

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



**GEOLOGÍA, PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE LOS
VOLCÁNICOS CENOZOICOS DE LA CORDILLERA DEL
HUANZO – SUR DEL PERÚ**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:
RONALD CALLUPE CARHUAS**

**ASESOR
M.Sc. Lic. Atilio Mendoza Apolaya**

Lima - Perú

2012

RESUMEN

El área de estudio se ubica dentro de la Cordillera Occidental del sur peruano, conocida como Cordillera del Huanzo. Políticamente ocupa parte de los departamentos de Apurímac, Cusco y Arequipa. En esta zona se reconocen numerosas secuencias volcánicas cenozoicas, con evidencias de mineralización argentífera - aurífera del tipo epitermal que ha motivado a las compañías a realizar trabajos de exploración a diferentes escalas. Las unidades volcánicas fueron divididas en diversas Formaciones, que en gran medida, han sido correlacionados a nivel muy regional, generalizándolos y agrupando en una misma unidad eventos que son no co-genéticos.

El presente trabajo pretende clarificar la evolución magmática-volcánica y dirigir la prospección geo-económica; mediante la caracterización de la litoestratigrafía, sistemas estructurales y tipificación geoquímica, asimismo nos interesa saber si durante los diferentes procesos de evolución magmática se han producido fases fluidas relacionadas a mineralizaciones metálicas.

Entre setiembre de 2008 y agosto de 2009, y conjuntamente con el equipo de geólogos de la gerencia de exploraciones "greenfield" de Cia. Minera Ares S.A.C. se realizó diversos trabajos prospectivos donde se identificó y delimitó secuencias litoestratigráficas, estructuras, alteración y mineralización; se puso mayor énfasis en sectores prospectivos como: Azuca, Crespo, Huacullo y San Martín. En febrero de 2010, el autor realizó un cartografiado a escala 1/50,000; además se extrajeron 18 muestras de rocas para efectuar estudios petrominerales y geoquímicos.

Se reconoció, que la litoestratigrafía de la Región Huanzo está caracterizada por un basamento de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, relacionado a la Formación Soraya del Cretácico Superior; seguido por unidades volcánicas ligadas a una intensa actividad explosiva y efusiva que originó facies lávicas y piroclásticas, conformados por el Grupo Tacaza (22-18 Ma), Formación Alpabamba (13-10 Ma), Formación Aniso (8-7 Ma), Grupo Barroso compuesto por el Barroso Inferior (7.0-5.0 Ma) y Barroso Superior (5.0-1.1 Ma); y el último evento, representado por la Unidad Post Barroso (1.1-0.2 Ma). Algunas de estas secuencias están intruidas por domos y sub-volcánicos Miocénicos. Mediante la geoquímica de elementos mayores se determinó rocas intermedias a ácidas, composicionalmente varían entre traquiandesita, andesita, traquidacita y riolitas; además definen una serie calco-alcalina con "Alto" contenido de potasio.

En base a métodos de rasterización, análisis sobre imágenes satelitales y observaciones de campo, se estableció cuatro sistemas estructurales principales: “NNO y NO”, “NE y NNE”, “NS” y “EO y ENE”. Asimismo, se propone el tipo y las orientación principales del eje de esfuerzos, que ayudaron a la estructuración en la región Huanzo, tales como esfuerzos compresivos en sentido NO, desarrollados probablemente en el Cretácico Superior; esfuerzos compresivos en sentido ONO, durante el Mioceno Inferior; esfuerzos extensivos, en sentido ONO, durante el Mioceno Medio; esfuerzos extensivos en sentido NNE, durante el Mioceno Superior a Plioceno Inferior; esfuerzos compresivos en sentido ONO, durante el Plioceno y esfuerzos extensivos en sentido NNE, durante el Pleistoceno hasta la actualidad.

La variación del contenido en elementos traza, indican un magmatismo menos diferenciado para el vulcanismo del Barroso Superior, un magmatismo más diferenciado para el vulcanismo Tacaza, Barroso Inferior y Post Barroso y un alto régimen de diferenciación magmática para el vulcanismo Alpabamba y Aniso. Asimismo, los patrones de elementos traza sugieren que el magmatismo de las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior, se desarrolló en una corteza engrosada, entre 40 y 60 km para el sector de estudio; mientras que el magmatismo de las unidades Alpabamba y Aniso, se desarrolló en un corteza de menor engrosamiento (< a 40 km).

Se propone que la unidad Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) es más prospectiva, debido que su magmatismo habría albergado fases fluidas y generado fases sulfuradas. Además esta unidad estuvo afectada por el evento extensional de sentido NNE que genera fracturas-fallas principalmente de rumbo E-O favorables para la circulación de fluidos, como ejemplo tenemos los cuerpos de brecha en Crespo (más de 0.75 Moz Au eq en recursos) y vetas en Azuca (más de 60.8 Moz Ag eq en recursos), de edad Mio-Pliocénica.

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.2 Objetivos.....	2
1.1.3 Alcances del estudio.....	2
1.1.4 Metodología de trabajo.....	2
1.1.5 Trabajos previos.....	3
1.2 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
1.2.1 Ubicación y accesibilidad.....	5
1.2.2 Fisiografía.....	7
1.2.3 Clima.....	7
CAPITULO 2: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	8
2.1 UNIDAD MORFO ESTRUCTURAL.....	8
2.1.1 Cordillera del Huanzo.....	8
2.2 MARCO GEOTECTÓNICO.....	9
2.2.1 Introducción.....	9
2.2.2 Marco Tectónico Regional.....	10
2.2.3 Ciclo Orogénico Andino.....	14
2.2.4 Interpretación.....	17
2.3 ESTRATIGRAFIA.....	18
2.3.1 Formación Soraya.....	19
2.3.2 Formación Murco.....	19
2.3.3 Formación Arcurquina.....	20
2.3.4 Grupo Tacaza (Oligoceno – Mioceno).....	20
2.3.5 Formación Alpbamba (Mioceno Medio – Superior).....	21
2.3.6 Formación Sencca (Mioceno Superior).....	22
2.3.7 Grupo Barroso (Plioceno - Pleistoceno).....	22
2.3.8 Cuaternarios recientes.....	23
2.3.9 Grupo Andagua.....	23
2.3.10 Rocas subvolcánicas (Mio – Pliocenas).....	24
CAPITULO 3: LITOESTRATIGRAFÍA DEL HUANZO.....	27
3.1 UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA DEL MESOZOICO.....	28
3.1.1 Formación Soraya.....	28
3.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DE LOS VOLCÁNICOS MIOCENO-PLIOCENO- PLEISTOCENO.....	31
3.2.1 Grupo Tacaza.....	31
3.2.2 Formación Alpbamba.....	36
3.2.3 Formación Aniso.....	41
3.2.4 Grupo Barroso.....	47
3.2.5 Unidad Post Barroso.....	55

CAPITULO 4: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	59
4.1 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL	59
4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN HUANZO.....	61
4.2.1 Evaluación de información topográfica.....	61
4.2.2 Estudio sobre Imagen Satelital.....	66
4.2.3 Análisis de datos estructurales cartografiados	70
4.3 INTERPRETACIÓN.....	77
4.4 DISCUSIÓN SOBRE ESFUERZOS PRINCIPALES.....	79
CAPITULO 5: GEOQUÍMICA DE LOS VOLCÁNICOS CENOZOICOS	82
5.1 MUESTREO GEOQUÍMICO	82
5.2 MÉTODOS ANALÍTICOS	84
5.3 GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS	84
5.3.1 Diagrama TAS	84
5.3.2 Diagrama KS.....	86
5.3.3 Diagrama AFM.....	88
5.4 ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA.....	90
5.4.1 Características de corteza.....	92
5.4.2 Discriminación del Ambiente Tectónico.....	93
5.5 ROL HIDROTERMAL DE LOS MAGMAS	94
5.5.1 Elementos metálicos en las unidades volcánicas.....	96
5.5.2 Elementos traza asociados a elementos metálicos	97
5.6 CONCLUSIONES E INTERPRETACIÓN.....	100
CAPITULO 6: DISCUSIONES	102
6.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN LA FRANJA VOLCÁNICA CENOZOICA	102
6.1.1 Marco tectónico regional	102
6.1.2 Marco tectónico de la región Huanzo	102
6.2 LITOESTRATIGRÁFICA.....	103
6.3 ESTRUCTURACIÓN Y ESFUERZOS PRINCIPALES POR ÉPOCAS	106
6.4 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y ELEMENTOS TRAZA.....	107
6.5 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	109
6.6 UNIDAD Y SISTEMA FAVORABLE PARA LA EXPLORACIÓN.....	110
CAPITULO 7: CONCLUSIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

RELACIÓN DE FIGURAS:

Figura 1.1: Ubicación del área de estudio – región del Huanzo.

Figura 2.1: Unidad morfoestructural

Figura 2.2: Segmentos importantes de los Andes con los principales procesos tectónicos y volcanismo cuaternario (Modificado de Ramos, 2009).

Figura 2.3: Tipos de zonas de subducción (Modificado de Ramos, 2009).

Figura 2.4: Modelo actual de la placa oceánica subductada debajo de la placa continental (Modificado de Gutscher et al., 2000).

Figura 2.5: Evolución tectónica idealizada del ciclo orogénico Andino (Tomado de Ramos, 2009).

Figura 2.6: Fases tectónicas y volcánicas de los andes en el segmento sur peruano. Tomado de de Palacios O. (1995), Megard (1987); Sebrier & Soler (1991).

Figura 2.7: Mapa Geológico Regional, con ubicación del área de estudio. Publicado por el Ingemmet (2001).

Figura 2.8: Proyectos y minas, relacionadas a la Franja Volcánica Cenozoica del sur peruano.

Figura 3.1: Columna estratigráfica de la región Huanzo.

Figura 3.2: Afloramientos de la Formación Soraya, ubicadas dentro y al NO del área de estudio.

Figura 3.3: Afloramientos del Gpo. Tacaza y subvolcánicos asociados, ubicados dentro del área de estudio.

Figura 3.4: Afloramientos del vulcanismo Alpbamba y subvolcánicos relacionados, ubicados dentro del área de estudio.

Figura 3.5: Afloramientos de la Fm. Aniso y subvolcánicos asociados, ubicados dentro del área de estudio.

Figura 3.6: Afloramientos de rocas volcánicas y subvolcánicas relacionadas al Barroso Inferior, ubicados dentro del área de estudio.

Figura 3.7: Afloramientos de rocas volcánicas y subvolcánicas relacionadas al Barroso Superior, ubicadas dentro del área de estudio.

Figura 3.8: Afloramientos de rocas volcánicas y subvolcánicas relacionadas al Barroso Superior, ubicadas dentro del área de estudio.

