

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**MIGRACIÓN DE FLUIDOS HIDROTERMALES A TRAVÉS DE  
FALLAS GEOLÓGICAS Y FORMACIÓN DE ENSAMBLES DE  
MINERALES TIPO SKARN EN LOS PROSPECTOS ESCONDIDA Y  
ANTAPAMPA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:**

**Bach. BECERRA COTRINA YURI**

**Asesor:**

**MSc. Ing. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES**

**CAJAMARCA-PERÚ**

**2017**

## **AGRADECIMIENTO**

En estas escasas líneas, quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a la Empresa Minera Los Quenuales S.A. por la oportunidad de realizar este trabajo, y por el apoyo brindado durante el tiempo que estuve ahí. Especialmente quisiera agradecer al Ing. Chris Emerson por permitir la aprobación de dicho proyecto de tesis. Además, quiero expresar mi agradecimiento al equipo profesional del área de geología, por su apoyo, y amistad, tan necesario para lograr este objetivo. Entre ellos especialmente quiero agradecer al Dr. Abraham Escalante por su instrucción y colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

De igual manera quisiera expresar mi agradecimiento sincero a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, que me acogió y contribuyó a mi formación profesional durante el tiempo de mi estancia y a cada uno de los docentes de la EAPIG, por impartir sus conocimientos y experiencias.

## DEDICATORIA

A Dios, por darme una nueva vida; a mi madre por su cariño y apoyo incondicional en cada momento de mi vida. A mis hermanos por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A Karlita, mi mejor amiga, mi oración respondida; que día a día me alienta y me da vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.2. BASES TEÓRICAS.....	17
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	19
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	21
3.1.2. Ubicación Política.....	21
3.1.3. Accesibilidad.....	22
3.1.4. Clima.....	24
3.1.5. Vegetación.....	24
3.1.6. Geomorfología.....	24
3.1.7. Hidrología.....	24
3.2 PROCEDIMIENTOS.....	25

	Pág.
3.2.1 METODOLOGÍA.....	25
3.2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	26
3.2.3 TÉCNICAS.....	26
3.2.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	26
3.3 MARCO GEOLÓGICO.....	27
3.3.1. MARCO TECTÓNICO Y GEOLOGÍA REGIONAL.....	27
3.3.1.1. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS REGIONALES.....	30
3.3.1.1.1. ROCAS ESTRATIFICADAS.....	30
3.3.1.1.1.1. Formación Oyón (Ki-o).....	30
3.3.1.1.1.2. Grupo Goyllarisquizga.....	30
3.3.1.1.1.3. Formación Pariahuanca (Ki-ph).....	31
3.3.1.1.1.4. Formación Chulec (Ki-ch).....	31
3.3.1.1.1.5. Formación Pariatambo (Ki-pt).....	32
3.3.1.1.1.6. Formación Jumasha (Ks-j).....	32
3.3.1.1.1.7. Formación Celendín (Ks-c).....	32
3.3.1.1.1.8. Formación Casapalca (KTi-ca).....	32
3.3.1.1.1.9. Grupo Calipuy (KTi-vca).....	32
3.3.1.1.1.10. Depósitos morrénicos (Q-mo).....	33
3.3.1.1.2. ROCAS INTRUSIVAS.....	33
3.3.1.2. SISTEMA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	36
3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	38
3.3.2.1. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE LOS PROSPECTOS BAJO ESTUDIO .....	38
3.3.2.1.1. Formación Chimú (Ki-chi).....	38
3.3.2.1.2. Formación Santa (Ki-sa).....	39
3.3.2.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca).....	39
3.3.2.1.4. Formación Farrat (Ki-f).....	40
3.3.2.2. SISTEMA ESTRUCTURAL DE LOS PROSPECTOS BAJO ESTUDIO.....	42

	Pág.
3.3.2.2.1. Fallas NNO.....	42
3.3.2.2.2. Fallas NE.....	43
3.3.2.2.3. Fallas E-O.....	43
3.3.2.3. MINERALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	47
3.3.2.3.1. Primer evento de mineralización.....	47
3.3.2.3.2. Segundo evento de mineralización.....	48
3.3.2.3.2.1. Brechas polimícticos.....	48
3.3.2.3.2.2. Cuerpos de Montera de Hierro.....	50
3.3.2.3.2.3. Cuerpos de textura esquelética.....	53
3.3.2.4. ALTERACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	54
3.3.2.4.1. Alteración Clorítica.....	54
3.3.2.4.2. Alteración Argílica avanzada.....	55
3.3.2.4.3. Dolomitización.....	56
3.3.2.4.4. Silicificación.....	57
3.3.2.5. Descripción Petrográfica.....	58
3.3.2.5.1. Estudio Microscópico.....	58
3.4. TRATAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	62
3.4.1. Introducción.....	62
3.4.2. Fundamentos y Objetivos del Muestreo.....	62
3.4.3. Método de Análisis.....	62
3.4.4. Control de Calidad de los Análisis.....	62
3.4.5. Análisis de Resultados.....	63
3.4.5.1. Estadística Univariable.....	63
3.4.5.1.1. Superficie.....	63
3.4.5.1.2. Profundidad.....	67
3.4.5.1.3. Análisis de histogramas.....	69
3.4.5.2. Estadística Multivariable.....	70

	Pág.
3.4.5.2.1. Superficie.....	71
3.4.6. Interpretación de los datos Obtenidos.....	73
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
4.1. Síntesis Geológica.....	74
4.2 Desarrollo de la Mineralización y Alteración.....	75
4.2.1. Primer evento de mineralización.....	75
4.2.2. Segundo evento de mineralización.....	76
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
5.1 CONCLUSIONES.....	79
5.2 RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Rutas de acceso a los prospectos Escondida y Antapampa.....	22
Tabla 2. Estadística básica para cada una de las rocas.....	64
Tabla 3. Matriz de correlación de la litología Diatrema.....	71
Tabla 4. Matriz de correlación de la litología Sílice oqueroso.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de dominio geológico y metalogenético.....	18
Figura 2. Ubicación política de los prospectos Escondida y Antapampa.....	23
Figura 3. Vista al SE. Panorámica de los prospectos Escondida y Antapampa.....	24
Figura 4. Sección estructural del centro del Perú.....	29
Figura 5. Mapa geológico regional del cuadrángulo de Oyón.....	35
Figura 6. Fases tectónicas y volcano-sedimentarias de los andes del Perú central.....	37
Figura 7. Vista al NO, secuencia sedimentaria del Grupo Goyllarisquizga.....	40
Figura 8. Mapa geológico de los prospectos Escondida y Antapampa.....	41
Figura 9. Vista al NO, fallas NNO.....	42
Figura 10. Vista al E, Fallas NE.....	43
Figura 11. Vista al E, Fallas E-O.....	44
Figura 12. Sistema estructural de los prospectos Escondida y Antapampa.....	45
Figura 13. Skarnoide mineralizado en sondaje ANT-L1300-01(234.35m).....	48
Figura 14. Vista al SO, Cuerpo de brecha polimíctico de forma semi-ovoide.....	49
Figura 15. Caliza relicta dolomitizada en sondaje ANT-L650-01B (295.70m).....	50
Figura 16. Vista al NO, Afloramiento de calizas interestratificadas.....	51
Figura 17. Afloramiento de un sombrero de hierro.....	52
Figura 18. Arenisca intensamente silicificada en muestra de superficie.....	53
Figura 19. Alteración clorítica en sondaje ANT-L1300-01 (267.35m).....	54
Figura 20. Alteración argílica avanzada en sondaje ANT-L1300-01 (45.50m).....	55
Figura 21. Brecha de falla en muestra de superficie.....	55
Figura 22. Vista al O. Alteración dolomítica en afloramiento de sombrero de hierro.....	56
Figura 23. Silicificación en cuarcitas en sondaje ANT-L1300-01 (222.30m).....	57
Figura 24. Sección pulida de la figura 14.....	58
Figura 25. Muestra de mano de un afloramiento de brecha polimíctica con alteración argílica avanzada.....	59
Figura 26. Sección delgada de la figura 25.....	59
Figura 27. Venilla de pirita parcialmente corroída por ataque de sericita/arcillas.....	60
Figura 28. Sección delgada de la figura 17.....	60
Figura 29. Sección delgada de la figura 17.....	61
Figura 30. Histogramas de distribución de elementos en superficie.....	65
Figura 31. Histogramas de distribución de elementos a profundidad.....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

°C	Grados Celsius
cm	Centímetros
E	Este
Kb	Kilobar
Km	Kilómetros
m	Metros
Ma	Millones de años
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
N	Norte
O	Oeste
pH	Coeficiente de acidez o basicidad de una sustancia
S	Sur
U-Pb de zircón	Método de fechamiento para cuantificar el tiempo y edad de los eventos geológicos.
$\alpha$	Ángulo
>	Mayor que
<	Menor que

## Resumen

Los prospectos Escondida y Antapampa pertenecen a la Franja de Pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Estratigráficamente se han emplazado en la cuenca sedimentaria cretácea (Cobbins, 1973) de la Cordillera Occidental del Perú Central y están comprendidos dentro de las concesiones de la Unidad Minera Iscaycruz, yacimiento de tipo skarn de Zn-Cu distal y de reemplazo de carbonato polimetálico de alta temperatura típico (Titley, 1993; Megaw et al., 1988). Los trabajos de cartografiado detallado de la litología, alteración, mineralización y tipos de fallas en el área de éstos prospectos, así como también los estudios de petromineralogía y de geoquímica en superficie y profundidad, ponen en evidencia la presencia de ensambles de minerales de alteración hidrotermal relacionados a dos eventos de circulación de fluido hidrotermal con características bien definidas cada uno de ellos. El primero evento hidrotermal, caracterizado por la presencia de clorita-epidota en niveles de skarnoide ubicados en el lado norte del área de estudio, corresponde a un fluido caliente ( $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y salino (20% en peso NaCl equivalente), que experimenta un enfriamiento ( $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y una disminución de la salinidad ( $< 4\%$  en peso NaCl equivalente), para dar lugar a la precipitación de la esfalerita asociada a este ensamble. El segundo evento hidrotermal, corresponde a un fluido que ha experimentado la separación de una fase vapor, la cual a dado lugar a las asociaciones de tipo argílico avanzado y de silicificación en las rocas. La consecuente separación trajo una disminución en el contenido de volátiles y un aumento del pH en el fluido, generando dolomitización en las rocas y disolución del carbonato para ser reemplazado por sulfuros a temperaturas por debajo de  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  y salinidades menores a 5% en peso NaCl equivalente.

**Palabras Clave:** Mioceno, cuenca sedimentaria, Cordillera Occidental, Skarn, ensambles de minerales, argílico avanzado, silicificación y dolomitización.

## **Abstract**

The Escondida and Antapampa's prospects belong to the stripe of Cu-Mo (Au)'s porphyry, Skarn of Pb-Zn-Cu (Ag) and polymetallic deposits related to intrusives of the Miocene. They have located stratigraphically at the sedimentary creatacea basin (Cobbins, 1973) of the Western cordillera of Central Peru and are included within the United Mining Iscaycruz concesions, site (deposit) of type skarn distal Zn-Cu and replacement of polymetallic carbonate of a typically high temperature (Titley, 1993; Megaw and others, 1988).

The work of detailed mapping of the lithology, alteration, mineralization and types of fault in the area of these prospects, as well as the studies of petromineralogia and geochemistry in surface and in depth, put in evidence the presence of an assemblage of minerals of hydrothermal alteration related to two events of hydrothermal fluid circulation with well-defined characteristics each of them.

The first hydrothermal event, characterized by the presence of clorita-epidota in levels of skarnoide on the North side, corresponds to a hot fluid ( $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and saline (20 wt % NaCl equivalent) this fluid undergoes a cooling ( $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and a decrease in salinity ( $< 4\text{ wt \% NaCl equivalent}$ ), which results in the precipitation of the sphalerite associated with this assemblage.

The second hydrothermal event, corresponds to a fluid which has undergone a vapour phase separation, which resulted in the associations of a type of advanced argillic and silicification of the rocks. The consequent separation brought a decrease in the content of volatility and an increase of pH in the fluid, causing dolomitization in the rocks and dissolution of carbonate to be replaced by sulfide at temperatures below  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  and less than 5% salinity in weight NaCl equivalent.

Key words: Miocene, Sedimentary basin, Western cordillera, Skarn, Minerals assemblage, Advanced argillic, Silicification, dolomitization.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La geología de los prospectos Escondida y Antapampa corresponde a rocas siliciclásticas y carbonatadas que datan del Cretácico, que a su vez forman parte de una estructura plegada, que se desarrolló como consecuencia de la Orogénesis Andina y cuyo eje de dirección es NNO-SSE. Tales rocas, sobre todo las pertenecientes a la unidad sedimentaria Santa, presentan intervalos, que albergan lentes masivos de óxidos, cuerpos de brechas y rocas alteradas; las mismas que presentan formas, texturas y ensambles de minerales que indican eventos de mineralización hipogénicos.

En toda esta área de estudio se ha observado que dichas ocurrencias forman, en superficie escarpes en una dirección preferente y muchas de ellas se encuentran desplazadas. Estas evidencias indican la existencia de controles estructurales posiblemente asociados a su formación y a su posterior desplazamiento.

La geología de yacimientos minerales explica que estas ocurrencias y ensambles de minerales se forman por la interacción de fluidos hidrotermales con rocas carbonatadas a través de fallas geológicas que las ponen en contacto. Sin embargo, los estudios referidos más adelante no han determinado de manera específica para estos prospectos que el fenómeno físico-químico de interacción de fluidos hidrotermales con rocas carbonatadas haya originado dichos ensambles. Por lo tanto, en esta investigación se pretende determinar si, realmente los ensambles observados tienen su origen en el fenómeno físico-químico de interacción de fluidos hidrotermales con rocas carbonatadas; por ello se plantea la siguiente pregunta del problema ¿Qué relación existe entre la migración de fluidos hidrotermales a través de fallas geológicas y la formación de ensambles de minerales de tipo skarn en los prospectos Escondida y Antapampa?, para dilucidar científicamente este problema, se procedió a dividirlo en tres sub-problemas, los

cuales responden a tres sub preguntas de investigación, que son las siguientes: ¿Cuáles son las características del ensamble mineralógico tipo skarn en las rocas carbonatadas de los prospectos Escondida y Antapampa?, ¿Cuántas fases de mineralización han existido en los prospectos Escondida y Antapampa? y ¿Cuáles son las características del sistema de fallas en los prospectos Escondida y Antapampa?; por lo cual se plantea la siguiente hipótesis: Existe una relación directa (causa-efecto) entre la presencia de fallas geológicas a través de las cuales han migrado fluidos hidrotermales y la formación de ensamblajes mineralógicos en los prospectos Escondida y Antapampa.

La justificación de la investigación permitirá comprender el proceso de formación de los ensamblajes minerales expuestos en superficie de los prospectos Escondida y Antapampa para definir el tipo de exploración en estos dos prospectos, así como en otros prospectos con similares características geológicas.

La delimitación espacial de la investigación está comprendida en la laguna Larlac y el entorno, en la Comunidad Campesina de San Cristóbal de Rapaz, distrito de Oyón, provincia de Oyón, departamento de Lima.

Los objetivos de este trabajo de investigación se dividen en generales y específicos.

Objetivo general: Determinar si la formación de ensamblajes de minerales de tipo skarn, en los prospectos Escondida y Antapampa, tienen su origen en la interacción de fluidos hidrotermales con rocas carbonatadas a través de fallas geológicas que las ponen en contacto. Objetivos específicos: Determinar las características del ensamble mineralógico en las rocas carbonatadas, Determinar las fases de mineralización existentes y las características del sistema de fallas.

Los contenidos de los capítulos se describen a continuación:

Capítulo II. Corresponde al Marco Teórico, en el cual se describe y explica los antecedentes internacionales, nacionales y locales, teorías y definición de términos que abordan el problema de investigación.

Capítulo III. Materiales y Métodos, se considera la ubicación, accesibilidad, clima, Vegetación, geomorfología, hidrología, procedimiento metodológico, Marco Geológico, Marco Tectónico y Geología Regional, Sistema Estructural Regional, Unidades Estratigráficas de los Prospectos bajo estudio, Sistema Estructural de los Prospectos bajo estudio, mineralización, alteración y estudios microscópicos.

Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados; se describe, explica y se discute los resultados en función de las características mineralógicas observadas en afloramientos

de roca, testigos de perforación, secciones delgadas y pulidas, así como de los sistemas de fallas asociados.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones, de acuerdo a la interpretación de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los objetivos propuestos se determinó las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En razón de la importancia de las concentraciones económicas de los minerales metálicos principalmente zinc, plomo, plata y cobre, El ámbito de los prospectos Escondida y Antapampa ha sido objeto de diversos estudios realizados a nivel regional y distrital hasta alcanzar un nivel de detalle local.

Existen estudios regionales a escala 1: 100000 que definen la estratigrafía regional del área de estudio realizado por Cobbing (1973), posteriormente se han realizado trabajos a escala distrital que definen las unidades rocosas y su ambiente de depositación con mayor detalle, llevados a cabo por diferentes compañías mineras y consultores externos, entre los que se destaca las diversas campañas de exploración y sus respectivos informes internos de la Unidad Minera Iscaycruz.

Debido a la importancia de la zona existen estudios locales entre las principales publicaciones tenemos: Telluris Consulting (2011), Unidad de Investigación de Yacimientos Mineros (2012) en los cuales se analizó el comportamiento de los principales sistemas de fallas asociados a la mineralización y el tipo de mineralización y alteración desarrollada dentro de la Formación Santa respectivamente, en el distrito minero de Iscaycruz.

En la actualidad diversas compañías siguen realizando estudios y campañas de exploración con el objetivo de encontrar otros depósitos minerales económicamente viables.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

Estudios anteriores han establecido que existe una relación entre transporte de fluidos, precipitación de minerales hidrotermales y los sistemas de fallas (e.g. y Sibson, 1996). En estos sistemas de fallas, la precipitación y concentración de minerales hidrotermales se localiza en zonas estructurales favorables como son segmentaciones de fallas, ramificaciones de fallas, zonas de dilatación y estructuras tipo dúplex (Sibson, 1987; 1996; 2001 y Cox, 2001). La generación de espacios dentro de estas zonas estructurales no es homogénea y su distribución y morfología responde a la naturaleza del sistema de falla en que se desarrolla. Por lo tanto, el entendimiento de la relación entre los procesos de deformación y generación de cuerpos mineralizados continúa siendo una interrogante de investigación relevante.

La concentración de minerales hidrotermales asociados a sistemas estructurales favorables desarrolla una orientación que tiene una estrecha relación con la deformación en que se genera el sistema estructural, situándose preferencialmente en aquellas zonas de dilatación dentro de éste, las cuales pueden ubicarse en sitios estructurales específicos dentro de las zonas de falla (e.g. *et al*, 1987) o en la roca de caja adyacente a ellas.

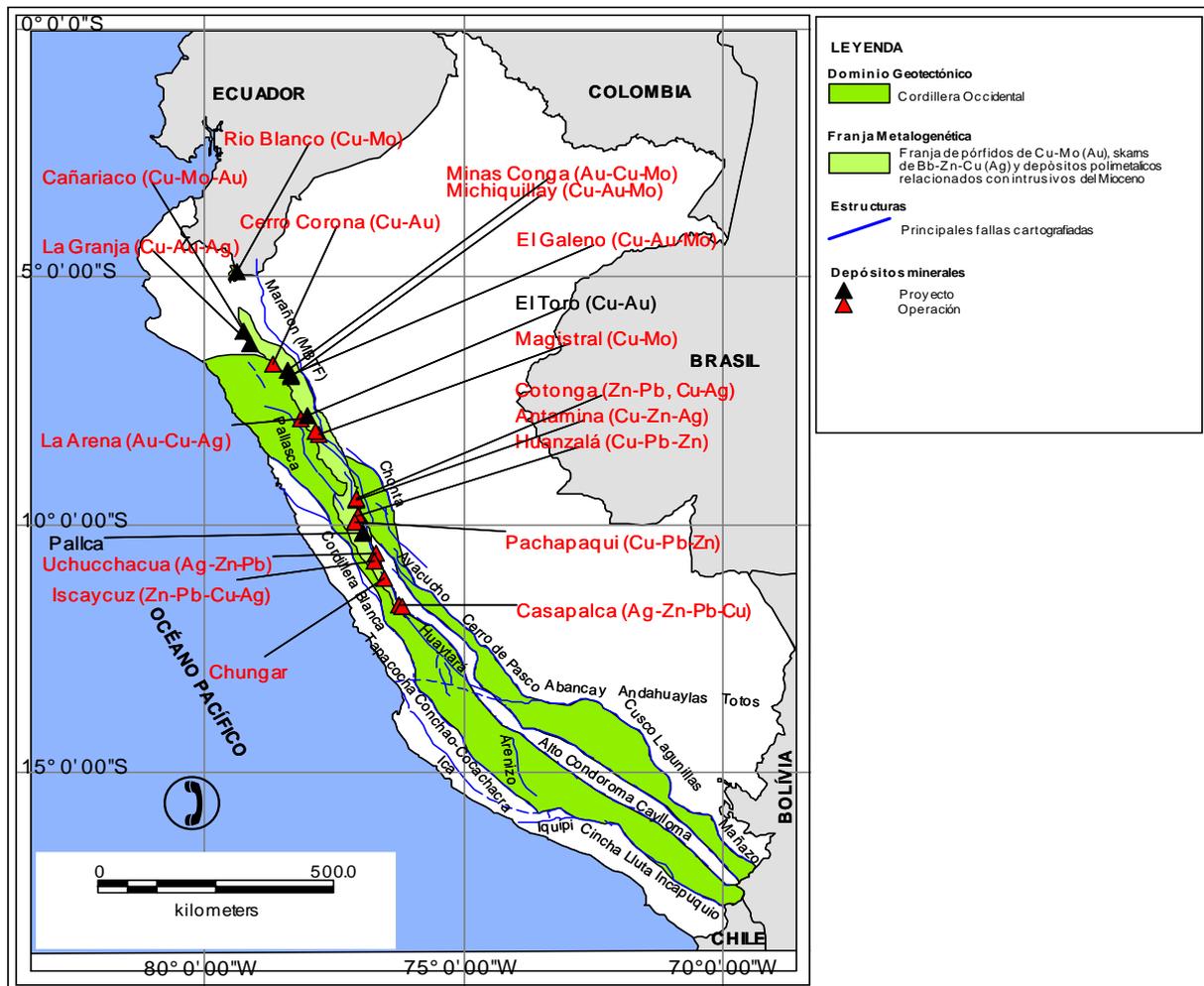
Por otra parte, la formación y la liberación de los fluidos hidrotermales hacia los sistemas de fallas en la corteza, obedece en gran medida a rangos muy restringidos de % en peso de H<sub>2</sub>O de los magmas (Burnham, 1979; 1981). Los depósitos minerales asociados a magmatismo, como es el caso de los yacimientos tipo skarn, requiere que se produzca la separación de una fase fluida a partir del magma y la solubilidad del agua en magmas depende poco de la temperatura, pero mucho de la presión, disminuyendo drásticamente a presiones < 3 Kb (Ohmoto *et al*, 1979; 1980); es decir que la liberación de una fase hidrotermal es más probable que ocurra a niveles someros de la corteza < 10 km. (Burnham, 1979)

Los prospectos Escondida y Antapampa pertenecen a la Franja de Pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Estructuralmente, la franja está controlada por el sistema de fallas Cordillera Blanca-Marañón, megaestructuras que recorren la cordillera occidental en dirección NO-SE y forman una faja plegada y corrida, con vergencia al NE como resultado de la deformación mayor del Eoceno (Angeles, 1987; Mourier, 1988; Noble *et al.*, 1979a; Benavides, 1999). Estas fallas han sido normales durante el Mesozoico (Benavides, 1956) y debido al evento tectónico denominado Inca que se inició hace 43 Ma (Steinmann, 1929), las reactivó y cambió su comportamiento de normal a inverso, produciendo un engrosamiento importante de la corteza, factor condicionante para la

evolución de magmas durante el Mioceno, y por lo tanto, para los fluidos magmáticos-hidrotermales.

