotopercusión se basa en que la perforación se logra a través de la combinación de aplicar a la sarta de perforación un empuje y una rotación, junto con una percusión, logrando así una mejor fragmentación de la roca.

Esta técnica es aplicable en investigaciones en las que los cuerpos mineralizados están próximos a la superficie o en ciertas zonas donde exista un recubrimiento difícil para cualquiera de otros métodos de perforación (perforación con diamante o perforación a rotación) y sea necesario atravesar esa formación para después proseguir con otro de los métodos (recuperación de testigo o perforación con tricono). Este sistema tiene el inconveniente de que no se puede extraer testigo continuo.

En sondeos superficiales los métodos de perforación pueden ser con martillo en cabeza o bien martillo en fondo. A partir de 20-30m es habitual el uso de martillo



Imagen 03. Equipo de perforación a rotopercusión (Sandvik)

en fondo. En ambos casos el detritus se tiene que recoger en ciclones y captadores de polvo, introduciéndolos en bolsas de plástico para su posterior análisis. Los equipos de perforación son los diseñados para la perforación de barrenos de voladura, con chasis adaptados a cada caso.

PROYECTOS DE EXPLORACIÓN E INVESTIGACIÓN

Una de las decisiones más difíciles en el proceso de exploración es decidir cuándo empezar los proyectos de exploración e, incluso más difícil es decidir

cuándo parar. Es decir, cuándo saber que se tiene información suficiente para definir el cuerpo mineralizado con la precisión necesaria.

La presión de empezar un proyecto de exploración será mayor cuando, durante el proceso de exploración, ya se ha identificado una mineralización en superficie. En este punto rápidamente se querrá elaborar un programa para definir el depósito mineral en profundidad. Sin embargo, no se deberá comenzar la campaña hasta que no se tenga una idea general de la geología en superficie para predecir cómo puede ser la configuración del depósito para optimizar el programa de perforación.

El ingeniero encargado de un proyecto de exploración se enfrentará a numerosos problemas, tanto logísticos como geológicos. Se deberá tomar la decisión de qué tipo de perforación es la idónea, el espaciamiento entre sondeos, el ritmo de perforación y la empresa de perforación a contratar.

En las primeras fases de la exploración los trabajos de perforación se dirigen a obtener una idea de la extensión y forma del cuerpo mineralizado por medio de sondeos a rotación y en fases posteriores se definen la ubicación y el número de sondeos con recuperación de testigo. Esto es debido a que el coste de los sondeos a rotación es menor que con recuperación de testigo.

La logística del programa de perforación debe tratarse con cuidado para definir adecuadamente el número de equipos, técnicos y humanos, necesarios para perforar, consumibles y repuestos. En ciertos casos, en lo que la campaña se ubica en lugares remotos de difícil acceso, se podrá necesitar apoyo aéreo mediante helicóptero y apoyo por carretera en lugares más accesibles.



Imagen 04. Proyectos de exploración en zonas aisladas

A muchos lugares se tendrá que llegar por carretera, lo que implicará construir caminos de acceso y construir plataformas de trabajo para que los equipos de perforación se ubiquen con la mayor estabilidad posible, y en posición horizontal. El tamaño de la malla de perforación dependerá del objetivo de la campaña y del tamaño de la anomalía encontrada. Esto depende de la información disponible hasta ese momento, y puede no ser precisa. El proyecto de sondeos puede cambiar las consideraciones previas en cuanto a la geología del depósito mineral.

En relación al ángulo de perforación, los sondeos verticales son los más fáciles de realizar y los más baratos, y se usan habitualmente para mineralizaciones superficiales o para depósitos diseminados. Sin embargo, los sondeos inclinados habitualmente se eligen para mineralizaciones profundas. En todo caso, el objetivo de toda campaña de perforación deberá ser el interceptar perpendicularmente la mineralización, con el sondeo inicial, inmediatamente debajo de la zona más meteorizada.

Los sondeos de exploración tienen por objeto fundamental determinar la presencia o ausencia de zonas mineralizadas y obtener una idea preliminar de

qué ley y tamaño tienen dichas zonas, para llegar a una estimación de la estimación de las reservas minerales existentes. La malla inicial de perforación dependerá de los accesos debidos a la orografía inicial, el cual será muy limitado en zonas de montaña.



Figura 11. Situación ideal de los sondeos, en relación a la mineralización

(Moon, 2006)

Los requisitos de un proyecto de exploración juegan un papel importante en la elección del método de perforación. Por ejemplo, si el área a explorar es geológicamente compleja, la estructura geológica es confusa y no hay zonas bien definidas para ubicar el programa de perforación (zonas objetivo), o bien, hay muchas posibles zonas objetivo, puede ser imprescindible incrementar el nivel e conocimiento de la geología a través de los sondeos de perforación. En este caso, la mejora del conocimiento de la estructura del macizo rocoso puede ayudar a priorizar las zonas en las que se han observado anomalías, para comenzar, con campañas de perforación con circulación inversa, o simplemente con una densilla campaña de perforación a rotación.

Además, la elección del tipo de sondeo y diseño de la campaña depende de:

- La geometría del cuerpo mineralizado.
- La calidad necesaria de las muestras.
- Profundidad y diámetro de perforación.

- Accesibilidad de la maquinaria
- Energía disponible

En la exploración en investigación de yacimientos los sondeos se llevan a cabo, habitualmente desde la superficie y solo en el caso en que la mina esté preparada o en desarrollo se puede proceder a la ejecución de sondeos desde labores subterráneas.

Antes de empezar un proyecto de exploración, se deben llevar a cabo una de tareas por parte del equipo de geólogos, para asegurar el éxito de la campaña:

- Elaborar mapas de los afloramientos en los alrededores de los sondeos lo más detallada posible (preferiblemente a escala 1:1.000 o mayor) antes de comenzar la perforación. Idealmente, la escala del registro de los datos de sondeo debería ser comparable a los mapas, pero la menor densidad de datos geológicos en superficie se suele elaborar a menor escala.
- Dibujar un perfil geológico a lo largo del sondeo propuesto. Si existe alguna superficie en relieve significativa, dibujarla con una precisión en la escala vertical de un metro. Si no hay mapas topográficos que lo reflejen, deberán elaborarse a posteriori.
- Dibujar una sección con la trayectoria propuesta para el sondeo, junto con el resto de información obtenida en prospecciones previas, de tipo geofísico y geoquímico, por ejemplo.
- Predecir las intersecciones con estructuras geológicas que deberá encontrarse el sondeo en su trayectoria.
- Estas predicciones deberán ser anotadas para tener en cuenta los motivos de perforar cada sondeo y qué es lo que se espera encontrar en cada uno, además

de ser un apoyo para interpretaciones posteriores, para resolver posteriores conflictos en la interpretación de resultados.

Los proyectos de perforación deben ser controladas en todo momento para controlar los costes del mismo. Se deben identificar cada una de las intersecciones con el cuerpo mineralizado.

En las fases iniciales de la perforación el ingeniero responsable del proyecto debería estar a pie de sondeo para controlar rápidos avances, controlando el detritus de perforación recogido de sondeos perforado con equipos a rotoperCUSión, por ejemplo. En el caso de perforación con recuperación de testigo, se deberá examinar el testigo recuperado diariamente, hacer los registros iniciales, y decidir la ubicación de los siguientes sondeos, teniendo especial dedicación cuando se intercepten mineralizaciones o se esté cerca del final programado de sondeo.

Se deberán registrar y dibujar de forma gráfica los datos de la mineralización, las litologías y estructura de la roca encajante. Tan pronto como la información esté disponible.

Usualmente la decisión más difícil al estar al frente de una campaña de exploración es decidir cuándo parar de perforar. Las principales situaciones para tomar esta decisión son:

- No se ha encontrado ninguna mineralización.
- La mineralización se ha interceptado, pero no es de ley económicamente explotable.
- La perforación ha interceptado mineralizaciones de ley explotable, pero la continuidad de la misma es limitada o el tamaño de la misma no es de

interés. - El cuerpo mineralizado es de ley explotable y se ha definido el yacimiento con suficiente precisión.

- Se ha acabado el presupuesto.
- Toda la información obtenida de los sondeos debe ser almacenada tanto si el resultado de la campaña es positivo, como si se hubiera abandonado por no encontrar ningún cuerpo mineral. Esto es debido a que la información obtenida puede ser útil para posteriores campañas de exploración de la misma empresa, o incluso, puede ser información rentable para otras empresas de exploración.

PERFORACIÓN DESDE LA SUPERFICIE

Con el fin de tener mayor probabilidad de interceptar yacimientos verticales o subverticales, generalmente, los sondeos de superficie se perforan inclinados, de 30° a 60°, con respecto a la horizontal. Un sondeo inclinado dará en yacimientos horizontales un volumen de muestra mayor que el que corresponde al espesor real, por lo que deberá prestarse atención a la corrección de la dimensión obtenida.

Un problema frecuente aparece a la hora de atravesar los materiales de recubrimiento alterados. Es necesario revestir el sondeo y es usual emplear técnicas de perforación y entubado simultáneo (ODEX-Overburden Drilling with Eccentric Drilling)



Figura 12. Fundamento del sistema ODEX (Adaptado de DPMF)

PERFORACIÓN SUBTERRÁNEA

Los sondeos realizados desde labores subterráneas pueden ser:

- Verticales
- Inclinaos
- Horizontales

Las dimensiones de las galerías limitan el tamaño de la maquinaria, limitando, por tanto, la longitud de avance de la sonda.



Figura 13. Las sondas deben estar habilitadas para perforar en todas direcciones, siendo la polivalencia del equipo un factor clave.

Puede ser necesario el empleo de tubos sacatestigos y varillaje más corto de lo normal ($< 3\text{m}$). Por este motivo el número de maniobras se incrementa en gran medida, por lo que tener sistemas automatizados de manejo del varillaje incrementa en gran medida la producción.

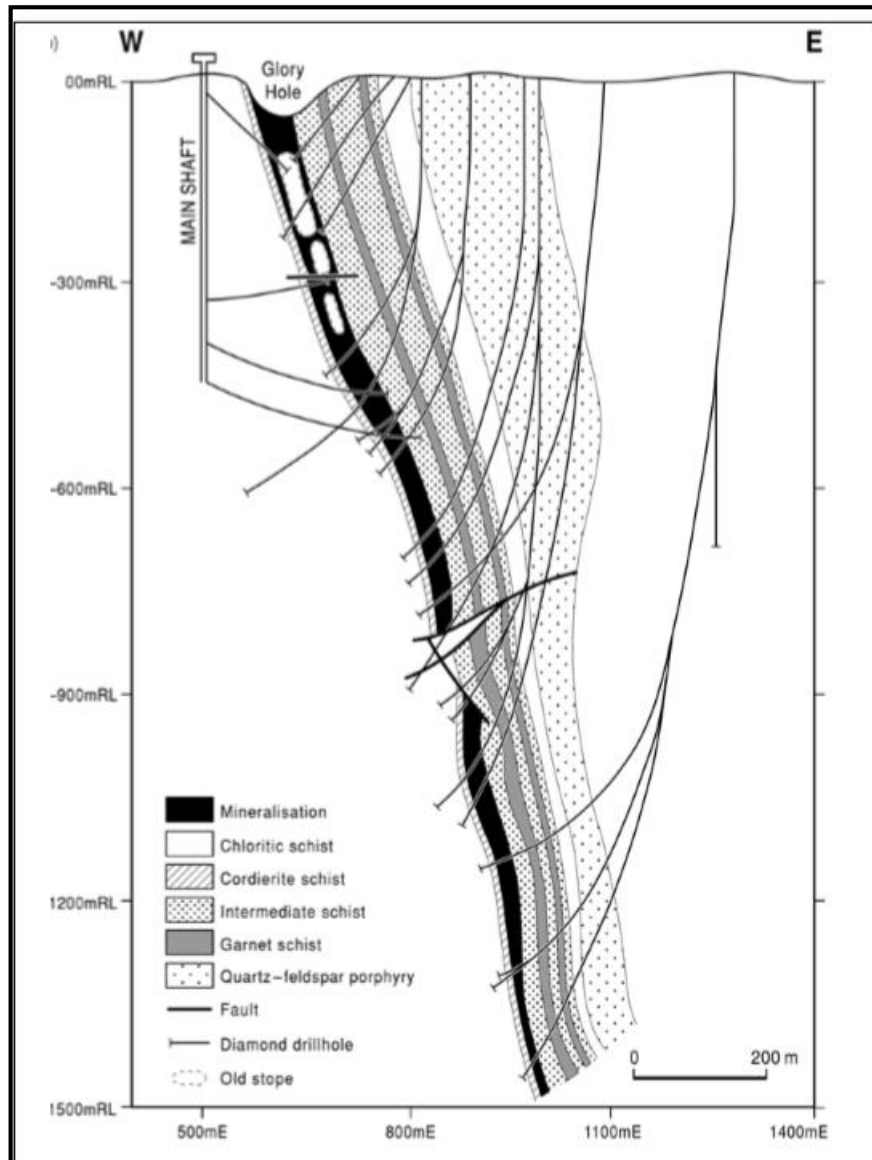


Figura 14. Sondeos en una previamente explotada (Moon, 2006)

MALLAS DE SONDEOS

La decisión acerca del número de sondeos, y su disposición geométrica es compleja y de extremada importancia, interviniendo factores de diferente tipología:

- Factores geológicos
- Factores económicos
- Factores estadísticos

El primer sondeo a realizar se realizará normalmente en el punto en el que se haya detectado en superficie la anomalía más notable en procesos de prospección previos. La mayoría de programas de sondeos se planifican de modo que, después del sondeo inicial se perforan varios sondeos, revisando los resultados una vez finalizados para comprobar que los resultados concuerdan con los esperados.

A partir de aquí, el espaciamiento entre sondeos vendrá definido por el tamaño de la anomalía detectada, datos de depósitos similares, información de campañas de exploración próximas, y de la experiencia del equipo de investigación.

La localización y orientación de los sondeos vendrá definida por los resultados del sondeo inicial. Si este primer sondeo no refleja el contenido mineral esperado, se debería seleccionar la siguiente anomalía objetivo para su estudio.

Una vez que el depósito ha sido definido, al menos parcialmente, se debe verificar la continuación de la mineralización. Llegados a este punto, el espaciamiento entre sondeos dependerá del tipo de mineralización y la continuidad predicha en estados previos de la exploración. Por ejemplo, en el caso extremo en el que se trate de un depósitos filonianos, el objeto de los

sondeos será principalmente para definir la estructura, más que para definir la concentración de mineral, la cual puede ser determinada de mejor forma mediante muestreos desde el subsuelo. El espaciamiento entre sondeos típico para depósitos filonianos es de 25-50 metros y para depósitos estratificados, desde cien metros hasta varios cientos de metros

Las mallas de sondeos pueden ser regulares o irregulares. Aunque las condiciones geológicas puedan favorecer inicialmente las mallas irregulares, serán de mayor utilidad las mallas regulares ya que proporcionan un grado de conocimiento uniforme y permiten efectuar más fácilmente una interpretación visual de los resultados. Las mallas regulares son aquellas que presentan, en proyección horizontal un esquema geométrico definido.

Las mallas pueden ser: rectangulares, triangulares o poligonales. Las más utilizadas son las mallas rectangulares y triangulares porque presentan mayor facilidad en los trabajos de evaluación de reservas.

Los espaciamientos de malla utilizados generalmente (y para que sirvan de referencia) en la investigación de diferentes tipos de yacimientos se muestran en la tabla adjunta.

| Tipo de yacimiento | Espaciamiento de malla |
|---------------------|----------------------------|
| Pórfidos cupríferos | 75 x 100 m 50 x 75 m |
| Hierro (taconita) | 60 x 90 m 30 x 60 m |
| Bauxita | 15 x 30 m |
| Molibdenita | 60 x 60 m |
| Carbón bituminoso | 500 x 500 m 150 x 150 m |

La malla de sondeos óptima será aquella que proporcione mayor cantidad posible de información, al menor coste posible.

Frecuentemente, las campañas de sondeos se plantean con una secuencia o avance en etapas en las que la abertura de la malla se cierra progresivamente.

La toma de decisiones depende mucho del volumen de datos disponibles y determinaciones analíticas, así como la interpretación geológica. En este campo la geoestadística es determinante.

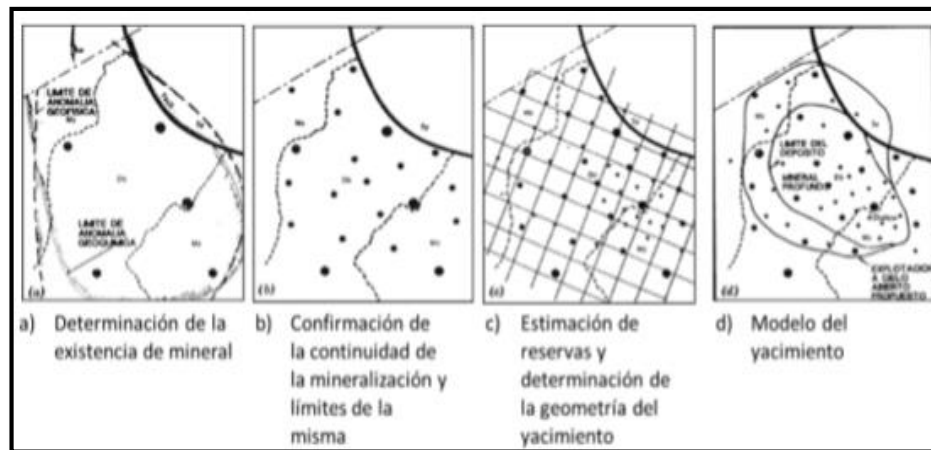


Figura 15. Secuencia de perforación de proyectos de sondeos (Modificado de López, 2001)

MUESTRAS PROCEDENTES DE SONDEOS

Aunque se piense que un proyecto de sondeos se planifica por adelantado, cada sondeo proporciona información al conocimiento de la estructura geológica, de modo que este programa puede sufrir variaciones a medida que avanzan los trabajos de perforación. Para poder tomar decisiones a este respecto se tiene que supervisar la campaña y recoger todas las muestras extraídas y almacenarlas adecuadamente.