Figura 4.1: Mapa litológico y estructural de la región Huanzo.

Figura 4.2: Diagrama McCoss en fallas de las unidades Soraya al Aniso, con interpretación del sentido de esfuerzos que los originaron.

Figura 4.3: Diagrama McCoss en fallas de las unidades Barroso Inferior al Post Barroso, con interpretación del sentido de esfuerzos que los originaron.

Figura 4.4: Diagrama de estructuras analizadas con su respectiva cinemática, que indican el sentido de esfuerzos relacionados, como el σ_1 (compresivo) y σ_3 (distensivo).

Figura 4.5: Diagrama McCoss, en vetas relacionadas a los sistemas E-O (izquierda) y NE-SO (derecha).

Figura 4.6: Sistema de estructuración planteado para la región Huanzo.

Figura 4.7: Modelo propuesto para la posición de sistemas de esfuerzos desde el Cretácico superior a la actualidad, en el ámbito de estudio - Región Huanzo.

Figura 5.1: Ubicación de muestras extraídas del área de estudio.

Figura 5.2: Diagrama de contenido de SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%) con líneas clasificatorias según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotan las muestras de la región Huanzo.

Figura 5.3: Diagrama de contenido de SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%) con líneas clasificatorias según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

Figura 5.4: Diagrama de contenido de SiO_2 vs K_2O (wt%) con límites entre la serie shoshonítica, calcoalcalina y toleítica según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo.

Figura 5.5: Diagrama de contenido de SiO_2 vs K_2O (wt%) con límites entre la serie shoshonítica, calcoalcalina y toleítica según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

Figura 5.6: Diagrama AFM de Irvine y Baragar *et al.* (1971), muestra el límite entre campos toleíticos y calcoalcalino. Se plotean las muestras de la región Huanzo.

Figura 5.7: Diagrama AFM de Irvine y Baragar *et al.* (1971), muestra el límite entre campos toleíticos y calcoalcalino. Se plotean las muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

Figura 5.8: Diagrama “spider” de elementos traza y tierras raras (REE), con muestras de la región Huanzo; normalizados al manto primitivo según Sun & McDonough *et al.* (1989).

Figura 5.9: Diagrama La/Sm vs. Sm/Yb, la razón Sm/Yb indica minerales residuales en el magma (Kay *et al.*, 1999). Con muestras de la región Huanzo.

Figura 5.10: Diagrama Rb vs. Y+Nb, con campos de: granitos sincolisionales (syn-COLG), granitos de arco volcánico (“*Volcanic arc granite*”, VAG), intraplaca (“*Within Plate Granite*”, WPG), de dorsales oceánicas (ORG). Por Pearce *et al.* (1984).

Figura 5.11: Diagrama A/CNK versus Pb+Cu+Zn, para diferenciar fases fluidas de fases sulfuradas, por Barnes (1997, en Quispe 2004).

Figura 5.12: Sección lito-geoquímica A-A', relacionando el Cu - Pb - Zn, a las unidades volcánicas.

Figura 5.13: Sección lito-geoquímica B-B', relacionando el Cu - Pb - Zn, a las unidades volcánicas.

Figura 5.14: Diagrama con las correlaciones más resaltantes, en las muestras de la región Huanzo.

Figura 5.15: Diagrama ternario Cu-Pb-Zn.

Figura 5.16: Diagrama ternario Cu-Pb-Co.

Figura 6.1: Esquema evolutivo, propuesto para el vulcanismo de la región Huanzo.

RELACIÓN DE CUADROS:

Cuadro 4.1: Datos estructurales y resultados de análisis.

Cuadro 4.2: Interpretación cinemática de las fallas analizadas.

Cuadro 4.3: Datos de estructuras mineralizadas, veta Azuca y Laura.

Cuadro 4.4: Resultados que indican que las estructuras de mineralizadas se formaron bajo el mismo campo de esfuerzos.

Cuadro 4.5: Estructuras que se forman bajo el mismo campo de esfuerzos con distinta cinemática.

RELACIÓN DE FOTOS:

Foto 1.1: Vista hacia el Este, parte de la cordillera del Huanzo.

Foto 3.1: Afloramientos de las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya, forma crestones resistentes a la erosión.

Foto 3.2: Flujos piroclásticos textura matriz sostén con fragmentos líticos.

Foto 3.3: Fragmentos líticos con gran tamaño, de composición andesítica.

Foto 3.4: Afloramientos de lavas pórfido afanítica en matriz parda rojiza, probable nivel superior, del Grupo Tacaza. (Muestra N° 109233).

Foto 3.5: Afloramientos de lavas? “andesíticas” porfiríticas, de matriz afanítica con niveles tobaceos al techo, del Grupo Tacaza. (Muestra N° 109241).

Foto 3.6: Sub-afloramientos de subvolcánicos ácidos, pórfido afanítico, relacionados eventos del Grupo Tacaza. (Muestra N° 109246).

Foto 3.7: Ignimbritas con pómez deformados por soldamiento, Fm. Alpabamba.

Foto 3.8: Secuencias relacionadas al vulcanismo Alpabamba.

Foto 3.9: Subvolcánicos asociados al vulcanismo Alpabamba.

Foto 3.10: Toba de líticos y cristales (cuarzo <6%).

Foto 3.11: Secuencias de pseudo-estratigráficas con tobas de ceniza y lapilli, niveles arena arcillosos en la base.

Foto 3.12: Vista al NE, unidad piroclástica con tobas de cristales, ceniza y lapilli, dacíticos – riódacíticos (A), intruido por domos vitrofíricos (B) y domos dacíticos (C).

Foto 3.13: Secuencia con volcanoclásticos desarrollados en ambiente lagunar, muestra 109235.

Foto 3.14: Lavas riódacíticas con estructura fluidal.

Foto 3.15: Vista al O, secuencias volcanoclásticas andesíticas con textura porfirítica de coloración gris verdosa (muestra 109239).

Foto 3.16: Secuencia volcanoclástica retrabajada. En la base niveles arenáceos y tobas de cristales, al techo son tobas heterolíticas (clastos < 40 cm, foto izquierda). Muestra 109249.

Foto 3.17: Foto 3.16: Vista al E, secuencias de tobas andesíticas de textura porfirítica, sector de San Martín (muestra 109245).

Foto 3.18: Vista al O, sector SO del área de estudio.

Foto 3.19: Vista al O, sector de proyecto Azuca.

Foto 3.20: Vista al O, Barroso Inferior (1); Barroso Superior (2); Post Barroso (3 y 4).

Foto 3.21: Vista al NE, secuencia volcánica con marcada disyunción columnar, muestra 109240.

Foto 3.22: Vista al S, secuencia volcánica con marcada disyunción columnar, muestra 109250.

Foto 3.23: Vista al O, dique riódacítico con foliaciones de flujo subvertical (manera de domo) observada en corte transversal, muestra 109238.

Foto 4.1: Parte de la veta Yola – Azuca, se aprecia que la estructura sufrió apertura hacia la derecha y cierre hacia la izquierda, lo que sugiere una cinemática dextral.

ANEXO I: ESTUDIOS PETROMINERAGRÁFICOS 120

ANEXO II: RESULTADOS DE ANÁLISIS RADIOMÉTRICOS Y QUÍMICOS 133

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades de la investigación

El desarrollo del presente trabajo de Tesis, relaciona las características petrográficas, geoquímicas y estructurales de los volcánicos Cenozoicos de la Cordillera del Huanzo – Sur del Perú. Esta área es considerada favorable para la exploración de yacimientos tipo epitermales y/o pórfidos?, debido a la amplia distribución de secuencias volcánicas Cenozoicas y por evidencias de mineralización argentífera - aurífera, como en Arcata, Crespo y Azuca.

1.1.1 Planteamiento del problema

- Las rocas volcánicas Cenozoicas están divididas en diversas Formaciones, que en gran medida, han sido correlacionados (en tiempo) a nivel muy regional; muchas veces generalizando sus características y agrupando en una misma unidad, eventos de rocas volcánicas que no son co-genéticas. Esta generalización, poco ayuda a entender el desarrollo volcánico distrital; además, a dirigir la prospección geo-económica. Por lo que es necesario poder definir características lito-estratigráficas más distritales, caso de la región Huanzo, que ayuden a diferenciar los eventos volcánicos desarrollados.
- La tipificación geoquímica de los volcánicos Cenozoicos, realizada por otros autores y fuera del área de estudio, está orientada principalmente a la discusión química, evolutiva y a definir el ambiente tectónico. Pero también nos interesa saber si durante los diferentes procesos de evolución magmática se han producido fases fluidas, que bajo ciertas condiciones podrían dar origen a mineralizaciones metálicas.
- El marco estructural regional se interpreta como producto principal de un tectonismo compresivo con regímenes cíclicos y episódicos; relacionados a movimientos transtensivos y transpresivos, donde son frecuentes los cambios rápidos de dirección de esfuerzos. Sin embargo, poder definir estos cambios en el tiempo, permitiría sugerir: la evolución tectónica y sistemas estructurales favorables, como esfuerzos extensionales, para la canalización de fluidos magmáticos relacionados a mineralización.

1.1.2 Objetivos

El trabajo de Tesis de Grado, tiene los siguientes objetivos:

- Caracterizar la lito-estratigrafía de un sector de los volcánicos Cenozoicos del Sur del Perú, conocido como la Cordillera del Huanzo.
- Caracterizar los aspectos petrográficos y geoquímicos del magmatismo expuesto, para proponer ambientes geotectónicos en que se habrían desarrollado.
- Definir los sistemas estructurales predominantes y la variación de la dirección de esfuerzos, para sugerir la evolución tectónica en que se desarrollaron.
- Identificar posibles fases fluidas relacionadas a procesos magmáticos y sistemas estructurales favorables, que pudieron permitir la canalización de éstos fluidos, relacionados a mineralización.
- Proponer un modelo geológico evolutivo para la Región Huanzo.
- Asimismo, presentar el estudio y sus resultados como Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.1.3 Alcances del estudio

- Brindar información sobre las rocas volcánicas presentes en el área de estudio.
- Mostrar datos compilados e inéditos de edades cronológicas.
- Brindar información sobre datos geoquímicos, cuyos resultados determinan el contenido de óxidos principales (roca total), elementos traza y tierras raras.

1.1.4 Metodología de trabajo

Para poder cumplir con los objetivos propuestos, se realizaron las siguientes tareas en diversas etapas:

Trabajos de Gabinete I, compilación de la información:

- Recopilación, revisión y selección de material bibliográfico de diferentes fuentes, referente al tema de estudio.
- Compilación de diversos trabajos, realizadas por geólogos de Cia. Minera Ares S.A.C. y otras compañías, sobre el área de estudio.
- Compilación de material como: fotografías aéreas (ortofotos), imágenes (LandSat y Aster), mapas estructurales regionales y distritales.