Algunos autores (Hollister, 1978; Titley, 1981; Kutina, 1998) han sugerido que las fallas activadas por eventos tectónicos, juegan un rol importante en la mineralización ya que permiten el ascenso rápido para los magmas a niveles corticales someros por fracturamiento hidráulico debido a la compresión tectónica, esto indica que probablemente no es casualidad que en nuestra franja la mineralización de los depósitos minerales formados tengan una edad contemporánea con las etapas de deformación compresivas y sus sistemas de fallas asociados (Figura 1).

Figura 1. Mapa de dominio geológico y metalogénico mostrando la ubicación de proyectos.



Fuente: Dirección Regional del INGEMMET (con modificaciones).

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ✓ **Estrato:** Es un nivel simple de litología homogénea o gradacional, depositado de forma paralela a la inclinación original de la formación. Está separado de los estratos adyacentes por superficies de erosión, no sedimentación, o cambio abrupto en el carácter. (McKee y Weir, 1952, p. 6).
- ✓ **Unidad litoestratigráfica:** “conjunto de estratos que constituyen una unidad, por estar compuesto predominantemente por un cierto tipo litológico o de una combinación de tipos litológicos, o por poseer otras características litológicas importantes en común, que sirvan para agrupar los estratos”. Guía Estratigráfica Internacional 1980.
- ✓ **Formación:** Es la unidad litoestratigráfica fundamental de la clasificación estratigráfica, en la jerarquía de las unidades estratigráficas formales es de rango intermedio. Es un conjunto de rocas estratificadas que se diferencian de las unidades adyacentes por sus características litológicas (Helberg, 1980).
- ✓ **Fluido hidrotermal:** Fluidos calientes, generalmente dominados por agua, a veces ácidos, los cuales pueden transportar metales y otros compuestos en solución al lugar de depositación o producir alteración de la roca de caja. (Maksaev, 2001).
- ✓ **Alteración Hidrotermal:** es la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. (Reed, 1997).
- ✓ **Falla geológica:** fractura frágil a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento visible, en general paralelo a la superficie de la misma. (Davis y Reynolds, 1996).
- ✓ **Falla Inversa:** Se producen como consecuencia de procesos compresivos y provocan un acortamiento de la serie. Una falla inversa es aquella en la que el buzamiento del plano de falla buza hacia el labio levantado. Pueden ser de gran ángulo y de bajo ángulo. (Davis y Reynolds, 1996).
- ✓ **Falla Normal:** Son aquellas en las que el buzamiento de falla buza hacia el labio hundido. Se producen dentro de un campo distensivo de esfuerzos y siempre implican un alargamiento de la serie. Sus buzamientos más normales están comprendidos entre los 40° y 70°. El buzamiento puede variar en profundidad haciéndose casi vertical. (Davis y Reynolds, 1996).
- ✓ **Falla de Rumbo:** Es aquella en que el movimiento dominante de los bloques alrededor del plano de falla se corresponde con el de la componente horizontal del desplazamiento o salto horizontal. (Davis y Reynolds, 1996).
- ✓ **Ensamble de minerales tipo skarn:** Asociación o conjunto de minerales calcosilicatados, estas comúnmente ocurren al entrar en contacto fluidos hidrotermales con rocas carbonatadas. (Einaudi, Meinert y Newberry, 1981).

- ✓ **Montera de hierro:** afloramientos de rocas, que originalmente contenían sulfuros y que han sido sometidas a un proceso de alteración supergénica. (Pintos, s.f., p. 4).
- ✓ **Brecha:** roca constituida por fragmentos líticos que se mantienen ligados por una Matriz y un cemento. (Sillitoe, 1985).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los prospectos Escondida y Antapampa se encuentran ubicados en la Comunidad Campesina de San Cristobal de Rapaz, distrito de Oyón, provincia de Oyón, departamento de Lima, a 17 km al Este de la ciudad de Churin y a 143 km al NE de la ciudad de Lima (Figura 2), a una altitud promedio de 4 700 m.s.n.m.

##### 3.1.1. Ubicación Geográfica

Geográficamente el área de estudio se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, conformada por un valle glacial rodeado de vertientes montañosas típicas de los Andes del Perú.

Está delimitada por las siguientes coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 18S:

	Norte	Este
P1	8,806,000.00	313,500.00
P2	8,803,500.00	313,500.00
P3	8,803,500.00	311,500.00
P4	8,806,000.00	311,500.00

##### 3.1.2. Ubicación Política

La ubicación política del proyecto es:

Comunidad: San Cristobal de Rapaz

Distrito: Oyón

Provincia: Oyón

Departamento: Lima

### 3.1.3. Accesibilidad

El acceso al área de los prospectos desde la ciudad de Lima se realiza a través de la carretera Panamericana Norte hasta Huacho, y de ahí se continúa por un tramo asfaltado hacia Sayán.

De Sayán continúa una carretera asfaltada hacia Churín y Oyón. Al llegar a Oyón se recorre aproximadamente 5km por una vía carrozable hasta llegar a la intersección Ambo, donde se sigue el camino hacia el sur que lleva a la Mina Iscaycruz y al área de estudio (Tabla 1).

<b>Tramo</b>	<b>Vía de Acceso</b>	<b>Distancia en Kms</b>
Lima-Huacho	Asfaltado	200
Huacho-Sayan	Asfaltado	80
Sayan-Churin	Asfaltado	100
Churin-Oyon	Asfaltado	32
Oyon-Intersección Ambo	Trocha carrozable	5
Intersección Ambo-Prospectos	Trocha carrozable	30
<b>Total</b>		<b>447</b>

Tabla 1. Rutas de acceso a los prospectos Escondida y Antapampa.

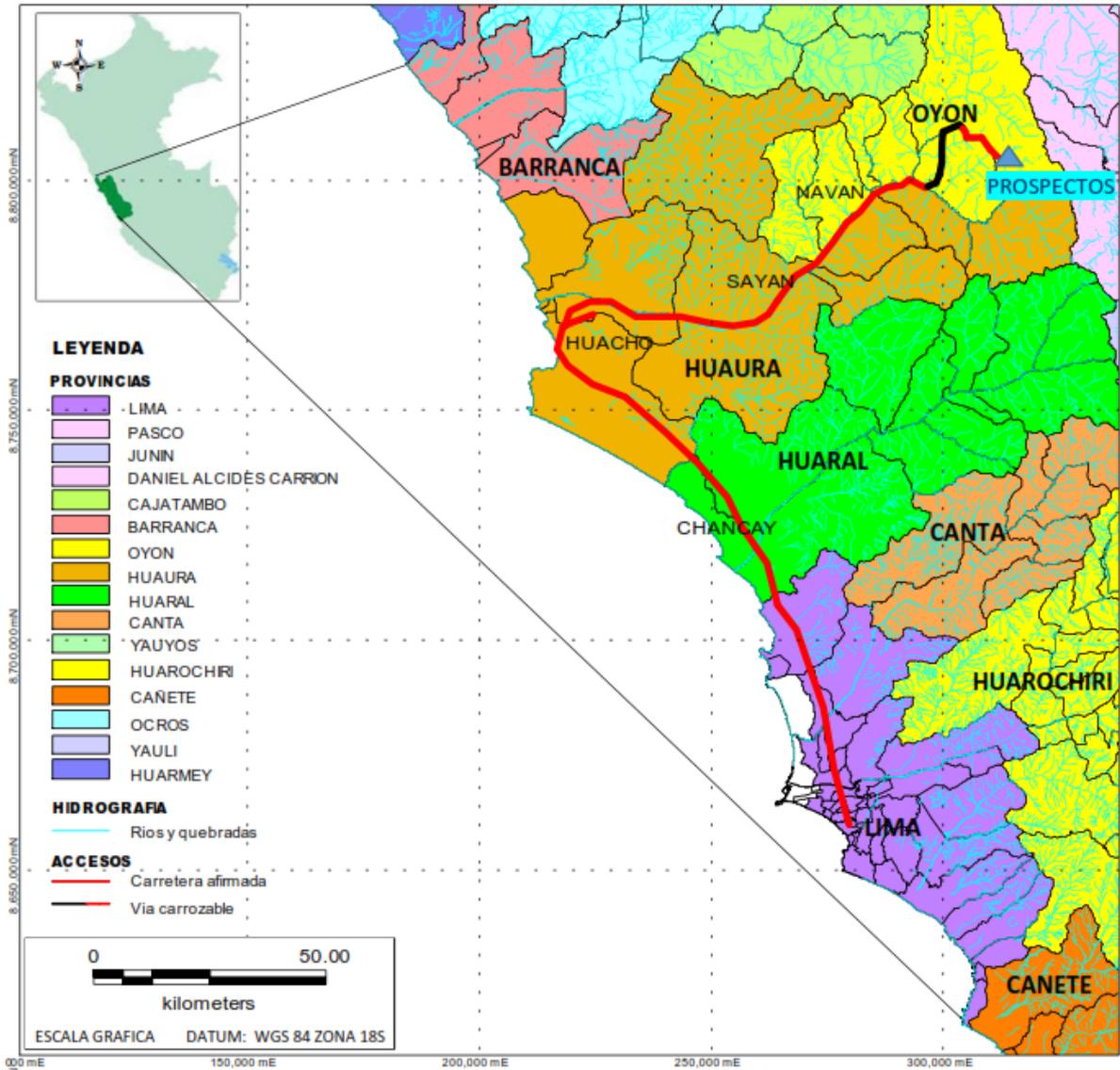


Figura 2. Ubicación política de los prospectos Escondida y Antapampa, mostrando el acceso desde la ciudad de lima. Tomado de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del MTC.

### **3.1.4. Clima**

En el área del Proyecto la variación de temperatura durante el día registra 20 °C por las mañanas, y llega por debajo de los -10 °C por las noches (SENAMHI, 2015). El clima durante el año está controlado por el viento estacional de la zona amazónica y está dividida en dos estaciones, de clima seco de mayo a septiembre, y lluviosa de octubre a abril. (SENAMHI, 2015).

### **3.1.5. Vegetación**

En el área del Proyecto se registraron diversas especies de plantas y están limitadas al clima seco y frío, un tipo de cactus, tales como huacra, chuco, y viscayna, que se encuentran en los 3,000 a 4,000 m.s.n.m. solo hierba alpina, tales como ichu o paja, piriula y chapcha, que crecen en las montañas localizadas sobre los 4,000 m.s.n.m. (SENAMHI, 2015).

### **3.1.6. Geomorfología**

El área del Proyecto se ubica en un terreno de geomorfología glacial, donde sobresale el paisaje montañoso, con laderas moderadamente disectadas y fondo de valle estrecho con secciones en U (Figura 3).



Figura 3: Vista al SE. Panorámica de los prospectos Escondida y Antapampa, con presencia de valles y lagunas de origen glacial.

### **3.1.7. Hidrología**

El área del Proyecto presenta una precipitación anual promedio de 844 mm y una evaporación anual promedio de 1.761 mm (SENAMHI, 2015); el proyecto se ubica en la zona de vida paramo muy Humedo-Subalpino tropical.

## **3.2 PROCEDIMIENTOS.**

### **3.2.1 METODOLOGÍA.**

A continuación, se describe la serie de actividades que fueron realizadas para llevar a cabo cada uno de los objetivos expuestos:

I. Revisión Bibliográfica:

II. Preparación de los trabajos de campo sobre mapas geológicos regionales existentes, imágenes satelitales y mapas topográficos.

III. trabajo de campo:

Se realizaron diversas campañas de campo con los siguientes trabajos secuenciales:

- ✓ Levantamiento lito-estratigráfico de cada una de las unidades expuestas en el área de estudio, este trabajo se llevó a cabo en la cumbre del Cerro Tajo Rosita a escala 1:500.
- ✓ Cartografiado litológico, de alteración y mineralización a escala 1:1000, reconociendo las diferentes texturas y ensambles de minerales de las diferentes rocas y ocurrencias expuestas en superficie
- ✓ Toma de 17 muestras para estudios petrográficos y mineralógicos, con el propósito de identificar los ensambles minerales, formas, texturas y relaciones entre ellos, a fin de poder deducir las condiciones de formación y los procesos que las originaron.
- ✓ Revisión de taladros de perforación (03 Core), en un área de 2.5Km<sup>2</sup>

IV. Trabajos de gabinete y laboratorio:

- ✓ Procesamiento e interpretación geoquímica de 584 muestras, con la finalidad de determinar patrones geoquímicos que muestren la presencia de fluidos hidrotermales en las rocas de los prospectos Antapampa y Escondida.

Los datos obtenidos fueron procesados en gabinete, usando los softwares MapInfo, ArcGis y Geosoft.

Revisión y discusión llevada a cabo con el Dr. Abraham Escalante de la empresa Minera los Quenuales que participó en manera de asesor en todas las fases del proyecto y el Ing. José Alfredo Siveroni Morales en calidad de asesor por parte de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### **3.2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

Variable Independiente (Causa): Migración de fluidos hidrotermales a través de fallas geológicas.

Variable Dependiente (Efecto): Formación de ensamblajes de minerales de tipo skarn.

### **3.2.3 TÉCNICAS.**

Las técnicas de recolección de datos empleadas en este trabajo de investigación son: La observación de campo no experimental y experimental

### **3.2.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.**

Los instrumentos y equipos utilizados para la recolección de datos están destinados a recoger, procesar y analizar información con confiabilidad, validez y objetividad.

Se detallan a continuación:

- ✓ Plano Geológico y Satelital a escala 1:100000
- ✓ Plano topográfico a escala 1:1000
- ✓ GPSMAP 64s
- ✓ Brújula brunton.
- ✓ Microscópio petrográfico
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Softwares GIS
- ✓ Lupa geológica 20x.
- ✓ Lápiz rayador
- ✓ Lápiz magnético
- ✓ Protactor multiescalar
- ✓ Picota de campo
- ✓ Wincha de 50m.
- ✓ Ácido clorhídrico

### **3.3 MARCO GEOLÓGICO**

En esta sección se describe los procesos que llevaron al desarrollo de los prospectos Escondida y Antapampa, el ambiente tectónico y la evolución del mismo. El objetivo principal es situarnos en el contexto de formación que condicionó las características de los fluidos hidrotermales, y comprender las particularidades de las distintas unidades que van a interactuar con estos fluidos en su ascenso a la superficie.

#### **3.3.1. MARCO TECTÓNICO Y GEOLOGÍA REGIONAL**

El flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú Central, comprenden secuencias de rocas siliciclásticas y carbonatadas que corresponden a la cuenca occidental mesozoica y que van desde el Cretácico inferior hasta el Cretácico superior e inicios del Paleógeno.

Estas secuencias sedimentarias se depositaron en un ambiente marino a mareal de transición en una cuenca sedimentaria sinclinal (Wilson, 1963). Las fuentes de los sedimentos siliciclásticos probablemente derivaron del alto estructural del Marañón hacia el Este y de algunas zonas que emergieron tectónicamente hacia el Oeste (Wilson, 1963).

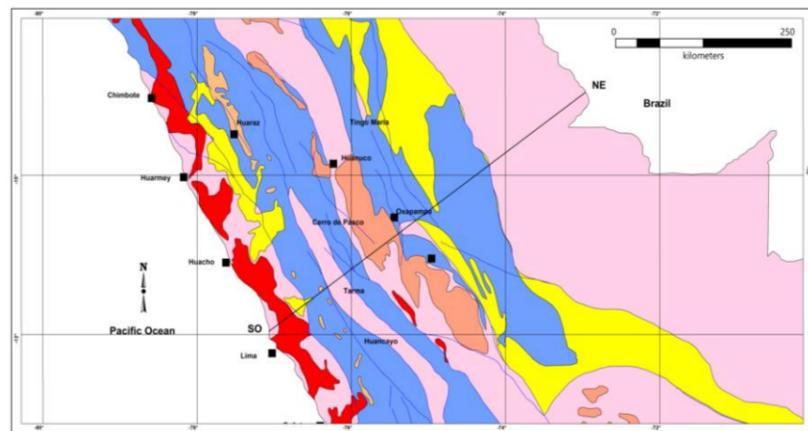
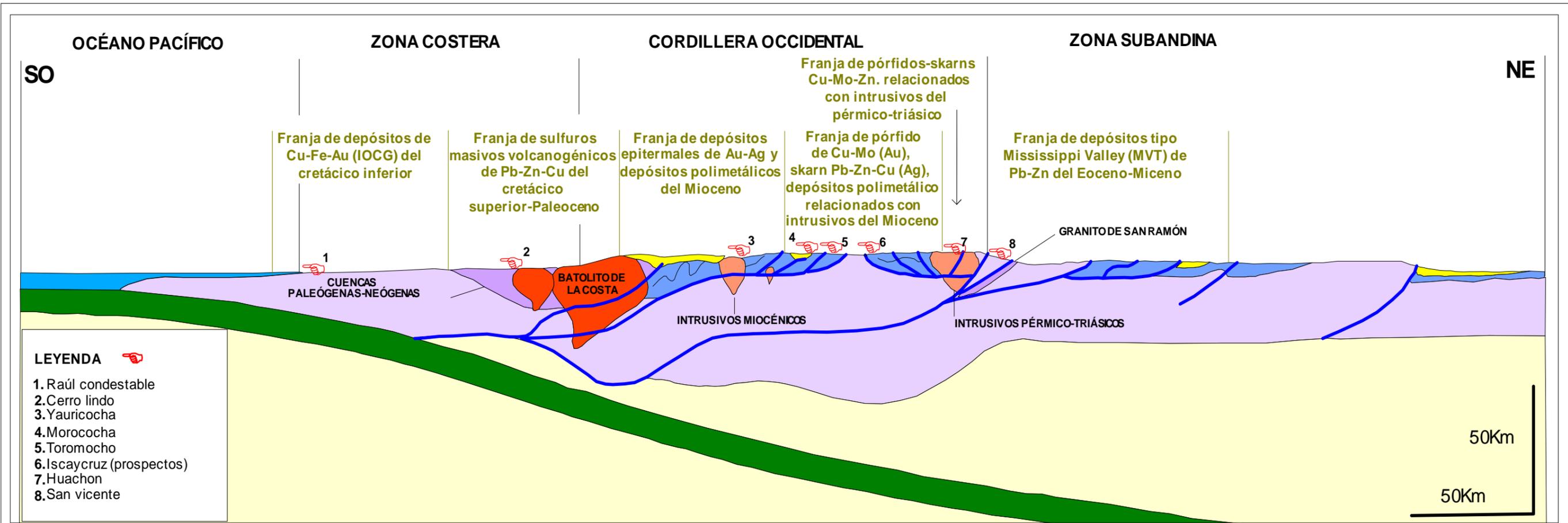
La composición del sedimento que caracteriza a las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat indica períodos cortos de levantamiento y subsidencia entre el Cretácico Inferior y Medio, que estuvieron seguidos por un largo período de subsidencia entre el Albience y el Campaniano. Como resultado de ello, se depositó en la cuenca originada una secuencia potente de rocas carbonatadas hasta que ocurrió un levantamiento regional importante de los Andes entre el Cretácico Superior y el Paleógeno (Megard, 1978) Este levantamiento fue denominado por Noble y otros (1990) como el período tectónico Incaico II y fue el responsable de la distribución de los dominios geológicos en los Andes Centrales peruanos, produciendo cabalgamientos y pliegues amplios en la unidad fisiográfica de la cordillera occidental (Figura 4).

En forma contemporánea a la sedimentación carbonatada en la Cuenca Occidental peruana, comenzó un período de magmatismo importante en su margen occidental con la intrusión del Batolito de la Costa (Cobbing, 1973). Se cree que este cuerpo magmático se ha intruído en un margen continental fracturado.

Este período magmático que comenzó con la intrusión del batolito de la costa continuó hasta 3Ma con la intrusión del Batolito de la Cordillera Blanca.

El magmatismo migró hacia el este, debido a la subducción, cambiando su composición y mostrando un incremento en el componente de la corteza continental (Atherton, 1990). Está representada por numerosas intrusiones pequeñas, ácidas, someras, que datan principalmente del Mioceno. El magmatismo del Mioceno se considera como el responsable de la mayoría de los eventos de mineralización en los Andes Centrales peruanos (Noble *et al*, 1990), ver figura 4.

-



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



SECCIÓN ESTRUCTURAL DEL CENTRO DEL PERÚ

TESISTA: BACH. YURI BECERRA COTRINA	<b>FIG. 04</b>	ESCALA GRÁFICA
ASESOR: MSc. ING. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES		WGS 84 ZONA 18S
SUPERVISOR: Dr. ABRAHAM ESCALANTE		

Figura 4. Sección estructural del centro del Perú mostrando los grandes dominios geológicos y las franjas metalogenéticas. Tomado y modificado de Moulin (1989).

### **3.3.1.1. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS REGIONALES**

#### **3.3.1.1.1. ROCAS ESTRATIFICADAS**

Las unidades que se describen a continuación se circunscriben dentro del cuadrángulo de Oyón, región que muestra la evolución de la secuencia sedimentaria de la cuenca del Cretácico con una notable concentración de importantes minas dentro de sus límites (Figura 5).

##### **3.3.1.1.1.1. Formación Oyón (Ki-o):**

Considerada de edad valanginiana, Wilson (1963) regionalmente se le encuentra desde las inmediaciones de la laguna Surasaca por el norte hasta el sureste de la localidad de Jucuy y en los núcleos de anticlinales siguiendo una dirección NNO-SSE.

Litológicamente consiste de limolitas, lutitas gris oscuras con estratos delgados de 5 a 30 cm, intercalados con areniscas pardas amarillentas, grises y grises claras en los estratos más gruesos. Otra característica litológica importante de la formación Oyón es que contiene niveles de carbón y tiene un grosor de 400 m. (Coobing, 1973).

**3.3.1.1.1.2. Grupo Goyllarisquizga.** Este grupo ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

##### **• Formación Chimú (Ki-chim)**

Consiste de cuarcitas, y en menor proporción de areniscas y arcillitas con mantos de carbón, sus afloramientos siguen una dirección noroeste a lo largo del cuadrángulo de Oyón. Descansa concordante sobre la formación Oyón e infrayace también concordante a la formación Santa, por lo que se le asume del Valanginiano.