Los tipos de muestras que pueden obtenerse de los sondeos pueden ser:

- Detritus seco obtenido durante la perforación de sondeos con aire, recogiendo mediante ciclones y colectores de polvo

- Detritus húmedo, obtenido del lodo procedente de la perforación en la que se ha empleado agua como fluido de barrido. Habrá que someterlos a tratamientos posteriores para su reconocimiento.
- Testigos de suelo o roca obtenidos con tubos saca testigos

RECOLECCIÓN DE DETRITUS SECOS

El detritus seco obtenido de emplear perforación con circulación inversa se obtiene a través de un ciclón colocado en el retorno del fluido de barrido. Con la doble sarta de perforación que tiene la perforación con circulación inversa, el aire comprimido se inyecta a través del espacio anular entre los dos tubos y retorna a la superficie por el interior de la sarta, transportando el detritus en suspensión. De este modo se protege el detritus de posibles contaminaciones.

Es importante que se vaya recolectando la mayor cantidad de detritus posible a intervalos de perforación constantes. El perforista logra esto de tres formas diferentes:

- El sondeo es sellado en el emboquille, de modo que la muestra debe circular a través de toda la sarta de modo que acabe en un colector de polvo en la parte superior de la sarta.
- El sondista continúa aplicando aire a alta presión por un pequeño periodo de tiempo después de cada avance (generalmente 1 o 2 metros) para limpiar todo el detritus de la sarta, antes de efectuar una nueva maniobra. Esta técnica se conoce como "blowback" - En la cabeza de perforación, todo el detritus pasa a través de un ciclón de gran tamaño, de modo que sedimenten todas las partículas en suspensión.

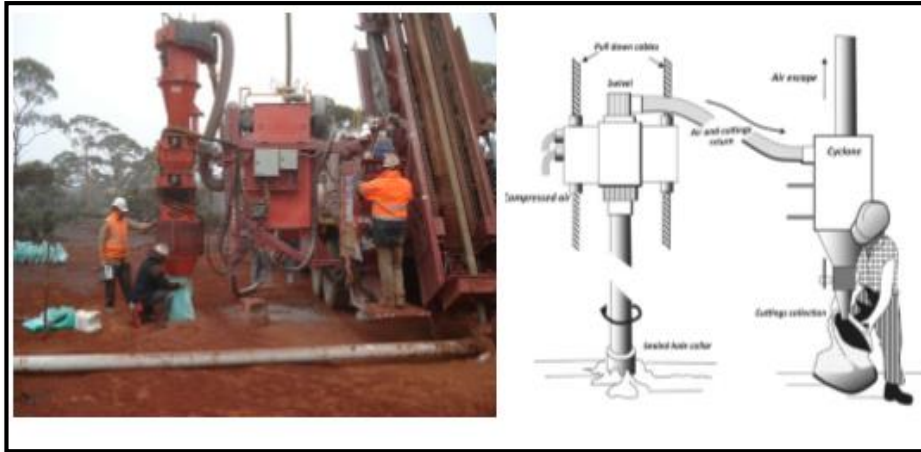


Figura 16. Obtención de muestras de detritus en perforación con circulación inversa (Sandvik, Marjoribanks 2010)

RECONOCIMIENTO DE TESTIGOS DE ROCA

Los testigos obtenidos mediante perforación con corona de diamante proporcionan información muy valiosa para una identificación geológica posterior. Pero el manejo de los testigos se debe realizar de manera sistemática y muy cuidadosa, para no proporcionar información confusa o errónea. Además, la cantidad de metros de testigo obtenido es tal que se necesitan una infraestructura que permita su almacenamiento para poder localizar fácilmente cada sondeo realizado.

Para ello, toda la longitud de sondeo recuperado se coloca en las llamadas “cajas de testigos, que serán aquellos elementos que permitan almacenar las muestras obtenidas de manera ordenada para su posterior reconocimiento y reconstrucción de la secuencia obtenida.

Con un primer vistazo sobre la caja de testigos de roca se pueden observar estructuras litológicas a gran escala, pero para observar formaciones más en detalle hay que extraer el testigo de la caja y rotarlo para incidirle luz en

diferentes direcciones. Una vez identificada la litología, habrá que identificar la orientación de las estructuras encontradas para correlacionarla con la estructura del macizo rocoso.

Se suele estar familiarizado con la apariencia de la estructura de la roca de forma plana o relativamente plana, como aparecería en un afloramiento, en un mapa, o en referencias bibliográficas. Si embargo, la misma estructura a veces puede resultar difícil de identificar o de interpretar correctamente cuando se presenta en forma cilíndrica en un testigo de un sondeo.



Imagen 05. Trabajo con testigos de roca y cajas porta testigos (Abra Mining)

La traza de una estructura plana (como juntas o filones,) en la superficie de un testigo cilíndrico, aparece como una elipse. Cualquier elipse puede ser definida por la longitud de su eje mayor, su eje menor y el ángulo entre ambos. De este modo, se puede referenciar estos datos con la orientación del sondeo, para conocer la posición real de la estructura reconocida.

En los testigos también pueden reconocerse fallas, mejor dicho, micro-fallas. Cuando la falla intersecta una estructura previa en un gran ángulo, el desplazamiento puede observarse a simple vista. A veces, se ignoran las micro fallas durante el registro de datos en el sondeo, pero a veces, puede ser un indicativo de fallas a mayor escala. En ocasiones el testigo se presenta de aspecto frágil, o incluso hay zonas de poca o nula recuperación de testigo. Estas pueden ser debidas a zonas más frágiles del macizo rocoso, como presencia de intercalaciones de arcilla, o ser indicativo de zonas de fluencia de agua, o alteraciones anómalas en profundidad.

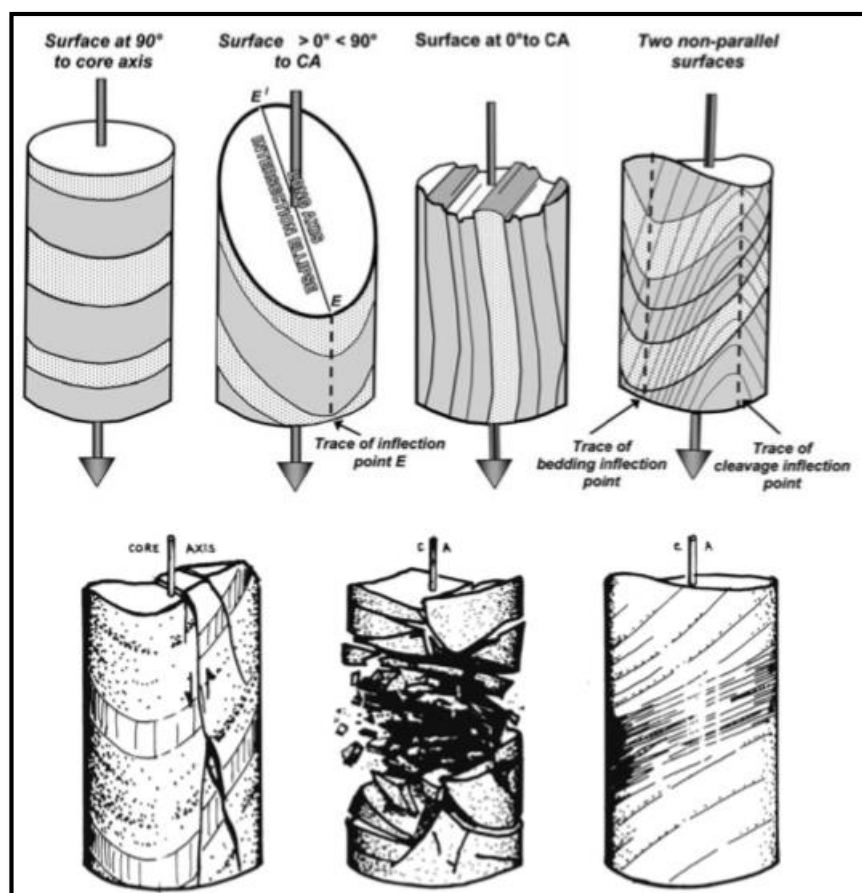


Figura 17. Aspecto de estructuras planas y fallas en testigos de roca

(Marjoribanks, 2010)

En pequeñas piezas de testigo es relativamente fácil ver pequeñas estructuras, o bien, espaciamientos de juntas pequeños, pero estructuras grandes, es decir, para formaciones geológicas mucho mayores que el diámetro del testigo, pueden ser difíciles de reconocer en el testigo.

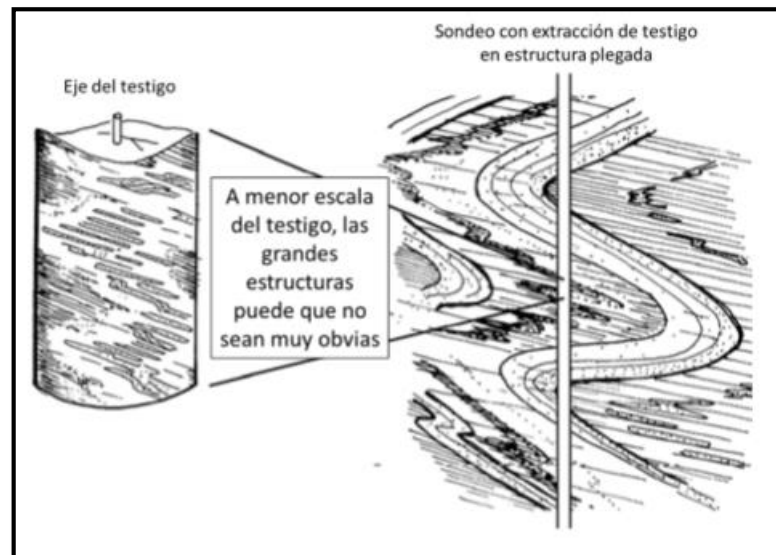


Figura 18. Efecto de escala en los testigos de sondeos (Marjoribanks, 2010)

MUESTREO Y ENSAYO DE TESTIGOS

El análisis y ensayo de testigos durante las fases tempranas de la campaña de exploración tiene dos propósitos. El primero es proporcionar un índice de las potenciales leyes minerales presentes, en caso de que las haya. El segundo es conocer dónde están y de qué forma están distribuidas esas leyes en el depósito mineral. Este conocimiento es necesario para ubicar la perforación de nuevos sondeos.

En la primera fase de la campaña de exploración, los intervalos de la toma de muestras durante la perforación de un sondeo los determina la geología. Es decir, aunque se debe marcar y catalogar toda la longitud del testigo del sondeo, se tiene que prestar especial atención a los modelos establecidos por métodos previos, para detectar las estructuras presupuestas en los modelos geológicos.

Estos intervalos de interés serán seleccionados en función de la geología y se deberán indicar sobre el propio testigo a medida que se obtienen las muestras. Los límites de la mineralización deberían corresponder con los que la geología indicaba previamente, pero se deberán reflejar los límites reales encontrados. Puede decirse que cada muestra debe responder a las incertidumbres que la geología encontraba.

Cuando por la calidad del material no puede recuperarse el testigo correspondiente a una longitud determinada, es importante reflejar este hecho, para una correcta interpretación posterior.

Cuando se vayan a realizar ensayos sobre los testigos de toca, es habitual que se realicen ensayos destructivos, por lo que, no se podrían realizar ensayos posteriores. Por ese motivo es habitual cortar mediante sierra circular el testigo por su eje longitudinal, por la mitad, o incluso en cuatro partes. La decisión de usar el testigo completo, medio testigo o un cuarto de testigo depende del contenido mineral, de modo que la muestra tomada sea representativa del contenido mineral del testigo completo. Por este motivo, en el caso de la prospección de oro, es mejor utilizar muestras cuanto más grandes mejor. Sin embargo, el ensayo de testigos completos debería considerarse siempre como último recurso, porque, como se ha dicho anteriormente, se imposibilita un reconocimiento posterior.

Los métodos para tomar muestras de testigos para su ensayo dependen del estado del testigo: Algunos de estos métodos son:

1. Muestreo con navaja. Esta técnica se emplea cuando se encuentran estructuras húmedas de arcilla. Este material es blando y solo se puede realizar su ensayo, cortando escamas con una navaja.

2. Muestreo con cuchara. Si el material está altamente fragmentado, el único método realístico es usar una cuchara o una espátula para recoger una sección representativa de la muestra para cada intervalo objeto de estudio. Se deberá repartir homogéneamente la muestra y dividir en mitades, ensayando una mitad y guardando el resto.
3. Molienda del testigo. Si la muestra no se considera interesante para ser cortada con sierra circular, se puede moler parte del testigo completo para ser ensayada por métodos geoquímicos a modo de comprobación.
4. Fragmentación por cincel. En rocas cristalinas relativamente homogéneas como rocas ígneas o rocas sedimentarias masivas pueden obtenerse muestras para ensayo con un cincel. Este método es útil en el caso de que se trabaje en lugares remotos, donde no haya disponible una sierra de disco.
5. Corte con sierra de disco. Este es el método estándar de trabajo y el preferido para tomar muestras de testigos. En este caso el testigo es cortado longitudinalmente con una sierra circular usando discos de diamante. Este método es relativamente lento y caro, es la única manera de obtener una muestra de testigo de manera precisa.



Imagen 06. Sierra de disco para testigos de roca (Fuente: Strength Int. y E.A. Minerals)

LABORES DE INGENIERÍA EN LA CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN

Todo proyecto de exploración, deberá ser supervisado y controlado en todo momento por un técnico calificado y con experiencia, de acuerdo a lo descrito en el pliego de condiciones correspondiente que debe acompañar a todo proyecto de ejecución.

La labor general del técnico competente, en esta clase de trabajos, consiste en:

- La dirección y supervisión del trabajo, en la que debe tomar las decisiones oportunas en cuanto a las incidencias surgidas durante la realización del mismo.
- Testificación. En la fase de ejecución de la perforación, el técnico competente debe llevar a cabo la testificación del sondeo mediante: la descripción del material que se esté extrayendo, bien sea proveniente de detritus o testigo; la toma de datos tales como la velocidad de la sonda en la perforación, descripción de incidencias, pérdidas de agua en el

proceso, etc.; la selección de muestras que serán enviadas al laboratorio para su posterior análisis. Ha de destacarse que, en muchos de los casos, esta labor de testificación se realiza en el laboratorio, usando la información que toma la empresa contratista de sondeos, ante posibles incidencias.

Los trabajos de perforación y testificación se realizan para determinar in situ las condiciones del suelo o del macizo rocoso. Cualquier incidencia, pérdida de testigo o daños debidos al tipo de trépano, sarta, o cualquier otro equipamiento usado, o bien el uso de técnicas inadecuadas usadas en la campaña de exploración tiene que ser anotado.

Esos factores pueden tener un efecto notable sobre la cantidad y condición del núcleo recuperado, particularmente en zonas de terreno de mala calidad, meteorizado, o intensamente fracturado.

Los registros geológicos requieren una descripción adecuada de los materiales atravesados, equipo de perforación, toma muestras y condiciones geotécnicas, además de interpretaciones geológicas.

Los registros completos de los sondeos requieren una descripción adecuada de los depósitos minerales y de la roca encajante, un sumario detallado de los métodos y condiciones de perforación y unas características físicas de la roca, así como parámetros necesarios para asegurar la mejor interpretación geológica y el mejor análisis posible.

Se suele realizar un registro diario de las operaciones realizadas donde se registrarán todas las incidencias y detalles de cada sondeo. A continuación se indican los parámetros que pueden medirse para una correcta supervisión de la campaña de exploración en función de cada una de las operaciones realizadas.

DATOS DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN

Al comienzo de todo registro deben figurar los datos de identificación del proyecto, características del proyecto, y además:

- Número de sondeo (código de identificación)
- Ubicación.
- Coordenadas.
- Altitud.
- Rumbo.
- Ángulo de perforación.
- Fecha de comienzo del sondeo.
- Fecha de finalización del sondeo.
- Datos de la empresa perforista, así como de los operarios.
- Datos de la máquina empleada.
 - Marca y modelo de máquina empleada.
 - Barras y tubos portatestigo.
 - Trépano de perforación.
 - Sarta de perforación.
 - Equipo de análisis de agua.
- Sistema de perforación y condiciones de trabajo
 - Método de perforación
 - Condiciones de trabajo: ritmo de trabajo, avance obtenidos,...
 - Comentarios del perforista: problemas ocurridos, cambios de ritmo de perforación, sobrepresiones del equipo, atranques...

A este respecto frases como “sin problemas” o “perforación normal” no son útiles para interpretaciones posteriores, mientras que una información más detallada

puede dar información sobre cambios de litología capas de gran dureza, o intercalaciones más blandas, como presencia de arcillas, por ejemplo.

- Fluido de perforación: tipo de fluido, composición y aditivos empleados
- Retorno del fluido: porcentaje de fluido recuperado.
- Color del fluido de perforación en el retorno.
- Presencia de cavidades: profundidad de la cueva e intervalo atravesado.
- Entubado
- Cementación empleada.
- Tipo de terminación del sondeo.
- Se debe indicar cuál ha sido en las que se deja el sondeo cuando se ha terminado.
- Razón por la que se ha dado por terminado el sondeo. Indicar si se ha llegado a la profundidad, objetivo o bien se ha dejado de seguir perforando por cualquier otro motivo.
- Tiempo de perforación. Se debe reflejar el tiempo que ha llevado la construcción del sondeo, que puede obtenerse desde los datos del contratista. Este dato es clave en la determinación de los costes de ejecución.