- Con la data compilada, se proceso, analizo y elaboro un mapa geológico preliminar y una primera interpretación.

Trabajo de campo (2008 – 2010):

- Entre setiembre de 2008 y agosto de 2009, se desarrollaron diversos trabajos prospectivos, que incluyó el cartografiado a escala 1/25,000 mediante la identificación, descripción, delimitación e interpretación de: secuencias litoestratigráficas, estructuras, alteración y mineralización; poniendo mayor detalle en los últimos. Estos trabajos, se realizaron conjuntamente con el equipo de geólogos de Cia. Minera Ares S.A.C. Se puso mayor énfasis en sectores prospectivos como: Azuca, Crespo, Huacullo y San Martín.
- En febrero de 2010, el autor, realizó un cartografiado a escala 1/50,000 poniendo mayor énfasis (escala 1/25,000) en sectores donde se exponen secuencias representativas de las unidades volcánicas. Además, se extrajeron 18 muestras para efectuar estudios petrominerográficos y geoquímicos de rocas volcánicas (roca total); de igual manera se tomaron datos de rumbo y buzamiento para realizar el análisis estructural.

Trabajos de gabinete II:

- Selección de muestras para estudios petrográficos y ensayos químicos.
- Sistematización de la información de campo (planos litológicos y estructurales).
- Elaboración de una columna litoestratigráfica.
- Procesamiento de resultados.
- Finalmente se confeccionó y redactó el presente texto.

1.1.5 Trabajos previos

A nivel regional y local, existe gran cantidad de estudios de carácter geológico y minero, de los que se tiene:

- Entre los años 1968 y 2000, trabajos de investigación regional son realizados por el INGEMMET; Oscar Palacios realiza el estudio: “Geología de los Cuadrángulos de Chulca y Cayarani” en 1994.
- Estudio de Clark et al. (1990), auspiciado por la Universidad de Queens, sobre metalogenia del Sureste de los Andes Peruanos.
- Entre 1995 y 1998, estudios y evaluaciones inéditas de áreas prospectivas, efectuadas por Compañías Mineras que operaron en el área de estudio (Teck Perú, Minera del Suroeste S.A.C., Newmont Perú S.R.L., entre otros).

- A partir de 1997, Mauricio Hochschild & Cia. Ltda., realizo agresivos y continuos trabajos de exploración en la Región Huanzo.
- El llamado Proyecto Huanzo Regional (1997), tuvo como resultado, diversos prospectos y proyectos de interés, tales como Santo Domingo, Huamancharpa, Teton, Millo, Azuca, Huacullo, San Martin, entre otros prospectos menores. Algunos pasaron a la fase de perforación: San Martin, Azuca.
- A partir del 2006 y 2007, Cia. Minera Ares, nuevamente realiza trabajos de exploración regional en el denominado Proyecto Mioceno Oeste, donde se definió diversos blancos prospectivos.
- En agosto del 2008, Cia. Minera Ares adquiere la participación de Newmont, dentro del Proyecto Liam regional.
- En mayo 2009, Cia. Minera Ares, adquiere a Minera del Suroeste, afianzando de ésta manera su presencia en la Región Huanzo.
- Actualmente los proyectos Azuca (61.5 MOz Ag eq de recurso inferido) y Crespo – Queshca (0.75 Moz Au eq de recurso inferido), son los que continúan con trabajos de definición de recursos minerales económicos. A parte de San Martin, Ibel y Huacullo donde se prepara las campañas de perforación, a cargo de Exploraciones Browfields de Cia. Minera Ares S.A.C.

1.2 Generalidades de la zona de estudio

El complejo volcánico cenozoico, es una provincia geológica que se extiende hacia Chile, Bolivia y parte de Argentina, abarca unos 120,000 km² aproximadamente, dentro de Perú. Esta provincia geológica se encuentra limitada al Norte, por la inflexión de Abancay, al Oeste por los intrusivos paleocenos y Batolito de la Costa, al Este por secuencias mesozoicas y paleozoicas (Figura 1.1).

La característica geológica dominante del área de estudio, al Sur del Perú, es la presencia de una intensa actividad volcánica explosiva y efusiva de edad Cenozoica; en la cual se alojan sistemas vetiformes y diseminados, portadores de metales preciosos (plata y oro) con potencial económico. A partir del descubrimiento de yacimientos de plata -oro como “Crespo” y “Azuca”, en los últimos años se ha incrementado aún más el interés por el mejor entendimiento de la geología de ésta región.

Según: Fornari & Vilca (1979) y Quispe et al. (2008); el área de estudio se encuentra dentro del corredor metalogenético Puquio – Caylloma, asociado a depósitos epitermales de Ag y Au principalmente.

1.2.1 Ubicación y accesibilidad

El área de estudio comprende una superficie total de 560 km² (20 x 28 km) y se ubica dentro de la Cordillera Occidental Peruana (al sur de la deflexión de Abancay), conocida como Cordillera del Huanzo y conformada por una cadena de montañas; políticamente ocupa parte de los territorios de los departamentos de Apurímac, Cusco y Arequipa (Figura 1.1).

Las coordenadas limitantes (PSAD 56 UTM Zona 18S), son:

762950 E – 782950 E

8360950 N – 8388950 N

Expresados en coordenadas geográficas, los vértices del área estudiada son:

14°48'45" – 14°33'27" de Latitud Sur

72°33'25" – 72°22'27" de Longitud Oeste

Se ubica a 220 km al NNW de la ciudad de Arequipa y a 580 km al SE de la ciudad de Lima.

El acceso al área de estudio, comprende tres rutas principales:

- Desde la ciudad de Arequipa, por la carretera: Arequipa – Puno hasta la localidad de Sumbay, donde se prosigue por desvíos sucesivos hacia Sibayo – Caylloma – Arcata – Paraje Culipampa, de donde puedes acceder a diversos parajes y prospectos como Crespo, San Martín, Huacullo, Millo y Azuca.
- Desde Lima, por: Lima – Nazca – Puquio – Cruce Iscahuaca – Mina Selene - Poblado Huarcaya y paraje Culipampa.
- Desde Cusco, por Cusco – Santo Tomas – Yavina y paraje Huacullo (Figura 1.1).

La zona es habitada por personas que pertenecen a diversas comunidades campesinas y su actividad principal es la ganadería (alpacas y llamas), distribuidos en diversas estancias. No cuenta con centros poblacionales importantes.

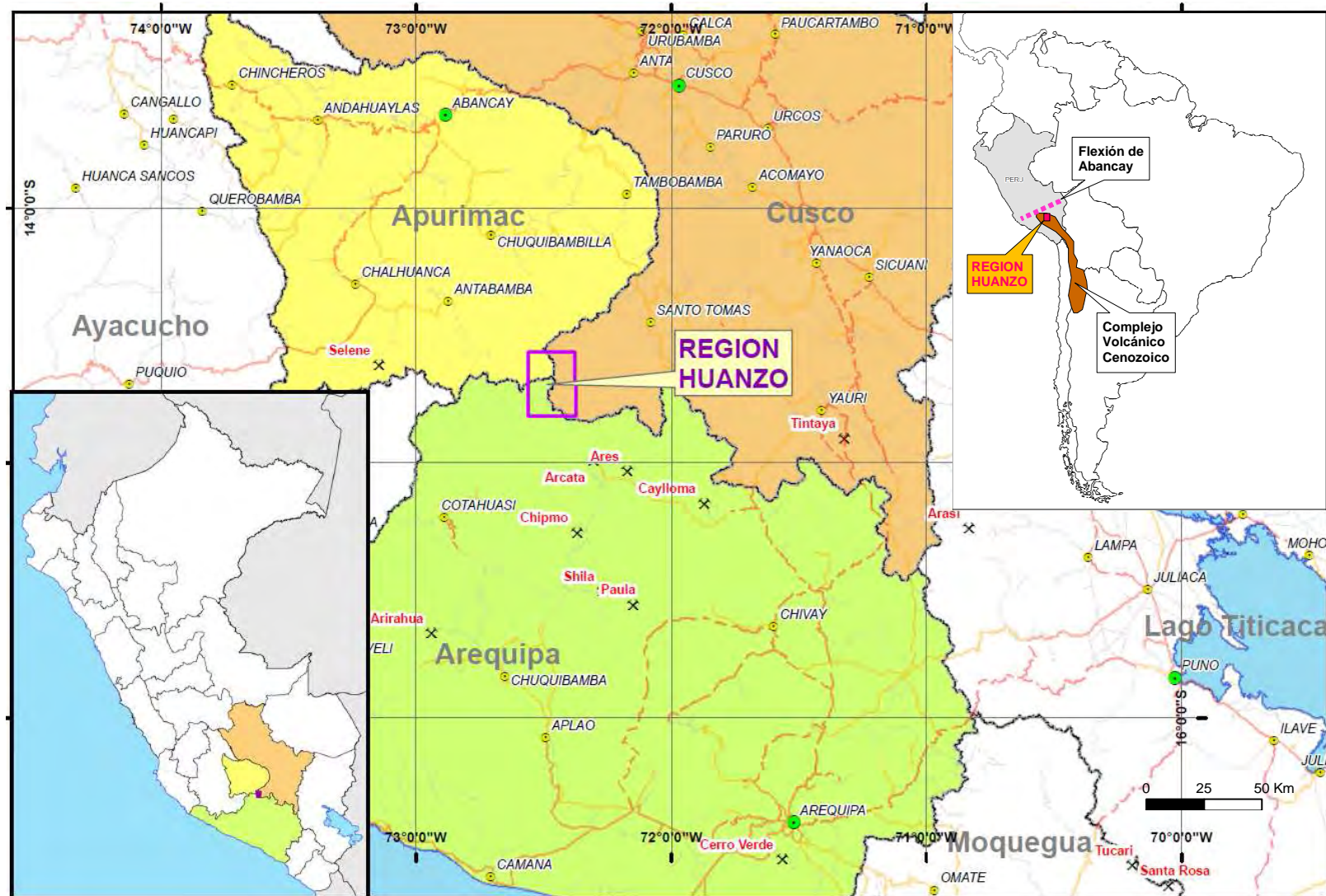


Figura 1.1: Ubicación del área de estudio – región del Huanzo.

1.2.2 Fisiografía

La cadena Occidental constituye el más importante sistema montañoso de la región por su elevación y continuidad, además separa las aguas de la vertiente del Pacífico de las que van a la vertiente del Atlántico.