Hacia su tope la Formación Chimú contiene frecuentes intercalaciones de lutitas grises y areniscas de grano fino. Existiendo un tramo de transición de varias decenas de metros hasta las calizas de la formación Santa (Cobbing, 1973). Su grosor estimado es de 500 a 700 metros, la presencia de carbón y plantas indica que esta formación se depositó en un ambiente de tipo fluvial.

- **Formación Santa (Ki-sa)**

Esta formación se encuentra concordante sobre la formación Chimú, está conformada por calizas azul grisáceas y puede presentar chert de color gris oscuro a blanco, con fragmentos de conchas.

Se le atribuye una edad del Valanginiano superior. Su grosor estimado es de 150 m y se le considera resultado de una deposición en ambiente intermedio, entre marino y continental.

- **Formación Carhuaz (Ki-ca)**

Al igual que las unidades estratigráficas que conforman el grupo Goyllarisquizga, fue descrita por Cobbing, (1973). Consta litológicamente de areniscas y lutitas que por procesos de meteorización adquieren una coloración marrón o marrón amarillenta. Wilson (1963) encontró espesores que varían entre 500 y 800 m. En las lutitas existen horizontes calcáreos de 1 a 2 m de grosor. Benavides (1956) determinó su edad a partir del hallazgo del Valanginites brogi, fósil característico del Valanginiano superior-Aptiano inferior

- **Formación Farrat (Ki-f)**

Sobreyace a las lutitas de la formación Carhuaz (Cobbing, 1973). por su posición estratigráfica se asume que tiene edad aptiana.

Litológicamente está conformada por areniscas blancas, deleznales y cuarcitas, con marcada presencia de estratificación cruzada. Su ambiente de deposición es deltaico. Tiene un espesor de 20 a 50 m.

### **3.3.1.1.1.3. Formación Pariahuanca (Ki-ph)**

Esta formación yace concordante sobre la formación Farrat e infrayace con la misma relación a la formación Chúlec. Su litología consiste de calizas macizas con cierto color gris azulado en estratos de 1 a 2 m de grosor, con tendencia algo lajosa. En los Andes Centrales el grosor de esta unidad estratigráfica alcanza 100 m. Borkowski (1975) menciona un grosor mayor de 400 m en la cordillera del Huayhuash; en cuanto a la edad, Benavides (1956) afirma que proviene del Aptiano al Albiano inferior, al igual que la formación Inca (equivalente lateral).

### **3.3.1.1.1.4. Formación Chulec (Ki-ch)**

Su litología consiste en una secuencia de calizas, margas y limoarcillitas calcáreas, con abundancia de fósiles. Esta formación aflora en el curso medio del río Huaura, en el

tramo Churín-Oyón hasta la divisoria continental. Las calizas son macizas con costras amarillas alteradas, en capas de 1 m de espesor; la formación es de color amarillo crema terrosa, muy característico, Benavides (1956) designó una edad del Albiano inferior de acuerdo a la fauna encontrada (Parahoplites).

#### **3.3.1.1.1.5. Formación Pariatambo (Ki-pa)**

Su litología consiste principalmente de margas marrón oscuras con olor fétido en superficie de fractura fresca y arcillitas negras con intercalaciones de calizas.

Mantiene un grosor de más o menos 100 m. La fauna exclusivamente pelágica de Oxytropidoceras indica que pertenece a la parte superior del Albiano medio.

#### **3.3.1.1.1.6. Formación Jumasha (Ks-ju)**

Esta formación consiste de calizas grises claras con niveles de margas y de chert en su parte inferior. Perales (1994) indica que su grosor estimado es de 800 m. Su disposición es concordante a las formaciones Chúlec y Pariatambo. De acuerdo a su posición estratigráfica, se le asigna una edad entre el Albiano superior y el Turoniano (Benavides, 1956; Wilson, 1963).

#### **3.3.1.1.1.7. Formación Celendín (Ks-ce)**

Esta unidad estratigráfica fue definida por Benavides (1956) y sobreyace en concordancia a la formación Jumasha. La litología típica consiste de margas de diversos colores. La asignación cronológica de esta formación fue hecha por Wilson et al. 1967, quienes le asignaron una edad del Coniaciano al Santoniano.

#### **3.3.1.1.1.8. Formación Casapalca (KTi-ca)**

Esta formación descansa sobre la formación Celendín. Litológicamente consiste de calizas, lutitas, margas y areniscas de colores rojo y verde. Su potencia promedio es de 1000 m. de espesor. Sobreyace aparentemente a la formación Celendín e infrayace en discordancia a los volcánicos del grupo Calipuy (INGEMMET, 2005).

Por su posición estratigráfica se le asigna una edad que va desde el Cretácico post-Santoniano hasta el Paleógeno temprano.

#### **3.3.1.1.1.9. Grupo Calipuy (KTi-vca)**

Después de la orogenia incaica, se desarrolló una superficie de erosión sobre la cual se depositaron los volcánicos Calipuy (Cobbing et al., 1981), unidad que tiene un grosor estimado de 500 m. La secuencia es extremadamente variada y consiste principalmente de lavas andesititas púrpuras, piroclásticos gruesos, tufos finamente estratificados,

riolitas y dacitas, todos los cuales presentan variaciones laterales bastante bruscas (Cobbing, 1973).

La edad del grupo Calipuy fue asignada por posición estratigráfica y dataciones, y se le considera como una actividad volcánica desarrollada durante el Eoceno al Mioceno.

#### **3.3.1.1.1.10. Depósitos morrénicos (Q-mo)**

Estos depósitos presentan una morfología de relieve suave de colinas y lomadas con material heterogéneo de diferentes tamaños, pobremente estratificados, que resultan de la actividad glacial del Pleistoceno hasta el Reciente.

#### **3.3.1.1.2. ROCAS INTRUSIVAS**

El estudio de las rocas intrusivas pone en evidencia directa la composición de los magmas, el cual es función en gran medida del ambiente tectónico en el cual es generado. su estudio nos ayudará a comprender ampliamente el medio tectónico donde fueron desarrollados y los mecanismos posteriores que permitieron su ascenso.

En el contexto geológico del área de estudio, Las rocas magmáticas del lado oeste de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú Central son típicamente de composición calco alcalina, de dimensiones relativamente pequeños, de edades básicamente miocenas y han formado skarns y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag en el contacto con rocas carbonatadas del Cretácico. (Bissig et al., 2008), ver figura 05.

Los intrusivos dentro de los límites del cuadrante de Oyón muestran litologías similares, todos están formados de tonalita holocristalinas, inequigranulares constituido por cristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles. Sin embargo, existen variaciones locales a granodioritas.

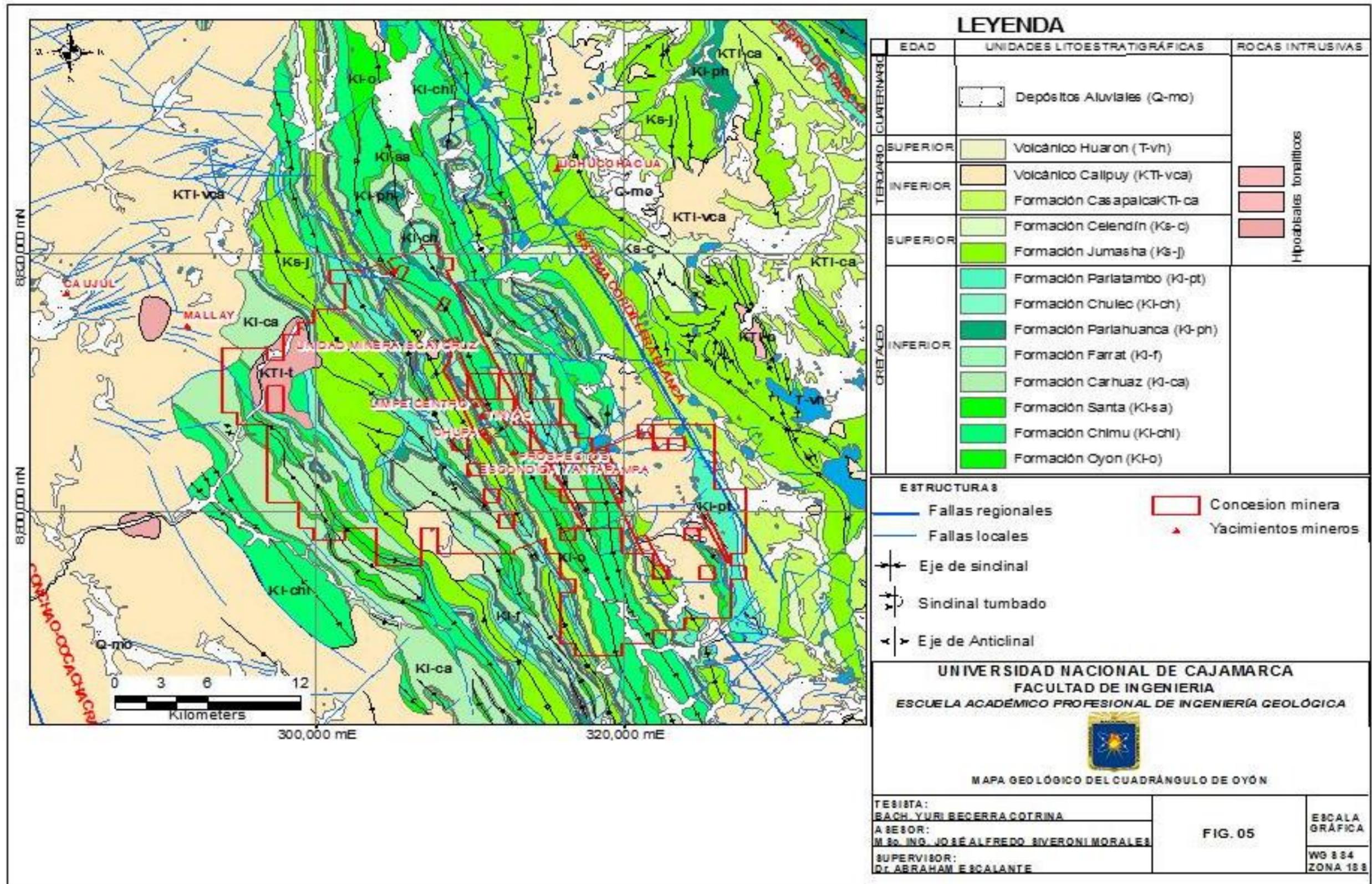
En las inmediaciones de los prospectos ubicados dentro de las concesiones de la Unidad Minera Iscaycruz; se ha reconocido dos tipos de rocas intrusivas. Un grupo de diques de riodacita con dirección noroeste y diques de andesita a pórfido de dacita con dirección este (Escalante y Hart, 2012)

Los diques de riodacita se encuentran aflorando en distintas partes del distrito minero Iscaycruz dentro de la formación Chimú.

Estos cuerpos de dique muchas veces concordantes con la estratificación muestran una textura de grano fino con ojos de cuarzo local y pequeñas inclusiones de sedimentos a lo largo de sus márgenes. Han sido moderadamente argilizados y silicificados por fluidos ácidos fuertes conforme lo indica el ensamblaje de alteración de mineral. Estos diques

han sido datados usando los métodos U-Pb de circón en aproximadamente 41 Ma. (Escalante y Hart, 2012).

El segundo grupo de diques de pórfido de dacita y andesita propilitizados, afloran en el margen occidental del Lago Quellaycocha y al oeste del prospecto Limpe Norte. Estos diques son datados en 13 Ma (Escalante y Hart, 2012) y están asociados a fallas con dirección este que desplazan cuerpos mineralizados de los depósitos minerales de la Unidad Minera Iscaycruz indicando que son posteriores a la etapa principal de mineralización de Zn de esta mina.



(Figura 05). Mapa geológico regional del cuadrángulo de Oyón mostrando los yacimientos más importantes de una parte de la franja de de Pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Así como el límite de las concesiones de la mina Iscaycruz. Tomado y modificado de INGEMMET (1998)

### **3.3.1.2. SISTEMA ESTRUCTURAL REGIONAL**

Los prospectos Escondida y Antapampa pertenecen a la Franja de Pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Esta franja se ubica en la Cordillera Occidental del centro y norte del Perú. Y está controlada, al oeste por el sistema de fallas de la Cordillera Blanca y al este por el sistema de pliegues y fallas del Marañón, que en realidad es un solo conjunto de dirección NO-SE y forma una faja plegada y corrida, con vergencia al NE. Su comprensión y caracterización son de vital importancia y sirven para establecer la evolución geológica y tectónica del medio donde se desarrollan. Así, pues, la Cordillera Occidental en esta parte de los andes del Perú central, presenta un estilo estructural peculiar con desarrollo de diversas estructuras tales como pliegues cerrados con planos axiales inclinados con vergencia al NE, fallas inversas de dirección NO-SE con buzamiento al este y al oeste, que han controlado la distribución de la mineralización y de la alteración en distintos yacimientos.

Estas estructuras son el resultado de la deformación mayor del Eoceno conocido como período de deformación Incaico II (Ángeles, 1987; Mourier, 1988; Noble et al., 1979a; Benavides, 1999) (Figura 6).

Se observa también otros sistemas de fallas de dirección E a NE que desplazan los antes ya mencionados y los cuerpos mineralizados, indicando que su desarrollo es posterior al período de deformación Incaico II y a las etapas principales de mineralización.

Estos eventos de compresión reflejan la dirección de la subducción. Los tiempos de distensión pueden haber ocurrido mientras se permitía el emplazamiento de los cuerpos intrusivos. (Escalante y Hart, 2012).

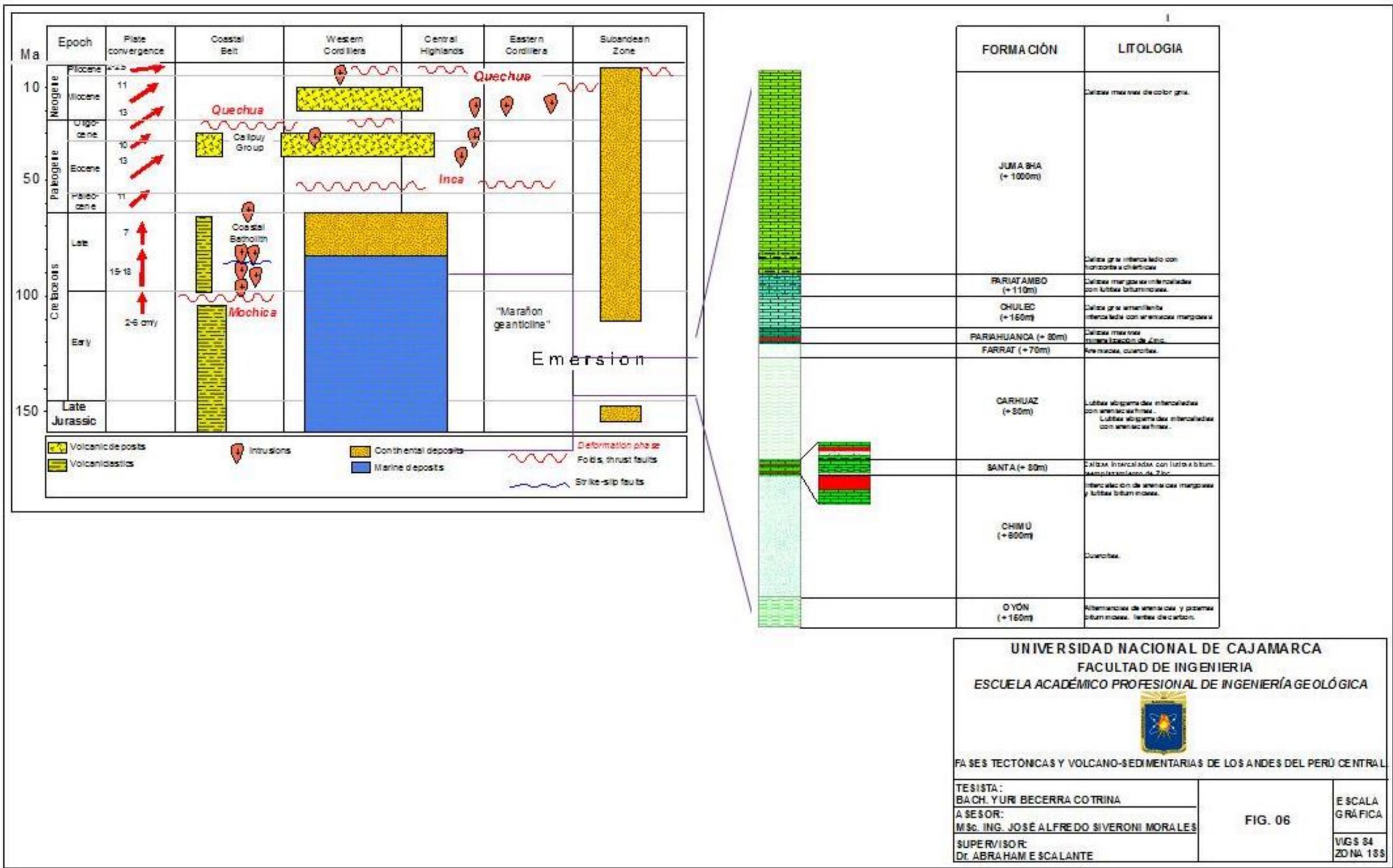


Figura 6. Fases tectónicas y volcano-sedimentarias de los andes del Perú central. Tomado de Pfiffner y Gonzalez (2013).

### **3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL**

En el área de estudio Las rocas aflorantes son atribuidas, en su totalidad, al grupo Goyllarisquizga, las cuales se disponen a modo de afloramientos discontinuos, debido a la cobertura vegetal, en dirección preferencial NNO a NO (Rumbo Andino). Los afloramientos de caliza correspondientes a la formación Santa presentan desarrollo de distintas expresiones a lo largo de su rumbo: monteras de óxidos masivos, cuerpos de brecha ovalados y cuerpos de roca de texturas porosas y esqueléticas (Figura 7).

En el área de estudio existen tres familias de fallas diferenciadas por su rumbo. La primera familia corresponde a fallas de rumbo NNO con ángulo de buzamiento moderado a alto. La segunda familia corresponde a fallas de rumbo NE. Estas dos primeras son parte del periodo de deformación Incaico II. Y la última familia corresponde a fallas de rumbo E-O que han desplazado las unidades sedimentarias con las distintas expresiones desarrolladas (Figura 7).

#### **3.3.2.1. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE LOS PROSPECTOS BAJO ESTUDIO.**

Las unidades sedimentarias mapeadas en el área de estudio, corresponden en su totalidad al Grupo Goyllarisquizga (Figura 7).

##### **3.3.2.1.1. Formación Chimú (Ki-chim)**

Corresponde a areniscas cuarzosas, de color blancas a gris claras, en bancos que van desde 0.15m a 1.00m de espesor. En algunos sectores se muestra masivo. Raramente se ha observado con intercalaciones de facies fina, como son lutitas negras de no más de 0.20m de espesor. intercalado con delgados niveles de areniscas.

En conjunto estas areniscas en el terreno tienden a tener una coloración blanca a beige crema y un aspecto morfológicamente más sobresaliente que el resto de unidades debido a su fuerte resistencia a la erosión. Solamente las areniscas de la unidad Farrat posee similar resistencia a la erosión y, por tanto, un aspecto morfológico similar a la formación aquí descrita.

Hacia su tope a pocas decenas de metros de la unidad santa se le ha observado con intercalaciones de areniscas calcáreas y niveles de lutitas grises.

En el extremo NO del área se observa un conjunto de afloramientos de la Unidad, densamente fracturados con presencia de fragmentos de cuarcita de diámetro no mayor a 2 cm y envueltos en masas de óxidos e introducidos dentro de las fracturas. Dando al conjunto un aspecto brechado y una tonalidad rojiza (Figura 8).

#### **3.3.2.1.2. Formación Santa (Ki-sa)**

Consiste sobre todo de calizas de grano muy fino, de color gris a gris oscura, en bancos que van de 0.15 a 0.40m de espesor, ocasionalmente puede llegar a medir 1.20m de potencia. hacia su base presenta niveles de chert que miden entre 0.05 y 0.30m de espesor de color negro.

Se ha observado frecuentes intervalos donde las calizas se alternan con lutitas gris a gris verdosas con espesores que alcanzan los 3.00m.

En el área de estudio esta unidad presenta a menudo intervalos que alcanzan los 150m de longitud donde se encuentra interestratificadas con lentes masivos discontinuos ricos en óxido de Mn  $\pm$  Fe con espesores de hasta 15m.

Hacia el lado sur del área se observa un intervalo de la unidad ocupado por cuerpos de brechas polimícticos ovalados, adyacente a este intervalo se observa un área con afloramientos rocosos de texturas porosas y esqueléticas.

Cabe destacar que esta unidad en varios sectores del área de estudio muestra un espesor no mayor a 40m lo cual es mucho menor que la que comúnmente presenta (Figura 8).

#### **3.3.2.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)**

esta unidad en el área de estudio se compone por una intercalación de areniscas grano fino de coloración gris oscuro a gris blanco e incluso gris verdoso con niveles de lutitas grises y areniscas calcáreas de coloración gris verdosa; los niveles de areniscas alcanzan hasta 0.30m de espesor, los niveles de lutitas pueden llegar a 1.00m de espesor.

En el terreno a esta unidad se le puede reconocer por presentar una suave topografía ondulada.

Sus afloramientos ocupan una franja de dirección NO-SE. Hacia el norte cerca al límite oeste del área sus afloramientos presentan vetas de esfalerita masiva con venillas de calcopirita de 0.05 a 0.30m de espesor con una longitud no mayor de 15m en superficie (Figura 8).

#### 3.3.2.1.4. Formación Farrat (Ki-f)

Esta unidad consiste sobre todo de areniscas y cuarcitas de color blanco. Geométricamente se conforma de estratos de espesores variables que van de 0.30 a 0.80m, con marcada presencia de laminación cruzada.

Durante el cartografiado realizado se ha observado que esta unidad incluye uno que otro nivel de areniscas bien clasificadas de grano muy grueso a conglomerado fino con desarrollo de óxidos de fierro masivo dentro de su matriz, dando un aspecto de montera de Hierro, su espesor no alcanza el metro.

Sus afloramientos ocupan un pequeño sector dentro del lado NO del área (Figura 8).