Sería conveniente proporcionar tanto las coordenadas del sondeo como de la estación de referencia. El ángulo de perforación puede expresarse con respecto a la vertical o con respecto a la horizontal, por lo que deberá indicarse la referencia utilizada. También se deberá reflejar la profundidad a la que se ha encontrado roca sana, así como los niveles en los que se ha encontrado presencia de agua.

DATOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LOS TESTIGOS

Respecto a las características reseñables que pueden registrarse durante las labores de perforación de sondeos se encuentran las siguientes:

- Datos sobre el nivel de presencia de agua. Pueden anotarse la profundidad (o altitud) de los niveles de aparición, caudal y presiones de pozos artesianos. También deben registrarse cada uno de los datos anteriores durante el avance del sondeo, al comienzo y al final del turno, etc.
- Ensayos realizados. Longitud de muestra analizada y ensayo (por ejemplo ensayo SPT).
- Columna litológica obtenida
- Tipo de roca
- Litología. Composición, tamaño de grano, textura, color.
- Meteorización y alteraciones observadas.
- Textura.
- Exfoliación y bandeo reconocible.
- Dureza.
- Discontinuidades. Incluyendo juntas, fracturas y contactos entre formaciones. Se debe asignar los cambios de propiedades a la profundidad en la que se han observado. Igualmente se describirán parámetros físicos como espaciamiento y orientación respecto a la generatriz de sondeo. Además es importante detallar el relleno existente entre las familias de juntas.
- Pérdidas de sondeo. Indicar las zonas de baja recuperación de testigo, así como el grado de recuperación.

Parte de estos datos se obtendrán directamente a pie de sondeos mientras que otros se pueden obtener una vez procesados los sondeos en laboratorio.

Las labores de catalogación y archivo de los testigos de roca obtenidos se harán de manera continua usando las cajas porta testigos de modo que no se pierda información o ésta se confunda para lograr una información menos contaminada y que sea más fácil de llevar a cabo los trabajos de interpretaciones geológicas posteriores.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE RESERVAS

Durante el proceso de exploración y evaluación inicial del depósito mineral, el principal énfasis se ha puesto en definir la geología y la estimación de la cantidad y calidad de recursos existentes.

Los datos son recopilados desde diversos programas de muestreo, incluyendo campañas de perforación de sondeos, información de calicatas, etc... obteniendo muestras directas, en forma de detritus, en forma de testigo o en forma de muestras de rocas tomadas en afloramientos. El objetivo de todo este proceso es el de obtener un "inventario" de minerales. Solamente una vez conocido el contenido de mineral presente en el macizo rocoso, junto a la forma del depósito mineral, será posible comenzar la evaluación del proyecto minero, para saber si es rentable la explotación del mismo por métodos mineros. En este aspecto será la "ley de corte", la que establezca qué yacimiento es económicamente explotable y por otro lado habrá que establecer cuál es el método óptimo de explotación.

Para la estimación de los recursos minerales disponibles se pueden distinguir los métodos: los métodos convencionales y los métodos geoestadísticos, además de los basados en estadística clásica.

MÉTODOS BASADOS EN ESTADÍSTICA CLÁSICA

Unos de los métodos de estimación de reservas empleados son aquellos que se basan en el uso de estadística básica para su definición. El uso de estos métodos generalmente está restringido a una estimación global del volumen o ley que comprende el depósito mineral.

Estos métodos se basan en establecer una serie de valores que se asignan como valores medios a un área definida. En este aspecto se usará el cálculo de la varianza como una medida del error de estimación realizado.

Cuando se usan métodos de estadística no espacial es importante que las muestras tomadas sean independientes unas de otras (este aspecto se cumple para muestras aleatorias, por ejemplo). Si la toma de muestras se tomara asumiendo algún conocimiento geológico previo de la estructura mineral, el depósito calculado tendría un sesgo en su definición por estos métodos. En estos casos habría que aplicar este método diferenciando las zonas previamente definidas.

Los datos obtenidos se suelen representar habitualmente en gráficos de distribución de frecuencias (histogramas) y diagramas de dispersión (gráficos de correlación). Las distribuciones se suelen aproximar a distribuciones de tipo gaussiano o lognormal.

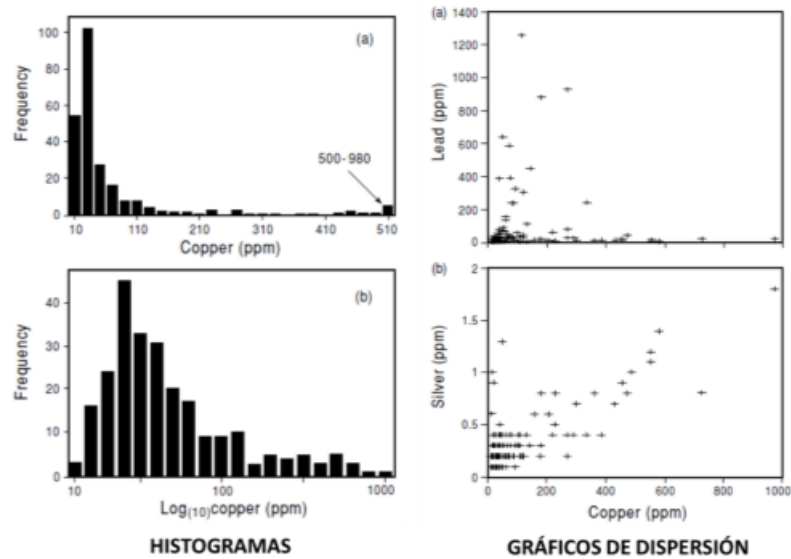


Figura 19. Representación de datos (Moon, 2006)

MÉTODOS CONVENCIONALES

En el cálculo de los recursos o reservas potenciales de un determinado depósito mineral una de las fórmulas ampliamente usadas es: $=A \times Th \times BD$

Donde “T” es cantidad de reservas (en toneladas), “A” es el área de influencia de una sección plana (en km²), “Th” es el espesor del depósito en ese área de influencia (en metros) y “BD” es la densidad del material en el macizo. Ésta densidad incluye el espacio ocupado por los poros. Se obtiene en laboratorio, a partir de muestras de campo.

El área de influencia se obtiene de un plano o sección del depósito geológicamente definido. Los métodos convencionales habitualmente usados son: contornos de espesor, construidos manualmente sobre plano, polígonos, triángulos, secciones o una malla aleatoria.

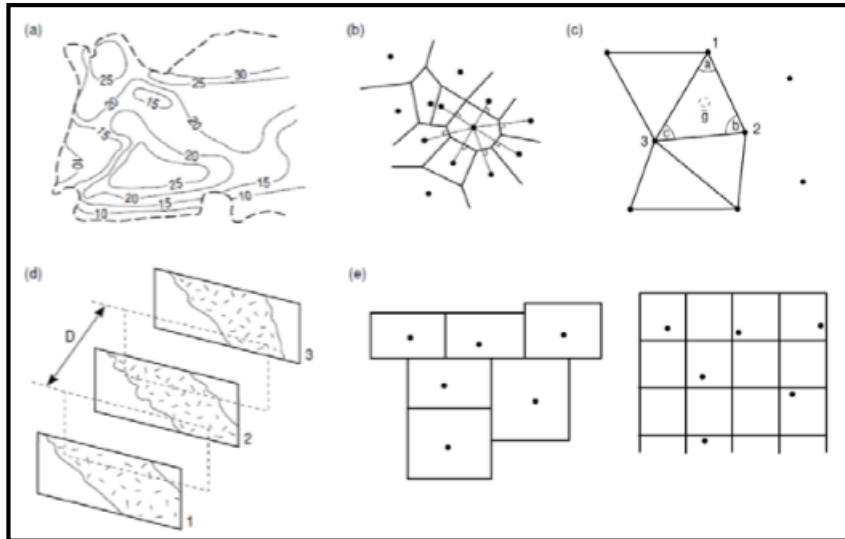


Figura 20. Métodos convencionales de estimación del área de influencia: a) isopacas (curvas de mismo espesor), b) polígonos, c) triángulos, d) secciones, e) malla aleatoria. (Moon, 2006)

La elección de cada método dependerá de la forma, dimensiones y complejidad del depósito mineral y del tipo, dimensiones y patrón de muestreo (malla de muestreo). Estos métodos tienen varios inconvenientes que están relacionados con las hipótesis sobre las que están basados, especialmente el área de influencia de los datos de muestreo y generalmente no tienen en cuenta ninguna correlación de mineralizaciones entre muestras ni cuantifican ningún tipo de error de estimación.

Existen otros métodos englobados como métodos convencionales, como el método del inverso de la distancia, usado principalmente en paquetes de análisis informático.

Estos métodos son ampliamente conocidos, y aplicados en minería con un éxito considerable. Los resultados obtenidos aplicando cada uno de los métodos se deberían contrastar entre sí para obtener un resultado adecuado.

MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

De manera general, se puede decir que los métodos geoestadísticos están basados en que las variables de un depósito mineral (leyes, espesores de la mineralización, etc.) son función del medio geológico. Si cambian la geología y las condiciones estructurales se producen cambios en la ley o calidad del mineral y la distancia entre mineralizaciones o, incluso la potencia dentro de un mismo depósito mineral. Sin embargo, las muestras que son tomadas relativamente próximas tienden a reflejar las mismas condiciones geológicas y tienen similar ley y similar potencia de mineralización.

A medida que la distancia entre muestras crece, la similitud, o grado de correlación, disminuye, hasta que se llega a una distancia en la que no hay correlación entre ellas.

SEMI-VARIOGRAMAS

Los métodos geoestadísticos cuantifican este concepto de variabilidad espacial dentro de un depósito y se muestra en forma de semi-variograma. Una vez calculado ese semi-variograma se tiene que interpretar ajustándolo a un modelo definido. Existen diversos modelos que ayudan a identificar las características del depósito a estudiar.

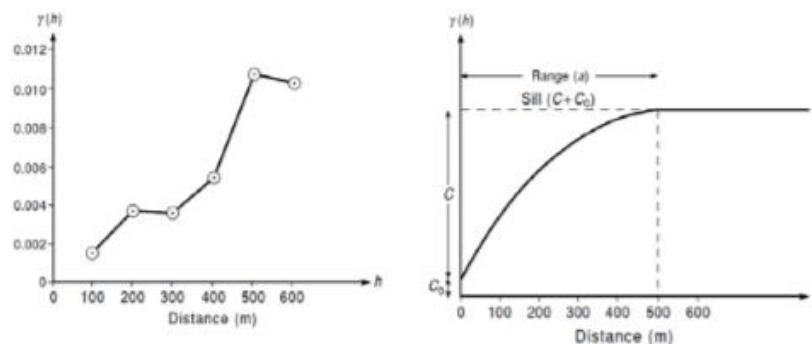


Figura 21. Ejemplo de semi-variogramas: teórica (derecha) y experimental (izquierda) (Moon 2006)

Suele haber habitualmente una discontinuidad cerca del origen, que se denomina “efecto pepita” (C0). Esto es generalmente debido a diferencias entre valores de las muestras, o bien, para el caso de muestras muy cercanas entre sí, como pudieran ser dos mitades de un mismo testigo que puede incluir inexactitudes en el muestreo o en ensayos, y están asociados a errores aleatorios.

En el semi-variograma se observa una zona de gran pendiente que indica un rápido cambio en la variabilidad de los resultados, y una zona donde la pendiente del gráfico se acerca a cero. A partir de ese punto los valores de la muestra son independientes entre sí, y presentan una variabilidad igual a la varianza teórica de las muestras. Es decir, los valores obtenidos de muestras separadas una distancia mayor no muestran ninguna correlación entre sí.

La representación de semi-variogramas tiene un cierto carácter anisotrópico. Es decir, el estudio tiene cierto carácter vectorial, lo que implica que las distancias medidas entre muestras dependen de la dirección que se considere. Esto se acusa en mayor medida, por ejemplo en depósitos de tipo filoniano.

KRIGING

El Kriging es una técnica geoestadística de estimación usada para estimar el valor de un punto o un bloque como una combinación lineal de variables desde muestras normalmente distribuidas en cada bloque. Esta técnica considera una variabilidad de las muestras en la asignación de los pesos de cada una. El Kriging es capaz de medir el error esperado o estimado.

Este método da mayor peso en el cálculo a muestras cercanas entre sí, que a muestras distantes, de modo que se establezca un parámetro para mostrar la continuidad, anisotropía y geometría del depósito mineral.

2.3. Definición de Términos básicos

➤ **Perforación diamantina:**

Es aquella perforación que se hace utilizando una broca diamantada para perforar la roca obteniendo un testigo de la misma, el cual es extraído, registrado y colocado en cajas porta-testigos para debida protección y almacenamiento dentro del almacén de testigos (Coreshak).

➤ **Los sondajes**

Son perforaciones que permiten obtener muestras de dichas zonas a profundidades de hasta 1.200 m para ser estudiadas y analizadas por lo geólogos. Las técnicas más utilizadas actualmente son la perforación con recuperación de testigos o diamantina y la con recuperación de detritos o aire reverso.

➤ **Prospección minera**

Desde el punto de vista geológico, es la etapa en la que se buscan minerales aprovechables en una zona determinada. Las técnicas que se usan están basadas en estudios geológicos, o técnicas basadas en geofísica, geoquímica, etc.

➤ **Exploración minera**

Es la etapa inicial de la actividad minera, consiste en identificar las zonas por donde se ubican los yacimientos de minerales que luego - dependiendo de su dimensión y composición - serán explotados en un proyecto minero.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La propuesta de exploración geológica en la zona Esperanza determina el incremento de reservas de la Mina Raura.

2.4.2 Hipótesis específicas

1. Las características geológicas de la mineralización determinan el incremento de reservas del yacimiento.
2. Los controles estructurales de la mineralización determinan el incremento de reservas del yacimiento.
3. Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos de la mineralización determinan el incremento de reservas mineralizadas.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Independiente

La propuesta de la exploración geológica en la zona Esperanza.

2.5.2. Variable Dependiente

Incremento de reservas mineralizadas de la mina Raura

2.5.3. Variable Interviniente

- Leyes de muestreo

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Se determinara como parámetros de propuesta de exploración geológica, de acuerdo a los valores de exploración en profundidad de la estructura mineralizada Esperanza, con la finalidad de conocer su comportamiento geológico e incrementar reservas mineralizadas en la Mina Raura.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es descriptivo y correlacional.

Se describirá todas las características geológicas y estructurales con las respectivas posibilidades económicas que ofrece la estructura mineralizada Esperanza.

3.2. Métodos de Investigación

Para el presente trabajo de investigación se ha requerido básicamente del análisis muy detallado de la base teórica y antecedentes del depósito, los cuales ayudaron en el entendimiento de la mineralización, la parte más importante consistió en aplicar los conocimientos y técnicas modernas que nos ayudaron a entender por qué se debe realizar una prospección geológica.

1. Método de Logueo Geológico

Se tomarán fotografías, RQD, muestreo de densidad, y muestreo de cores, todos estos procedimientos que se realiza de acuerdo a los protocolos, cumpliendo con los estándares que se demanda.

2. Petrografía.

Se realizara la descripción macroscópica y microscópica de los diferentes tipos de roca que se encuentran en el yacimiento.

3.3. Diseño de la investigación

Se revisarán los trabajos realizados con anterioridad de la zona de estudio, así también se tomarán datos de campo sobre los trabajos geológicos para analizar sus características en la zona de estudio.

3.4. Población y muestra

Se tomaron los afloramientos de la estructura mineralizada Esperanza.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En base al cartografiado geológico existente se identificarán la zona de interés, en donde se realizará cartografiado a detalle, selección y toma de datos y muestras.

- Se realizara columnas estratigráficas para diferenciar las facies litológicas y mineralógicas.
- Registro y codificación de datos.
- Para seleccionar los diferentes datos y muestras, se recolectaran muestras de roca, tanto de superficie como de los diferentes sondajes DDH; la recolección estará orientada a las zonas de interés.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

- Ejecución de estudios de geología estructural, mineralogía, que nos servirá para determinar la propuesta de exploración para el incremento de recursos minerales en el yacimiento.
- Técnicas Analíticas e Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo.

3.7. Tratamiento Estadístico

Se aplicó estadística inductiva, debido a que a partir del conocimiento derivado de unas muestras se pretende caracterizar la población. Así como la estadística descriptiva por referirse a la recolección, presentación, descripción, análisis e interpretación de una colección de datos de muestras recolectadas en el terreno, en esencia consiste en resumir estos con uno o dos elementos de información (medidas descriptivas) que caracterizan la totalidad de los mismos.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación:

Una vez planteada la hipótesis, el mismo fue validado mediante la caracterización geológica de la mineralización, donde se observa el resultado obtenido de cada muestreo y los respectivos cálculos.

De acuerdo a las variables a describir: controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos de la mineralización, se ejecutaron siguiendo los estándares del **código de JORC**. (El Código de Australasia para la presentación de informes de resultados de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena)

3.9. Orientación ética:

. La investigación cumple con los estándares de comportamiento ético esperado, como normas éticas se consideró:

- El cuidado y protección de las personas, medio ambiente y la propiedad durante el desarrollo del trabajo de investigación.
- La información recabada de otros autores es citada, respetando la propiedad de los mismos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. UBICACIÓN

La mina Raura se encuentra ubicado entre:

- Departamento de Huánuco (Provincia de Lauricocha, distrito de San Miguel de Cauri),
- Departamento Lima (Provincia y distrito de Oyón)
- Departamento Pasco (Provincia Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca),

Tiene una altura promedio de 4,700 m.s.n.m.