El área de estudio fisiográficamente se ubica sobre las regiones: Puna o Janca y Jalca o Cordillera. La primera se caracteriza por una superficie de abrasión que forman “peneplanicies” a alturas superiores a los 4,000 m.s.n.m.; la segunda, sobre una superficie de morfología agreste, cubierta de nieve y altitudes sobre los 4,800 m.s.n.m. (Foto 1.1).

1.2.3 Clima

En términos generales, el clima es frígido con temperaturas entre -10 y 5°C. En la temporada de lluvias (enero – marzo) se tiene nevadas y caída de granizo. En la temporada seca (julio – setiembre) se tiene vientos frígidos y heladas severas, perjudicial para ganado auquénido (actividad económica principal de los pobladores de la zona).



Foto 1.1: Vista hacia el Este, parte de la cordillera del Huanzo.

CAPITULO 2: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Unidad morfo estructural

La Cordillera de los Andes, ubicado al borde occidental de Sudamérica, es un conjunto de cadenas montañosas que muestran rasgos morfológicos variados. El origen de esta Cordillera se vincula a la evolución tectónica y a procesos erosivos, que han actuado a través del tiempo en una sucesión de eventos cíclicos, dejando los rasgos geomorfológicos presentes.

Dentro de la Cordillera de los Andes se encuentra la Cordillera Occidental (rasgo geomorfológico más prominente). La zona de estudio ubicada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, en el sur del Perú; presenta un relieve montañoso de valles glaciales y planicies moderadas, toma el nombre de Cordillera del Huanzo y forma parte de las regiones naturales Puna y Jalca.

2.1.1 Cordillera del Huanzo

Es la unidad más destacada del área de estudio, donde los “picos” llegan a los 5,350 m.s.n.m. y cuyas líneas de cumbres constituyen parte de la divisoria continental entre las cuencas hidrográficas del Pacífico y del Atlántico, además los “picos” más altos están cubiertos por nieve perpetua. Presenta una dirección orográfica inicial NO-SE (entre Crespo y Astana), luego toma una dirección N-S (cabecera de las lagunas Huacullo y Huanzo) y nuevamente toma una dirección NO-SE (entre Azuca y Millo); abarca 32 kms de longitud y 82 km² de área aproximada. Ver Figura 2.1.

Se describen las unidades morfoestructurales más representativos relacionadas al ámbito regional de la zona de estudio (Figura 2.1):

- **Peneplanicie andina**, presenta una topografía suave, de pampas, emplazada en altitudes que fluctúan entre los 4,000 y 4,800 msnm; en estas superficies donde se encuentran lagunas.
- **La Cordillera Occidental**, donde las mayores alturas pasan los 4,000 msnm y cuyas líneas de cumbres constituye la divisoria de aguas entre las cuencas hidrográficas del Pacífico y del Atlántico. Resalta **el Arco del Barroso**, representado por una sucesión de volcanes y prominencias alineados en

dirección andina NO-SE; destacan los volcanes Coropuna (6,426 msnm), Solimana (6,117 msnm), Firura (5,698 msnm).

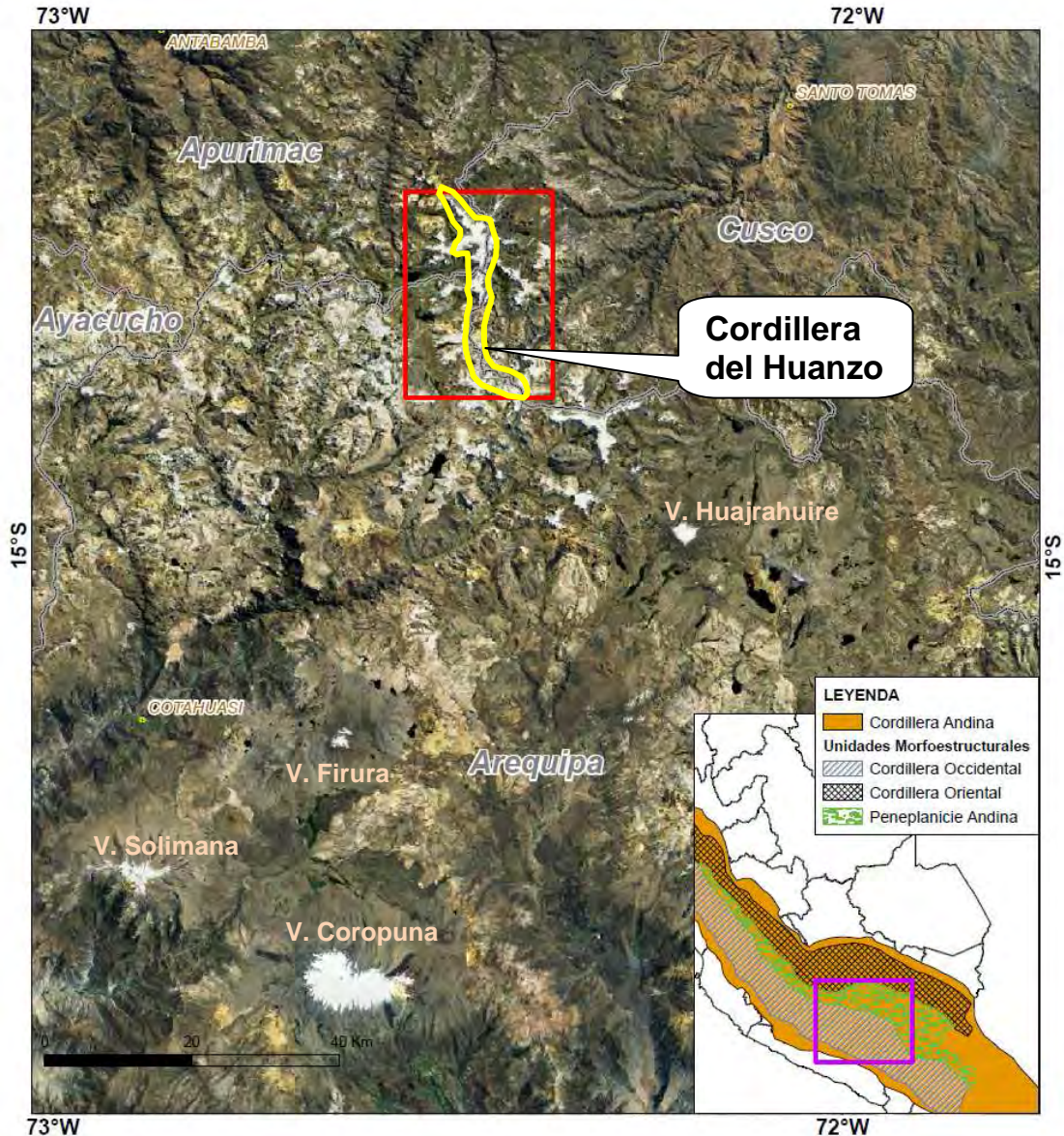


Figura 2.1: Unidad morfoestructural

2.2 MARCO GEOTECTÓNICO

2.2.1 Introducción

A lo largo del tiempo, distintas teorías e interpretaciones se han planteado para comprender la evolución geotectónica de la cordillera de los Andes y en consecuencia la del Sur del Perú.

Trabajos realizados por McKee & Noble (1982) y Benavides & Cáceres (1999) indican que la geología histórica implica un complejo registro de acreciones, colisiones y subducción de diferentes tipos de corteza oceánica, éstos crearon una complicada segmentación, donde la tectónica, magmatismo y procesos sedimentarios cambiaron a través del tiempo y espacio; además formaron las características de las provincias morfo-estructurales mayores, vista actualmente en los andes. Asimismo, Megar (1987) y Sebrier & Soler (1991) expresan que los Andes son un sistema orogénico largamente activo, desarrollado por subducción de corteza oceánica por debajo de la placa Sudamericana que produce el levantamiento de un cinturón de montañas complejas.

2.2.2 Marco Tectónico Regional

Dentro del marco Geológico - Tectónico Regional, la Región Huanzo, se ubica en la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes de Sudamérica que engloba al arco volcánico Cenozoico del sur peruano (Figura 2.2), que se desarrolla sobre una potente y compleja corteza continental compuesta por rocas paleozoicas y mesozoicas; asimismo, Echavarría et al. (2006) menciona que este arco volcánico muestra un drástico cambio en su magmatismo, vulcanismo, ángulo de subducción y tectonismo, cambio que correlaciona con la flexión de Abancay en donde la zona sur que engloba a la región Huanzo posee características distintas con respecto a la zona norte (Figura 2.3), se describe con mayor detalle a continuación:

Sector sur del arco volcánico cenozoico (al sur de la flexión de Abancay) es una faja ancha, de unos 200 km de ancho, caracterizada por grandes estructuras volcánicas superpuestas como calderas y edificios volcánicos, relacionadas a flujos lávicos calco-alcalinios andesíticos a riolíticos, ignimbritas, lahares y domos; McKee & Noble (1982) y Sebrier & Soler (1991), mencionan que la actividad volcánica y tectónica fue episódica, además reflejan periodos de quietud con extensión suave, seguido de cortos periodos compresivos. Asimismo, Mamani et al. (2010) indican que la tectónica más distensiva estaría asociada a la poca presión generada por la placa subductada que a su vez originaría un mayor ángulo en la cuña astenosférica (mayor a 30°), todo debido a la mayor densidad y mayor edad de formación de rocas de la corteza oceánica que subducen debajo de la corteza continental (Figura 2.3), al sur de los 14° de latitud sur.

Echavarría et al. (2006) menciona que el volcanismo imperante en este sector sur, resulta en la generación de grandes sistemas hidrotermales a los que se

asocian depósitos epitermales, principalmente vetiformes de sulfuración intermedia y baja; el clímax de estos sistemas ha sido en el Mioceno, desde 23 a 5 Ma, con varios ciclos metalogenéticos reconocidos; las rocas volcánicas genéticamente relacionadas a estos depósitos minerales son rocas calco-alcalinas, andesíticas a riolíticas que se agrupan dentro de la Formación Tacaza, Alpabamba, Aniso-Sencca, entre otras. Por otro lado Noble et al. (1999) indica que la actividad magmática e hidrotermal parece estar más relacionado al tectonismo extensional o transtensional. En la actualidad continúa el tectonismo, evidenciado por los numerosos centros volcánicos activos.

Sector norte del arco volcánico cenozoico (al norte de la flexión de Abancay), es más angosto y reducido, sin desarrollo de grandes calderas sólo de estratos volcanes. Rivera et al. (2008) mencionan que la actividad volcánica decrece con el tiempo hasta ser prácticamente nula en la actualidad. Por otro lado, Mamani et al. (2010) reconoce una tectónica de tipo más compresivo, con levantamiento cortical y erosión que producen el afloramiento de niveles más profundos de la corteza como basamento mesozoico y grandes cuerpos batolíticos del terciario inferior; esto se relaciona al bajo ángulo de subducción menor a 30° producto de una menor densidad y menor edad de formación, de la placa subductada hacia el norte de los 14° latitud sur hasta la inflexión de Huancabamba, sector que coincide con la subducción plana “flat slab” propuesta por Gutscher et al. (2000) (Figura 2.4).