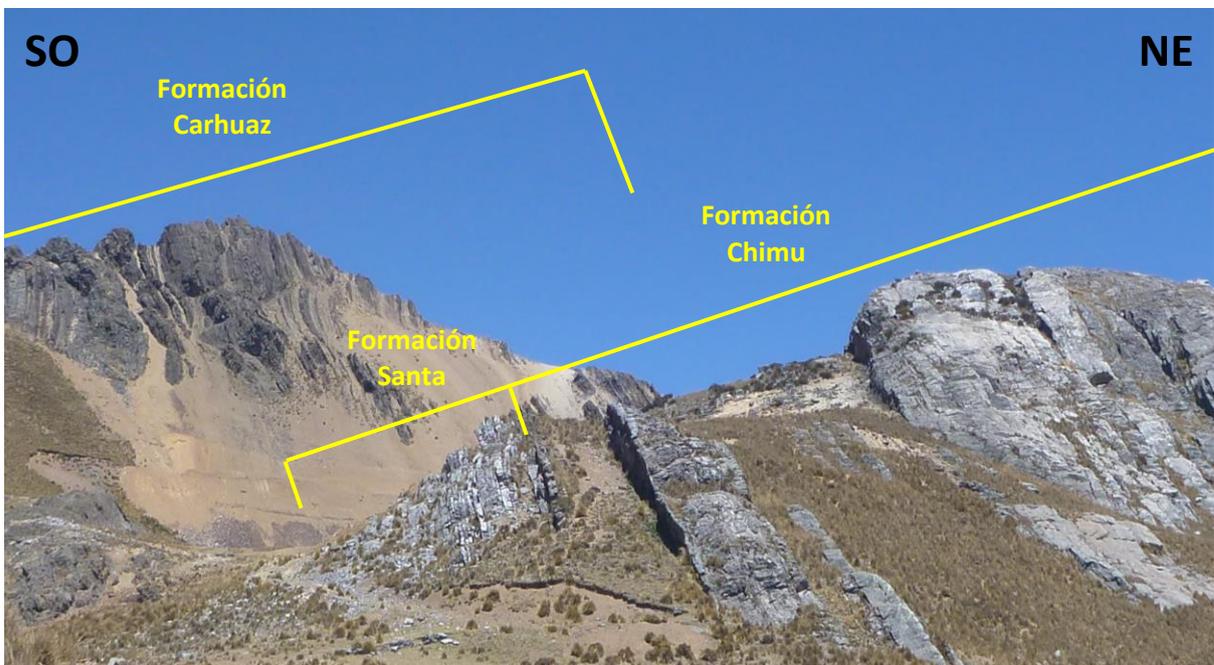


Figura 7. Vista al NO, secuencia sedimentaria del Grupo Goyllarisquizga en los prospectos Escondida y Antapampa.

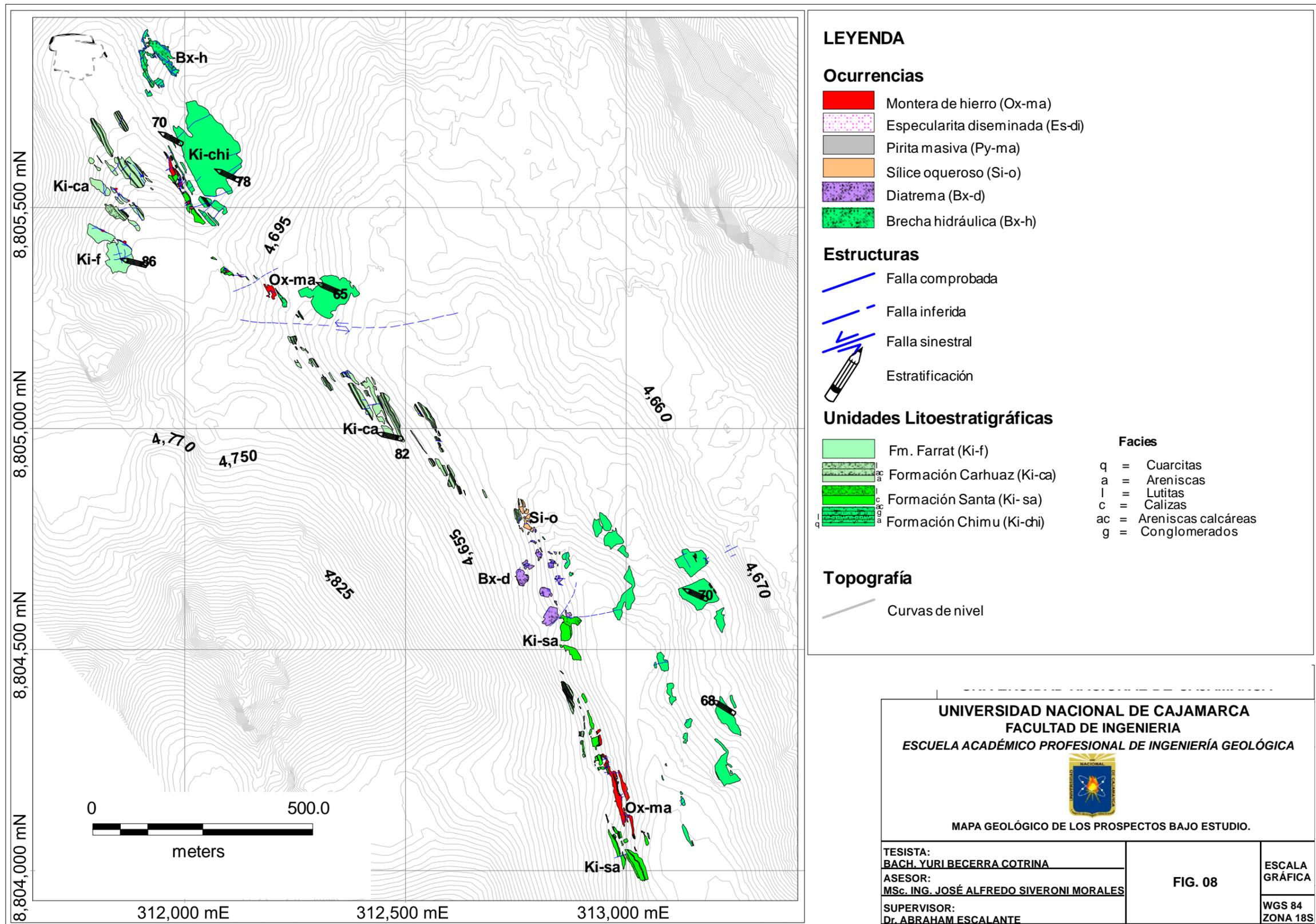


Figura 8. Mapa geológico de los prospectos Escondida y Antapampa, mostrando la distribución litológica de las unidades descritas por el autor en el presente trabajo.

### 3.3.2.2. SISTEMA ESTRUCTURAL DE LOS PROSPECTOS BAJO ESTUDIO

El área que ocupan los prospectos Escondida y Antapampa se halla dentro del flanco occidental de un pliegue anticlinal levemente volcado con vergencia al E, cuyo eje tiene una dirección NNO-SSE, denominado Anticlinal Pico yanqui.

En el área la estructuración de los afloramientos de las secuencias sedimentarias, se encuentran dispuestas en dirección sup-paralela al eje del anticlinal y se observa la presencia de tres sistemas de fallas que son: NNO, NE y E-O, diferenciadas por su rumbo, las cuales se detallan a continuación.

#### 3.3.2.2.1. Fallas NNO

Corresponde a una familia de fallas que en el área de estudio presentan rumbo NNO, se caracterizan por presentar generalmente planos de falla hacia el E con inclinaciones desde 30° hasta 75°, zonas de falla que alcanzan los 0.90m de espesor. con trazas de unas cuantas decenas de metros de largo en superficie.

En el lado nor-occidental del área, este sistema controla el borde oeste de los cuerpos de montera de hierro y cuarcitas de la formación Chimú densamente fracturados poniéndolos en contacto sobre areniscas limosas de la formación Carhuaz, dando al conjunto un espesor menor de lo que comúnmente presentan infiriendo su comportamiento inverso y dentro de la formación Carhuaz, éste sistema alberga relleno mineral constituido por esfalerita y calcopirita (Figura 9).



Figura 9: Vista al NO, fallas NNO. nótese el tipo de relleno mineral a manera de veta

### 3.3.2.2.2. Fallas NE

Corresponde a una familia de fallas que en el área de estudio presentan rumbo NE, se caracterizan por presentar generalmente planos de falla hacia el SE con inclinaciones desde 25° hasta 75° con trazas de no más de 30 metros de largo en superficie.

En el lado nor-occidental del área, este sistema controla el borde oeste de los afloramientos de cuarcita de la formación Chimú densamente fracturados y los pone en contacto sobre lutitas grises de la formación Carhuaz al igual que el sistema de fallas NNO (Figura 10).

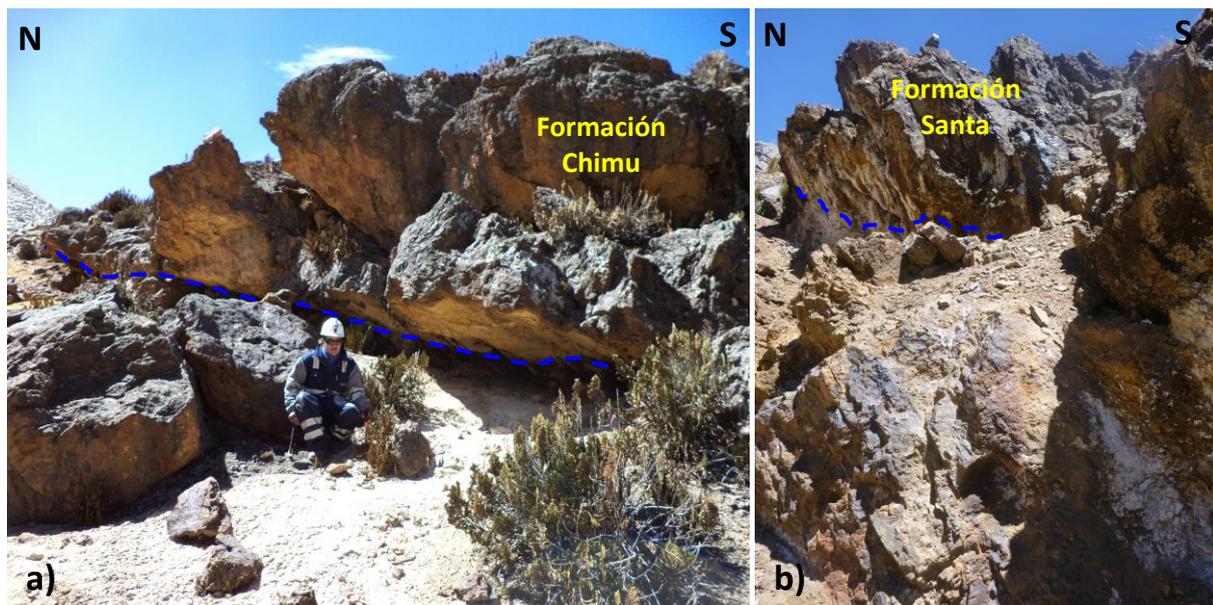


Figura 10: Vista al E, Fallas NE. a) Nótese la disposición geométrica de cuerpos de brecha crakel en concordancia con el rumbo de la falla. b) cuerpos de montera de hierro se orientan de manera sub-paralela y levemente oblicua a este sistema de fallas.

### 3.3.2.2.3. Fallas E-O

Corresponde a una familia de fallas que en el área de estudio presentan dirección E-O, se caracterizan por ser de movimiento principalmente de rumbo, en sentido sinistral que cortan las unidades sedimentarias y las diferentes expresiones desarrolladas en ellas. Sus desplazamientos en el área van desde unos pocos metros a más de 300-400 metros (Figura 11)

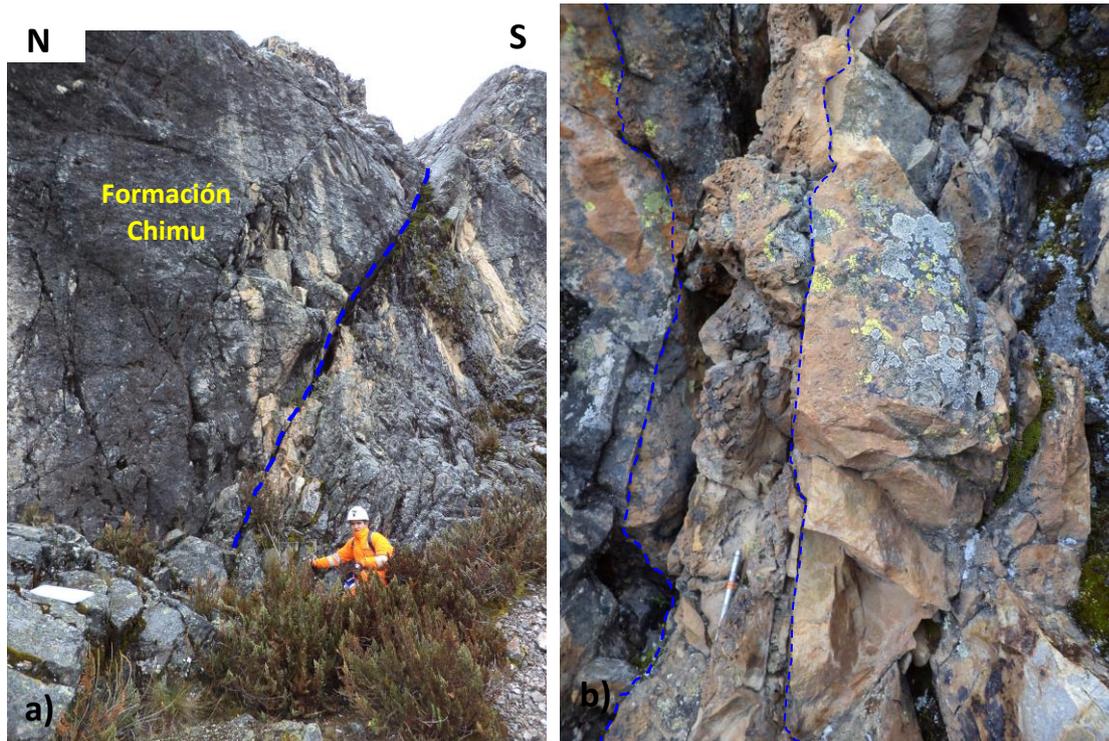


Figura 11: Vista al E, Fallas E-O. a). Vista panorámica b). vista en acercamiento.  
Nótese la formación de brechas de falla en espacios cortos, conformados por fragmentos de la roca caja envueltos en una matriz enriquecida en óxidos.

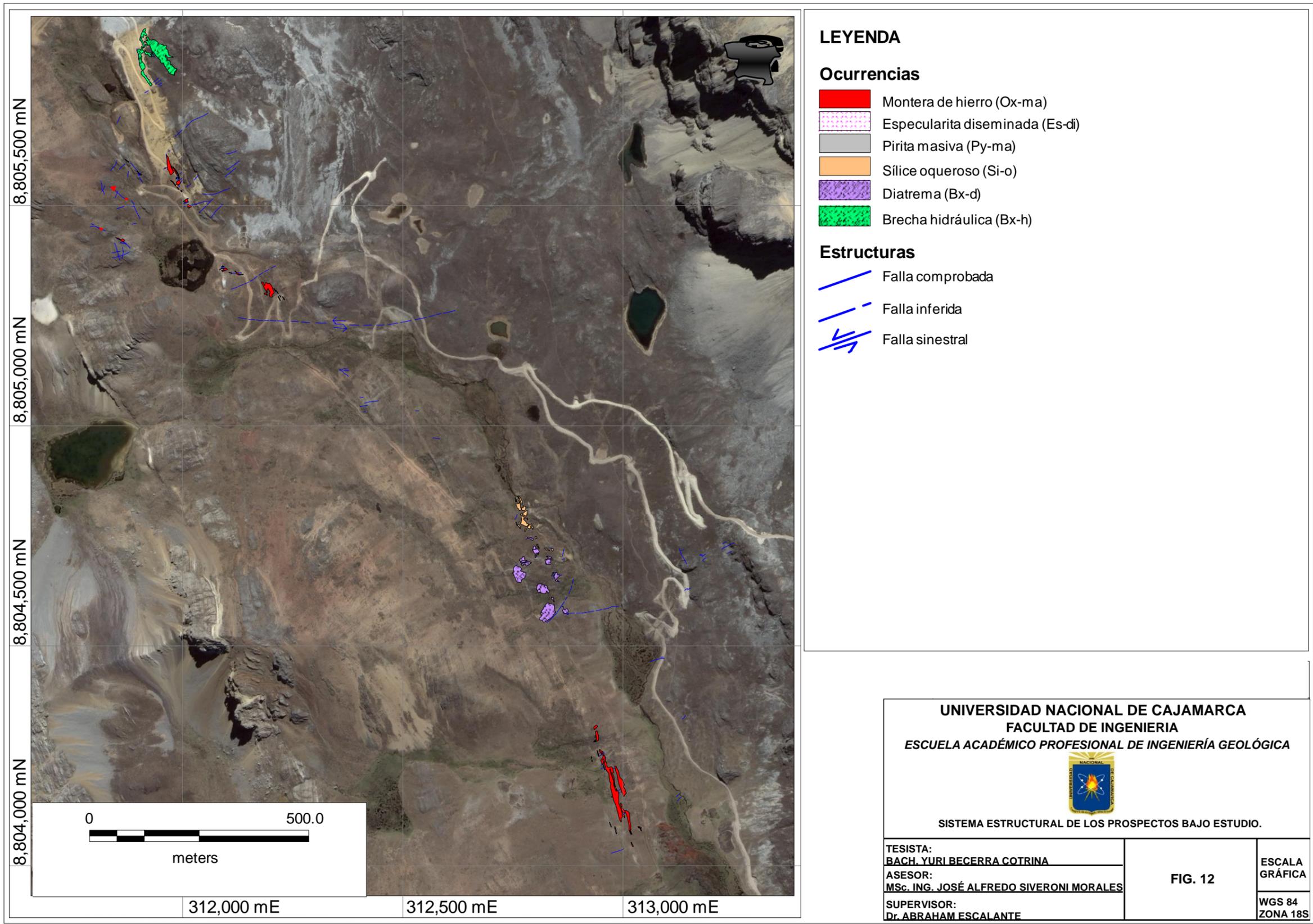


Figura 12. Sistema estructural de los prospectos Escondida y Antapampa, con la ubicación de las distintas ocurrencias mineralizadas.

Los estudios hasta aquí mencionados describen las principales características de los sistemas de fallas de los prospectos, mostrando que:

- Los sistemas de falla inversos NNO y NE de rumbos diferentes ( $\alpha$  no mayor a  $60^\circ$ ), no implica necesariamente que estas constituyen sistemas aislados, si no que pueden ser parte de un solo sistema que presenta variaciones direccionales en el vector de propagación de su falla, debido a las inhomogeneidades de los materiales rocosos que atraviesa, que pueden dar lugar a la formación de estructuras favorables para albergar mineralización
- De acuerdo con lo anteriormente expuesto este único sistema manifiesta planos de falla sub-paralela a la superficie axial del anticlinal Pico yanqui y a la estructuración de las secuencias sedimentarias, sugiriendo su formación como respuesta al plegamiento a partir de planos de discontinuidad como son la estratificación, contactos litológicos y fracturas.
- Los sistemas de falla NNO y NE controlan la disposición geométrica de los cuerpos de montera de hierro anteriormente cuerpos de pirita masiva, de cuarcita de la formación Chimú densamente fracturados y en parte los cuerpos de diatrema. por lo tanto, se asume que estos sistemas de falla fueron los principales conductos para el escape de los fluidos hidrotermales en la zona de estudio.
- El sistema de falla E-O cortan las unidades sedimentarias y desplaza las diferentes expresiones desarrolladas en ellas sugiriendo aparentemente su formación posterior a los a los eventos de mineralización y a los sistemas de falla NNO y NE.

### **3.3.2.3. MINERALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

En el distrito minero Iscaycruz; lugar donde se encuentra nuestra zona de estudio, el momento de los episodios magmáticos-hidrotermales ha sido definido parcialmente. La interpretación de los resultados de los diferentes trabajos de campo, estudios petrográficos y microscópicos llevados a cabo años atrás sugieren que el responsable de la alteración y la mineralización de sus principales depósitos y prospectos fue un cuerpo intrusivo emplazado a poca profundidad (Escalante y Hart, 2012).

Los ensambles de alteración mineral y la zonificación de los metales indican que los fluidos mineralizantes provenientes de este cuerpo intrusivo pasaron por lo menos por tres etapas que se extendieron principalmente al sur y norte a través de capas permeables de la Formación Santa en el flanco oeste del anticlinal Pico yanqui. Una de estas etapas fue la responsable de la mineralización económica en Iscaycruz (Escalante y Hart, 2012).

Los prospectos Escondida y Antapampa ubicados en el extremo sur del distrito minero Iscaycruz y más precisamente en la parte este de la laguna Larlac, abarcan un área de 2000m x 1700m, donde ha sido posible establecer que han existido dos eventos de circulación de fluidos hidrotermales con características bien definidas cada uno y que han desarrollado mineralización y alteración en las rocas encajantes

#### **3.3.2.3.1. Primer evento de mineralización.**

Este evento presenta un ensamble mineral semejante a los que se muestran en los depósitos mineralizados del distrito y que fueron el resultado de un fluido hidrotermal que originó el skarn y depositó cantidades importantes de sulfuros dentro de cada uno de ellos (Escalante y Hart, 2012).

En los prospectos bajo investigación se presenta como una alteración de clorita ± epidota con mineralización de esfalerita. Se caracteriza por desarrollarse en parches y en venillas. Las características de este evento no son visibles en superficie sino debajo de ella y hacia el lado norte del área de estudio.

La perforación ANT-L1300-01 intersectó niveles de skarnoides de clorita + epidota mineralizados con esfalerita dentro de la Formación Chimú (Figura 13).