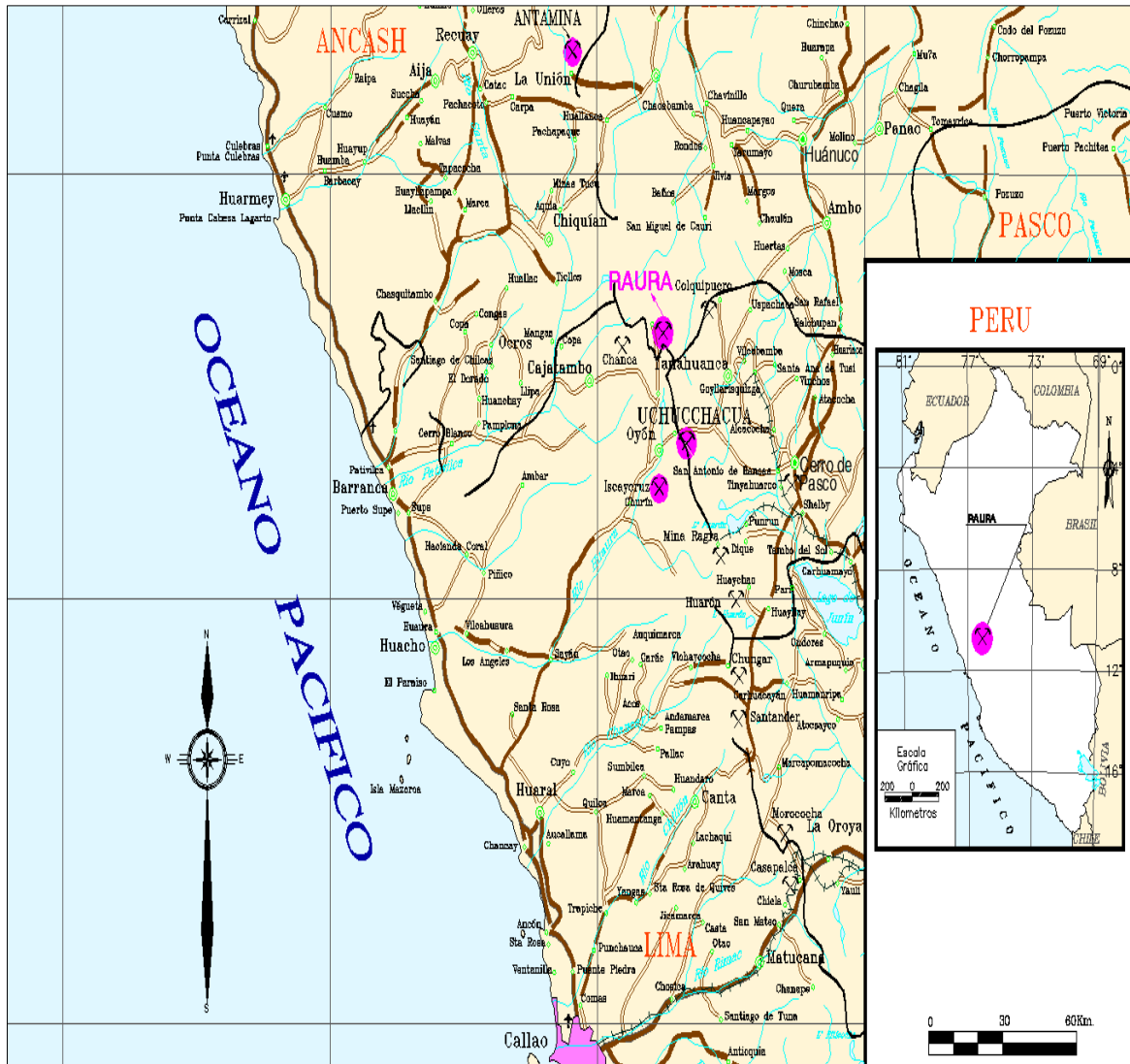


Figura 22. Plano de ubicación Yacimiento Minero Raura.

4.1.2. ACCESIBILIDAD

El yacimiento minero Raura es accesible por una ruta de 415 Km la cual se indica a continuación:

| TRAMO | Km | TIPO DE ACCESO | CONDICIONES |
|--------------|-----|----------------|-------------|
| LIMA- HUACHO | 170 | ASFALTADA | MUY BUENA |
| HUACHO-SAYAN | 50 | ASFALTADA | BUENA |
| SAYAN-CHURIN | 61 | AFIRMADA | REGULAR |
| CHURIN-OYON | 74 | ASFALTADA | BUENA |
| OYON – RAURA | 60 | AFIRMADA | BUENA |

Vías de acceso Yacimiento Minero Raura.

4.1.3. CLIMA

Existen dos ciclos climáticos claramente diferenciados, los cuales se desarrollan a lo largo del año y constan de:

- Seis meses de intensas precipitaciones fluviales correspondientes al verano austral, comprendidos entre los meses de Noviembre a Abril.
- Seis meses de Verano, comprendidos entre los meses de Mayo a Octubre.

La temperatura en la estación de verano varía de 3° a 20° C y en invierno de -4°C a 14°C, la velocidad de los vientos alcanza los 45 Km/h en el mes de Agosto. Dependiendo de la época del año, la temperatura suele variar de acuerdo a la estación.

4.4. GEOMORFOLOGÍA

El yacimiento minero Raura se encuentra enmarcado dentro la cadena montañosa perteneciente a la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, las rocas calcáreas muestran el labrado de los circos glaciares que corresponden a la sub cuenca del Marañón. Los glaciares se encuentran confinados en las partes altas bajo la forma de lenguas de retroceso en las diversas circos y en los casquetes que cubren los picos terminales. En las partes bajas se encuentran extensos depósitos de morrenas.

El relieve de la zona es extremadamente abrupto y accidentado con grandes escarpados y fuertes pendientes del orden de 50 a 60°. En las zonas existen terrazas ligeramente onduladas ubicadas en desniveles importantes de aproximadamente 50 a 100 m. Las áreas planas están

cubiertas en su mayor parte por lagunas y bofedales, las cuales exhiben en sus orillas los frentes de retroceso de los glaciares.

4.1.5. VEGETACIÓN Y FLORA.

Existen un total de cinco tipos de vegetación: pajonal (alto y bajo), bofedal, vegetación de roquedal, matorral y vegetación acuática, siendo el pajonal el tipo de vegetación que alberga el mayor número de especies. Asimismo, se han identificado siete especies endémicas y seis especies amenazadas. La composición de especies y familias vegetales que se registra en el área es típica de las zonas alto andinas del Perú, no registrándose variaciones marcadas a lo largo del tiempo. Sin embargo, se reporta una disminución de la cobertura vegetal de algunas especies, relacionada con el régimen de quema realizado por parte de los pobladores locales.



Imagen 07. Vegetación tipo pajonal bajo.

4.1.6. GEOLOGIA REGIONAL

El entorno geológico regional perteneciente al yacimiento minero Raura involucra diferentes ambientes de deposición y posterior formación de rocas sedimentarias dentro las cuencas de tras arco del Cretáceo superior al Paleógeno inferior. En muchos sectores la cobertura volcánica forma parte de la paleosuperficie generada durante el Paleógeno superior.

La serie sedimentaria de edad Cretácica superior está compuesta en la parte inferior por rocas clásticas tales como areniscas, areniscas silíceas, lutitas, etc. a excepción de la formación Santa que consta de calizas. La parte superior de edad Paleógeno inferior consiste en una secuencia de rocas calcáreas y algo de lutitas bituminosas. Las rocas clásticas en el área están representadas por las formaciones Chimú, Carhuaz y Farrat y la secuencia calcárea por las formaciones Santa, Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín. La Formación Jumasha es el metalotecto más importante en la región, la misma que se expone ampliamente como una potente secuencia sedimentaria entre las minas Uchucchacua y Raura. Estas formaciones en los alrededores están intruidas por rocas ígneas de composición granítica, tonalítica, y monzonita.

Estructuralmente el área está situada en la zona de plegamiento y sobre escurrimiento. Durante la Orogenia Andina, la secuencia sedimentaria ha sido intensamente plegada principalmente en dirección N 20°W y 75° a 80° SE. Los anticlinales y sinclinales se extienden a lo largo de

varias decenas de kilómetros, intercalándose con zonas de sobre escurrimiento paralelas al eje principal.

4.1.7. ESTRATIGRAFIA

Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

En el sector oriental sobre el Bloque del Maraón se encuentra una secuencia de areniscas blancas friables de grano medio a grueso, en parte algo conglomerádicas con intercalaciones muy delgadas de limo arcillitas grises. En tal secuencia, abunda la estratificación sesgada; también algunas capas que se parten en lajas, y pueden notarse capas de lutitas grises. En la parte inferior, se observa siempre areniscas en capas macizas. El grosor promedio es de 500 m, dicha secuencia representa el equivalente de las cuatro formaciones que se han cartografiado hacia el Oeste, y se le considera como Grupo Goyllarisquizga indiviso debido a que sus unidades no son cartografiables a escala regional. El Grupo Goyllarisquizga aflora exclusivamente en el Bloque del Maraón y constituye la base de la secuencia del Cretáceo en aquella zona. Descansa directamente sobre todas las formaciones infrayacentes que incluyen a los esquistos del Complejo del Maraón, areniscas de Ambo, Grupos Mitu y Pucará. El Grupo Goyllarisquizga consiste de areniscas blancas friables de 500 m, con miembros de estratificación cruzada de 2 m de grosor; partes de la formación están en capas más delgadas y en lajas y pueden tener lutitas interstratificadas. La parte inferior de la unidad contiene los miembros de arenisca más maciza. Algunas veces, el carbón está presente en la parte inferior de la unidad, pero no ha sido observado en

el área cartografiada. Ocasionalmente se encuentran delgados horizontes de calizas de 1 m de grosor en la parte superior de la formación.

Formación Chimú (ki-ch)

La formación Chimú aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio que varía desde los 500 y 700 m. Litológicamente la formación consiste de una ortocuarcita de grano medio, la que sin embargo ha sido recristalizada, teniendo en muestra de mano el aspecto general de una cuarcita metamórfica. Dentro de las capas arcillosas transicionales a la formación subyacente aparecen lechos de carbón, siendo difícil mapear el contacto entre las dos unidades.

Formación Santa (Ki-s)

La formación Santa aflora en el sector de Churin, y posee un espesor de 150 m. Litológicamente la formación consiste de calizas azul o gris finamente estratificadas, con algunos horizontes de calizas arcillosas, ocasionales nódulos de chert aplanados y abundantes fragmentos de conchas.

Formación Carhuaz (ki-c)

La formación Carhuaz aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio de 600 m. Litológicamente, la formación consiste de lutitas y areniscas que por intemperismo presentan una coloración marrón o marrón amarillenta. Suelen presentarse algunos horizontes de areniscas más o menos prominentes, similares en litología y color a los de la formación Chimú.

Formación Farrat (Ki-f)

La formación Farrat aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio que varía desde los 20 a 50 m. Litológicamente, la formación consiste de areniscas de color blanco y ocasionalmente poseen manchas rojas y amarillas. Con frecuencia son deleznable y cuando se presentan masivas tienen un grosor mayor que el normal.

Formación Pariahuanca (Ki-ph)

La Formación Pariahuanca infrayace en relación concordante a la Formación Chúlec. Consiste típicamente de calizas macizas de cierto color gris azulado en estratos de 1 a 2 m de grosor. Algunas veces presenta una ligera apariencia lajosa y cuando esto sucede superficialmente puede asemejarse a las calizas Santa. En la mayor parte de los Andes Centrales, el grosor de la formación es 100 m, Dunin Borkowski (1975) menciona un grosor mayor de 400 m en la zona de la Cordillera de Huayhuash. Se observa un adelgazamiento paulatino hacia el Este, de manera que sobre el Bloque del Marañón no es cartografiable.

Formación Chulec (Ki-ch)

La Formación Chúlec igualmente al Este de la Cordillera Blanca y sobre el Bloque del Marañón descansa concordantemente sobre el Grupo Goyllarisquizga. En ambas áreas tiene un grosor uniformemente regular de 100 m, aunque en la región de la Cordillera de Huayhuash disminuye a no menos de 50 m. Esto es opuesto a lo observado en las demás formaciones, las cuales tienden a engrosar en la parte central.

Litológicamente la formación consiste de una mezcla de calizas y margas. Las calizas son macizas con costras amarillas alteradas en capas de 1 m de espesor que están separadas por margas cremas y grises que se encuentran en estratos de 10 a 20 m de grosor. La formación es de un color amarillo crema terrosa que es muy característico y sirve de gran ayuda para el cartografiado geológico; sin embargo, su representación en los planos geológicos a escala regional no es posible por su reducido grosor, por tal motivo, se le ha registrado conjuntamente con la Formación Pariatambo.

Formación Pariatambo (Ki-pt)

La Formación Pariatambo consiste principalmente de margas marrón oscuras que tienen un olor fétido en superficie de fractura fresca, calizas marrón oscuro en lajas delgadas que sobresalen como miembros resistentes. Usualmente una banda de calizas es separada por 10 m de margas. Son frecuentes las intercalaciones de calizas en estratos delgados con limoarcillitas calcáreas gris oscuras que contienen restos de ammonites.

PALEOGENO

Formación Jumasha (Ks-j)

La Formación Jumasha aflora dentro de la cuenca Chavín (miogeosinclinal) y sobre el Bloque del Maraón sobreyace concordantemente a la Formación Pariatambo y subyace concordantemente a la Formación Celendín. El grosor completo sólo se puede observar en el sector del Maraón donde alcanza 700 m, un grosor mayor podría corresponder a la cuenca entre el Maraón y la

Cordillera Blanca, pero la parte superior siempre se encuentra erosionada. En esta zona probablemente el grosor excede los 1,000 m. En general, la Formación Jumasha presenta una litología de estratificación regularmente maciza de calizas grises en estratos de 1 a 2 m. En algunos lugares puede ser una secuencia lajosa de calizas oscuras hacia la base comparable con la Formación Pariatambo, de la cual está siempre separada, al menos por 100 m de calizas macizas. Las calizas de la Formación Jumasha constituyen una de las unidades más importantes y características en los Andes Centrales y en la zona de la cuenca occidental peruana. Se conserva en los núcleos de los sinclinales y forman cadenas de elevaciones muy conspicuas, tal como la Cordillera de Huayhuash. Sobre el Bloque del Marañón se muestra o expone en pliegues anticlinales y sinclinales. Las calizas de esta unidad se describen como micritas y biomicritas con una buena proporción de material limo arcilloso.

Formación Celendín

Esta unidad sobreyace concordantemente a la Formación Jumasha e infrayace a la Formación Casapalca estableciéndose un pase rápido de una secuencia netamente marina a las capas rojas continentales. Dentro del área cartografiada, mantiene un espesor regularmente constante de 500 m y solamente aflora al Este de la falla Chonta sobre el Bloque del Marañón, aunque es probable que haya sido depositada más hacia el Oeste a lo largo del eje de mayor acumulación de la cuenca Chavín (miogeosinclinal), donde ha sido subsecuentemente removida por una combinación de factores estructurales y erosionales.

A la Formación Celendín se le encuentra en los núcleos de sinclinales de rumbo NO-SE que se alternan en una franja de 24 km de ancho ubicada entre la Cordillera de Raura y Yanahuanca en la parte sur y entre Huallanca y La Unión en el cuadrángulo homónimo. La formación consiste de calizas margosas nodulares, pobremente estratificadas, algo homogéneas las cuales contienen abundantes fósiles, los que alteran a un color amarillo grisáceo semejante a la Formación Chúlec. Se intercalan con las calizas, estratos de limoarcillitas grises y margas las que en general dan lugar a una morfología moderada a suave con abundante cobertura de suelos.

DEPOSITOS CUATERNARIOS

Depósitos Morrénicos

Se encuentran distribuidos mayormente en las partes más profundas del valles glaciares. Los depósitos morrénicos están constituidos por clastos de rocas pequeñas, limos y arcillas producto del resultado de la glaciación pleistocénica, por lo general en estas zonas se encuentran bofedales.

Depósitos Coluviales

Los depósitos coluviales, son originados producto del resultado por gravedad de las partes altas de las montañas y de la glaciación pleistocénica; están constituidos por bloques y clastos de rocas, escasamente limos arcillosos. Estos depósitos muestran una morfología de lomadas y colinas de cumbres redondeadas.

STOCKS GRANÍTICOS

Granodiorita (T-gdi)

Sus afloramientos principales se encuentran al Sureste de la garita Santa Rosa, al Este y Norte de la Laguna Putusay Alto, al Noreste y Noroeste de la Laguna Brazzini, la tendencia de la dirección del stock es N-NW, de acuerdo al control estructural. El stock de granodiorita en el área de estudio se trata de un cuerpo intrusivo de grano medio a fino holocristalino, equigranular con tonalidad gris clara se presenta fresco y alterado en los contactos con los intrusivos posteriores (cuarzomonzonita y pórfido dacita). Denota haber formado y generado una aureola metamórfica principalmente de skarn y mármol en las calizas. Este cuerpo intrusivo está compuesto por una pasta silicea, con minerales de cuarzo 20-35%, ortosa 5%, plagioclasas 15-20%, hornblenda (25%) junto a la biotita (10%-15%) débilmente cloritizada, este intrusivo cuando se encuentra próximo y cercano al contacto con la cuarzomonzonita se encuentra cortado con venillas de cuarzo y diques de cuarzomonzonita, asimismo se observa algunas biotitas secundarias (Fotos N° 1, 2). Aflora de manera predominante con “raíces” profundas que probablemente vienen del cuerpo central del distrito minero de Raura.