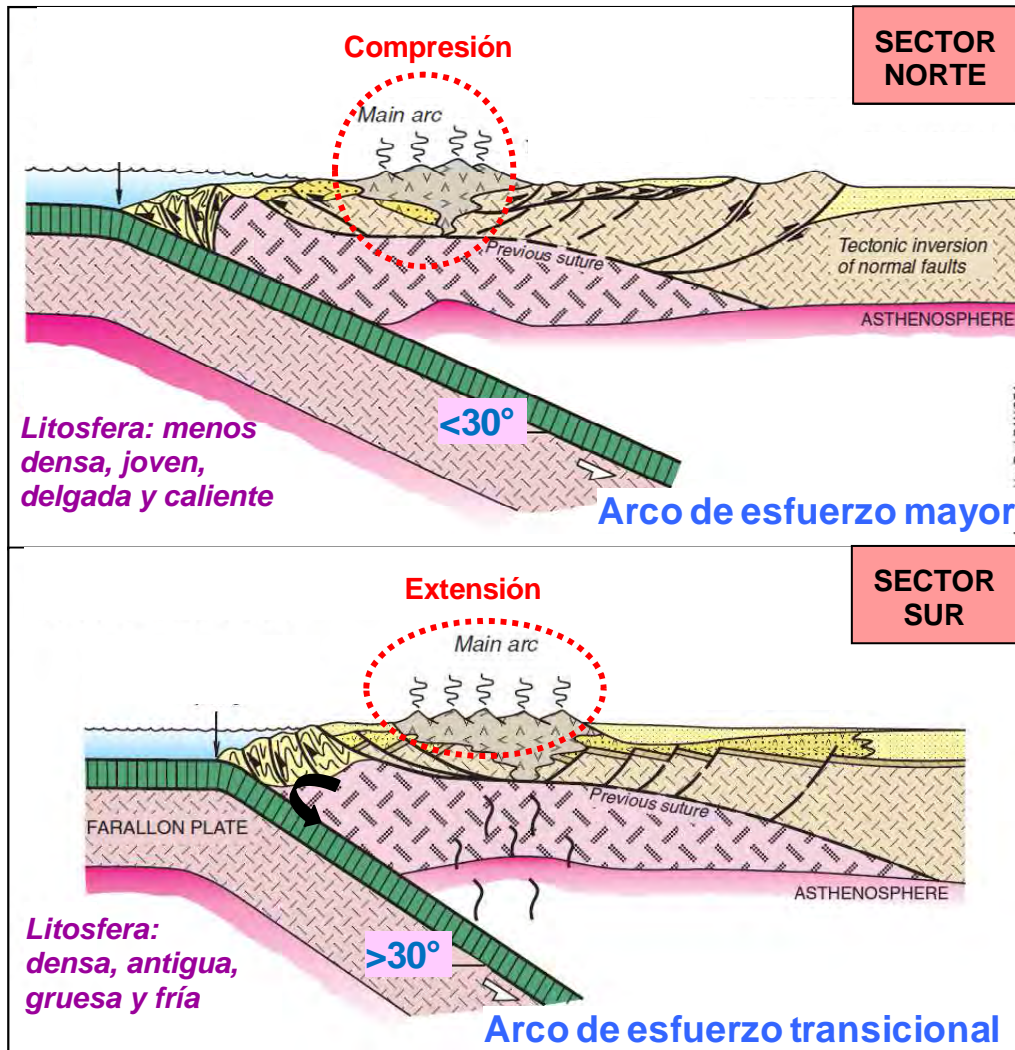


Figura 2.3: Tipos de zonas de subducción (Modificado de Ramos, 2009).

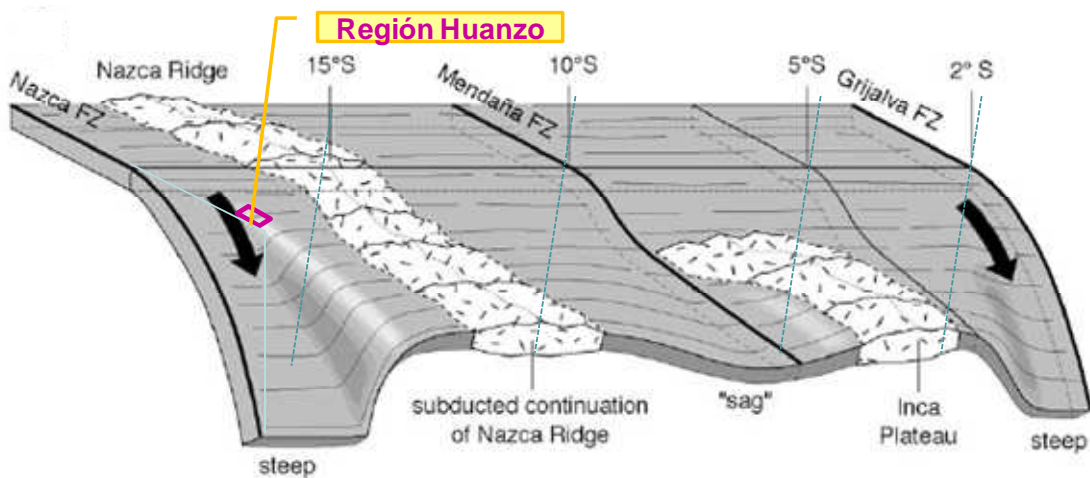


Figura 2.4: Modelo actual de la placa oceánica subductada debajo de la placa continental (Modificado de Gutscher et al., 2000).

2.2.3 Ciclo Orogénico Andino

2.2.3.1 Contexto General

Diversas hipótesis y teorías sobre la génesis-evolución de la cordillera Andina, han sido asociadas al concepto de procesos orogénicos intermitentes y esporádicos, tales como la teoría del geosinclinal por Grober (1951, en Ramos, 2009) ó de la geolaminación del Ciclo Andino por Auboin y Borrello (1966, en Ramos, 2009).

Con el enfoque derivado de la aplicación de Tectónica de Placas, varios intentos han sido hechos para explicar el carácter pausado y esporádico de los episodios de la cordillera Andina a lo largo del tiempo. Las primeras propuestas como la de Charrier (1973, en Ramos, 2009) relacionan cambios de estadios convergentes donde hubo una correlación estrecha entre periodos compresivos globales y extensivos, las que alternan en pausas rítmicas; esta propuesta fue mejorada por Frutos (1981, en Ramos, 2009) para quien los cambios de dirección y niveles de piso oceánico fueron controlados por fases cortas orogénicas compresivas que alternan relativamente con periodos largos de extensión, además plantea el inicio de periodos de mayor convergencia de placas en 110-85 Ma, 76-70 Ma, 63-60 Ma, 49-45 Ma, 35-33 Ma, 16-13 Ma y 7 Ma como responsables para la fase compresiva y desarrollo de un periodo orogénico, antes de episodios con relativa tranquilidad. Así mismo, Aguirre (1987, en Ramos, 2009) remarca que periodos largos de extensión fueron interrumpidos por episodios cortos de compresión, modelando así la estructura de los Andes.

Por mucho que los modelos direccionaban la variación de la convergencia, demostraron que ésta decrece en el tiempo, debido a la variación de velocidad en la convergencia, tal como los últimos 20 Ma por Oncken et al. (2006 en Ramos, 2009), ello también mostro que la alternancia entre compresión y extensión, no fue rítmica ni global, aún a lo largo de los Andes, como previamente se aceptaba. Además, Kay (1991) indica que los periodos de la subducción plana “flat slab” han mostrado que tuvieron significancia en la evolución de la cordillera andina y se basa en la correlación precisa entre episodios de deformación y magmatismo en diferentes segmentos; además, no fue única sino ha sido una característica común a través del tiempo (Gutscher et al., 2000).

De igual modo, Ramos y Folguera (2008) muestran evidencias que permiten reconocer una secuencia casi completa de “flat slab” subductando a lo largo del margen andino, durante el Mesozoico y Cenozoico, y que serian factores claves en

el control de la formación de montañas como la cordillera Andina; además proponen un ciclo orogénico conceptual con las etapas mostradas en la Figura 2.5 y que estas etapas habrían dado lugar a importantes episodios repetitivos de deformación y magmatismo, en el margen Andino de Sudamérica.

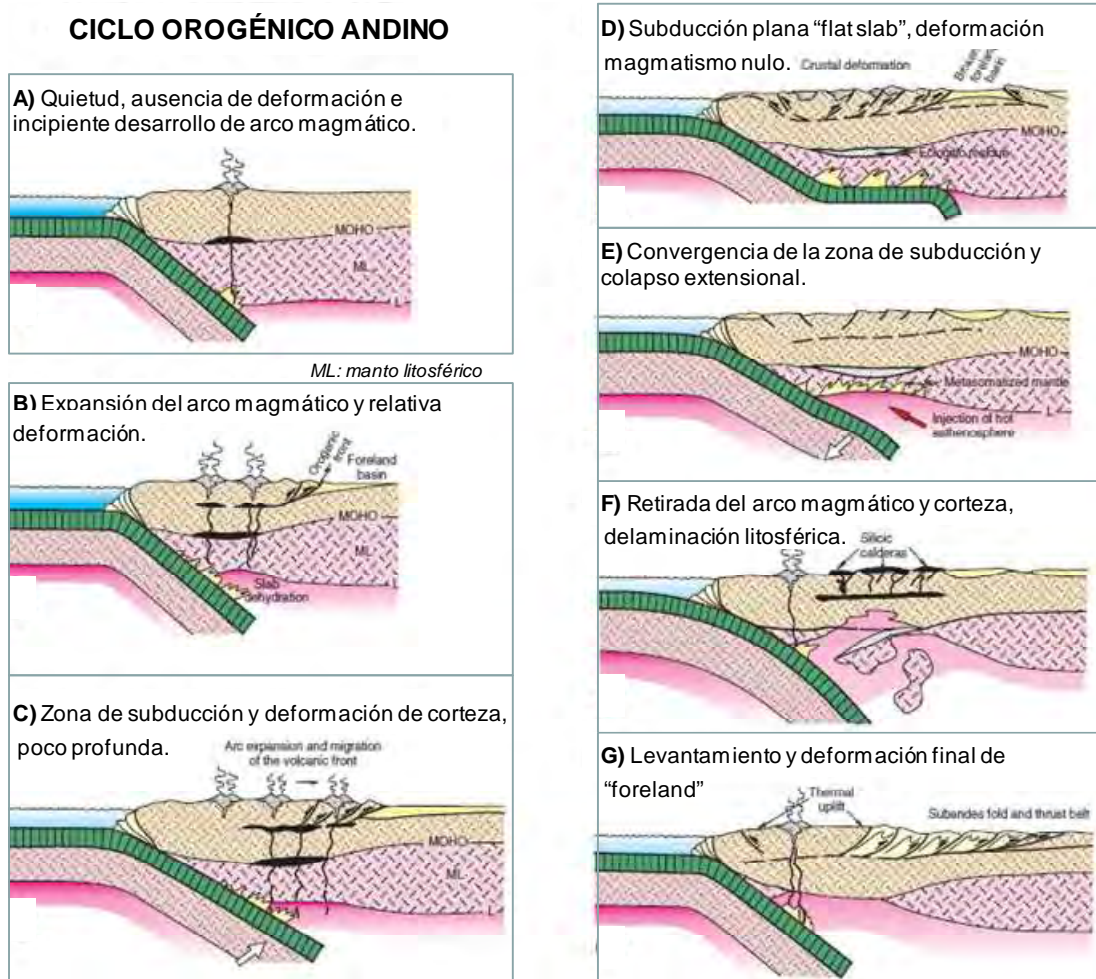


Figura 2.5: Evolución tectónica idealizada del ciclo orogénico Andino (Tomado de Ramos, 2009).