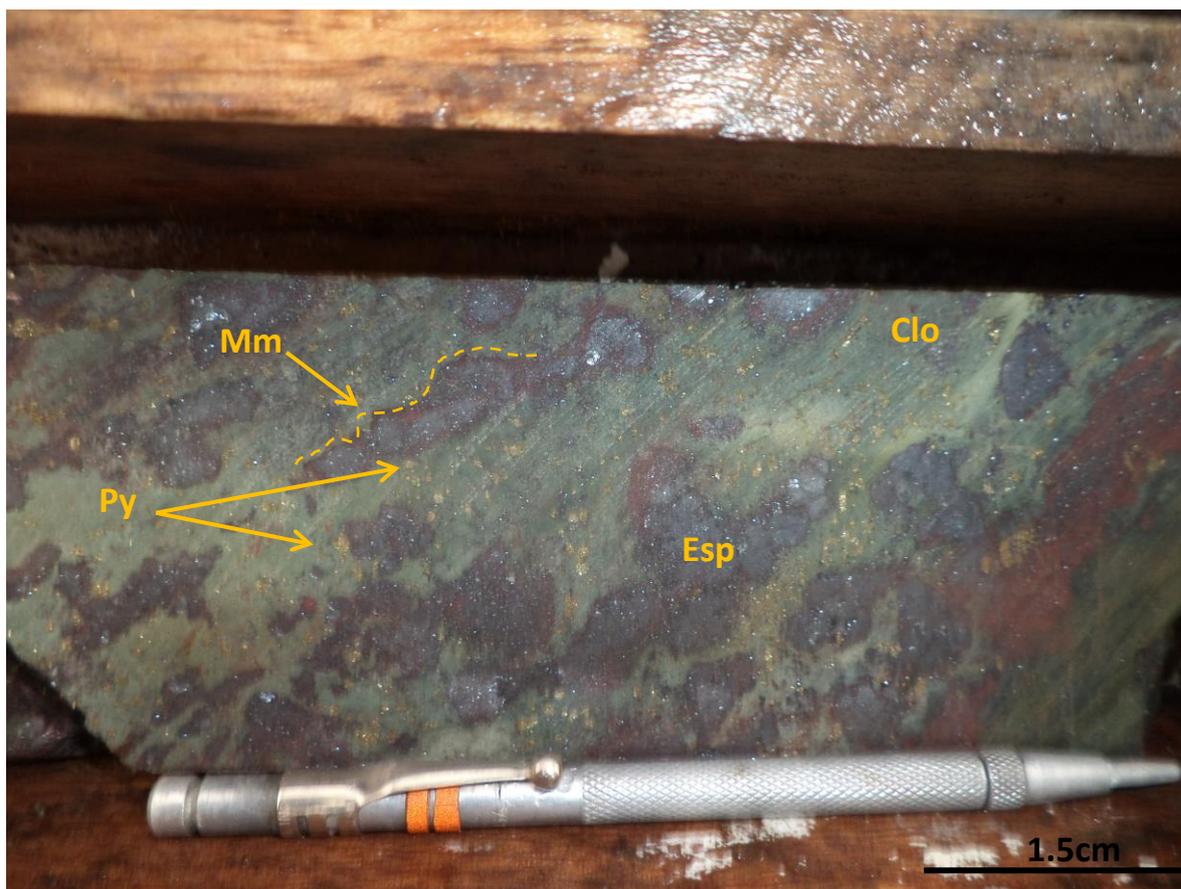


Figura 13: Fotografía de una muestra del sondaje ANT-L1300-01(234.35m), nótese la presencia de parches irregulares de specularita con bordes delgados de marmatita, desarrollado en una matriz de arenisca de la Formación Chimú, con alteración clorítica intensa. Contiene 0.02% Zn

### 3.3.2.3.2. Segundo evento de mineralización.

Es el evento que ha generado un importante volumen de alteración y mineralización en las rocas del área de estudio y está vinculado a un fluido mineralizante fuertemente ácido, que posiblemente corresponde a la fase póstuma del sistema hidrotermal que produjo el skarn en Iscaycruz.

Se caracteriza por presentar una mineralización de pirita masiva  $\pm$  sílice con desarrollo de alteración hidrotermal tanto dentro de los cuerpos de sulfuro como en las rocas inmediatas que las albergan. En consecuencia, en superficie afloran un conjunto de ocurrencias vinculadas a este evento, que a continuación se describen:

#### 3.3.2.3.2.1. Brechas polimícticos.

Hacia el lado sur del área de estudio se observa un intervalo de la unidad Santa ocupado por cuerpos de brechas polimícticos de formas mayormente semi-ovoide. están compuestos principalmente por fragmentos sub-angulosos a sub-redondeados de

cuarcitas, calizas, lutitas y arenisca en menor proporción soportados en una matriz de polvo de roca, gris oscuro. (Figura 14). Resultados del estudio microscópico realizado sobre muestras obtenidas de estos cuerpos, muestran desarrollo de sericita y pirofilita en los intersticios de los fragmentos y menos frecuentemente como relictos en la matriz, definiendo una alteración argílica débil a moderada asociada a una diseminación profusamente dispersa y de variado tamaño de pirita.

La perforación ANT-L1300-01 ejecutada sobre este sector con el objetivo de observar el comportamiento vertical de estas brechas, mostro que estos cuerpos de brecha tienen forma pseudo-cilíndrica y, lo que es más importante muestran una rápida transición a cuerpos de pirita masiva con relictos de cuarzo interestratificada con niveles delgados ricos en especularita asociado con siderita, illita  $\pm$  moscovita, acompañada de halos intensamente dolomitizados desarrollados en las inmediaciones de las rocas que las albergan y aun se ha logrado observar en las unidades silicoclásticas el desarrollo de sus alteraciones.

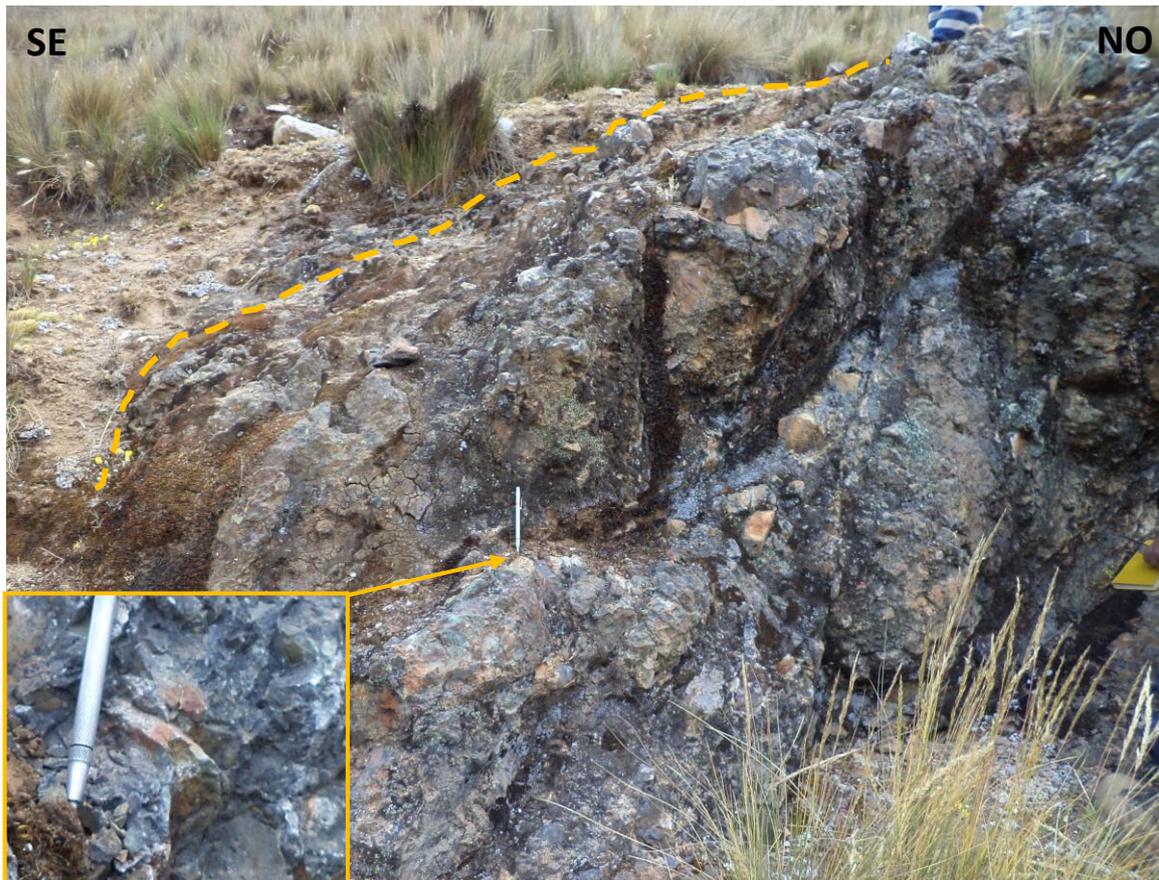
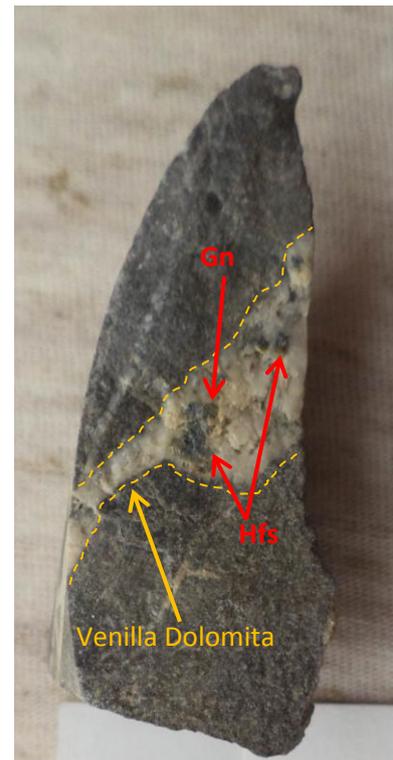


Figura 14: Vista al SO, Cuerpo de brecha de forma semi-ovoide, se reconoce clastos sub-angulosos de litologías conocidas en el entorno de la brecha (ocasionalmente con bordes reemplazados a sericita) soportadas por una matriz de polvo de roca. Contiene 0.19gr/t Au y 0.13% Cu

Figura 15: Fotografía de una muestra del sondaje ANT-L650-01B (295.70m), Caliza relictas dentro de los Cuerpos de pirita, nótese la intensa alteración dolomítica. cristales de Esfalerita y Galena dentro de una venilla de dolomita. Contiene 0.4% Zn y 0.14% Cu.



### 3.3.2.3.2.2. Cuerpos de Montera de Hierro.

En el área de estudio aparecen cuerpos de montera de hierro en superficie, de formas irregulares, que mantienen un lado mayor sub-paralelo al rumbo de los estratos. Sus longitudes varían desde unos pocos metros hasta más de 150m. Sus espesores llegan a alcanzar 15 metros que cuando no se encuentran interestratificadas con niveles de roca donde su espesor no alcanza el metro. Sus afloramientos ocupan y se distribuyen dentro de la Formación Santa y en menor proporción dentro de la Formación Farrat (Figura 16). Estos cuerpos ricos en óxido de manganeso y hierro presentan diseminaciones de especularita, esfalerita y calcopirita local con o sin desarrollo de alteración hidrotermal en la roca huésped (Figura 17).

Se examinó la perforación ANT-L850-01 que fue realizada con el objetivo de definir la continuidad de estos cuerpos y se encontró que, a unos 120m debajo de la superficie rocosa, había un intersecto de cuerpos de pirita masiva con delgados niveles ricos en especularita, inclusiones locales de siderita en trazas al 1%, esfalerita y calcopirita local. La roca huésped presenta alteración dolomítica con esfalerita limpia local en trazas al 1%.

sugiriéndonos que estos cuerpos de hierro son de origen supergénico y están sobrepuestos a un evento hipogénico anterior vinculado a fluidos mineralizantes fuertemente ácidos.



Figura 16: Vista al NO, afloramiento de calizas interestratificadas con niveles de óxidos de origen Supergénico, nótese el desarrollo de patinas de color amarillo azufre Correspondiente al mineral Jarosita.



Figura 17: Fotografía de un afloramiento de sombrero de hierro, nótese la presencia de playas de specularita y venillas de malaquita (derivado de la alteración de la calcopirita).

### 3.3.2.3.2.3. Cuerpos de textura esquelética.

Inmediatamente al norte de los cuerpos de brecha se observan un conjunto de afloramientos de roca arenisca de textura oquerosa y esquelética, que ahora están compuestas principalmente de cuarzo con cantidades pequeñas de pirofilita y alunita (Figura 18). Este ensamble mineral de alteración también ha sido observado llenando fracturas en las cuarcitas de la Formación Chimú y puede estar vinculado a una fase de emisión de vapores magmáticos altamente ácidos correspondientes al evento de mineralización de la pirita masiva.

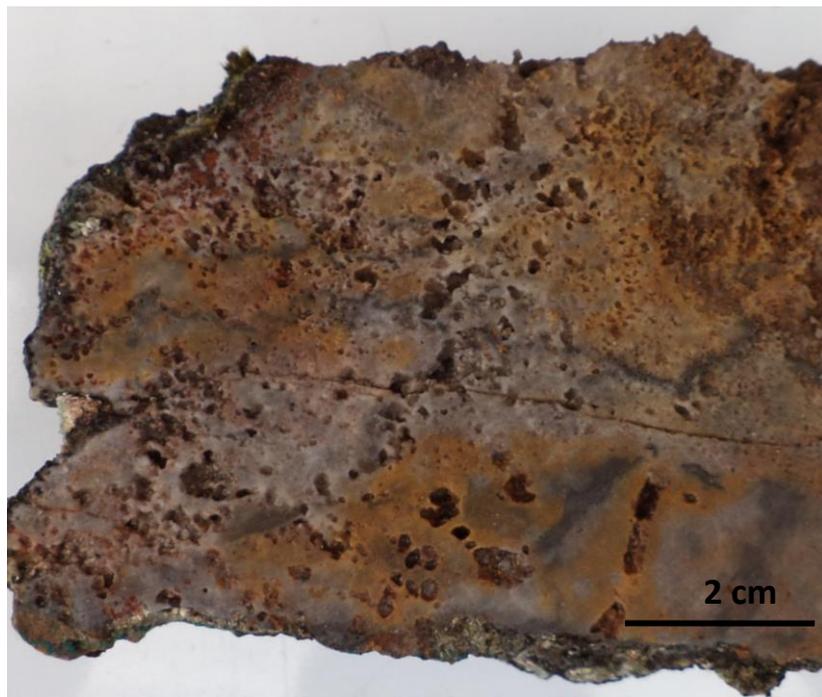


Figura 18. Muestra de mano de un afloramiento de arenisca intensamente silicificada, nótese la presencia de oquedades, ahora rellenas de pirofilita, alunita y óxidos de origen supergénico . contiene 0.02% Zn y <0.01Au gr/t

### 3.3.2.4. ALTERACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La alteración hidrotermal asociada a la mineralización en el área de estudio, presenta una zonificación de transición según sus ensambles de minerales hallados y se presentan por lo general, de manera selectiva discriminando unidades litológicas y dejando relictos de roca inalterados dentro de ellas y también de manera pervasiva borrando las texturas originales de las rocas sedimentarias.

Estos tipos de alteración identificados son: Clorítica, Argílica avanzada, Dolomítica y Silicificación.

#### 3.3.2.4.1. Alteración Clorítica

Esta alteración se restringe a intervalos locales dentro de las unidades sedimentarias Chimú, Carhuaz y Farrat, determinada solamente en profundidad por los sondajes, sugiriendo que localmente ocurrió una extensa circulación de fluidos no sólo a través de la Formación Santa sino también a través de las demás Formaciones (Escalante y Hart, 2012).

Se caracteriza por un reemplazamiento parcial o total de la matriz de las rocas y en ocasiones se presenta en venillas. Su grado de intensidad es de débil a fuerte y se presenta asociada a mineralización local de esfalerita  $\pm$  pirita (Figura 18).



Figura 19: Fotografía de una muestra del sondaje ANT-L1300-01 (267.35m), nótese el grado de alteración en la roca (skarnoide) cortada por venillas de clorita con diseminaciones de Esfalerita dentro de ella.

### 3.3.2.4.2. Alteración Argílica avanzada

La alteración argílica avanzada se desarrolla comúnmente dentro de los cuerpos de pirita masiva y en las secuencias de cuarcitas y areniscas de la formación Chimú y Carhuaz respectivamente, también se presenta llenando fracturas y zonas de fallas.

Está definida por la asociación mineralógica de pirofilita, zunyita, alunita y azufre nativo. Esta alteración está asociada al segundo evento de mineralización, caracterizada por un importante volumen de pirita y specularita principalmente y esfalerita y calcopirita en forma subordinada.

Cabe mencionar que esta alteración ocurre en las distintas formaciones del grupo goyllarisquizga en áreas pequeñas y profundiza juntamente con los niveles de pirita masiva.



Figura 20: Fotografía de una muestra del sondaje ANT-L1300-01 (45.50m). Nótese la alteración argílica avanzada desarrollada en la matriz de una cuarcita de la Formación Chimú.

Figura 21: Fotografía de una muestra de brecha de falla. Nótese la presencia de Pirofilita en parches irregulares siguiendo una dirección preferente.



### 3.3.2.4.3. Dolomitización

La alteración dolomítica se desarrolla en las calizas que se ubican en las inmediaciones de los cuerpos de montera de hierro (Figura 22) y en los alrededores de los cuerpo de pirita masiva a profundidad.

Está definida por la asociación mineralógica de dolomita, ankerita y siderita, se presenta generalmente en forma penetrativa formando cuerpos y en venillas. En sectores los grados de intensidad varían de moderado a fuerte.

Las venillas de dolomita en frecuentes ocasiones presentan cristales de esfalerita y galena. Esta alteración está directamente asociada al segundo evento de mineralización

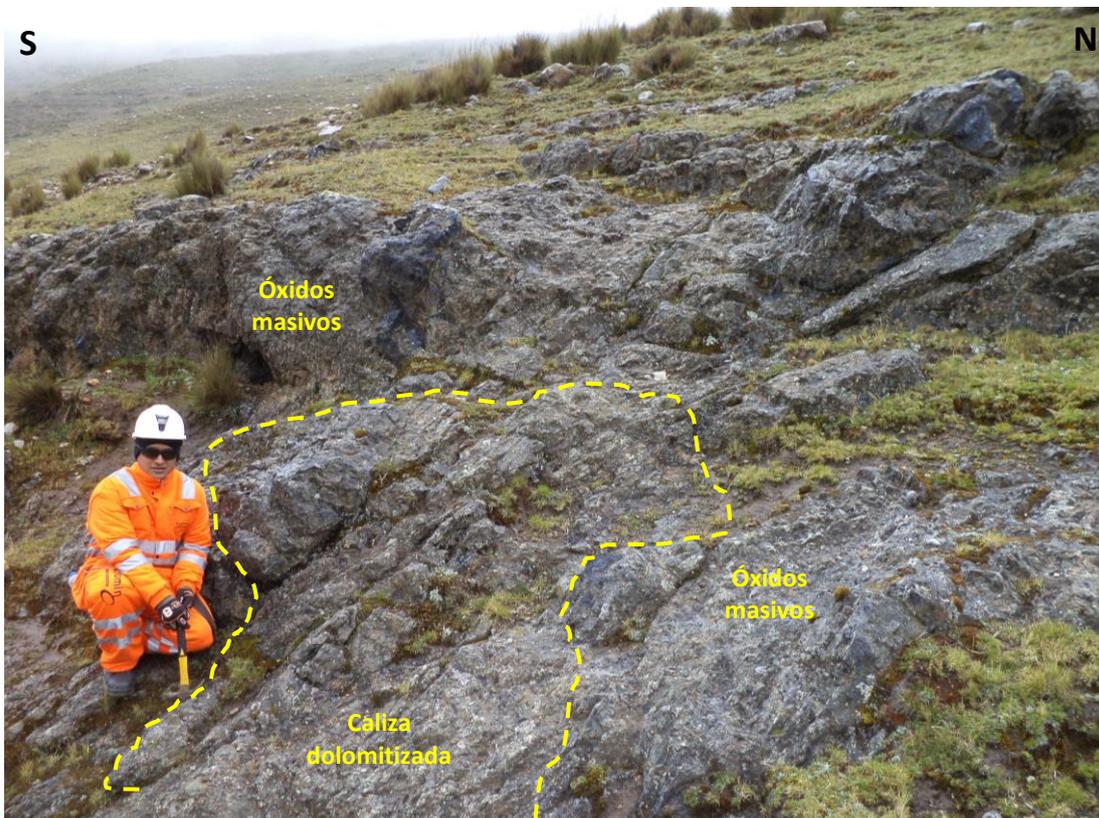


Figura 22. Vista al O. Intervalo de la Formación Santa, ahora agregados masivos de óxidos conservando porciones de caliza intensamente dolomitizados.

#### 3.3.2.4.4. Silicificación

Esta alteración ocurre dentro y cerca de los cuerpos de pirita masiva, e incluso se lo ha reconocido en litologías relativamente distantes a estos cuerpos.

Está definida por la asociación mineralógica de cuarzo  $\pm$  pirofilita, se presenta generalmente de forma penetrativa, en venillas y rellenando fracturas (Figura 23).

El grado de intensidad de esta alteración es moderado a fuerte y es atribuido a fluidos fuertemente ácidos conforme lo indica el ensamble de minerales que lo conforman.



Figura 23: Fotografía de una muestra del sondaje ANT-L1300-01 (222.30m), nótese la presencia de venillas de cuarzo cortando cuarcitas de la formación Chimú.

### 3.3.2.5. Descripción Petrográfica

#### 3.3.2.5.1. Estudio Microscópico

Para este estudio se tomaron 17 muestras de mano representativas, en las distintas ocurrencias minerales manifestadas en superficie, posteriormente se seleccionó un área dentro de cada una de ellas de donde un laboratorio externo obtuvo la sección delgada y pulida para cada una de ellas.

El propósito de este trabajo fue el de identificar los minerales de alteración y mineralización asociada y las relaciones que se establecen entre ellos, a fin de poder deducir las condiciones de formación y los procesos que las originaron.

Para tal fin, se utilizó el microscopio OLYMPUS modelo BX51-P, del laboratorio de Metalurgia de la Unidad Minera Iscaycruz

Cada una de las fotografías que a continuación se describen muestra los aspectos mineralógicos más resaltantes observados bajo el microscopio. Las abreviaciones utilizadas se han tomado según formato establecido del laboratorio externo:

ARCs: arcillas, CLOs: cloritas, cz: cuarzo, LMs: Limonitas, sil: sílice, Aln: Alunita, Prph: pirofilita, ser: sericita, Py: piritita, Cpy: calcopirita, Esp: especularita, I: Tipo 1, II: Tipo 2.

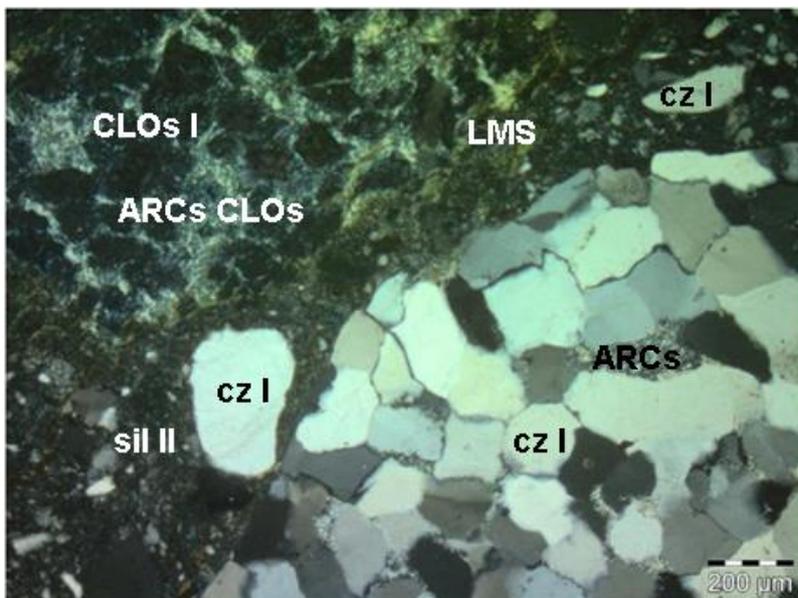


Figura 24:  
Luz transmitida. Nícoles cruzados. Brecha polimíctica. Notese la presencia de fragmentos de cuarzo I (con sericita y arcillas intersticiales), y fragmentos de roca con textura porfírica (constituida por fenocristales reemplazados por clorita I rodeados por arcillas cloritizadas. (Sección pulida de la figura 14)

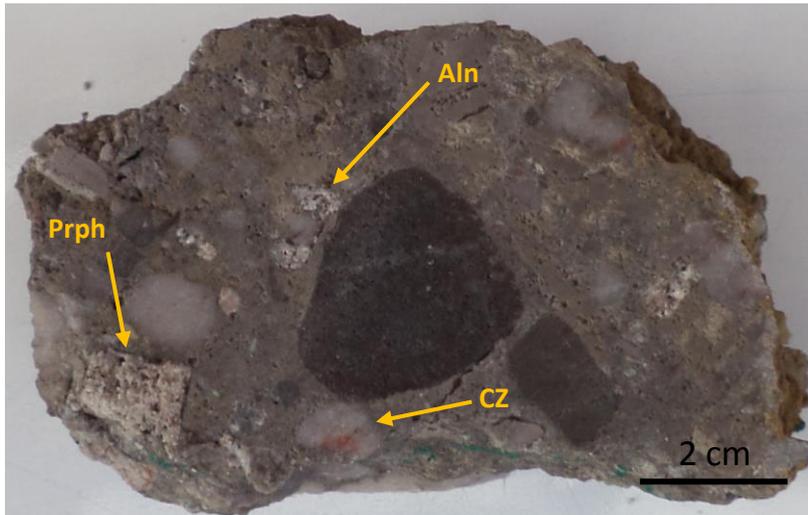


Figura 25. Muestra de mano de un afloramiento de brecha polimíctica con alteración argílica avanzada. Fragmentos de cuarcita gris y cuarzo blanco.