Cuarzomonzonita (T-qzmz)

El afloramiento principal se encuentra entre la laguna Putusay Alto por el Sur y la Falla – Veta Brunilda por el Norte, con una tendencia de la dirección del stock N-S. Presenta textura granular porfirítica no muy clara entre sus componentes se observa una pasta de grano medio equigranular, sus fenocristales están compuestos por ojos de cuarzo en un 20-30%, plagioclasas 25-35%, ortosa 25-35%, biotita 10-15%. En los

contactos de esta cuarzomonzonita se observan presencia de xenolitos de granodiorita (Foto N° 9), por lo que se interpreta que son intrusiones posteriores a la granodiorita, y cuando esta cuarzomonzonita se encuentra en contacto con los intrusivos subvolcánicos pórfido dacita se observa venillas de cuarzo y alteraciones argílica – propilitica, interpretándose que son anteriores a los pórfido dacita. Al Sur y Sureste de la laguna Brazzini en los clastos de las brechas volcánicas (Volcánico Raura 1) se observa débil a moderada skarnización, que podrían ser producto de este intrusivo en contacto con las rocas calcáreas que se encuentran en profundidad.

STOCKS PORFÍDITICOS

Pórfido Dacita 1 (T-pda)

Los afloramientos principales de este stock se encuentran al Norte de la laguna Putusay Alto y al Noroeste de la laguna Putusay Bajo. Presenta una textura granular porfirítica no muy clara entre sus componentes se observa una pasta o matriz de grano medio a fino constituido principalmente por cuarzo con fuerte silicificación y disseminación de pirita, esta pasta ocupa un 40-50% del total de la roca, sus fenocristales están compuestos por ojos de cuarzo en un 10-15%, plagioclasas 15-25%. Este stock en contacto con los intrusivos anteriores se observa asimilaciones de roca, la presencia de disseminación de pirita en la matriz es posible que se trate de la interacción química entre el azufre de este intrusivo con el fierro producto de los minerales ferromagnesianos de los intrusivos anteriores (Ver Fotos N° 5, 6). Al Sur y Oeste de la laguna Putusay Bajo se

observa diques de este pórfido dacita dentro y en contacto con las brechas volcánicas (Volcánico Raura 1), y marmolización con débil skarnización en contacto con las rocas calcáreas. Finalmente se interpreta que este intrusivo es posterior a los anteriores (granodiorita, cuarzomonzonita) y posterior a las brechas volcánicas del Volcánico Raura 1; asimismo este intrusivo en contacto directo con las rocas calcáreas de la Formación Jumasha da origen a la skarnización.

Pórfido Dacita 2 (T-poda)

El afloramiento principal se encuentra en el Norte del área de estudio, al Sureste del Tajo abierto primavera, entre las fallas Brunilda y Puyhuancocha. Presenta una textura granular porfirítica no muy clara entre sus componentes se observa una pasta o matriz de grano medio a fino constituido principalmente por cuarzo con silicificación y argilización con débil diseminación de pirita, esta pasta ocupa un 40-50% del total de la roca, sus fenocristales están compuestos por ojos de cuarzo en un 10-15%, plagioclasas 15-20, biotita 5-10%. Este stock cercanos al contacto con los intrusivos granodiorita y cuarzomonzonita se observa asimilaciones de roca, a manera de xenolitos y brechas de intrusión, asimismo se tiene asimilación de bloques de endoskarn, este intrusivo es posible que origina alteraciones argílica y propilitica en la cuarzomonzonita y propilitica con calcosilicatos en la granodiorita; el contacto con las dacitas del Volcánico Raura 2 es difuso. Finalmente se interpreta que este intrusivo es posterior a los anteriores (granodiorita, cuarzomonzonita) y anterior al intrusivo Pórfido cuarzomonzonita,

posiblemente de la misma edad con el intrusivo subvolcanico pódrido dacita 1.

Dique de Dacita (T-dda)

Los afloramientos de diques que se encuentran entre la Falla Quichas, Falla-veta Farallón y el sistema de vetas Victorias. Presentan una textura granular microporfirítica equigranular, entre sus componentes se observa una pasta de grano fino fuertemente silicificado, con pequeños ojos de cuarzo y fenocristales de plagioclasa. Estos diques en contacto con las rocas calcáreas dan origen a la skarnización, y se encuentran cortados por venillas de cuarzo como es el caso del dique que se observa al Este de la Veta Victoria Norte, interpretándose que tendrían una relación con fluidos hidrotermales y mineralización polimetálica.

Dique de Cuarzomonzonita (T-dqzmz)

Afloramientos pequeños de estos diques se encuentran al Noroeste de la Laguna Brazzini. Presentan una textura granular de grano grueso (equigranular), entre sus componentes se observa cuarzo 25%, ortosa 30%, plagioclasa 30%, ferromagnesianos 15%. Estos diques se encuentran cortando a los intrusivos granodiorita, cuarzomonzonita y al Volcánico Raura 1; algunos de ellos se presentan como “Dique de guijarros” (pebble dike) con fragmentos redondeados de granodiorita y cuarzomonzonita de grano medio, soportados por matriz de cuarzomonzonita de grano grueso (Foto N° 07). Por las evidencias que se muestran en esta zona (Noroeste de la Laguna Brazzini) nace una hipótesis que este sector sería un centro de varios eventos de intrusión

que aprovecharía la debilidad estructural de la intersección de las Fallas Restauradora con Brazzini.

Conexiones volcánicas

Sistemas Pórfido Cu pueden ser espacialmente asociados con comagmático, calco-alcalina o, menos comúnmente, volcánica alcalina rocas, por lo general de intermedia a félsicos composición (Sillitoe, 1973), que generalmente se estalló subaerially 0,5 a 3 mi antes de la existencia de intrusos y la mineralización, así documento mentado en el Bingham (Waite et al., 1997), Farallón Negro, Argentina (Sasso y Clark, 1998; halter et al., 2004), Yer-ton (Dilles y Wright, 1988; Dilles y Proffett, 1995), Tampakan, Filipinas (Rohrlach y Loucks, 2005), y Distritos Yanacocha (Longo y Teal, 2005). Sin embargo, el erosión involucrado en el unroofing de los depósitos de pórfidos de Cu También degrada gravemente formaciones volcánicas (por ejemplo, Farallón Negro distrito) y, comúnmente, elimina por completo el eruptiva productos, al menos en las proximidades generales de los depósitos sí mismos. Sin embargo, en algunas localidades, incluyendo la superficialmente formada Marte pórfido Au depósito, el norte de Chile (Vila et al., 1991), un estratovolcán andesítico comagmatic todavía parcialmente conservado, incluyendo partes de su sin modificar menor laderas deposicionales (o planèze). A pesar de su menor potencial de conservación, menor volumen Encuentre un Centro volcánica complejos de flujo de cúpula y sistemas maar-diatrema (por ejemplo, Distrito Mankayan, Filipinas y Grasberg; Sillitoe y An-geles, 1985; MacDonald y Arnold, 1994; I. Kavalieris, com. commun, 1999): puede

todavía ser también reconocible en la superficialidad bajas de los sistemas de pórfidos de Cu. Geoformas volcánicas son observados viamente aún mejor conservado en la alta sulfida- menos profunda entorno de la epitermal arriba depósitos de pórfidos de Cu (Por ejemplo, los complejos de flujo de cúpula en Yanacocha; Turner, 1999; Longo y Teal, 2005).

Catastróficamente vulcanismo explosivo, particularmente ash-flujo la formación de la caldera, es normalmente incompatible con síncrona pórfido Cu y Au epitermal suprayacente depósito de formación, porque volátiles magmáticas se disipan durante la vo-erupciones piroclásticas luminosos en lugar de ser retenida y centrado de modo que favorezcan a la formación de mineral (Sillitoe, 1980; Pasteris, 1996; Cloos, 2001; Richards, 2005). Neverthe- menos, calderas pueden influir en la localización de más tarde, genéticamente sistemas de pórfidos de Cu sin relación camente (por ejemplo, El Salvador, norte-Chile ern; Cornejo et al., 1997).

Hay una fuerte sugerencia de que el vulcanismo comagmatico puede ser inhibida en algunos de los principales cinturones de Cu pórfido como resultado de sus característicos ajustes tectónicos contraccionales, como en el mediados del Eoceno al Oligoceno temprano cinturón del norte de Chile, BE- causa de la tendencia de acumulación de magma en el subsuelo la ausencia de ampliamente desarrollado fallamiento extensional (Mpodozis y Ramos, 1990). La misma situación también es AP-padres en varios epitermal de alta sulfuración gigante Au de-postula generados en la corteza engrosada durante levantamiento tectónico,

tales como Pascua-Lama y Veladero, el norte de Chile y Argentina, donde la casi ausencia de volcanismo contemporáneo es más seguro (Bissig et al, 2001;.. Charchaflié et al, 2007), dado el nivel de erosión mucho más superficial, incluyendo preservación paleosuperficial (ver más abajo).

FORMACIÓN DE DIATREMAS

Brechas Volcánicas (T-bx)

Adicional a las subdivisiones de las rocas volcánicas que se realizó en los anteriores acápite, se diferencian áreas de brechas volcánicas asociados a posibles “cuellos volcánicos” y/o “diatremas”. El posible afloramiento de una Diatrema se infiere que se encuentra en el Sureste de la Garita Santa Rosa, en las partes altas del cerro que se encuentra entre las vetas Victorias– Farallón con las Vetas Celia Lucia, en este sector las brechas son polimícticas presentan clastos subredondeados de caliza, mármol y de rocas volcánicas de diferente composición (dacitas y andesitas? porfiríticas), Ver Foto N° 04 similares a estas brechas se encuentran grandes bloques como depósitos cuaternarios al Norte de la Laguna Putusay Alto y Falla Brazzini, el que nos lleva a inferir que pueden ser producto de una explosión volcánica. Al Sur de la Garita Santa Rosa (300 mts.) se encuentra afloramientos de Brechas volcánicas polimícticas con clastos subredondeados a subangulosos de mármol, skarn (exoskarn), con una matriz fuertemente silicificada de posible composición riódacítica. Al Sureste de la Laguna Putusay Bajo se encuentran afloramientos de Cuello de Brecha, con clastos polimicticos de rocas volcánicas, calizas, mármol e intrusivo de posible

composición granodiorítica y matriz fuertemente silicificada, los afloramientos de brechas tienen buzamientos verticales con las paredes inclinados hacia adentro que tienen la forma de embudo, estas se encuentran en contacto directo con las calizas de la Formación Jumasha (Miembro 2); la forma que presentan estas brechas hacen inferir que son remanentes de un cuello volcánico que puede estar ubicado al Este de la Laguna Putusay Bajo cubierto por depósitos cuaternarios.

Considerando el Complejo de Brechas del Suroeste del Tajo Primavera, se puede inferir que el intrusivo Pórfido Cuarzomonzonita (Posible mineralizador) aprovecharía la debilidad de un gran “cuello volcánico” para su cristalización. Con esta referencia se infiere una correlación similar que por debajo de los cuerpos de brecha que se encuentran entre las Vetas Victorias con la Laguna Putusay Bajo, posiblemente estén asociados a sistemas de intrusiones porfídicos.

VULCANISMO

Volcánico Raura 1 (T-vr1)

Estas rocas afloran en el sector Sur del área que corresponde al proyecto, entre las lagunas de Brazzini, Putusay Alto y al Oeste de la Laguna Putusay Bajo. Esta unidad está constituido por brechas volcánicas polimícticas con clastos subredondeados de caliza, mármol, skarn, cuarcita y posible granodiorita; la matriz es de textura vesicular, de posible composición dacita fuertemente silicificada, en algunas áreas con escasa disseminación de pirita.

Algunos clastos de estas brechas volcánicas al Oeste de la laguna Brazzini y sector Este de Jimena presentan una skarnización posiblemente de protolito granodiorita; al Suroeste de la laguna Putusay Bajo, se observa algunos clastos de caliza que dan una apariencia a la Formación Pariatambo y cuarcitas posiblemente de la Formación Chimú, el cual nos puede llevar a interpretar que estas rocas volcánicas son de profundidad en este sector.

El origen de estas brechas volcánicas son asociados a una debilidad estructural que sería la Falla Restauradora, el mismo que se encuentra entre el contacto de las calizas con el intrusivo granodiorita; por las evidencias geológicas en campo estas rocas volcánicas son posteriores a la granodiorita y anteriores a la cuarzomonzonita y al Pórfido dacita que se encuentra en este sector.

Volcánico Raura 2 (T-vr2)

Estas rocas se encuentran en el sector central del área que corresponde al proyecto, al Norte de la laguna Putusay Bajo, en los alrededores de la Garita Santa Rosa y en la zona de Brunilda - Tajo Grety. Esta unidad está constituido por flujos lávicos de posible composición dacítica con matriz fuertemente silicificada el cual altera la textura original de la roca dificultando el diagnóstico del protolito, en algunos sectores débil diseminación de pirita, dentro de la matriz se observa la presencia de líticos posiblemente de rocas intrusivas y volcánicas anteriores a esta unidad.

Estas rocas volcánicas posiblemente pueden ser posteriores a los intrusivos granodiorita, cuarzomonzonita y una posible contemporaneidad con el intrusivo subvolcanico pórfido dacita.

Volcánico Raura 3 (T-vr3)

Estas rocas se encuentra abarcando el sector Este del área de estudio, en los sectores denominados Puyhuancocha, Victorias y Farallón; esta unidad se encuentra sobreyaciendo a las dacitas silicificadas del Volcánico Raura 2, litológicamente esta unidad está constituido por flujos lávicos que presentan pseudoestratificación de posible composición dacítico y riodacitico fuertemente silicificado, el cual altera la textura original de la roca dificultando el diagnóstico del protolito. Los líticos que contiene esta roca son clastos subredondeados a subangulosos de caliza y mármol, el tamaño de los clastos son de mayor dimensión (hasta 3 m de diámetro) que se encuentran próximos a la zona de Farallón y se observa la disminución gradual en el tamaño de los clastos con dirección al Norte hacia los Sectores de Puyhuancocha y Puyhuanmina, donde se encuentran sobreyaciendo en discordancia angular a las calizas de la Formación Jumasha (Miembro 3).

Por las descripciones que se indican en el párrafo anterior es posible que estos volcánicos tengan como centro de erupción en la zona de brechas volcánicas que se encuentra entre las Vetas Lucia y Farallón.

Volcánico Raura Indiviso (T-vr)

Se denominan de esta manera a las rocas volcánicas que no fueron objeto de mapeo en el presente estudio, se encuentran situados al

Norte de la malla geoquímica en los alrededores de Raura Pata. De acuerdo a las revisiones bibliográficas de trabajos anteriores estas rocas son de composición dacítica y riódacítica, con las observaciones preliminares de campo las rocas del sector Este de Raura Pata podrían ser correlacionables con el Volcánico Raura 3.



Imagen 08. Vista Frontal (E-W), Volcánicos Raura

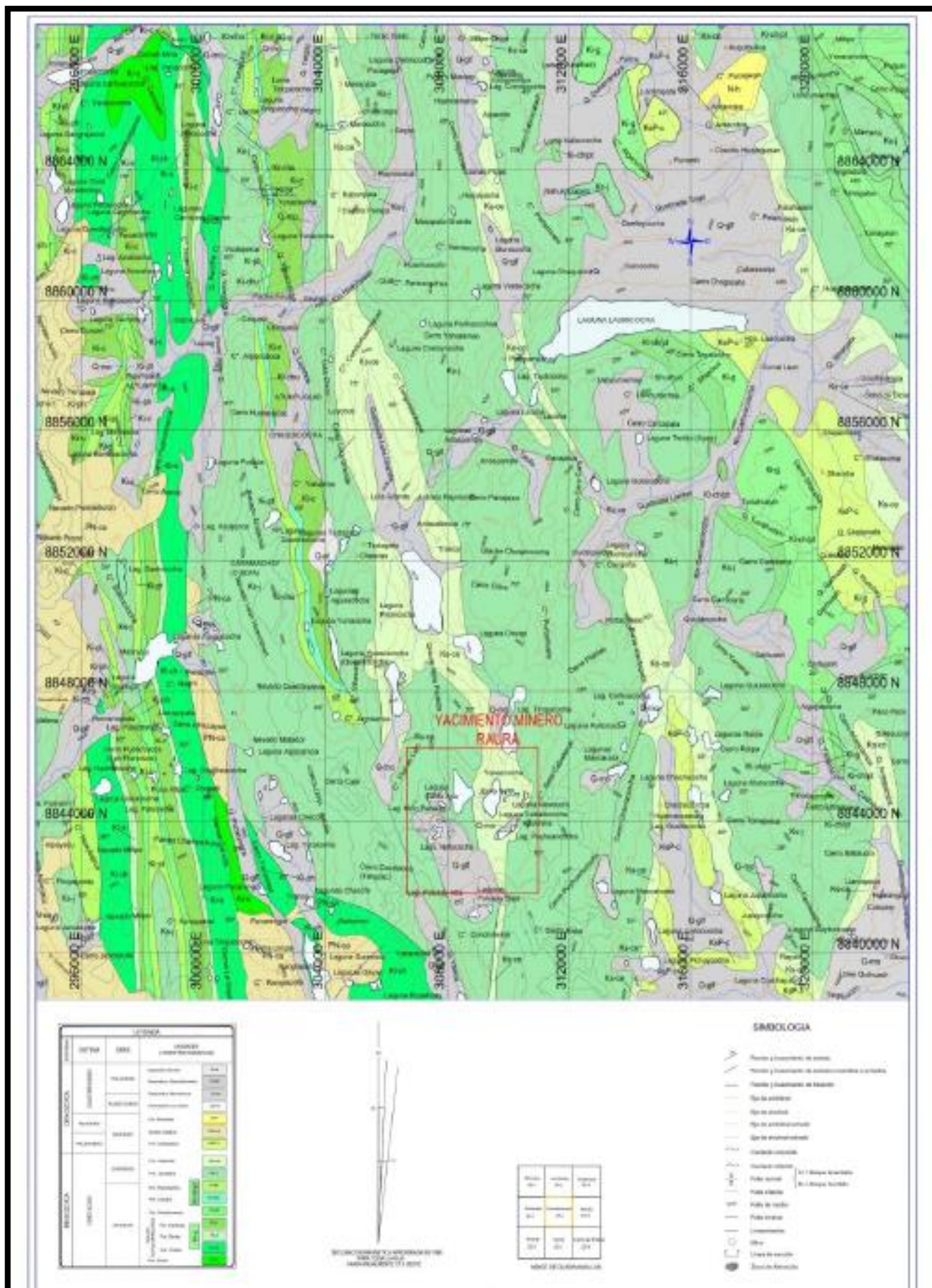


Figura 23. Plano Geológico Regional.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA REGIONAL

| EON | | ERA | | | | | | | | | | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS | GROSOR (m) | COLUMNA ESTRATIGRÁFICA ZONA DE CORDILLERAS |
|-------------|--|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|------------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,6 | | 65 | | | | | | | | | | Dep. Aluvial | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| FANEROZOICO | | CENOZOICO | | | | | | | | | | Dep. Glaciofluviales | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MESOZOICO | | CRETACEO | | | | | | | | | | Dep. Morrénicos | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| NEOGEN | | PALEOGENO | | | | | | | | | | Fm. La Union | 200 | ▽▽▽▽▽▽ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | EOCENO | | | | | | | | | | Fm. Huayllay | 500 | ▽▽▽▽▽▽ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| OLIGOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Gpo. Calipuy | 1200 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| EOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Casapalca | 1400 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| OLIGOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Celendin | 100 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| PALEOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Jumasha | 800 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Pariatambo | 100 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Chulec | 305 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Pariahuanca | 100 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Grupo Goyllar | 500 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Santa | 305 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Chimú | 400 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| MIOCENO | | MIOCENO | | | | | | | | | | Fm. Oyon | 400 | △△△△△△ |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 24. Columna Estratigráfica Regional.