2.2.3.2 Relación en el Margen Tipo Andino

En base a la subducción de la corteza oceánica, se desarrollo una significativa deformación y magmatismo en episodios repetitivos que formaron la cadena de montañas en el margen Andino. Una característica importante que ayudo a entender el desarrollo de este ambiente geotectónico, ha sido determinar las diversas fases compresivas y distensivas, desarrollados principalmente en los llamados “ciclos orogénicos”. Se describe a continuación, fases de deformación tectónica, dentro del ámbito regional de estudio:

Deformación Cretácica – Terciario: Benavides y Cáceres (1999) indican que movimientos compresivos dieron lugar al plegamiento y levantamiento seguido de erosión, desde fines del cretácico y afectaron a las rocas mesozoicas. Regionalmente al área de estudio deformaron a rocas del Grupo Yura y Formaciones Murco y Arcurquina. Asimismo, Palacios O., (1994) postula que puede ser la Fase Inca del Eoceno, la causante de estas deformaciones, ya que se manifiesta muy intensamente a lo largo de toda la Cordillera Occidental; posterior a esta compresión, sobreviene un fracturamiento profundo seguido de levantamiento y fallamiento, que se evidencia con fallas de rumbo NO-SE. El fracturamiento es profundo evidenciado por fallas corticales (Carlotto et al., 2009) y fuertemente inclinado, por donde probablemente encuentran camino de salida los magmas ascendentes que dieron lugar al volcanismo Tacaza; muchas de estas fallas fueron truncadas por los magmas posteriores de vulcanismo lávico y piroclástico. Otra manifestación de este magmatismo lo constituye el emplazamiento de plutones dioríticos entre Andahuaylas y Yauri, que se reconoce en la esquina noreste del cuadrángulo de Cayarani.

Deformación Mio-pliocénico: Diversos estudios tratan de reconocer los estadios de levantamiento de los Andes Centrales, si bien es cierto que no coinciden en edades lo hacen en características deformacionales. Es así que Noble & McKee (1999) reconocen tres eventos compresivos: Quechua “1” (19 Ma), Quechua “2” (9.5 Ma) y Quechua “3” (6 Ma). De igual modo, Palacios O. (1994) propone la fase Quechua “1” (17 a 14 Ma) de esfuerzos compresivos menores a la Fase Inca que reactiva fallas profundas y genera vulcanismo explosivo; Quechua “2” (10 a 9 Ma) de intenso levantamiento y vulcanismo explosivo ignimbrítico y la fase Quechua “3” (7 a 6 Ma) con fuerte levantamiento de los Andes hasta los 4,000 msnm; las fases intermedias se caracterizan por un plegamiento abierto asociado a una tectónica tensional que da lugar a fallamientos gravitacionales.

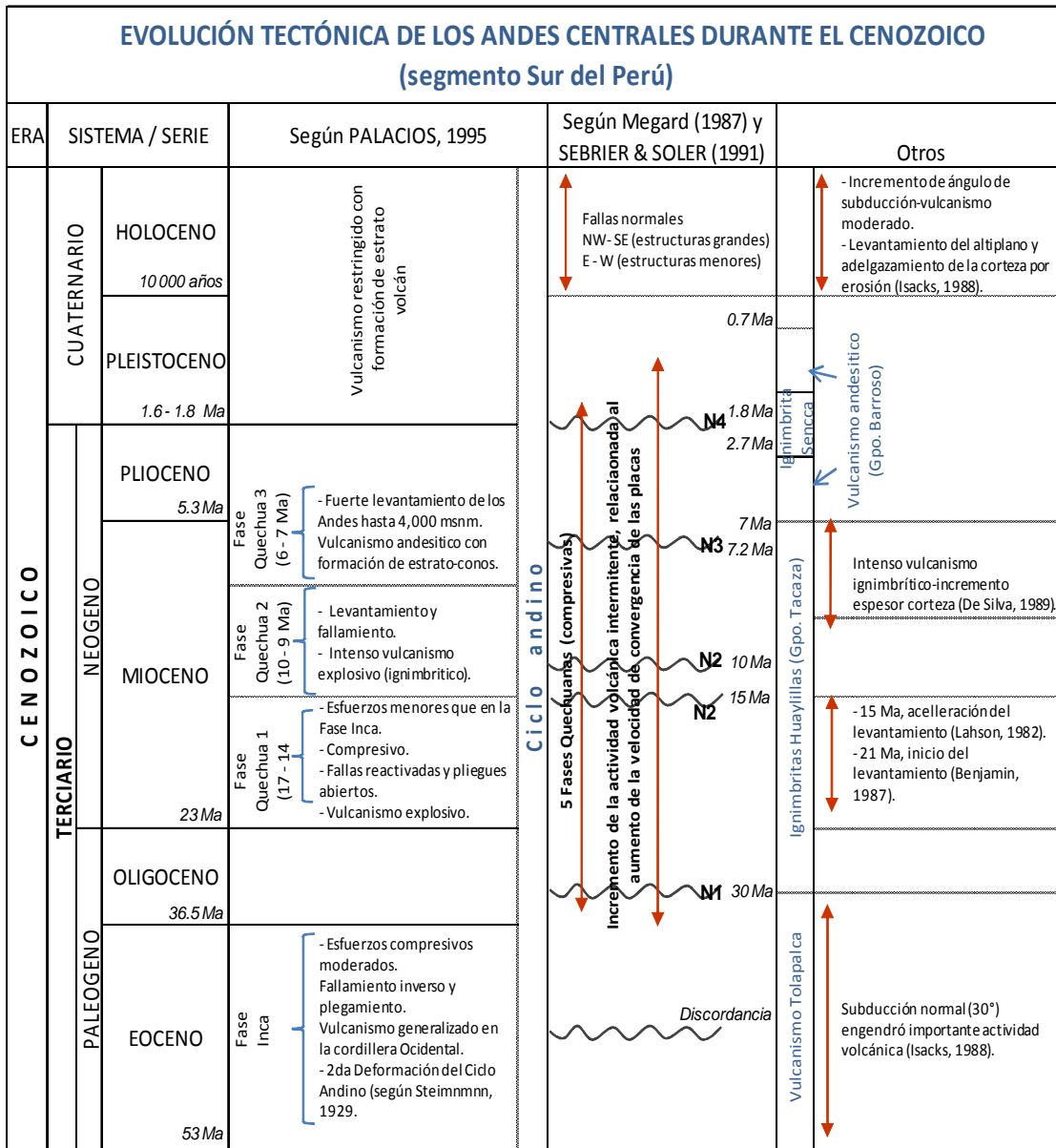


Figura 2.6: Fases tectónicas y volcánicas de los andes en el segmento sur peruano. Tomado de de Palacios O. (1995), Megard (1987); Sebrier & Soler (1991).

2.2.4 Interpretación

Los rasgos geo-estructurales que se han desarrollado en el área de estudio, están vinculados a la Tectónica Andina, debido a la subducción de la corteza oceánica, se desarrollo una significativa deformación y magmatismo en episodios repetitivos que, construyen la cadena de montañas en el margen Andino.

Una característica que ayudo a entender el desarrollo de este ambiente geológico - tectónico, fue determinar los ciclos orogénicos relacionadas a fases compresivas como la Inca, Quechua 1, 2 y 3, que fueron propuestas por Palacios

O. (1994), Megard (1987b) y Noble & McKee (1999). Ver Figura 2.5. Otra característica, son las evidencias de subducción plana “flat slab” que también habrían originado episodios repetitivos de deformación (Ramos, 2009).

Dentro del marco tectónico regional, la Región Huanzo se ubica en la Zona Volcánica Central de Sudamérica, correspondiente al cinturón volcánico Miocénico-Holocénico del Sur del Perú (Figura 2.2).

Una característica importante que ayuda a entender el comportamiento del magmatismo - vulcanismo y la diferencia en potencia del cinturón volcánico dentro de la cordillera, es la propuesta por Gutscher et al. (2000) sobre la segmentación de la subducción andina producida durante el Mioceno que genera grandes variaciones en la tectónica y vulcanismo (Figura 2.4); esta segmentación se correlaciona con la flexión de Abancay. Al sector norte de esta flexión, la corteza oceánica ingresa sub-horizontalmente por debajo de la corteza continental con bajo ángulo de subducción y genera un régimen tectónico mayormente compresivo; asimismo, en el sector sur que engloba a la Región Huanzo, el ángulo de subducción entre corteza oceánica y continental es mayor (alrededor de 30°); con régimen tectónico mayormente extensional a neutro, según Uyeda & Kanamori (1979) y Stern (1996), para este sector. Ver Figura 2.2.

Por otro lado, Echavarría et al. (2006) menciona que el Mioceno, desde 23 a 5 Ma, habría sido el clímax con varios ciclos metalogenéticos reconocidos; además, las rocas volcánicas genéticamente relacionadas a estos depósitos minerales son rocas calco-alcalinas, andesíticas a riolíticas. En la actualidad continúa el tectonismo que se evidencia por los numerosos centros volcánicos activos. El vulcanismo imperante en el sector sur, resultan en la generación de sistemas hidrotermales relacionados a depósitos epitermales, principalmente vetiformes de sulfuración intermedia y baja.