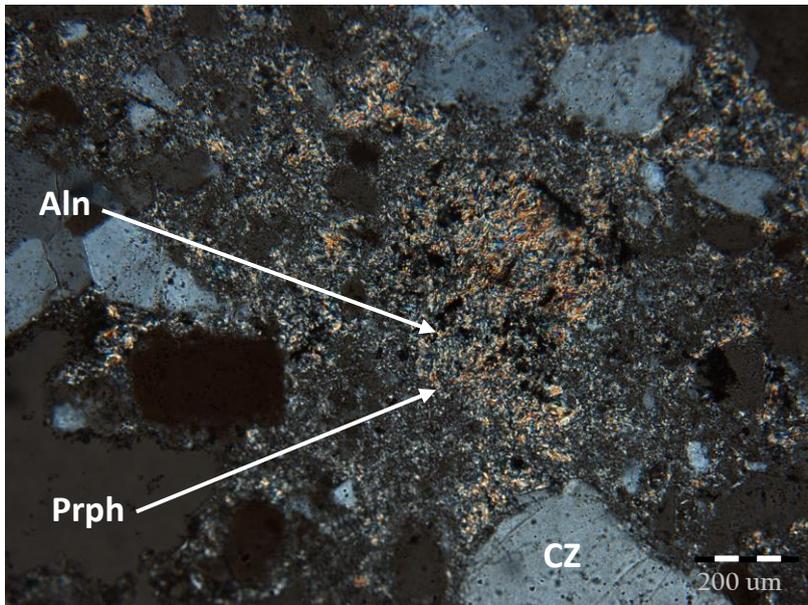


Figura 26: Luz transmitida. Nícoles cruzados. Nótese la intensa alteración argílica avanzada, debido a la presencia de agregados de grano fino de micas de pirofilita y alunita bordeando granos de cuarzo en una brecha polimíctica (Sección delgada de la figura 25)

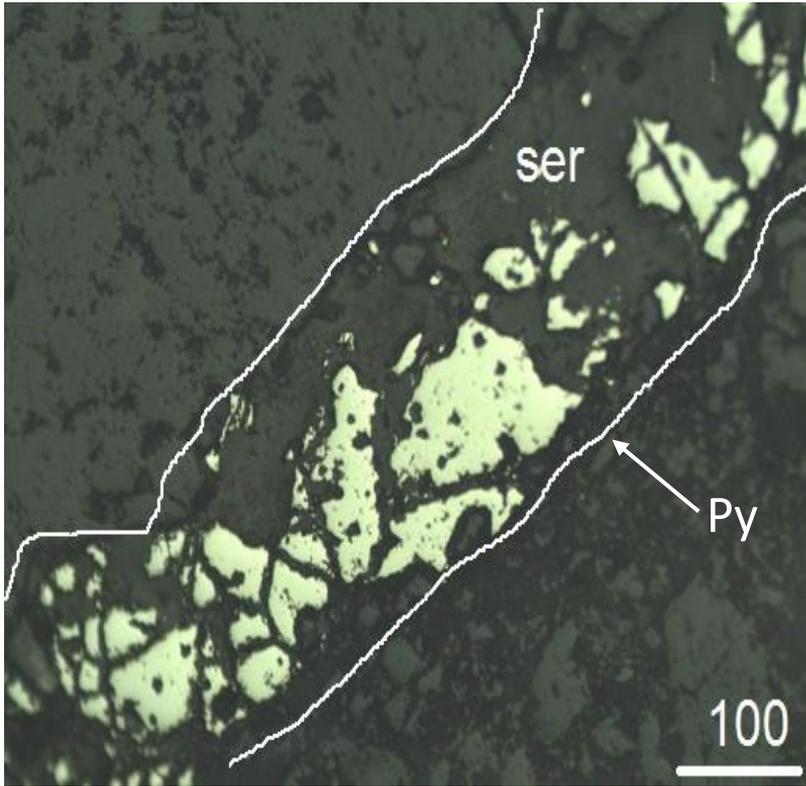


Figura 27: Luz reflejada. Nícoles paralelos. Venilla de pirita parcialmente corroída por ataque de sericita/arcillas en muestra de mano de una brecha polimíctica

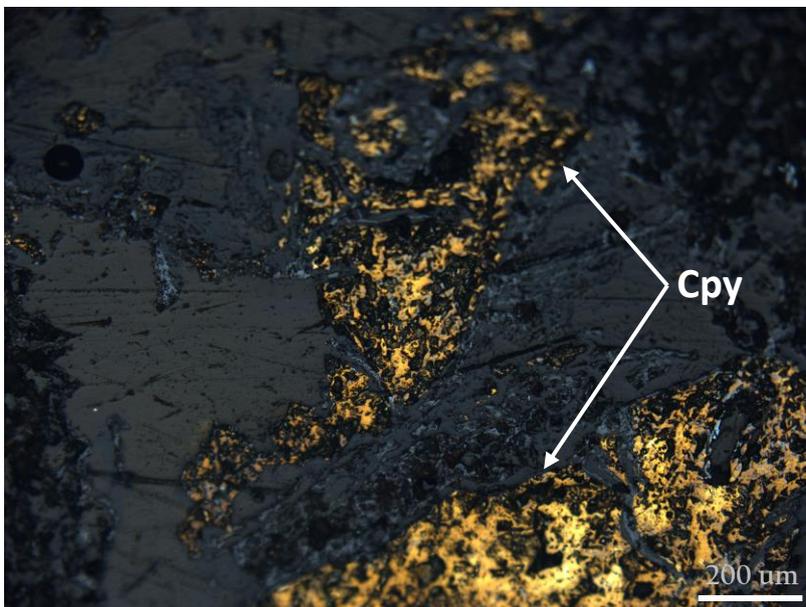


Figura 28: Luz reflejada. Nícoles paralelos. Cristales de calcopirita subhedral en matriz microcristalina de un cuerpo masivo de óxidos (Sección delgada de la figura 17)

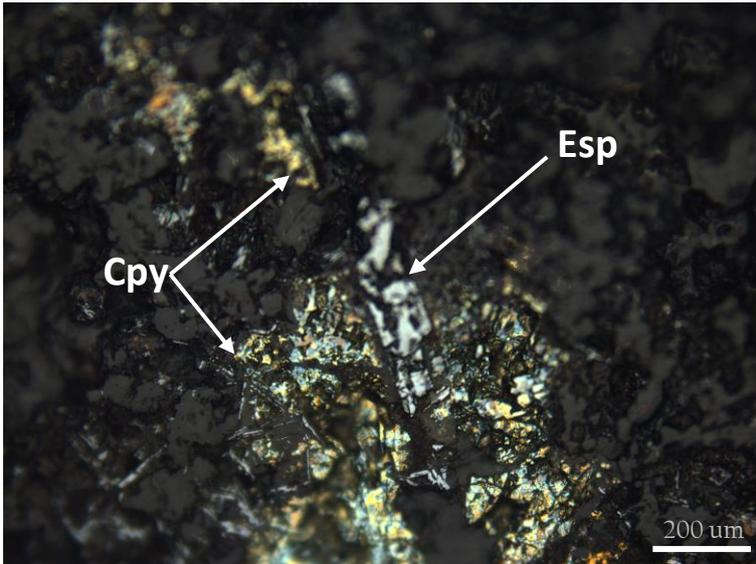


Figura 29: Luz reflejada. Nicoles paralelos. Agregado de cristales intercrecidos de specularita y calcopirita subhedral en matriz microcristalina de un cuerpo masivo de óxidos (Sección delgada de la figura 17)

### **3.4. TRATAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.4.1. Introducción**

Los análisis geoquímicos fueron efectuados en 584 muestras de rocas recolectadas tanto en superficie como en profundidad en los prospectos Escondida y Antapampa

La recolección de las muestras se realizó en dos fases subsecuentes llevadas a cabo durante los años 2008 y 2009 respectivamente.

#### **3.4.2. Fundamentos y Objetivos del Muestreo**

Como el área de estudio presenta un conjunto de ocurrencias minerales y alteraciones diferentes, el muestreo tuvo como propósito determinar los contenidos geoquímicos de elementos de esas litologías. Su toma durante la primera fase de mapeo se realizó a través de canales transversales a la orientación de los cuerpos mineralizados, llevados a cabo solo en sectores específicos y bajo estrictos procedimientos de control de calidad al momento de la toma. Se recolectaron un total de 36 muestras. Mientras que en la siguiente fase de perforación la toma de muestra se llevó a cabo sobre testigos de roca, distribuidas de forma contigua a lo largo de las mismas con longitudes variadas definidas en base a los cambios litológicos, mineralógicos y estructurales. Se recolectaron un total de 548 muestras.

#### **3.4.3. Método de Análisis**

Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio ALS Chemex de Lima, Peru, utilizando el método analítico ME-MS61 por 48 elementos, que incluye una digestión de cuatro ácidos de muestras de roca pulverizada y el análisis ICP-MS de solutos. Algunas muestras seleccionadas también fueron analizadas para determinar su contenido en oro mediante fusión de ensayo a fuego + absorción atómica (AA23).

Para el posterior cálculo estadístico, los elementos que han presentado valores de las muestras por debajo de su límite de detección, fueron reemplazados por la mitad del límite de detección

#### **3.4.4. Control de Calidad de los Análisis**

Para asegurar tanto la precisión como la exactitud de los análisis, se insertaron Muestras de control en cada una de las fases de exploración. En la primera fase, se insertaron 16 muestras de control (cifra por encima de lo normalmente establecido, que corresponde al 30% de todas las muestras), de éstas, 14 corresponden a muestras estándar y 2 a duplicados de terreno.

Y en la segunda fase se han insertado 06 muestras de control (cifra muy por debajo de lo normalmente establecido, que corresponde al 1% de todas las muestras), correspondientes a muestras estándar.

### **3.4.5. Análisis de Resultados**

La zona de estudio se caracteriza por presentar una paragénesis metálica, que involucra los elementos Cu-Zn-Pb-Ag-Au en concentraciones anómalas, semejante a los depósitos minerales típicos de metales base, de los cuales existen trabajos ampliamente desarrollados en cuanto a su comportamiento geoquímico, siendo uno de ellos el yacimiento minero Iscaycruz, del cual es parte nuestros prospectos.

Como el presente estudio está orientado a determinar el origen de la formación de los minerales de alteración presentes en nuestra área de estudio, los elementos menores que han sido tomados en cuenta, presentan una importancia como elementos indicadores de formación para este tipo de depósitos (Escalante, 2012) y corresponden a: Ag, Bi, Se, Cd, In, Ge, Ga, Sn.

El tratamiento estadístico se ha realizado por separación de unidades litológicas y/o ocurrencias, con el fin de tener una visión más acertada de los resultados geoquímicos. Sin embargo no ha sido posible mantener algunas agrupaciones a profundidad debido a su rápida transición a cuerpos de pirita, por lo que los datos de perforación han sido tratados sin ninguna discriminación, sabiendo que su intersección con los cuerpos de pirita masiva es dada únicamente dentro de la Formación Santa. Las agrupaciones corresponden a las ocurrencias manifestadas en el área de estudio: Diatrema, Montera de hierro y Sílice oquerosa

#### **3.4.5.1. Estadística Univariable**

Los datos geoquímicos fueron ajustados a un patrón de distribución, y lejos el patrón más aplicable en prospección geoquímica de elementos traza es la distribución lognormal (Ahrens, 1957), decir que los valores tienen una distribución lognormal significa que el logaritmo de los datos sigue una distribución normal (Lepeltier, 1969). Es por esto que los datos presentados han sido procesados en base logarítmica y luego los resultados calculados como el antilogaritmo de esos datos.

##### **3.4.5.1.1. Superficie**

La estimación de las estadísticas básicas para cada una de las litologías en superficie se presenta en la tabla 2. Se excluyeron los datos estadísticos correspondientes a Montera de hierro, debido a la toma de una sola muestra en superficie.

Diatrema	Elemento menor	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Standard	Kurtosis	Percentil 98 <sup>vo</sup>
	Ag ppm	4.23	0.78	52.06	7.22	0.67	19.66
	Bi ppm	6.02	7.96	12.35	3.51	-1.58	9.25
	Cd ppm	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00	0.20
	Ga ppm	17.08	10.15	333.22	18.25	0.99	55.71
	Ge ppm	0.06	0.07	0.00	0.03	-1.14	0.11
	In ppm	0.36	0.24	0.13	0.36	-1.81	0.89
	Se ppm	0.78	1.00	0.07	0.26	-2.17	1.00
	Sn ppm	71.92	24.60	26147.70	161.70	2.48	429.52
Sílice oqueroso	Ag ppm	0.45	0.43	0.08	0.29	1.54	1.20
	Bi ppm	4.47	1.91	71.50	8.46	12.41	27.50
	Cd ppm	0.02	0.01	0.00	0.01	3.93	0.06
	Ga ppm	22.72	13.40	809.12	28.45	6.91	110.23
	Ge ppm	0.22	0.20	0.01	0.08	-0.34	0.40
	In ppm	0.31	0.01	0.46	0.68	5.52	2.20
	Se ppm	1.52	1.00	1.01	1.00	4.30	4.52
	Sn ppm	40.12	31.30	902.25	30.04	1.42	119.14

Tabla 2. Estadística básica para cada una de las rocas.

A partir de estos indicadores se construyeron histogramas para cada uno de los elementos, mostrándose a continuación una tabla comparativa de la distribución de los mismos en sus respectivas litologías.