4.1.8. GEOLOGÍA LOCAL

Unidades Estratigráficas

- Formación Jumasha

Según estudios anteriores realizados y mapeo datan los aspectos generales y las subdivisiones de la Fm Jumasha, en Raura , se tienen definidas las secuencias sedimentarias que se han depositado durante el cretáceo inferior al cretáceo superior desde el complejo de areniscas, margas, y calizas del grupo Goyllarisquisga, representado en Raura en el sector de la quebrada Shucshapaj hacia el Occidente, donde la falla regional Chonta que es una falla inversa levanta el bloque del grupo Goyllarisquisga, sobre las calizas de la formación Chulec y Pariatambo; sobre estas últimas que comprenden calizas negras bituminosas sobreyacen en forma concordante la secuencia de calizas de la formación Jumasha, las cuales son de interés y conforman un protolito en la región estas calizas pertenecen al albiano superior (fines del cretáceo inferior hace 100 m.a. aprox), las cuales se depositaron en un ambiente de aguas poco profundas a semiprofundas. En el sector de Uchuchacua la formación Jumasha ha sido estudiada por Romaní (1,982) y modificada por Jaillard (1,986), donde definen una secuencia con intervalos marcadores en cambio de ambiente de cuenca considerando 04 miembros estratigráficos diferenciados (A. Sánchez 2,006).

- **Jumasha 1**

Se encuentra similitudes de descripción en las ocurrencias al Este (A. Sánchez 2,006) en una franja continua de la zona en estudio. Se observa de manera común y descrita con intercalaciones de horizontes delgados compuesto por calizas grises oscuras margosas y limoarcillitas calcáreas con nódulos de cherts? según sus componentes petrográficos se les describe como Wackstone a Packstone. En la parte central de la secuencia presentan estratos gruesos de aspecto macizo resistentes algunos estratos mayores a 60 cm. de grosor corresponden a calizas nodulares y en algunos que por metamorfismo han perdido el lineamiento de la estratificación en sectores asociados a temperaturas o sistemas hidrotermales; algunos niveles claros tienen una reacción lenta al HCl por lo que se les considera calizas dolomíticas? hacia el tope se muestra un estratificación de media a delgada, hasta llegar a un horizonte marcador entre el 1 y el 2 de 30 a 40 metros. Se les observa distribuidas en el sector occidental al Sur y hacia el Norte de la mina Raura en una franja de orientación NNW, yace concordante sobre la formación Pariatambo, si bien su posición estructural en el nevado Condorsenca (Señal Condorsenca) es invertida. Presenta una potencia aproximada de 350mts.

- **Jumasha 2**

Se asume con la descripción hecha por A. Sánchez 2,006 y se le identifica al Oeste de la zona en estudio y al Norte en la parte centro Gayco por debajo de la escama de la formación Celendín principalmente presenta afloramientos en una secuencia de estratos medios a gruesos de 60cm. de grosor macizas de color gris claro, de aspecto rugoso de grano fino a medio clasificadas como

Wackstone a Packstone se puede diferenciar el Grainstone. A nivel del Yacimiento Raura se le distingue en el Cerro llamado Condorsenca, donde se encuentra una escama invertida por debajo del Jumasha 1 que sigue con dirección N-NW también se le ha cartografiado en el núcleo del Anticlinal de Pacush, al NE de la parte central de Raura y en el sector llamado 07 Caballeros. Se le aproxima un espesor de 350 mts. Está separada del miembro 1 por una secuencia o intervalo marcador pelítica-calcárea menos resistente de color pardo gris de 30 a 50 mts. de grosor.

- **Jumasha 3**

Se le menciona de manera referencial, no aflora en la zona de estudio el cual se describe y ubica a nivel yacimiento de Raura al oeste del anticlinal Pacush y que se prolonga al Norte de la laguna Cabalcocha de la siguiente manera, está separado del miembro 2 por una secuencia estrato de grano creciente. Principalmente está constituida por paquetes ondulados desde 0.15 a 0.70 mts de grosor, de grano fino (Wackstone), se tienen material orgánico en grano fino a muy fino (Mudstone), en la parte superior de este miembro presenta niveles de estratos gruesos con mayor contenido calcáreo. Se presentan más irregulares en textura, y difícil identificación por la estratificación la cual se oblitera con presencia de recristalización y alteración con mineralización de manganeso y plata como consecuencia de la deformación a causa de los efectos intrusivos?, Se les observa en el eje del núcleo de un anticlinal y parte del sinclinal de dirección NW y veta Puyhuancocha y mantos Puyhuanmina, donde se presentan repliegues locales, en el flanco occidental de este sinclinal. Este miembro tiene un espesor aproximado entre 170 a 200 mts.

- **Jumasha 4**

Se le menciona a manera referencial, no aflora en la zona de estudio el cual se describe y aflora a nivel yacimiento de Raura, circundante a la laguna Caballococha, se le observa claramente en la vía que va a Raura Chica, yace concordantemente con la unidad 3, de aspecto macizo calizas de color gris azulado, de grano fino (Mudstone a Wackstone), con estratificación gruesa mayores a 0.60 mts. al romper con el martillo presenta fractura concoidea, siendo características diferentes a las secuencias de los miembros anteriores, su mayor exponente se da alrededor de la laguna Caballococha, presenta afloramientos en el sector de la Veta Farallón donde se interpreta que este miembro estaría fallado y corrido hacia el Oeste por 02 fallas que actuaron en forma sinistral (A. Sánchez 2,006), anteriormente se les ha considerado como parte del Jumasha 3 en la zona de la laguna Caballococha y como Jumasha 2 en el sector de Farallón. Este miembro tiene un espesor aproximado de 220 mts.

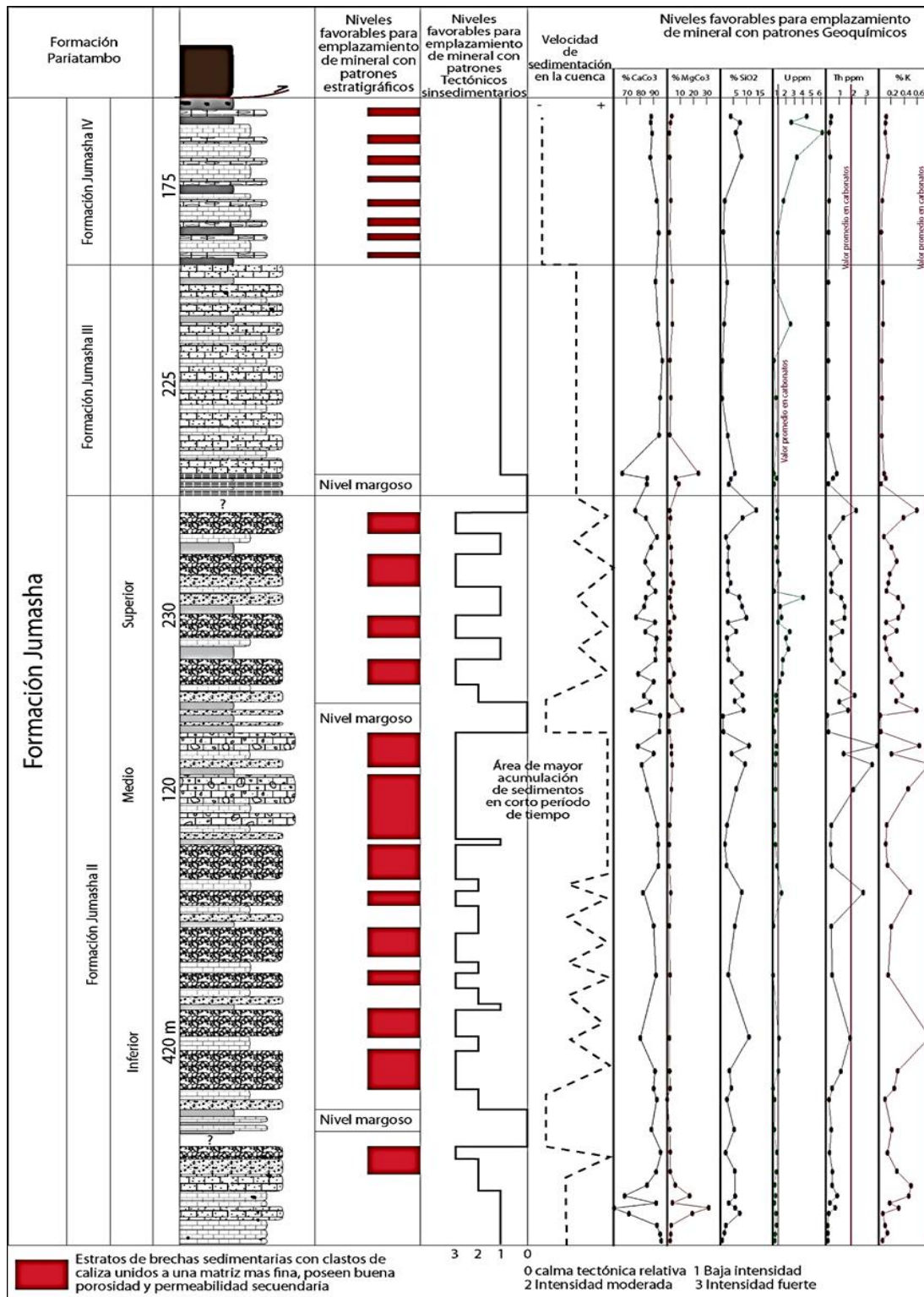


Figura 25. Columna generalizada de la Formación Jumasha.

- **Formación Celendín**

Sobre las calizas de la formación Jumasha, se depositaron calizas intercaladas con pelitas o margas y limo arcillas, en una secuencia de estratificación delgada a laminada, monótona de calizas de color gris en estratos medios de 0.5 a 1.0 mts. de grosor intercaladas con capas delgadas a medias de margas a calizas margosas, hacia el tope de esta formación se presentan los estratos más delgados a laminares, que por efecto de la meteorización se presentan de coloración gris amarillenta. Aflora en la parte Norte de la zona en estudio en el sector de Gayco centro a manera de una escama estructural proveniente del sinclinal Patarcocha, compuestas por calizas predominantemente margas y calizas metasomatizadas de contactos definidos por la falla Gayco este y oeste que se abre en este punto notoriamente esta insertada entre las calizas de la formación Jumasha 1 y 2 También podemos referir afloramientos al N-NW de la Laguna Caballococha, con estratos medios, ocasionalmente gruesos de calizas. Esta secuencia tiene un espesor general de 200 mts. con presencia de un metamorfismo general con figuras sedimentarias alteradas a Calcosilicatadas, en esta formación se tiene presencia de mineralización en las vetas Torominas e intruida por el stock virgen de las nieves de composición granodiorítica formando aureolas de Skarn.

UNIDADES INTRUSIVAS

- Granodiorita (Gd)

Sus afloramientos principales se ubican en la parte central de Raura con tendencia de dirección N- NW, de acuerdo al control estructural de primer orden. Específicamente en el sector Esperanza se trata de un cuerpo intrusivo de grano medio a grueso holocristalino, equigranular con tonalidad gris clara se presenta fresco y alterado en los contactos con los intrusivos posteriores - Cuarzóferos. Denota haber formado y generado una aureola metasomática mucho más extensiva en relación a la aureola del exoeskarn. Este cuerpo intrusivo está compuesto por una Pasta de composición cuarzófera (10%-15%) ortosa, plagioclasas 5%-10% y Fenocristales de cuarzo (15%), ortosa (3%), plagioclasa (20%) hornblenda (25%) junto a la biotita (10%-12%) débilmente cloritizada y piroxenos (3%-5%), principalmente. Aflora de manera predominante con raíces profundas que probablemente vienen del cuerpo central del distrito minero de Raura.

STOCKS CUARCÍFEROS

- Cuarzo Monzonita (I-Qz)

Mapeado también en el sector de Esperanza, se trata de un stock que corta a la granodiorita en la parte media aproximadamente se observan contactos definidos salvo en algunos puntos se ve remanentes de la granodiorita a partir de venillas cuarzóferas que representarían la última fase intrusiva hipabisal del distrito minero y la mineralización polimetálica guarda relación espacial y directa con los afloramientos de este intrusivo el cual presenta textura porfírica no muy

clara entre sus componentes se observa una Pasta o Matriz de grano fino a medio, equigranular de composición cuarcífera con un 85%. Sus Fenocristales compuestos por ojos de cuarzo en un 7 a 10% plagioclasas en un 5 a 7%, Ortosa de 2% a 3% menores a 3 mm. de diámetro, ferromagnesianos en un 1% (Biotita) muy puntual, el color es gris claro blanquecino, denota alteración argílica débil a medio mas no skarniza, no se observan venas hidrotermales importantes, como mineralización se observa Pirita diseminada y a partir de microfracturas, posiblemente por el nivel en la cual está aflorando presenta silicificación débil. Ver Foto N° 3 y 4.

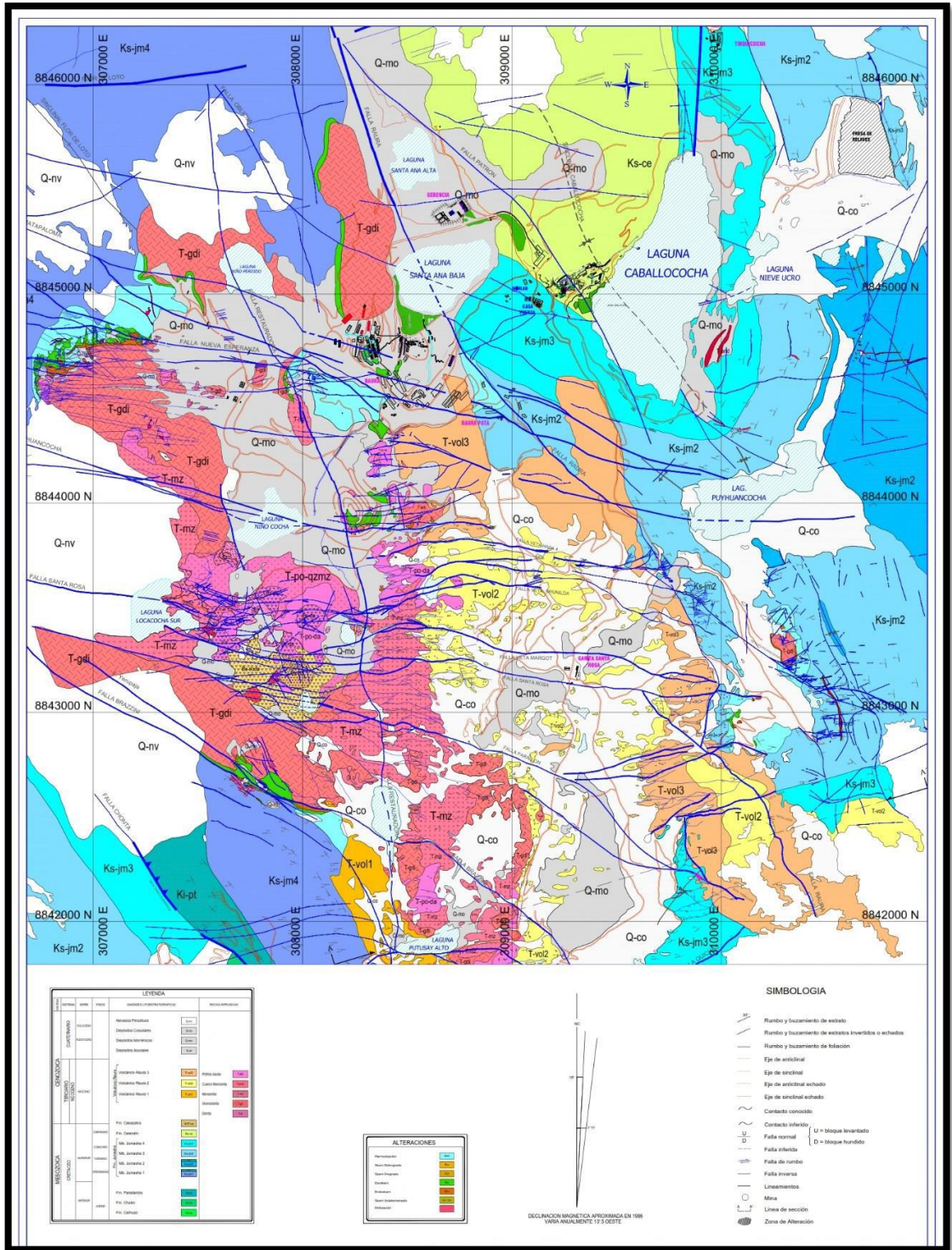


Figura 26. Plano Geológico Local.