2.3 ESTRATIGRAFIA

El marco geológico regional de la zona de estudio, está conformada por lavas y rocas piroclásticas - volcanoclásticas de composición intermedia a ácida y filiación calco - alcalina, típica de márgenes continentales activos (Klink et al., 1986) que reposan discordantemente sobre rocas sedimentarias de edad cretácica del Grupo Yura. Los antecedentes geológicos regionales, se documentan principalmente en los trabajos realizados por el INGEMMET, Dávila (1988 y 1991), Caldas (1993),

Palacios O. (1994) y Salas et al. (2001), en los cuadrángulos de Caylloma (31-S), Pacapausa (30-P), Orcopampa (31-R), Chulca (30-Q) y Cayarani (30-R) respectivamente, realizados a escala 1:100,000; como también en trabajos especiales sobre determinadas áreas y de similar contexto vulcanológico como las realizadas por Noble (1974) en Orcopampa, a 50 km al Sur del área de estudio.

Es de resaltar que las unidades geológicas descritas en el presente sub-capítulo, fueron definidas por criterios litoestratigráficas regionales y no por estudios enfocados a su génesis. Como ejemplo, el Grupo Tacaza es correlacionado desde Puno hasta Arequipa, sin considerar que sus niveles lávicos-piroclásticos tuvieron diferentes puntos de emisión. En la Figura 2.7, se presenta un mapa geológico simplificado.

2.3.1 Formación Soraya

El nombre proviene del pueblo de Soraya, ubicado en la parte alta de la margen derecha del río Chalhuanca (Apurímac).

Litológicamente, está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas de grano fino a medio bien clasificados, formando prominentes crestas y con intercalaciones de niveles delgados con lutitas negras y areniscas grises, principalmente en la base de la Formación (Pecho 1983). Sus relaciones de contacto inferior no han sido definidas para el marco geológico regional; sin embargo en el área de Huamancharpa, infrayace al Grupo Tacaza y en el área de Huayllane, infrayace a las formaciones Alpbamba y Barroso. En la región Arequipa se correlaciona con la Formación Huallhuani del Grupo Yura. Se asume de edad Cretácico inferior por restos de tallos en la Formación Huallhuani (Palacios O., 1994). Esta formación es similar a la Formación Chimú, del norte del Perú.

2.3.2 Formación Murco

Fue definida por Jenks W. (1948) y Benavides V. (1962) como una secuencia de capas rojas de hasta 287 m de espesor, no describieron extensión lateral. El miembro superior (paquete de 80 – 90 m de espesor) está compuesto por areniscas grises de estratificación cruzada, que pasan a limonitas y lutitas rojas a violáceas y alternan con niveles, hasta 2 m de espesor, de yeso de aspecto sacaroide. Hacia los niveles superiores, se hacen más delgadas las capas de limolitas para pasar a

bancos de calizas margosas beige, que marcan la transición a la Formación Arcurquina.

Asimismo, Palacios O. (1994) vincula la presencia de marcas de oleajes y estratificación cruzada de la Formación Murco, a una depositación próxima a áreas emergidas de un mar somero y amplio; además evidenció la predominancia de sedimentos rojos que se relaciona con cambios climáticos significativos, sujetos a condiciones de oxidación y producción de materiales lateríticos que fueros acarreados para dar lugar a la Formación Murco.

El hallazgo de *Crassalla* sp. Indica una edad de Cretáceo Inferior, probablemente relacionado al Aptiano y Albiano inferior.

2.3.3 Formación Arcurquina

Denominada así por Jenks W. (1948) y posteriormente Benavides V. (1962) lo estudio en detalle en la zona de Arequipa. Litológicamente se puede distinguir dos miembros:

El miembro inferior de aproximadamente 100m de espesor, que consiste de calizas margosas gris azuladas en capas delgadas con intercalaciones de arenisca calcárea amarillentas y escasos nódulos de chert. El límite con la formación Murco es variable de un sector a otro.

El miembro superior es más competente, consiste en paquetes de 500 m de espesor aproximadamente y esta constituidas de calizas gris azuladas brechoides y con abundantes manchas amarillas en capas de 1 a 2 m bastante fosilíferas, principalmente con equinoideos y ammonites. Estas calizas se asocian a abundantes nódulos de chert; mayormente negros, marrones o beige. Los niveles superiores mantienen la naturaleza brechosa con disminución del contenido de chert. (Boletín N°55 del Ingemmet, 1995).

La fauna encontrada por Benavides V. (1962) comprende los siguientes géneros: *Tetragrama Malbossi* (Agassiz) y *Holectypus* (*Caenholectypus*) que marcan el Aptiano y probablemente Albiano medio (106 Ma).

2.3.4 Grupo Tacaza (Oligoceno – Mioceno)

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

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

Palacios O., (1994), indica que litológicamente el Grupo Tacaza está constituido por paquetes aglomerados o brechas de tobas que tienen una matriz de ceniza fina poco consolidada, con intercalaciones de lavas andesíticas, que alternan con areniscas tobaceas.

En los sectores de Lagunillas – Puno, dataciones radiométricas definen un rango de edad entre 30.21 ± 0.73 a 20.0 ± 1.0 Ma., para secuencias volcánicas del Grupo Tacaza (Wasteneys et al., 1990), asignándolo así dentro del Oligoceno-Mioceno.

En sectores de Orcopampa – Arequipa, Noble (1972) reporta edades entre 19.5 y 18.9 Ma (método K/Ar) en secuencias tobaceas de composición ácida, por lo que lo asigna al Mioceno inferior.

Estudios específicos de rocas relacionadas al volcanismo del Grupo Tacaza, han logrado diferenciar algunas secuencias formacionales, como por ejemplo:

Formación Orcopampa, Caldas (1993), definen una secuencia de 150 a 400 m de espesor que está constituida por tobas ignimbriticas de composición cuarzo latítica a riolítica, que rellenan parcialmente la paleotopografía pre volcánica y cuyo nombre local es “Tufos Picaza”. Noble et. (1972) reportó una edad de 19.1 ± 0.3 Ma (método K/Ar) para una muestra de la quebrada Picasa, asignándolo a ésta unidad al Mioceno Inferior.

2.3.5 Formación Alpbamba (Mioceno Medio – Superior)

Esta formación se prolonga desde el sector norte del cuadrángulo de Orcopampa, sobreyaciendo a la Formación Orcopampa del Grupo Tacaza (Caldas, 1993).

Así mismo, Palacios O. (1994) describe características litológicas variables para esta unidad, que está compuesta por ignimbritas de composición riolítica, latítica y dacítica; con facies lagunares conformadas por tobas re-depositadas, arcillas y areniscas de grano grueso a fino; a veces con estructuras sedimentarias como marcas de corriente, nódulos y estratificación cruzada. La descripción última

se estaría refiriendo a oleadas piroclásticas “base source” e indicarían niveles de flujos, antes que ocurra la depositación de material piroclástico por caída.

Se reportan edades para ésta unidad y sus equivalentes en la región, comprendidas entre 16 y 10 Ma (Palacios O., 1994 y Swanson et al., 1993) que indica una edad Miocénica Medio a Superior. Sería coetáneo, en parte, con la Formación Chuntacala, Grupos Palca y Sillapaca del suroeste peruano, también con la formación Caudalosa de Castrovirreyna (Boletín N°55 Ingemmet, 1995).

2.3.6 Formación Sencca (Mioceno Superior)

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

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

Tosdal et al. (1981) reporta una edad de 6.5 ± 0.3 Ma (método K/Ar) en el área de Cerro Huailao (Moquegua), con lo que le asigna una edad Mio-plioceno para la Formación Sencca y sus equivalentes en la región. Se correlaciona con la serie volcánica que comprende a las tobas Umachulco en el poblado de Orcopampa (Arenas, 1974) y también con las Formaciones Capillune y Sencca del suroeste peruano (INGEMMET, 1995).

2.3.7 Grupo Barroso (Plioceno - Pleistoceno)

Wilson J., (1962) describió como Formación Barroso a un conjunto de rocas volcánicas que forman la cordillera del Barroso en el sur del Perú. Posteriormente fue elevado a la categoría de Grupo por Mendivil (1965) en el área de Maure y Antajave (Puno), reconociendo tres secuencias volcánicas: Chila, Barroso y Purupurini; también indica que estas rocas volcánicas generalmente cubren las partes altas de los cerros y en muchos casos están cubiertas por nieves perpetuas; cuyos afloramientos fueron afectados por la glaciación Pleistocena.

Palacios O., (1994), sugiere dos unidades a éste grupo: Barroso Inferior constituido por secuencias piroclásticas y lávicas de extensión regional, que cubrió una superficie de erosión de las unidades Sencca y Grupo Tacaza, mientras que los focos volcánicos del Barroso Superior (2), se ubica sobreyaciendo pero en una extensión lávica local, a través del agrietamiento relacionado a zonas de debilidad, por donde se produjo la emisión de estos magmas; también menciona que los conos más antiguos corresponden a aparatos completamente erosionados que no muestran morfología alguna de volcanes, otros como el Arco del Barroso, Arco de Pichu Pichu, Chachani, etc., muestran solo trazas profundas de erosión glaciar.

Kaneoka y Guevara (1984) reportan una edad de 7.2 ± 0.2 Ma (método K/Ar) en el área de Juli – Puno; Tosdal et al. (1981) reportó 5.3 ± 0.3 Ma en plagioclasa de andesita del nevado de Arundane y 0.7 Ma en biotita de dacita de rocas del volcánico Shila; Schildgen et al. (2007) reportó 2.26 Ma (método Ar/Ar) en andesitas cercas de la mina Arirahua en Arequipa. Por lo que le asignaron al Grupo Barroso una edad entre el Mioceno superior al Pleistoceno.

Sería coetáneo con los volcánicos Vilcarani y Malmanya del cuadrángulo de Antabamba (Pecho, 1981), volcánico Maure y Antajave (Mendivil, 1965).

2.3.8 Cuaternarios recientes

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

2.3.9 Grupo Andagua

Con esta denominación, Caldas (1993) describe una unidad de reciente formación, que se presenta a manera de estratos, capas y conos volcánicos; además indica que las rocas del Grupo Andagua, se depositaron con posterioridad

al establecimiento del drenaje actual por lo cubren depósitos aluviales y, que las efusiones debieron ser lo suficientemente viscosas, para solidificarse rápidamente y fragmentarse durante su desplazamiento por la pendiente, dicho proceso continuo aún posteriormente, acumulándose de este modo estructuras semejantes a casquetes glaciares. Además, menciona que las coladas lávicas y conos se encuentran localizadas a lo largo de cubetas tectónicas y quebradas formadas por control estructural, relacionadas probablemente a reactivaciones tensionales de fallas y fracturas de compresión; las fallas consideradas, que han servido de acceso a zonas de fusión cortical, son el sistema de graben de Andagua, las fallas de Orcopampa, Panahua, etc.; esta fase de vulcanismo podría significar la etapa de extinción del magmatismo andino o el inicio de un nuevo proceso magmático en los Andes.