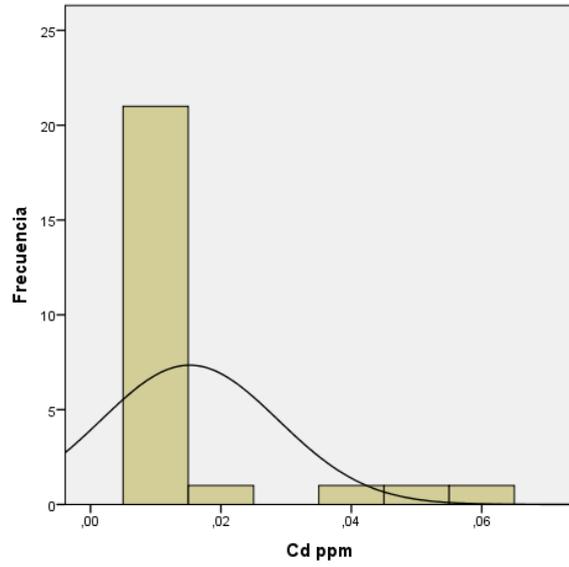
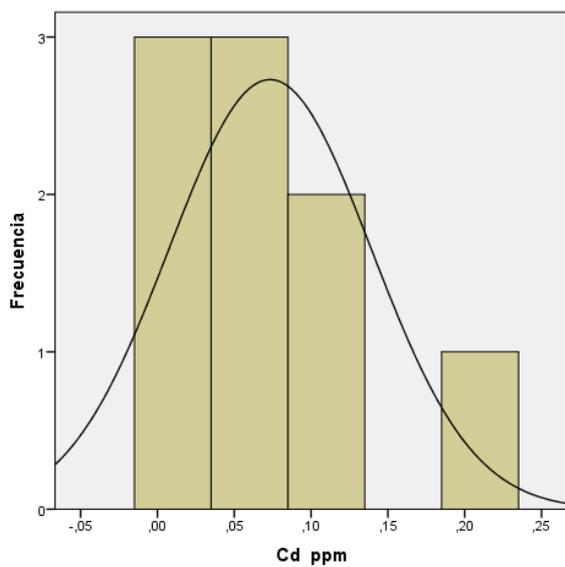
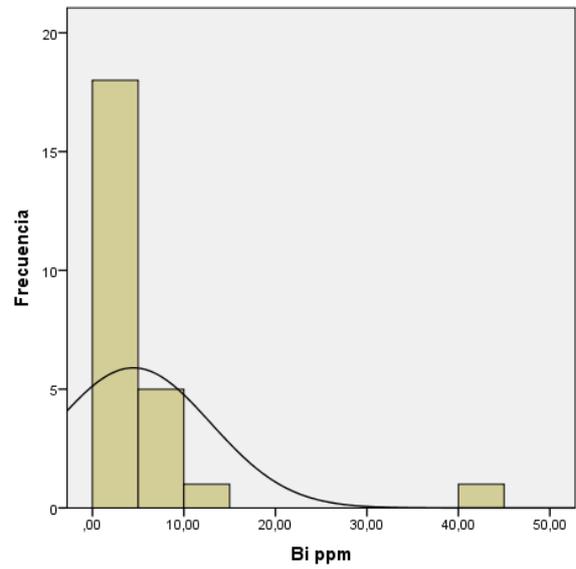
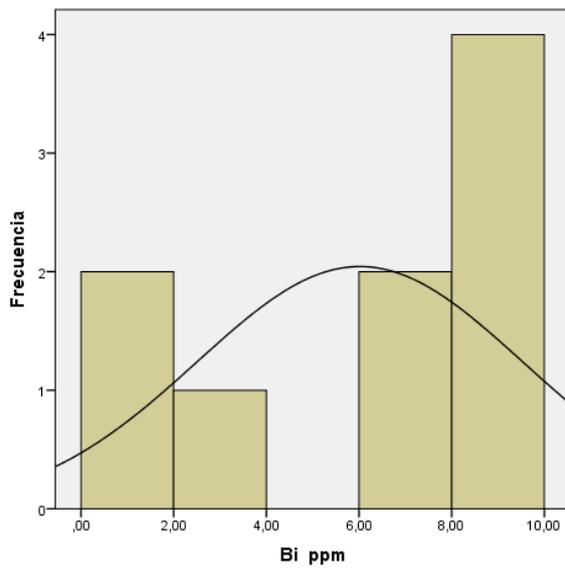
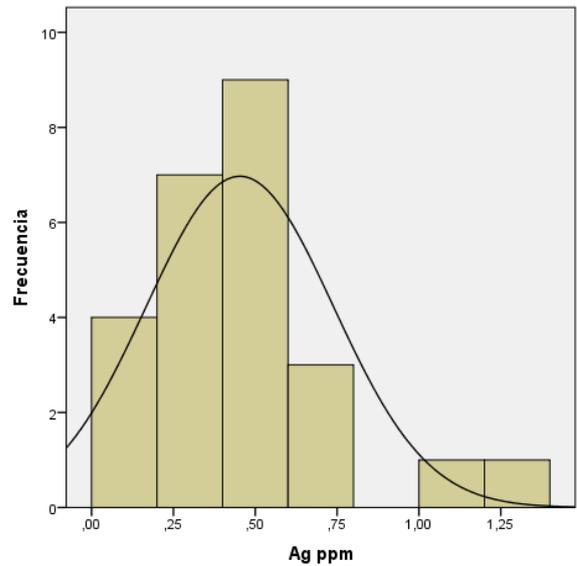
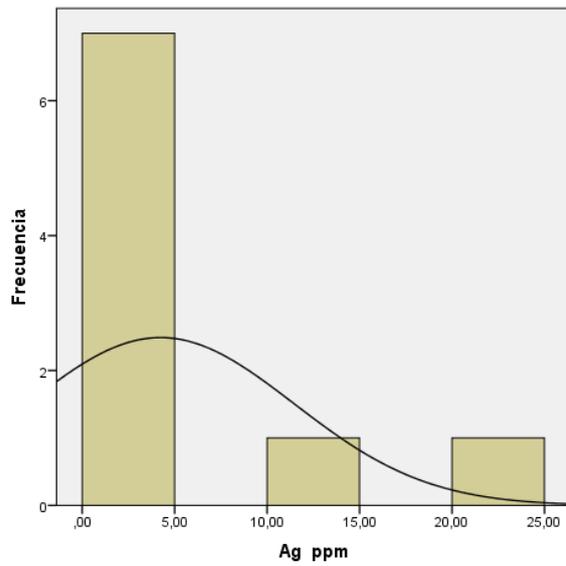
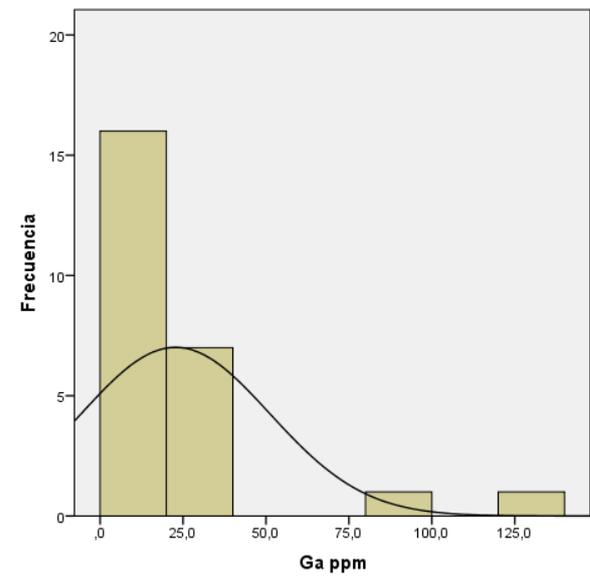
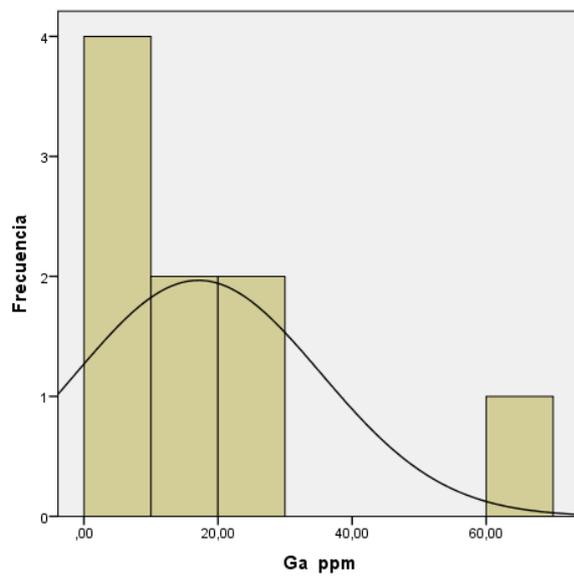
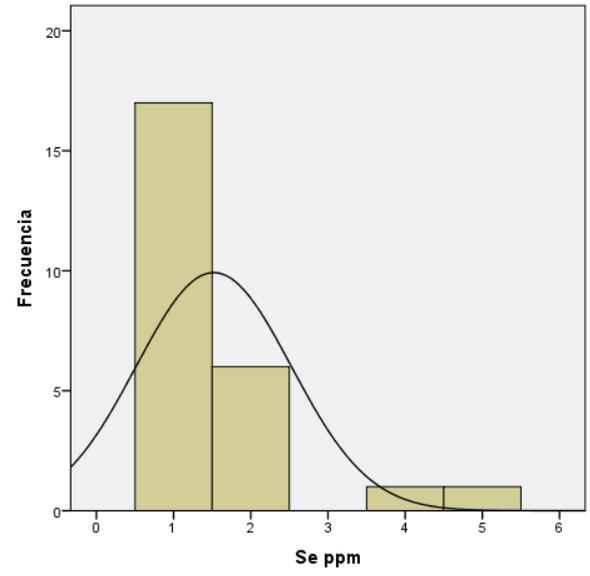
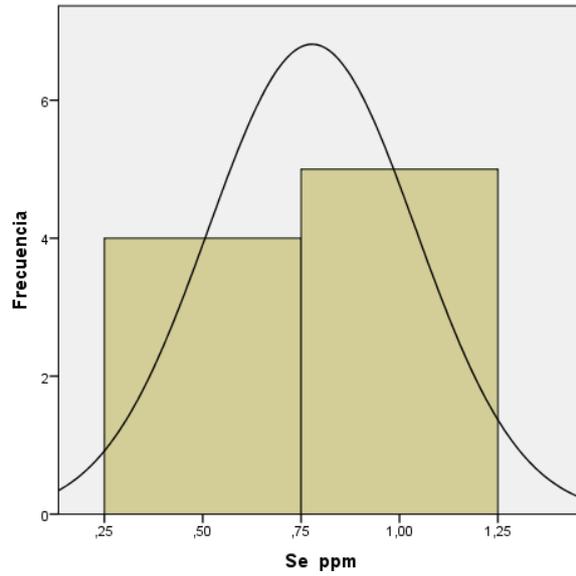
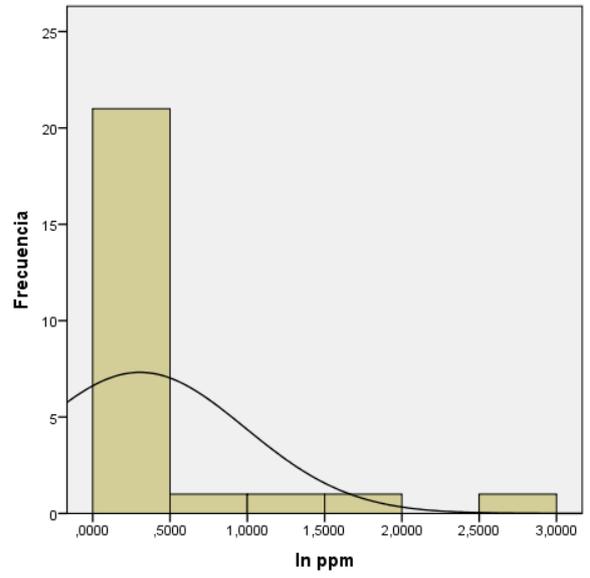
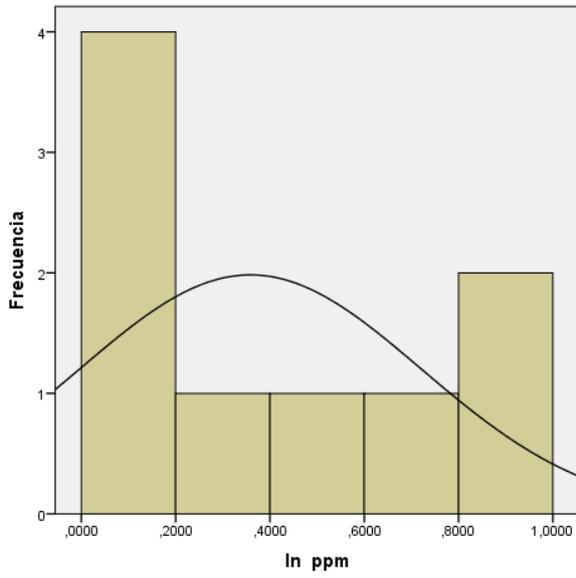
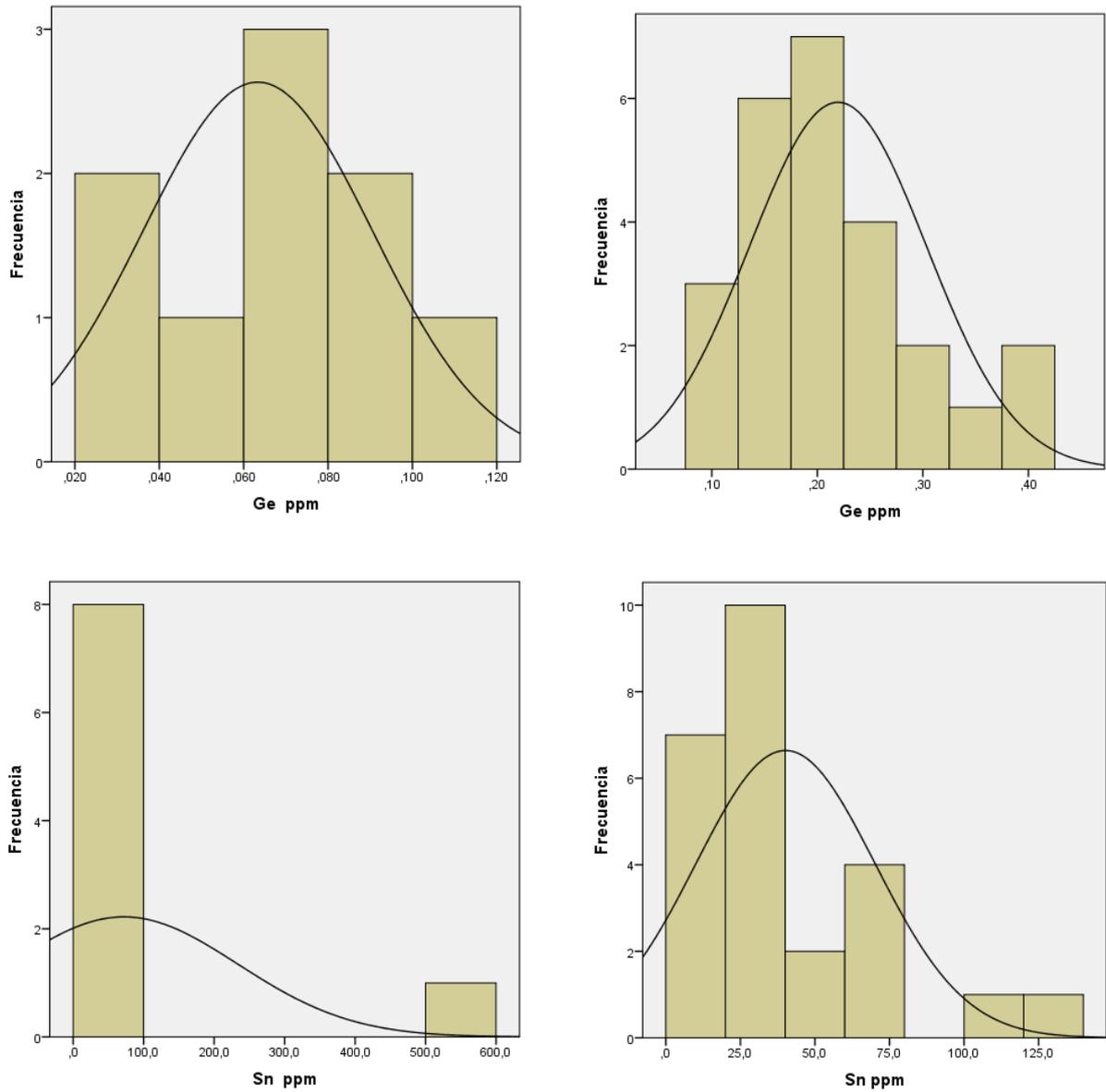


Figura 30. A). Izquierda. Distribución de elementos del grupo Diatrema; b) Derecha. Distribución de elementos del grupo Sílice oqueroso.

**Figura 30:** Continuación

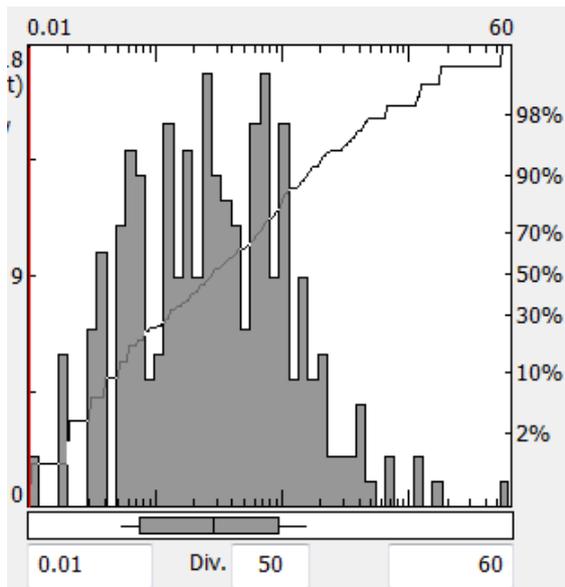


**Figura 30:** Continuación

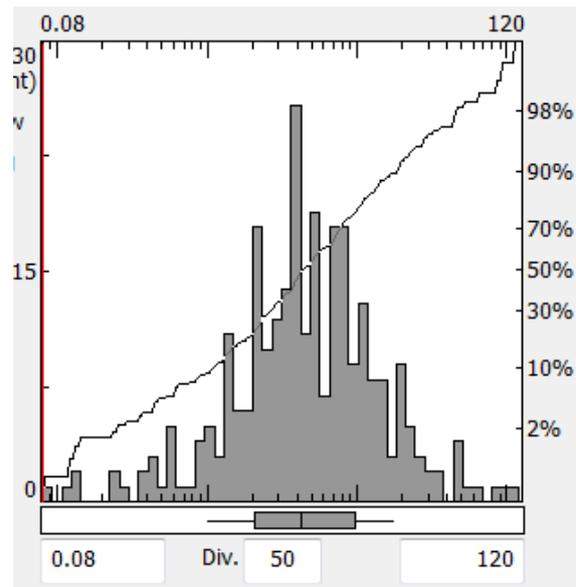


### 3.4.5.1.2. Profundidad.

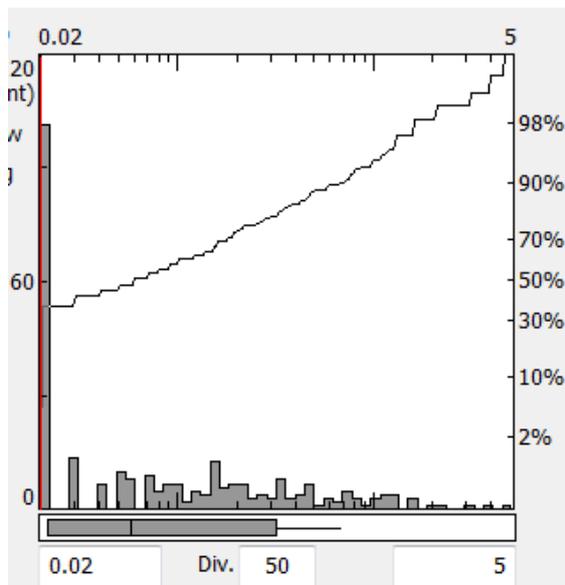
Los resultados de las muestras de los sondajes a profundidad muestran una distribución de estos elementos un tanto diferente, destacando dentro de ellos los siguientes:



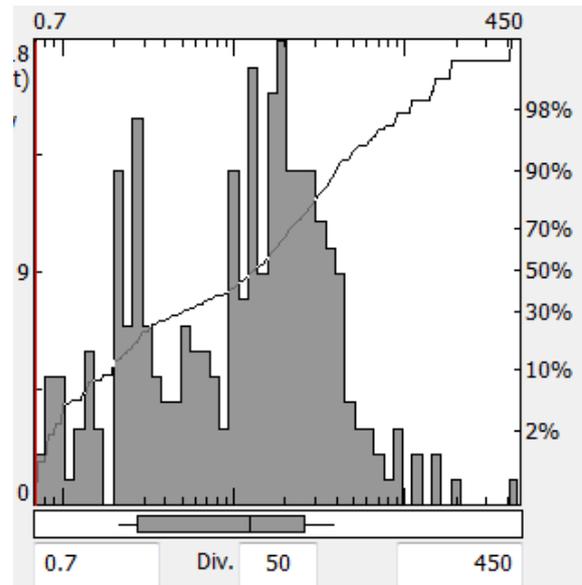
Ag ppm



Bi ppm



Cd ppm



Sn ppm

Figura 31. Distribución de elementos a profundidad.

### 3.4.5.1.3. Análisis de histogramas

- Plata (Ag): los histogramas muestran pequeñas subpoblaciones de valores altos para ambas litologías, esto nos podría indicar zonas anómalas o simplemente un comportamiento variable de la plata en cada una de las litologías en superficie. su valor medio es de 4.23 ppm y 0.45 ppm para las litologías Diatrema y Sílice oquerosa respectivamente. a profundidad sigue manteniendo subpoblaciones pequeñas presentando un valor máximo de 90.7 ppm asociado a los niveles ricos de especularita dentro de los cuerpos de pirita masiva de la Formación Santa.
- Bismuto (Bi): Los histogramas muestran subpoblaciones bien diferenciada para el caso de la Diatrema y con valores altos para el caso de la Sílice oquerosa. Presentan valores promedios de 6.02 ppm y 4.47 ppm respectivamente. a profundidad muestra una distribución unimodal mostrando un sesgo hacia los valores bajos. Presentando un valor máximo de 520 ppm en los niveles ricos de especularita con fuerte control estructural de la Formación Santa.
- Selenio (Se): Los histogramas muestran una distribución unimodal para ambas litologías, mostrando un sesgo hacia los valores altos para el caso de la Sílice oquerosa con un valor promedio de 1.52 ppm y de 0.78 ppm para el caso de la Diatrema.
- Cadmio (Cd): los histogramas muestran pequeñas subpoblaciones con valores altos para ambas litologías. su valor medio para el caso de la Diatrema es de 0.07 ppm y de 0.02 ppm para la Sílice oquerosa. A profundidad mantiene su comportamiento bimodal con una media de 0.25 ppm. esta distribución del Cd indica el comportamiento del Zn en el sistema, puesto que la ley del cadmio está contenida en la esfalerita.
- Indio (In): Los histogramas muestran una distribución bimodal para el caso de la Diatrema y unimodal sesgado hacia los valores positivos en el caso de la Sílice oquerosa. Con un valor medio de 0.36 ppm y 0.31 ppm para cada litología respectivamente. a profundidad el In presenta valores en promedio bajos alcanzando valores de 6.87 ppm y 34.2 ppm en hornfels y niveles de especularita masiva de los cuerpos de pirita de la Formación Santa respectivamente. al igual que el Cd su distribución indica el comportamiento del Zn en el sistema, puesto que la ley de indio está contenida en la esfalerita.

- Germanio (Ge): los histogramas muestran una distribución unimodal para ambas litologías. mostrando un sesgo hacia los valores altos con una media de 0.22 ppm para el caso de la Silice oquerosa y de 0.06 ppm para la litología Diatrema.
- Galio (Ga): Los histogramas muestran una distribución bimodal mostrando un sesgo hacia los valores altos en ambas litologías. Presentan un valor medio de 17.08 ppm para el caso de la Diatrema y de 22.72 ppm para el caso de la Silice oquerosa. a profundidad el Ga presenta valores en promedio altas, alcanzando un valor máximo de 710 ppm en niveles de especularita masiva con fuerte control estructural.
- Estaño (Sn): Los histogramas muestran una distribución bimodal con valores altos para ambas litologías. presentando un valor medio de 71.92 ppm para el caso de la Diatrema y de 40.12 ppm para el caso de la sílice oquerosa. a profundidad se muestra un comportamiento unimodal mostrando un sesgo hacia los valores altos.

#### **3.4.5.2. Estadística Multivariable**

En esta sección se analizan las correlaciones entre los diferentes elementos, de un total de 49 elementos se ha escogido los mejores correlacionados, para ello inicialmente los datos han sido transformados a logaritmo y luego se ha calculado la Matriz de Correlación de Pearson, Los valores que están por sobre 0.5 son considerados buenos, mientras que los valores que se encuentran sobre 0.8 son considerados excelentes (Townley, 1999). A continuación, se muestra los resultados para cada una de las litologías.

### 3.4.5.2.1. Superficie.

Diatrema	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cd ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	Ge ppm	In ppm	Mg ppm	Mo ppm	Na ppm	Pb ppm	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Te ppm	Zn ppm
Ag ppm	1.00	0.56	0.40	-0.30	0.88	0.53	0.77	0.53	0.36	0.27	0.87	0.62	0.12	0.76	0.50	0.35	0.46	0.82
As ppm	0.56	1.00	0.39	-0.39	0.24	0.05	0.05	-0.01	0.02	-0.10	0.12	-0.30	-0.06	0.91	0.38	0.96	0.91	0.21
Bi ppm	0.40	0.39	1.00	0.25	0.51	0.68	0.52	0.33	0.73	0.58	0.40	0.12	0.30	0.49	-0.01	0.30	0.42	0.17
Cd ppm	-0.30	-0.39	0.25	1.00	-0.16	-0.08	-0.10	-0.51	-0.02	0.06	-0.11	0.04	0.30	-0.17	-0.20	-0.31	-0.07	-0.12
Cu ppm	0.88	0.24	0.51	-0.16	1.00	0.80	0.95	0.74	0.68	0.65	0.98	0.81	0.17	0.45	0.14	-0.02	0.09	0.87
Fe ppm	0.53	0.05	0.68	-0.08	0.80	1.00	0.84	0.79	0.91	0.74	0.75	0.60	-0.08	0.16	-0.19	-0.16	-0.10	0.52
Ga ppm	0.77	0.05	0.52	-0.10	0.95	0.84	1.00	0.78	0.77	0.67	0.96	0.86	0.25	0.27	0.09	-0.20	-0.09	0.80
Ge ppm	0.53	-0.01	0.33	-0.51	0.74	0.79	0.78	1.00	0.67	0.63	0.71	0.63	0.00	0.05	0.07	-0.21	-0.24	0.44
In ppm	0.36	0.02	0.73	-0.02	0.68	0.91	0.77	0.67	1.00	0.86	0.59	0.45	0.16	0.05	-0.40	-0.18	-0.18	0.42
Mg ppm	0.27	-0.10	0.58	0.06	0.65	0.74	0.67	0.63	0.86	1.00	0.55	0.46	0.32	-0.06	-0.49	-0.29	-0.28	0.42
Mo ppm	0.87	0.12	0.40	-0.11	0.98	0.75	0.96	0.71	0.59	0.55	1.00	0.90	0.17	0.38	0.22	-0.13	0.01	0.89
Na ppm	0.62	-0.30	0.12	0.04	0.81	0.60	0.86	0.63	0.45	0.46	0.90	1.00	0.19	0.00	0.13	-0.52	-0.35	0.79
Pb ppm	0.12	-0.06	0.30	0.30	0.17	-0.08	0.25	0.00	0.16	0.32	0.17	0.19	1.00	0.08	0.18	-0.08	0.03	0.07
Sb ppm	0.76	0.91	0.49	-0.17	0.45	0.16	0.27	0.05	0.05	-0.06	0.38	0.00	0.08	1.00	0.58	0.84	0.92	0.40
Se ppm	0.50	0.38	-0.01	-0.20	0.14	-0.19	0.09	0.07	-0.40	-0.49	0.22	0.13	0.18	0.58	1.00	0.41	0.56	0.07
Sn ppm	0.35	0.96	0.30	-0.31	-0.02	-0.16	-0.20	-0.21	-0.18	-0.29	-0.13	-0.52	-0.08	0.84	0.41	1.00	0.94	-0.05
Te ppm	0.46	0.91	0.42	-0.07	0.09	-0.10	-0.09	-0.24	-0.18	-0.28	0.01	-0.35	0.03	0.92	0.56	0.94	1.00	0.04
Zn ppm	0.82	0.21	0.17	-0.12	0.87	0.52	0.80	0.44	0.42	0.42	0.89	0.79	0.07	0.40	0.07	-0.05	0.04	1.00