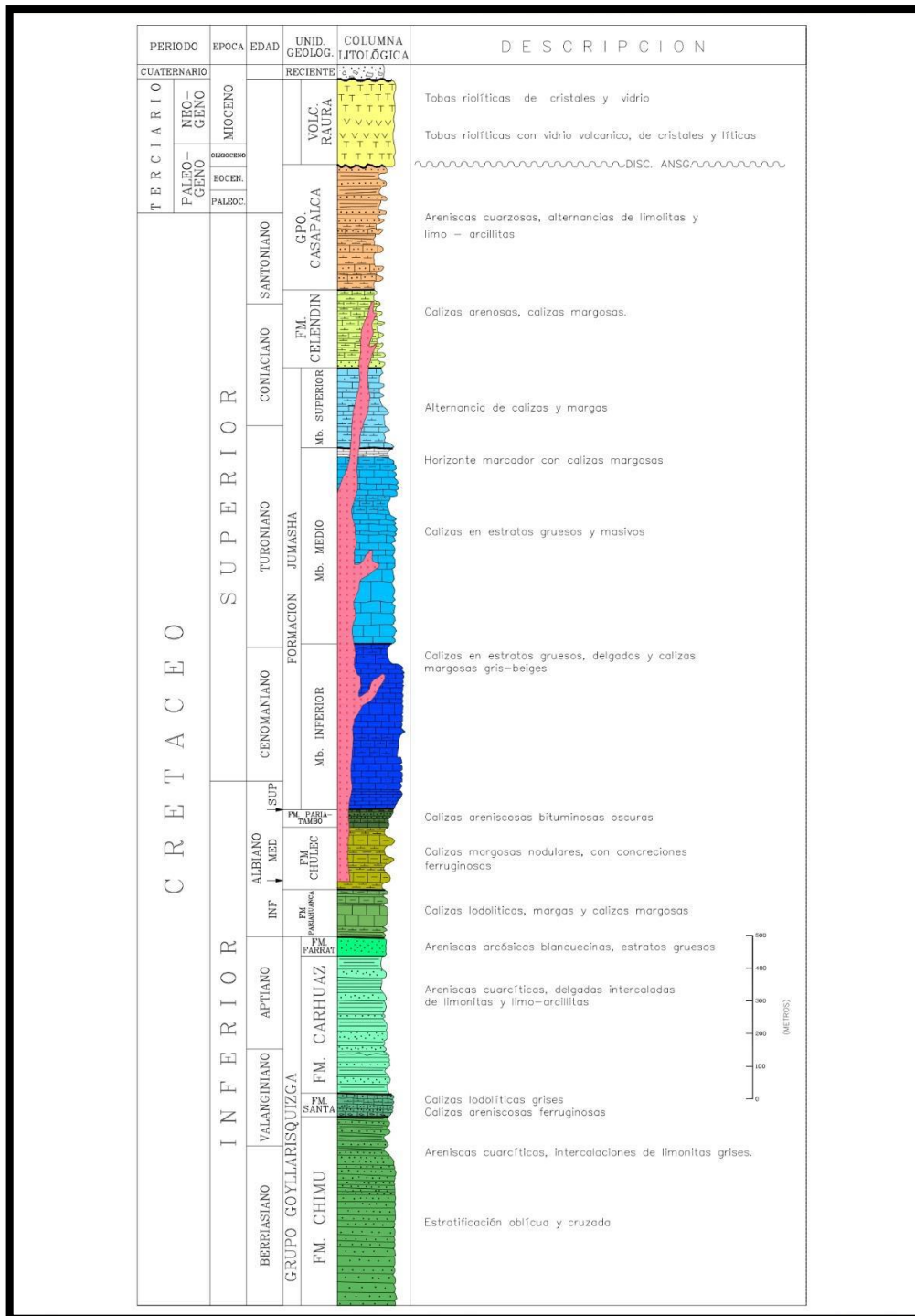


Figura 27. Columna Estratigráfica Local.

4.1.9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La secuencia sedimentaria conformada durante el periodo Cretacéo, del distrito minero de Raura fue disturbada por una serie de eventos y reacomodos estructurales, con movimientos de fallas regionales en sentido longitudinal desplazando en el tiempo al bloque sedimentario hacia el Oeste. Es así que a la manifestación de esfuerzos compresivos en la Fase Peruana y el flexuramiento coaxial de los sedimentos cretácicos con la consecuente formación de sinclinales y anticlinales principalmente con ejes orientados en dirección N-NW (Andina), alineados a un régimen compresional y con periodos de tensión. A lo largo de estos ejes que aparecen como zonas de mayor esfuerzo y consecuentemente la ruptura en las crestas y a lo largo de ellas esto se puede inferir en la zona del anticlinal Caudalosa en plena quebrada y como eje se tiene coincidentemente a la falla regional Chonta de trabajo disturbado por tener el bloque de calizas Jumasha 1 por encima de las calizas Jumasha 2, interpretando tendríamos una falla de rumbo e inversa. Ver Foto N° 12, 13 y 14.

Se tiene identificado un control estructural bien marcado, donde es necesario emplear el término “sistema estructural abierto” por lo que se observa en campo y la ocurrencia de la mineralización. Dada la presente introducción podemos tener una mejor idea y comprensión para el trabajo estructural de la zona en estudio y del distrito minero de Raura donde se han diferenciado 02 dominios estructurales:

Primer dominio (N15° - 20° W)- Presenta Buzamientos entre 70° a 80° al SW y está representado por el plegamiento y fallamiento regional con dirección NW compuesto por fallas de rumbo principalmente, con la presencia de sobre

escurrimientos producto de esfuerzos compresionales durante la tectónica andina como las fallas regionales Chonta, Gayco, Restauradora y otras hacia el Este.

Segundo dominio (N80°W - E-W).- Presenta buzamientos entre 70° a 85° al SW importante producto del primer dominio, donde se les puede reconocer como parte de un tren mineralizador (fidlers) con fracturamientos paralelos (shear zone) conformando en esta zona de estudio principalmente un corredor muy favorable para la mineralización, específicamente podemos reconocerlo en la zona en estudio entre las dos grandes fallas Puyhuancocha al Sur que vienen abriendo y juntándose a manera de simoides y el sistema Nueva Esperanza al Norte fallamientos transversales al distrito minero de raura, se observa además la presencia de zonas favorables en su intersección con el primer dominio (trampas estructurales), este corredor resulta muy importante además por cruzar una área donde encontramos afloramientos de calizas de la formación Jumasha 1? Que a proyección en profundidad podemos encontrar skarn formado por el primer pulso intrusivo (Granodiorita) y mineralización aprovechando este tren estructural con reemplazamiento del segundo pulso intrusivo (Cuarzo Monzonita) se puede inferir por debajo del nivel 4200 en un sistema estructural cerrado. La estructura tipo dique encontrada en superficie coincide en el espacio con este tren mineralizador.

EVENTOS MAGMÁTICOS Y DOMINIOS GEOTECTÓNICOS

YACIMIENTO MINERO RAURA

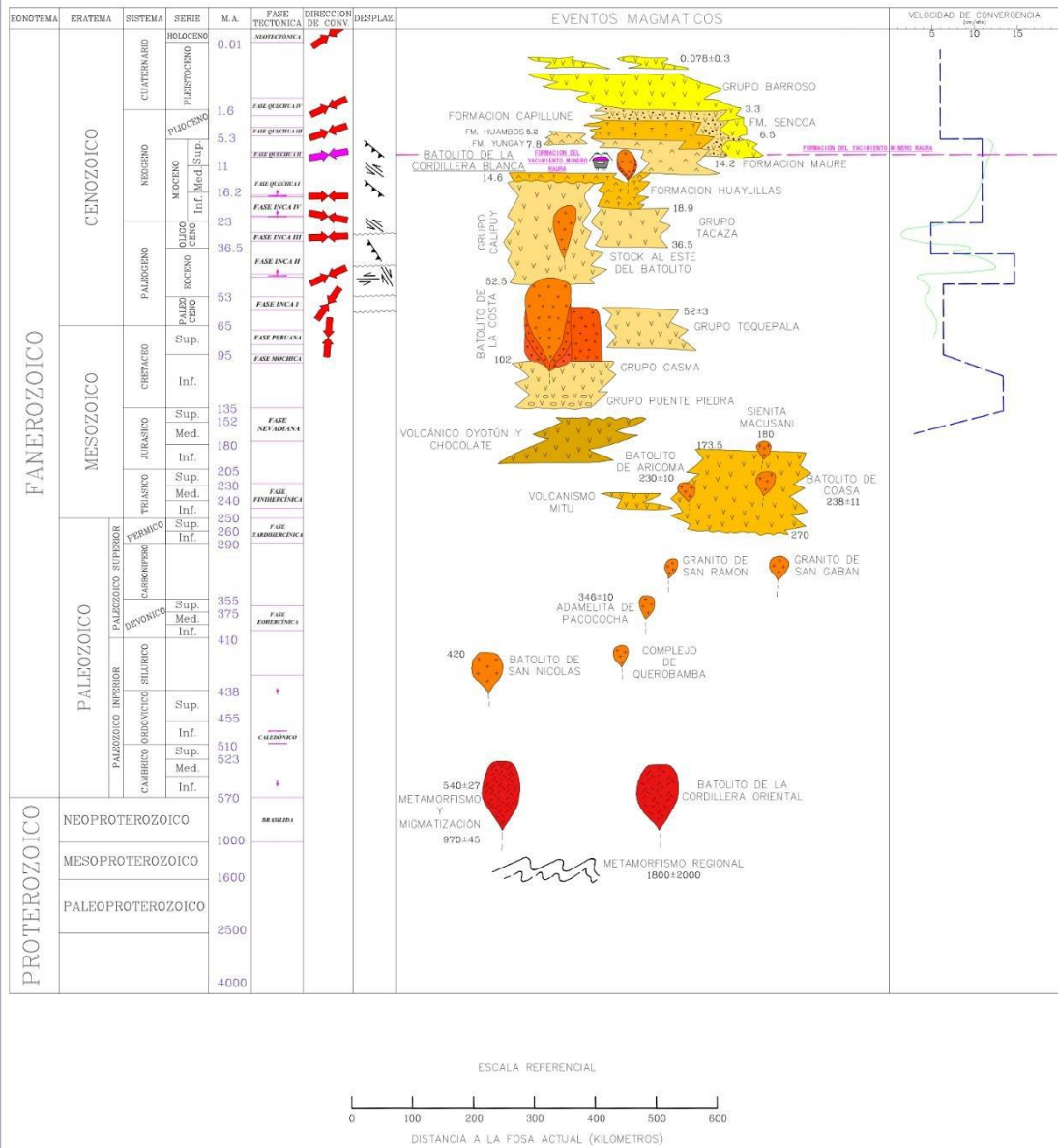


Figura 28. Eventos Magmáticos y Dominios Geotectónicos.

4.1.10. ALTERACIONES

Alteraciones

- Zona del Skarn

En la zona de contacto entre el cuerpo intrusivo de naturaleza granodiorítica y el paquete sedimentario de la formación Jumasha 1?, se tiene una aureola metasomática con 100 a 200 mts. en el sentido longitudinal importante de la serie Andradita – Grosularia, su textura es característica en sistemas con reemplazamiento y sustituciones pseudomórficas a altas temperaturas entre ambas rocas, Las temperaturas características de formación se sitúan entre 600 y 400° C para este ambiente. Se observa composición muy variable y está en función de la de los fluidos, y de la roca a la que reemplazan, con la que suele producirse mezcla química, fluidos derivados en este caso de la Granodiorita, con las rocas carbonatadas del Jumasha 1? es así que tenemos la skarnización de rocas de mineralogía especial, ricas en silicatos cálcicos como la epidota, granates cálcicos, etc.

Principalmente hemos podido encontrar granates de grano medio a fino de textura granoblástica de coloraciones café marrones claros y opacos no hemos podido encontrar de tonalidades color rosa que dice bastante de su naturaleza, se le encuentra como masas irregulares en la zona de contacto y definidos como zona del Endoskarn, existe una zona transicional y de reacción donde existe la combinación de granates café con verdes con características propias denominada zona Indeterminada, tenemos la generación de granates con tonos verdes relucientes algunos cafés de grano medio a grueso algunas veces fino

junto a la aureola marmolizada de las calizas denominado zona del Exoskarn. En nuestra diferenciación hemos podido ver una zona de Skarn retrogrado con características propias presencia de arcillas tipo smectitas, cloritas y sílice residual principalmente.

Como observación podemos mencionar que la aureola del endoskarn con frentes de reemplazamientos definidos y remanentes de la granodiorita es más extensiva y masiva en referencia a la aureola del Exoskarn la cual la vemos con frentes de reemplazamiento en venillas dentro de los mármoles. No se observa mineralización o intervención de iones metálicos a partir de la Skarnización a este nivel de afloramiento (4800 m.s.n.m.) las venillas presentes son de Calcita y Cuarzo además de Calcita intergranular producto de la alteración hidrotermal posterior a la skarnización. No se ha encontrado Actinolita, Wollastonita, Tremolita, Escapolita etc. En realidad podemos mencionar que el Yacimiento está compuesto por un sistema de vetas y reemplazamientos en calizas tectonizadas.

- Zona del Mármol

Es producto del metamorfismo de las calizas, el halo de marmolización es de corto alcance y va en algunos casos a los 100 mts. menor a la zona de nueva esperanza Este (Ver plano Geológico) se le observa en el entorno y como halo de la zona de skarnización, como también se puede mencionar que es producto del trabajo estructural de las fallas regionales las cuales han generado temperatura y recristalización se observa en campo este contorno a lo largo de las fallas.

4.1.11. MINERALIZACIÓN

La Fase Hidrotermal esta manifiesta en esta zona a partir de soluciones acuosas ascendentes, calientes y gases cargados con iones metálicos y sulfuros manifestándose como relleno en las fracturas abiertas conformando vetas y vetillas como se ve en el entorno y la estructura misma encontrada llamada Veta-Dique el Abra, la cual presenta un rumbo promedio de N 72° E con una longitud de 107.56mts y de ancho 2.27mts. Que se muestran en superficie, la mineralización está emplazada a lo largo de un dique de naturaleza cuarcífera, esta manifestación hidrotermal denota la presencia de mineralización polimetálica cargada en sulfuros compuesta por galena, pirita, esfalerita y trazas de calcopirita, donde la galena es la más visible y se le puede observar en pequeños clavos y en venillas entrecruzadas. La pirita al parecer representa el mineral más antiguo de primera generación, luego la esfalerita se observa en puntos de exsolución? junto con la galena, además presenta cuarzo granular, calcita hidrotermal en venillas junto a óxidos de fierro.

4.1.12. GEOLOGÍA ECONÓMICA

Muestreo

El muestreo ha sido sistemático y selectivo por canal cada 5 mts. Perpendicular a lo largo del rumbo de la estructura mineralizada también se ha muestreado el fracturamiento paralelo a la estructura principal mineralizada hacia el Norte. Adicionalmente se ha muestreado zonas del endoskarn y exoskarn. Se han extraído un total de 79 muestras sumadas con los controles de calidad.

Quality Assays – Quality Control (QA/QC)

Este control de calidad se aplicó para la presente evaluación incluyendo muestras del tipo Checks (Standard, Blanck y Duplicados), con la finalidad de monitorear y darle confiabilidad al proceso de muestreo y ensayos químicos y de esta manera conseguir la precisión deseada.

La diferencia de los “checks” se muestra en el cuadro siguiente, teniendo en consideración una variación media de las diferentes comparaciones:

| DESCRIPCION | Pb (%) | Zn (%) | Cu (%) | Ag (Oz/Ag) |
|---|--------|--------|--------|---------------|
| Variación “Standard” (MIN LAB 1 – MINLAB 2) | 0.30 | 0.51 | 0.06 | 0.96 |
| Variación “Blanck” (MIN LAB 1 – MINLAB 2) | -0.01 | -0.01 | 0.00 | -0.08 |
| Variación “Duplicado” (ORIGINAL – DUP.) | -0.34 | -0.06 | 0.94 | 4.66 |

* MINLAB 1 = muestras “check”.

Como se observa en los cuadros comparativos el rango de la diferencia de resultados muestra que los ensayos a las muestras del proyecto se encuentran con una tendencia menor, observados principalmente en la comparación con la muestras “Standard”.

4.1.13. COMPORTAMIENTO VETA ESPERANZA.

Estructura tipo veta ubicada al N del distrito minero.

Estructura mineralizada con 750m de longitud reconocida con dirección NW – SE buzamiento promedio de 65° a 80° al sur, emplazada en gran parte por la diatrema Santa Ana, con relleno de minerales económicos como freibergita (tetraedrita-Tennantita), esfalerita, galena, calcopirita esporádicamente, y como ganga pirita, cuarzo, anhidrita, yeso, calcita, rodocrosita, rodonita y alabandita, englobado en texturas brechada y bandeada con potencia que varía de 0.80 a 3.00 mts., con leyes promedio de 0.20%Cu, 2.15%Pb, 3.95%Zn y 4.25 OzAg. La presencia de este mineral anhidrita es en toda su longitud de la veta y en la vertical, lo cual se presenta con mayor intensidad entre el nv.380-250, y con mayor riesgo en el ore shoot central y oeste. En niveles inferiores la veta Esperanza está emplazado hacia el Este por una brecha hidrotermal y va gradando hacia el Oeste en mármol. Estructuralmente está controlado por fallas y su comportamiento es de tipo rosario formando lentes y lazos sigmoides locales, cola de caballo. A su vez al momento de la formación de la falla, por el desplazamiento de rumbo se produjeron fallas (fracturas de tensión) hacia ambas cajas de la falla-veta dando lugar a la formación de los Split (ramales), extendiéndose no más de 50.0 mts. (FOTO de muestra del Tajo 978EE).



Imagen 09. Muestra del Tajo 978EE

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados:

El presente estudio abarca como zonas asociadas al proyecto, El Abra y Gayco, en esta parte del estudio se identificaron halos de Endoskarn (skarn a partir del intrusivo), Exoskarn (skarn a partir de las calizas de la formación Jumasha), Estructuras mineralizadas, tipos de intrusivos asociados, halos de marmolizaciones, Skarn retrogrado (de mayor alteración), sistema estructural y estratigráfico.

En superficie se ubicó la estructura mineralizada importante llamada Esperanza, que en la proyección en el Cr. 843 E, quedaría a 50 a 90 m, estructura que será interceptada por los sondajes diamantinos proyectados, los resultados del muestreo sistemático cada 5 m, se muestran en el siguiente cuadro.

| Longitud (m) | Ancho (m) | Cu % | Pb % | Zn % | Ag Oz/tm | POTENCIAL (T.M.) |
|-------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 107,56 | 2,27 | 0,11 | 5,24 | 2,36 | 3,08 | 154.003 |

En el estudio litológico, estructural se asociaron los miembros de la formación Jumasha, intrusivos que pudieran ser favorables a la mineralización, lo cual permitió interpretar que los fluidos mineralizadores continúan hacia la zona Oeste del proyecto Esperanza, a través del sistema estructural N 60° a 75° W, con sistemas secundarios E-W, también se asociaron que los posibles intrusivos favorables de naturaleza cuarzo – monzonita están presentes en la parte de Esperanza y en la zona de estudio W de dicho proyecto, formando halos de endoskarn similares y favorables en la alteración, de otro lado se pudo identificar que se tienen estratos de las calizas favorables al reemplazamiento de la alteración y/o mineralización.

La mineralización está definida por minerales base como la galena, esfalerita y trazas de Calcopirita principalmente, la pirita está restringida a los intrusivos cuarzo – monzoníticos.

4.3. Prueba de hipótesis:

Damos por aceptado la hipótesis de que: los reconocimientos y procedimientos geológicos apropiados, se determina con la propuesta de exploración geológica en la zona Esperanza - Mina Raura

Así mismo, se acepta las hipótesis específicas dando como:

- ❖ Si los parámetros geológicos contribuyen con las características geológicas y estructurales de la mineralización, y se determinan el incremento de reservas del yacimiento.

4.4. Discusión de resultados:

Los resultados muestran que el comportamiento estructural se asociaron a los miembros de la formación Jumasha, intrusivos que pudieran ser favorables a la mineralización, lo cual permitió interpretar que los fluidos mineralizadores continúan hacia la zona Oeste del proyecto Esperanza.

Los rasgos característicos para la identificación de la estructura mineralizada en la Mina Raura, ha sido reconocer el contacto entre las calizas e intrusivos pórfidos con importantes leyes de Zn, Pb y Cu. Es importante mencionar el papel que juega el control estructural en este caso fallas que se encuentran asociadas con la mineralización.

Para incrementar la vida útil y generar un beneficio económico de un yacimiento, es necesario incrementar sus recursos de minerales, para lograrlo es necesario determinar el comportamiento geológico de la mineralización en profundidad utilizando en este caso perforaciones diamantinas.

CONCLUSIONES

- Se tiene un corredor muy importante compuesto entre las dos grandes fallas Puyhuancocha al Sur y el sistema Esperanza al Norte además de cruzar un área donde encontramos afloramientos de calizas de la formación Jumasha 1. Que a proyección en profundidad podemos encontrar trampas estructurales. La estructura tipo dique encontrada en superficie coincide en el espacio con este tren mineralizador.
- La presencia de los intrusivos favorables Cuarzo – Monzoníticos, tiene importancia para el aporte de fluidos mineralizantes.
- Se ha interpretado en la zona de alteración que las calizas asociadas corresponderían a los Miembros Jumasha 1 y 2, siendo en el Jumasha 1 y posible 2 donde se encuentra la mineralización del Complejo Catuva, al Sur Este del Proyecto Esperanza.
- La mineralización que se observa en superficie es principalmente Galena como mineral económico.
- El futuro del yacimiento minero Raura, se basará en la búsqueda de targets con las mismas características geológicas-estructurales, ya que, como se vio anteriormente estas representan la mayor oportunidad de encontrar zonas con un alto potencial de mineralización.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a la evaluación efectuada en el proyecto Esperanza que a la actualidad se ha extendido hasta la parte W, materia del presente estudio, resulta necesario recomendar el estudio y la prospección a profundidad del “trend” mineralizador entre las fallas Puyhuancocha y Esperanza por las evidencias de alteración y mineralización en superficie.
2. Se recomienda hacer estudios petrográficos y minerográficos, geoquímica en las zonas de alteración y mineralización que se intercepten en los taladros, de otro lado es muy importante hacer dataciones radiométricas en los intrusivos asociados al proyecto.
3. Realizar planos estructurales en los diferentes niveles para correlacionar la veta y cuerpos y tener un mejor control de la exploración.

BIBLIOGRAFIA

1. Marjoribanks (2010), "Geological Methods in Mineral Exploration and Mining", 2ª Edición, Springer.
2. Moon, et al. (2006) "Introduction to Mineral Exploration", 2ª Edición. Blackwell Publishing, Reino Unido.
3. López Jimeno, C. (2001) "Manual de Sondeos. Aplicaciones". E.T.S.I Minas. Universidad Politécnica de Madrid. España.
4. Escalante, M. (2004). "Métodos Geoquímicos de Exploración Minera". Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Méjico.
5. Sabins (1999), "Remote sensing for mineral exploration", Ore Geology Reviews N.14
6. "Técnicas y Sistemas de Perforación". www.lasperforaciones.com
7. Atlas Copco Multimedia Gallery: www.atlascopco.com
8. Sandvik Photo Archive: www.sandvik.com

ANEXO

GANODIORITA



Foto N°01. Stock de granodiorita oxidada – Este del glaciar Brazzini.



Foto N° 02. Muestra de mano de granodiorita fresca.

CUARZO MONZONOITA



Foto N° 03. Stock de cuarzo monzonita moderadamente oxidada – Vista mirando hacia el oeste.

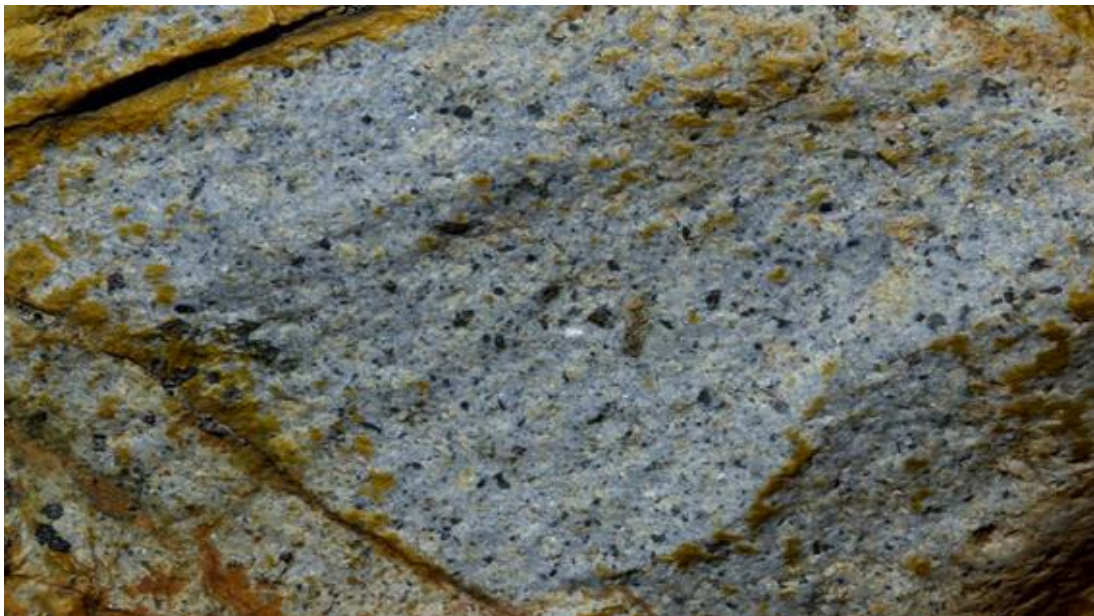


Foto N° 04. Muestra de mano de cuarzo monzonita fresca.

PÓRFIDO DACITA

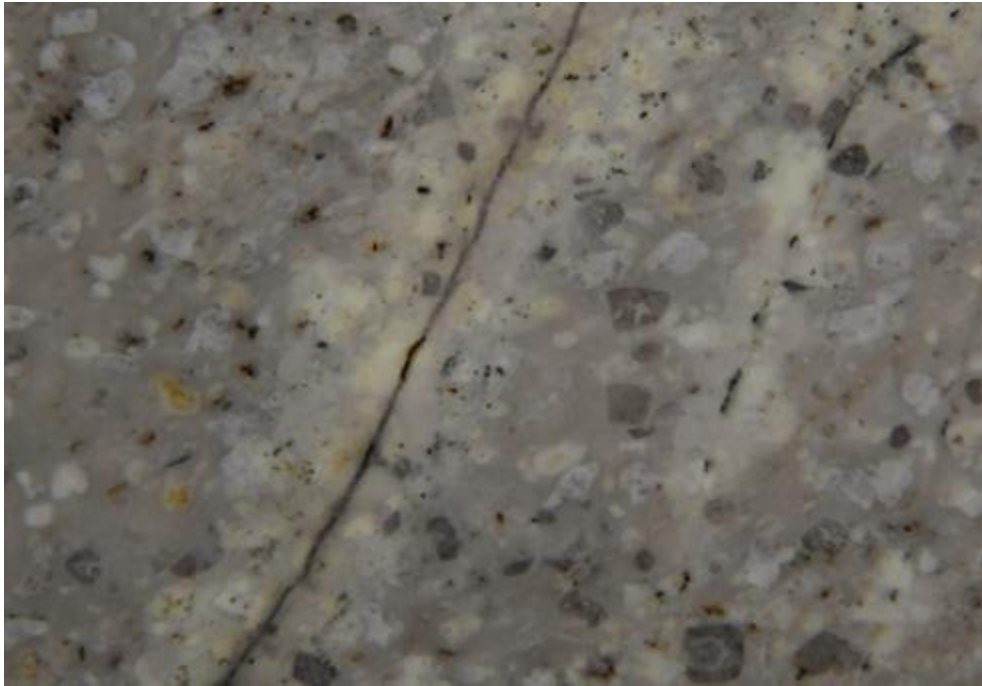


Foto N° 05. Muestra de mano del Pórfido dacita.



Foto N°06. Zona de contacto entre la granodiorita y el pórfido dacita.

PÓRFIDO CUARZO MONZONITA



Foto N° 07. Muestra de mano del pórfido cuarzo monzonita

FORMACION JUMASHA



Foto N°08. Base del Jumasha II inferior con la presencia de estratos lenticulares.



Foto N° 09. Sec uencia grano-estrato creciente del Jumasha II medio, se muestran brechas sedimentarias con clastos angulosos en una escasa matriz mudstone.



Foto N° 10. Brecha sedimentaria compuesta por clastos irregulares de diferentes tamaños y formas, distribuidos caóticamente en una matriz de calizas packstone y mudstone.



Foto N° 11. Horizonte de caliza grainstone, con laminaciones horizontales, laminaciones algareas y convolutas.

FALLAS RAURA

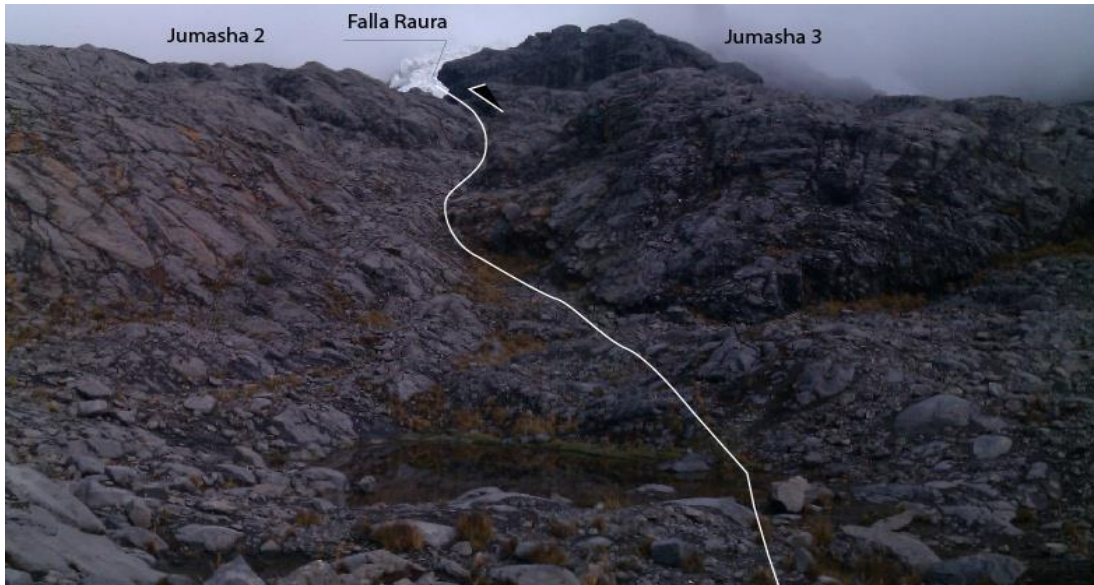


Foto N° 12. Falla Raura – Caja techo brechada.

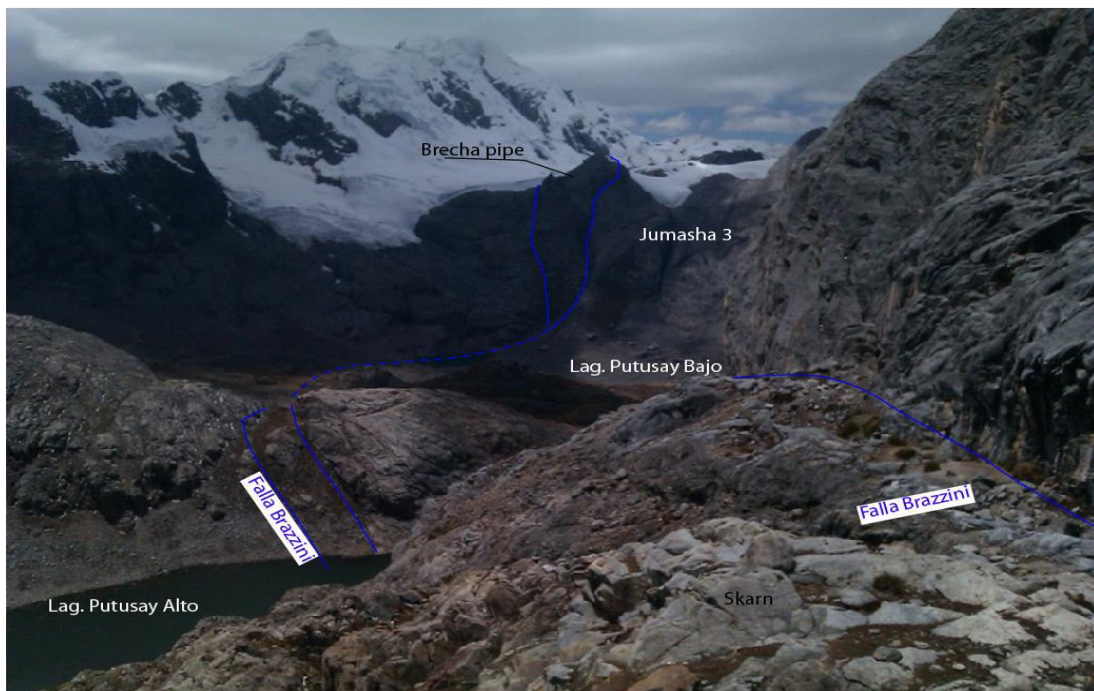


Foto N° 13. Falla Brazzini con una proyección hacia el SE (brechas pipe).



Foto N° 14. Falla Farallón mirando hacia el sur.