Tabla 3. Matriz de correlación de la litología Diatrema

Sílice oqueroso	Ag ppm	Al ppm	As ppm	Ba ppm	Bi ppm	Cd ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	Ge ppm	In ppm	K ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Pb ppm	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Te ppm	Zn ppm
Ag ppm	1.00	-0.18	0.32	-0.09	0.01	0.35	0.02	0.36	-0.08	0.09	-0.13	-0.19	-0.13	-0.04	0.28	0.01	0.41	0.36	0.35	0.56	0.34	0.04
Al ppm	-0.18	1.00	0.51	0.88	0.58	0.19	0.66	0.42	0.44	-0.20	0.70	0.96	0.58	0.56	0.04	0.62	-0.12	0.25	0.31	-0.10	0.23	0.75
As ppm	0.32	0.51	1.00	0.56	0.60	0.79	0.21	0.73	0.09	0.05	0.03	0.54	0.04	0.07	0.64	0.25	0.53	0.74	0.80	0.57	0.78	0.47
Ba ppm	-0.09	0.88	0.56	1.00	0.51	0.29	0.41	0.32	0.10	-0.19	0.48	0.90	0.25	0.25	0.09	0.73	0.20	0.34	0.42	0.00	0.28	0.52
Bi ppm	0.01	0.58	0.60	0.51	1.00	0.08	0.34	0.60	0.27	-0.05	0.19	0.58	0.27	0.25	0.34	0.30	0.27	0.79	0.75	0.41	0.78	0.66
Cd ppm	0.35	0.19	0.79	0.29	0.08	1.00	0.07	0.55	-0.07	-0.01	-0.06	0.22	-0.10	-0.04	0.74	0.01	0.49	0.41	0.47	0.36	0.47	0.15
Cu ppm	0.02	0.66	0.21	0.41	0.34	0.07	1.00	0.65	0.62	-0.05	0.91	0.50	0.87	0.94	0.09	0.22	-0.20	0.07	0.08	-0.08	0.13	0.90
Fe ppm	0.36	0.42	0.73	0.32	0.60	0.55	0.65	1.00	0.42	0.07	0.36	0.32	0.47	0.55	0.64	0.02	0.37	0.62	0.67	0.47	0.73	0.78
Ga ppm	-0.08	0.44	0.09	0.10	0.27	-0.07	0.62	0.42	1.00	-0.02	0.52	0.26	0.86	0.75	-0.14	-0.05	-0.37	-0.13	-0.11	-0.19	-0.03	0.62
Ge ppm	0.09	-0.20	0.05	-0.19	-0.05	-0.01	-0.05	0.07	-0.02	1.00	-0.14	-0.25	-0.06	-0.04	-0.06	-0.19	0.22	0.02	0.14	0.35	0.09	-0.07
In ppm	-0.13	0.70	0.03	0.48	0.19	-0.06	0.91	0.36	0.52	-0.14	1.00	0.58	0.81	0.88	-0.15	0.32	-0.39	-0.17	-0.14	-0.35	-0.12	0.76
K ppm	-0.19	0.96	0.54	0.90	0.58	0.22	0.50	0.32	0.26	-0.25	0.58	1.00	0.39	0.37	0.02	0.63	-0.10	0.31	0.34	-0.08	0.26	0.63
Mg ppm	-0.13	0.58	0.04	0.25	0.27	-0.10	0.87	0.47	0.86	-0.06	0.81	0.39	1.00	0.97	-0.16	0.10	-0.37	-0.16	-0.14	-0.32	-0.09	0.80
Mn ppm	-0.04	0.56	0.07	0.25	0.25	-0.04	0.94	0.55	0.75	-0.04	0.88	0.37	0.97	1.00	-0.06	0.10	-0.30	-0.11	-0.09	-0.24	-0.03	0.84
Mo ppm	0.28	0.04	0.64	0.09	0.34	0.74	0.09	0.64	-0.14	-0.06	-0.15	0.02	-0.16	-0.06	1.00	-0.07	0.56	0.67	0.64	0.58	0.72	0.21
Na ppm	0.01	0.62	0.25	0.73	0.30	0.01	0.22	0.02	-0.05	-0.19	0.32	0.63	0.10	0.10	-0.07	1.00	0.01	0.14	0.22	0.03	0.04	0.27
Pb ppm	0.41	-0.12	0.53	0.20	0.27	0.49	-0.20	0.37	-0.37	0.22	-0.39	-0.10	-0.37	-0.30	0.56	0.01	1.00	0.65	0.63	0.66	0.60	-0.05
Sb ppm	0.36	0.25	0.74	0.34	0.79	0.41	0.07	0.62	-0.13	0.02	-0.17	0.31	-0.16	-0.11	0.67	0.14	0.65	1.00	0.90	0.79	0.92	0.37
Se ppm	0.35	0.31	0.80	0.42	0.75	0.47	0.08	0.67	-0.11	0.14	-0.14	0.34	-0.14	-0.09	0.64	0.22	0.63	0.90	1.00	0.70	0.92	0.38
Sn ppm	0.56	-0.10	0.57	0.00	0.41	0.36	-0.08	0.47	-0.19	0.35	-0.35	-0.08	-0.32	-0.24	0.58	0.03	0.66	0.79	0.70	1.00	0.75	0.11
Te ppm	0.34	0.23	0.78	0.28	0.78	0.47	0.13	0.73	-0.03	0.09	-0.12	0.26	-0.09	-0.03	0.72	0.04	0.60	0.92	0.92	0.75	1.00	0.42
Zn ppm	0.04	0.75	0.47	0.52	0.66	0.15	0.90	0.78	0.62	-0.07	0.76	0.63	0.80	0.84	0.21	0.27	-0.05	0.37	0.38	0.11	0.42	1.00

Tabla 4. Matriz de correlación de la litología Sílice oqueroso

### 3.4.6. Interpretación de los datos Obtenidos

De las estadísticas básicas de los datos de elementos traza junto a sus correlaciones nos indican lo siguiente:

*Plata y Bismuto:* La débil correlación entre este par de elementos y la presencia de Altas anomalías de bismuto y bajas anomalías de Ag en los cuerpos de pirita masiva nos puede indicar la profundidad de formación de dichos cuerpos, ya que la ley de Bi esta principalmente controlada por la temperatura del fluido formador del depósito las leyes altas de Bi siendo característica de los yacimientos de alta temperatura (Fleisher, 1955). Al contrario, las leyes más elevadas de Ag se encuentran en yacimientos filonianos mesotermales a epitermales (Soler, 1982).

As, Sb, Cu, Ag, Ga, In, Mo y Na: este grupo presenta valores anómalos en los cuerpos de brecha polimícticos. Sus correlaciones As-Sb: 0.91; Ag-Cu: 0.88; Ga-In: 0.77; Mo-Na: 0.90 son buenas a excelentes y coinciden con el tipo de alteración de alta sulfuración (Escalante, 2012).

As, Sn, Te: La alta correlación entre estos tres elementos en particular de la zona de brecha polimíctica sugiere un tipo de proceso diferente para la formación de brecha.

*Cadmio, Indio y Galio:* Estos tres elementos están comúnmente contenidos en las variedades de esfalerita indicando el comportamiento del Zn en nuestras ocurrencias mineralizadas. El In con valores en promedio bajos guarda buena correlación con el Ga.

En cuanto a los yacimientos hidrotermales genéticamente ligados al magmatismo andino el contenido de Cd y In en las esfaleritas parece independiente de las condiciones de formación. (Fleisher, 1955).

Los yacimientos polimetálicos del centro del Perú genéticamente ligados al magmatismo andino tienen leyes de Ge muy bajas (Fleisher, 1955).

Se considera generalmente que el Ga es más abundante en los yacimientos de baja temperatura (Fleisher, 1955). Esta regla no es cierta para los yacimientos polimetálicos del centro del Perú (Soler, 1982).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Síntesis Geológica

Las rocas que integran el marco geológico regional de nuestros prospectos son de edad Mesozoica y Cenozoica y registran el Ciclo Andino, comprendido por varias etapas de sedimentación y varias fases de deformación, siendo tres las principales fases de deformación definidas por Gustav Steinmann (1929) como: Fase Peruana ocurrida en el Cretácico superior, luego Fase Incaica en el Eoceno-Oligoceno, seguida después por la Fase Quechua de edad Mioceno. Cuyos desarrollos coinciden con cambios en la dirección y con un aumento de la velocidad de convergencia entre las placas de nazca y sudamericana (Pardo-Casas y Molnar, 1987). Régimen de subducción que inicia en el Albiano superior a Cenomaniano temprano. Cuya dinámica desde entonces tiene una participación directa en la formación y evolución tectono-sedimentario de los Andes peruanos, así como del magmatismo asociado que comenzó con la intrusión del Batolito de la Costa hacia el oeste y migró en tiempo y espacio hacia el este, debido a los eventos de deformación compresiva, cambiando su composición y mostrando un incremento en el componente de la corteza continental (Atherton, 1990).

Así, pues, de las fases tectónicas anteriormente enunciadas, la Fase Tectónica Inca es la fase compresiva más importante del ciclo andino subdividida en cuatro eventos (Inca I – Inca IV). siendo considerado el evento Inca II como la principal fase de acortamiento de los andes peruanos, desarrollando un importante engrosamiento de la corteza, permitiendo así el desarrollo evolutivo de los magmas vinculados al magmatismo Miocénico, el cual se considera responsable de la mayoría de los eventos de mineralización en los Andes Centrales peruanos (Noble *et al.*, 1990).

## **4.2 Desarrollo de la Mineralización y Alteración.**

En los prospectos Escondida y Antapampa los diferentes tipos de ensambles de minerales, texturas y modos de ocurrencia entregan importante evidencia de los procesos fisicoquímicos y mecánicos que las originaron, del mismo modo los sistemas de falla encontrados entregan indicios de su participación durante el desarrollo de estas ocurrencias minerales. A continuación, se presentan los principales resultados.

### **4.2.1. Primer evento de mineralización**

El ensamble hidratado clorita-epidota que caracteriza los niveles de skarnoides del lado norte del área de estudio, son también reconocidos en los depósitos del distrito, formando junto a la actinolita la secuencia de alteración proximal al skarn de Zn-Cu de Iscaycruz (Escalante y Hart, 2012). Según los datos de la literatura, este ensamble mineral es parte de la etapa retrogradante en los sistemas tipo skarn, formados a temperaturas entre 450 °C y 300 °C (Einaudi *et al.*, 1981; Meinert, 1992). Aunque no es el caso en nuestra zona de estudio, dichas temperaturas son en parte compatibles con las obtenidas del estudio de inclusiones fluidas llevadas a cabo sobre estas secuencias de skarnoides (Escalante y Hart, 2012), sugiriendo que la alteración de clorita-epidota ocurrió por fluidos calientes (> 350 °C) y salinos (20% en peso NaCl), que experimentan un enfriamiento (< 200 °C) y una disminución de la salinidad (< 4% en peso NaCl equivalente), para dar lugar a la precipitación de la esfalerita asociada a este ensamble.

#### 4.2.2. Segundo evento de mineralización

La mineralogía de alteración alunita-pirofilita-zunyita vinculado al segundo evento de mineralización, corresponde a asociaciones del tipo argílico avanzado e indica la existencia durante la mineralización de un medio oxidante y ácido, como expresión de ebullición en profundidad (Buchanan, 1981). Ello es debido a que el H<sub>2</sub>S (ácido sulfídrico) liberado mediante la ebullición del fluido hidrotermal en cuestión, migra con la fase vapor hacia la superficie, oxidándose para producir H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) que, al interactuar con aguas meteóricas descendentes, resulta en aguas sulfatadas calientes con un alto potencial de disolución. Quedando de manifiesto su mayor grado de hidrólisis (acidés) con el desarrollo de la alteración silícea, manifestada en las secuencias arenosas ubicadas inmediatamente al norte de los cuerpos de brecha. La literatura establece un amplio rango de temperaturas para estos tipos de alteraciones, pero a condiciones de pH < 3.5 (Camprubí y Albinson, 2006; Hedenquist y Izawa, 1996).

Cabe indicar que éste fluido hidrotermal que ha experimentado la ebullición a profundidad como una respuesta a la pérdida de presión, puede derivar de cuerpos intrusivos someros o profundos o ser el resultado de la mezcla en profundidad de aguas meteóricas y magmáticas (Hedenquist y Lowenstern, 1995; Gammons y Williams, 1997). Desafortunadamente el origen de éstos en nuestros prospectos y en todo el distrito minero aún sigue siendo una incognita, debido a que el cuerpo intrusivo responsable de la mineralización no ha sido intersectado aún por los sondajes de perforación. Sin embargo, relaciones transversales de campo y texturales sugieren su emplazamiento a poca profundidad (Escalante y Hart, 2012).

De igual manera la ocurrencia de la dolomita asociado a este evento mineral, indica al menos interacción de fluidos de temperatura relativamente alta con las rocas huéspedes (Escalante, 2012). Éstos transformaron parcialmente la dolomita a siderita-ankerita mejorando así primero la permeabilidad de las unidades estratigráficas.

Resultados de inclusión de fluidos indican que la dolomita precipitó a partir de la fase fluida resultante del proceso de ebullición a temperaturas (<300 °C) y salinidades (<10% en peso NaCl equivalente) de éste, relativamente moderadas, cuya carga metálica es depositada mediante reacciones de reemplazo de carbonato a temperaturas por debajo de 200 °C y salinidades menores a 5% en peso NaCl equivalente. Estos datos sugieren que la mineralización ocurrió en condiciones de enfriamiento y baja salinidad del fluido. Condiciones que comúnmente se alcanzan al mezclarse con fluidos externos no salinos. La mineralización se caracteriza por la presencia de esfalerita amarilla con cantidades pequeñas de calcopirita, siendo de lejos la pirita el sulfuro más abundante, el cual se presenta reemplazando grandes volúmenes de rocas carbonatadas de la formación Santa,

bajo el control estructural de los sistemas de falla NNO y NE, régimen de comportamiento frágil, desarrollado en respuesta a la formación del plegamiento del hoy llamado Pico Yanqui, estructura que forma parte de la franja de cabalgamientos y pliegues desarrollados en consecuencia a la deformación mayor del Eoceno, conocido como el evento comprensivo Inca II (Ángeles, 1987; Mourier, 1988; Noble et al., 1979; Benavides, 1999), hace 44-39 Ma. Desde entonces, estos sistemas de comportamiento inverso han establecido las condiciones físicas para el emplazamiento de los cuerpos intrusivos asociados al magmatismo correspondientes al último evento Inca (22 Ma a 23 Ma) y junto a la estructura y estratigrafía de las rocas del medio han determinado las condiciones físicas del medio hidrotermal y en último término, han determinado el carácter y la localización de la mineralización (White y hedenquist, 1990).

Además de estos sistemas de fallas, se tiene un tercer sistema de fallas de dirección E-O, de movimiento de rumbo, en sentido sinistral, aparentemente posterior a las etapas de mineralización porque desplaza a los diferentes tipos de ocurrencias mineralizadas o es una manifiesta reactivación del sistema de fallas NE-SO, fallas que han jugado un rol importante en la sedimentación y delimitación de la cuenca occidental durante el Mesozoico en nuestro dominio. Su participación en nuestros prospectos además de lo anteriormente dicho, se lo asocia al posible desarrollo de la diatrema, éste como producto de un relleno gravitacional, formado en la intersección de un juego de fallas del sistema E-O con una falla de dirección NNO a lo largo del contacto Chimú- Santa.

Para concluir con este estudio podemos recordar las tres preguntas que parten del problema de investigación: primero, ¿Cuáles son las características del ensamble mineralógico tipo skarn en las rocas carbonatadas de los prospectos Escondida y Antapampa? Segundo, ¿Cuántas fases de mineralización han existido en los prospectos Escondida y Antapampa? Y tercero, ¿Cuáles son las características del sistema de fallas en los prospectos Escondida y Antapampa?

Ahora, con las observaciones de este estudio se puede responder a la primera sub-pregunta afirmando que Los distintos minerales observados son de carácter hidrotermal, manifestados en asociaciones de semejante composición y textura. Desarrollados durante dos eventos de circulación de fluidos de origen hidrotermal en respuesta a la interacción de éstos con las rocas carbonatadas. En respuesta a la segunda sub-pregunta, dos son los eventos de mineralización que han existido cada una de ellos con características bien definidas, asociados a eventos de circulación de fluido hidrotermal. Y en respuesta a la tercera y última pregunta, los sistemas de falla son de carácter frágil. Los sistemas NNO y NE, tienen comportamiento inverso y controlan la disposición geométrica de las distintas ocurrencias mineralizadas, se asume por ello que estos sistemas fueron los principales

conductos para el escape de los fluidos hidrotermales en la zona de estudio. Mientras que el sistema E-O, tiene un comportamiento de rumbo, en sentido sinistral y corta las unidades sedimentarias y desplaza las diferentes expresiones desarrolladas en ella.

Luego de haber respondido a las tres preguntas que derivan del problema de investigación, se constata que si existe una relación directa entre la presencia de fallas geológicas a través de las cuales han migrado fluidos hidrotermales y la formación de ensambles mineralógicos en los prospectos Escondida y Antapampa lo cual nos permite concluir que esta hipótesis de trabajo está probada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- ✓ Los distintos minerales observados son de carácter hidrotermal, manifestados en asociaciones de semejante composición y textura. Desarrollados durante dos eventos de circulación de fluidos de origen hidrotermal en respuesta a la interacción de éstos con las rocas carbonatadas.
- ✓ Han existido dos eventos de mineralización, cada uno de ellos con características bien definidas, asociados a eventos de circulación de fluido hidrotermal
- ✓ Los sistemas de falla NNO y NE controlan la disposición geométrica de los cuerpos de montera de hierro anteriormente cuerpos de pirita masiva, de areniscas de la formación Chimú densamente fracturados y en parte los cuerpos de diatrema. por lo tanto, se asume que estos sistemas de falla fueron los principales conductos para el escape de los fluidos hidrotermales en la zona de estudio.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Completar los estudios petrográficos, minerográficos y de inclusiones fluidas en las zonas de alteración/mineralización, con el fin de realizar la zonación espacial de la temperatura y la salinidad y determinar las secuencias paragenéticas y la dirección de los fluidos.
  
- ✓ Realizar un análisis microestructural de las zonas de fallas mediante secciones delgadas en rocas de falla (muestras orientadas paralelas a las estrías y perpendiculares a la foliación) obtenidas en estos sectores, con el objetivo de obtener información estructural de los indicadores cinemáticos que nos permita explicar las condiciones en las que tuvo lugar la deformación y el movimiento.

## Referencias

- Angeles, C. (1987). *Les chevauchements de la Cordillère Occidentale par 12°15' (Andes du Pérou Central)*. These 3° cycle Univ.S.T.L., Montpellier.
- Atherton, M. P. 1990. *The Coastal Batholith of Peru: The product of rapid recycling of 'new' crust formed within rifted continental margin*. DOI: 10.1002/gj.3350250316
- Benavides-Cáceres, V. (1999). Orogenic evolution of the peruvian andes: The andean cycle. In Skinner, B. J., ed., *Geology and mineral deposits of the Central Andes. Society of Economic Geologists Especial Publication 7*, 61-107.
- Camprubí, A. y Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVIII (1) pp. 27-81*.
- Cobbing, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral, y Canta. *Boletín No 26. Servicio de Geología y Minería*.
- Davis G. H., y Reynolds S. J. (1996). *Structural Geology of Rocks and Regions*. 2nd Edition. New York: John Wiley y Sons Inc.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D., and Newberry, R.J., (1981). Skarn deposits. En *Economic Geology 75th Anniversary Volume*, 317-391.
- Escalante, A. y Hart, C. (2012). *Aplicaciones de mineralización, alteración, geoquímica y exploración del yacimiento de Zn (Pb, Cu, Ag) Iscaycruz, Centro del Perú*. Lima, Perú: Unidad de Investigación de Yacimientos Mineros.
- Fleisher, M. 1955. Minor elements in some sulphide minerals. *Economic Geology, Especial Issue 50 Anniversary, Part II: 970-1024*.
- Heldberg, R. D. 1980. *Guía para la clasificación, terminología y procedimientos estratigráficos*. Sub comisión internacional de clasificación estratigráfica de la comisión de Estratigrafía de la UICG. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=U0UM6XC38K0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=U0UM6XC38K0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- Hollister V. F., y E. Sirvas B. (1978). The Calipuy formation of northern Peru, and its relation to volcanism in the northern andes. En *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 4, 89-98.
- INGEMMET (2009). *Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú*. Bol. Soc. Geol, 103 pp.1-89.
- Jacay, J. (2005). Análisis de la Sedimentación del Sistema Cretácico de los Andes del Perú central. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 8 (15) pp. 49-59.
- Kutina, J. (1998). A major structural intersection in the basement of the Okavango basin, NE of Tsumeb, Namibia, indicated by satellite magnetometry and other data. En *Global Tectonic and Management* 6, 205-213.
- Maksaev, V. J. (2001). *Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis andina*. Recuperado de <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/METALOGENESIS%20DE%20CHILE.pdf>
- Marshall, D., Anglin, C.D. (Lyn) & Mumin, H. (2004). *Ore Mineral Atlas*. Canada: Friesens Corporation.
- McKee E.D., y Weir G. W. (1952). *Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rock*. Trace Elements Investigation Report 269: United States Department of the Interior Geological Survey.
- Mégard. (1978). Étude géologique des andes du Pérou central: Mémoire 86. ORSTOM, Paris.
- Mégard. (1979). Estudio geológico de los andes del Perú central. Instituto Geol. Min. Metal. Bol. Ser. D: *Est. Esp.* 8, 227.
- Megaw, P. K. M., et al. (1988). High-temperature, carbonate-hosted Ag-Pb-Zn(Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology* 83(8), 1856-1885.
- Mourier, T. (1988). *La transition entre Andes marginales et Andes cordilléennes à ophiolites. Evolution sédimentaire, magmatique et structurale du relais de Huancabamba*. Dr Thèse, Univ. Paris XI-Orsay.

- Moulin, N. (1989). *Facies et séquences de dépôt de la plate-forme du Jurassique moyen à l'Albien, et une coupe structurale des Andes du Pérou central*. Thèse Doct., Univ. Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Mykietiuik, K., Fernández, R. y Azevedo, F. (2005). Alteraciones hidrotermales superpuestas: Producto de fluidos de pH neutro y ácido en el cerro Guanaco, macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (1) pp. 23-31.
- Noble, D.C., et al. (1979). Early tertiary Incaic tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of central Peru. *Geological Society American Bulletin* 90, 903-907.
- Olivares, V., Cembrano, J., Arancibia, G., Reyes, N., Herrera, V. y Faulkner, D. (2010). Significado tectónico y migración de fluidos hidrotermales en una red de fallas y vetas de un Dúplex de rumbo: un ejemplo del Sistema de falla de Atacama. *Revista Geológica de Chile*, 37 (2) pp. 473-497.
- Pérez-Segura, Efrén. y González-Partida, Eduardo. (2010). Mineralogía de skarn y fluidos asociados a los yacimientos de Cu-Zn-Ni-Co de la Esperanza. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21 (3) pp. 1-17.
- Pintos, O. (s.f.). Historia de la minería. En Geología ambiental y minera. Recuperado de <https://vdocuments.com.br/download/geologia-minera-y-mineria-ambiental>
- Pfiffner, A. & Gonzalez, L. (2013). Mesozoic-Cenozoic Evolution of the Western Margin of South America: Case Study of the Peruvian Andes. *En Revista Geosciences*, 3 pp. 262-310.
- Poblet, J. (2004). Geometría y cinemática de pliegues relacionados con cabalgamientos. *Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo*, 24 pp. 127-146.
- Ragan, D. (1980). GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. Introducción a las técnicas geométricas. Barcelona: Omega.
- Reed, M. H. (1997). Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.

- SENAMHI. (2015). Boletín Climático Nacional, mes de octubre. Recuperado de <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-29.pdf>
- Sillitoe, R.H. (1985). Ore-related breccias in vulcanoplutonic arcs. En *Economic Geology* 80(6): 1467-1514. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.6.1467>
- Soler, P. (1982). *Comentario sobre la distribución de elementos menores y trazas (Ag, Bi, Hg, Se, Cd, In, Ge, Ga, Sn) en los yacimientos de Pb-Zn del Perú Central*. Ponencia presentada en el Quinto Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires, Argentina.
- Steinmann, G. (1930). *Geología del Perú*. Heidelberg: Carl Winters Universitätsbuchhandlung.
- Titley, S.R., y Beane, R. E. (1981). *Porphyrycopperdeposits: Part I. Geologic settings, petrology, and tectogenesis*. En *Economic Geology 75th Anniversary volume*, 214-235.
- Telluris Consulting (2011). *Structural Review of the Iscaycruz District, Peru*. Lima, Peru: Informe interno Glencore, pp.1-17.
- Townley, et al. (1999). Base and precious metals geochemistry of rock units of the mainland Aysén region, Chilean Patagonia. *Journal of Geochemical Exploration* 68, 21-46.
- Wilson J. J. (1963). Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru. En *American Association of Petroleum and Geology Bulletin* 47, 1-34.