Palacios O. (1994), describe que porciones de éstos depósitos son predominantemente escoráceas tanto inferior como exteriormente, con similitud a las acumulaciones “aa” en las placas oceánicas.

Kaneoka y Guevara (1984) reportaron una edad de 0.06 ± 0.23 Ma (método K/Ar) en una muestra del Volcán Antaymarca – Arequipa; así mismo, Dávila (1988) menciona que el Grupo Andagua cubre los depósitos pleistocénicos recientes y no ha sido afectado por la glaciación. Por estas consideraciones y por su perfecto estado de conservación morfológica, permitieron ubicarlo dentro del Cuaternario reciente.

Sería coetáneo con la secuencia homónima del valle de Andagua, con los volcánicos Paucarani del cuadrángulo de Maure, y con el volcánico Quimsachata del Cusco.

2.3.10 Rocas subvolcánicas (Mio – Pliocenas)

Una serie de intrusiones andesíticas, verde oscura alternando a un marrón rojizo, que constituyen espigas morfológicas tanto en Arcata como en otros sectores del ámbito de estudio fueron descritos por Palacios O. (1994), además él propone que éstas intruyeron al vulcanismo Tacaza y Alpbamba, y le asignó una edad Mio-Plioceno por ser Post-Tacaza y Pre-Senca. Además, menciona que los diques y sills modernos, de coloración negra y composición es andesítica – basáltica, destacan entre las tobas del Senca, a las que éstos subvolcánicos intruyen; además morfológicamente forman cuellos o respiraderos volcánicos que se

relacionan a enfriamiento rápido y de carácter explosivo con la formación de vidrio volcánico, además lo vincula al magmatismo del Barroso de edad Plio-Pleistoceno.

Por otro lado, Arenas (1974) indica que el complejo intrusivo Sarpane en Orcopampa correspondería a un magmatismo de fines del Tacaiza.

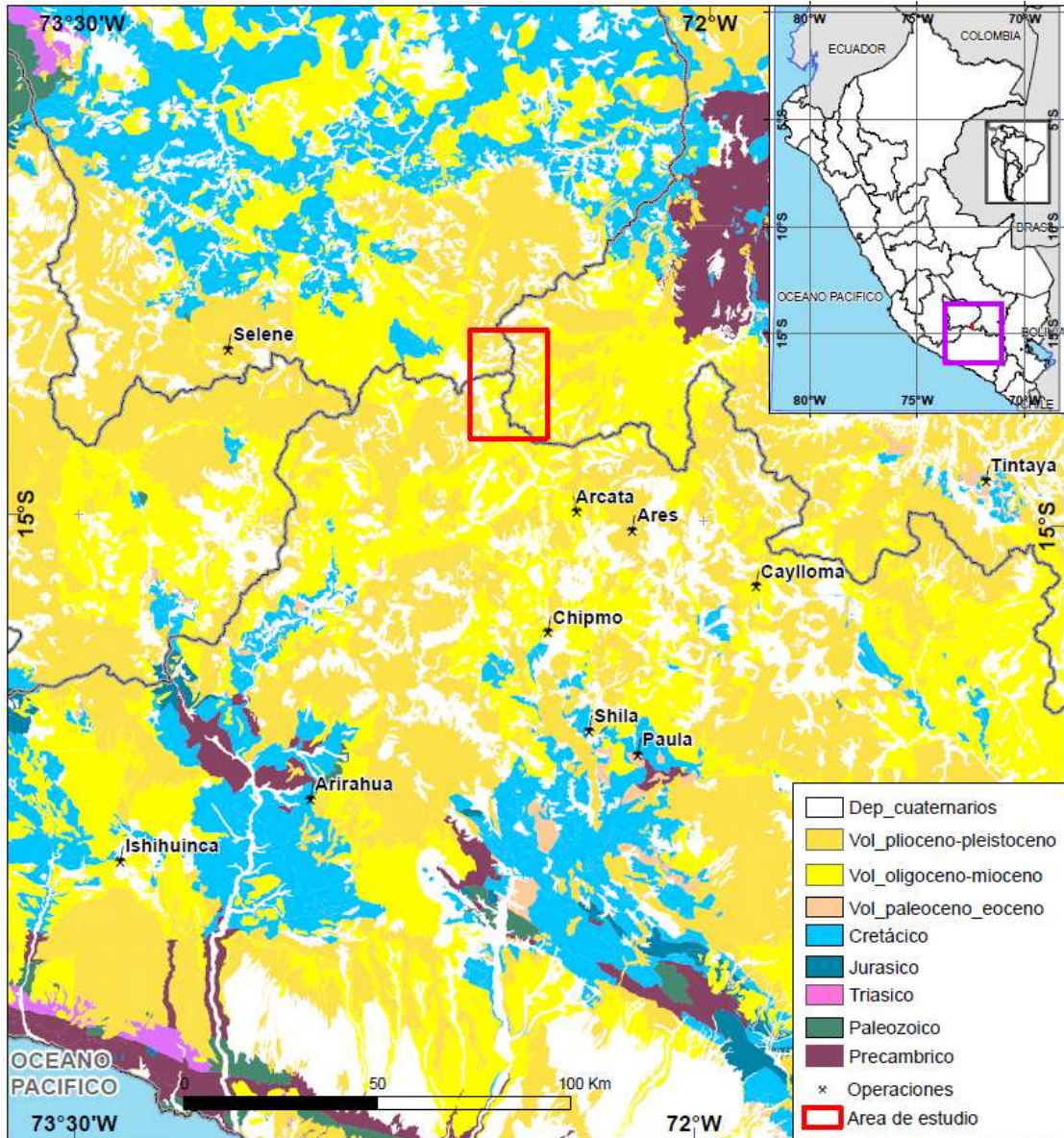


Figura 2.7: Mapa Geológico Regional, con ubicación del área de estudio. Publicado por el Ingemmet (2001).

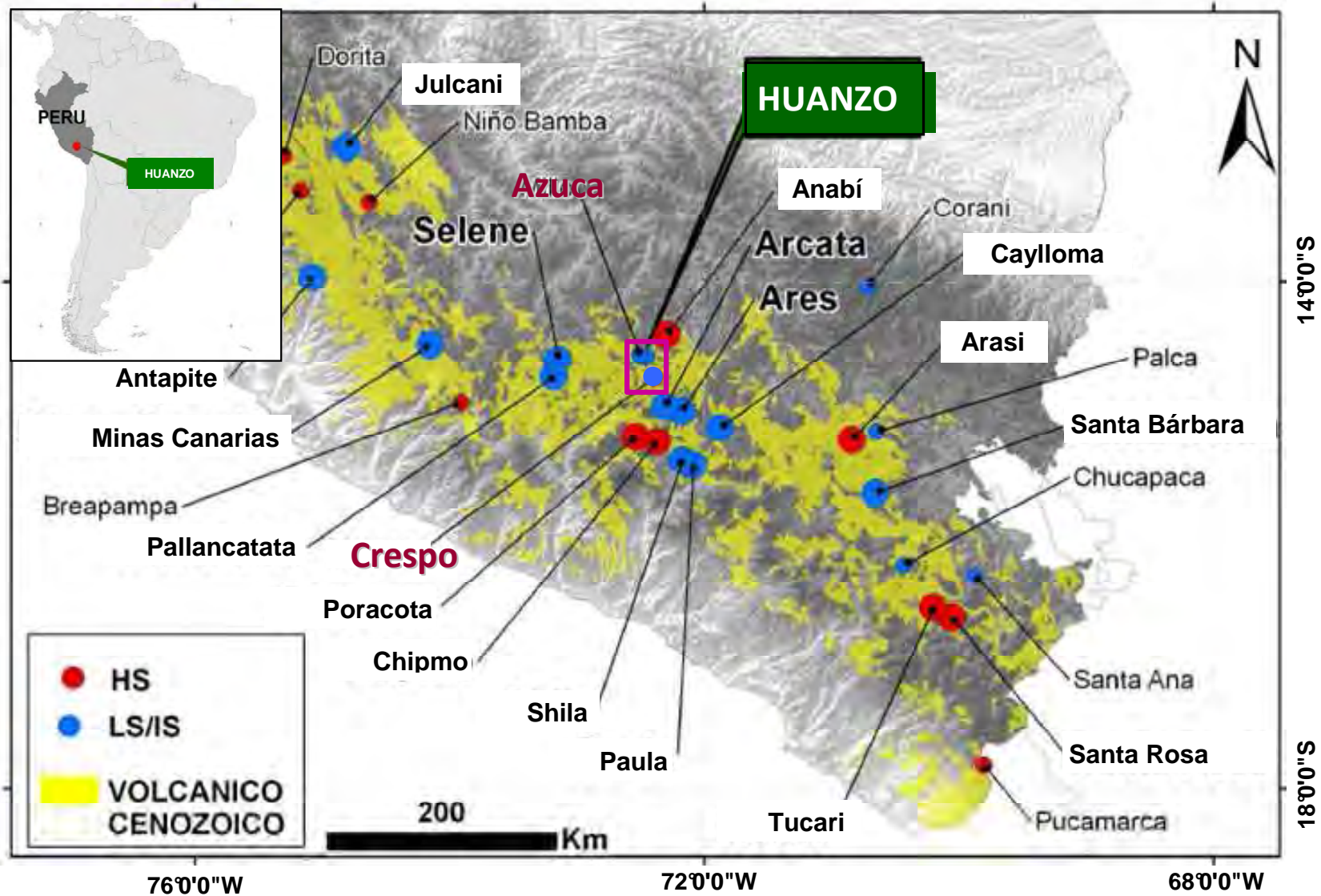


Figura 2.8: Proyectos y minas, relacionadas a la Franja Volcánica Cenozoica del sur peruano.

CAPITULO 3: LITOESTRATIGRAFÍA DEL HUANZO

Entre 2008 y 2010, se realizaron trabajos de exploración geo-económica, donde se describió secuencias litoestratigráficas, estructurales, alteración y mineralización; estos trabajos fueron desarrollados por el equipo de geólogos “greenfield” de Cia. Minera Ares S.A.C., poniendo mayor énfasis en sectores prospectivos dentro del área de estudio, llamados proyectos Azuca, Crespo, Huacullo y San Martín; en febrero de 2010, el autor realizó un cartografiado a escala 1/50,000 donde se extrajeron muestras de rocas para efectuar estudios petrominerográficos en 11 muestras, descritos en el Anexo I.

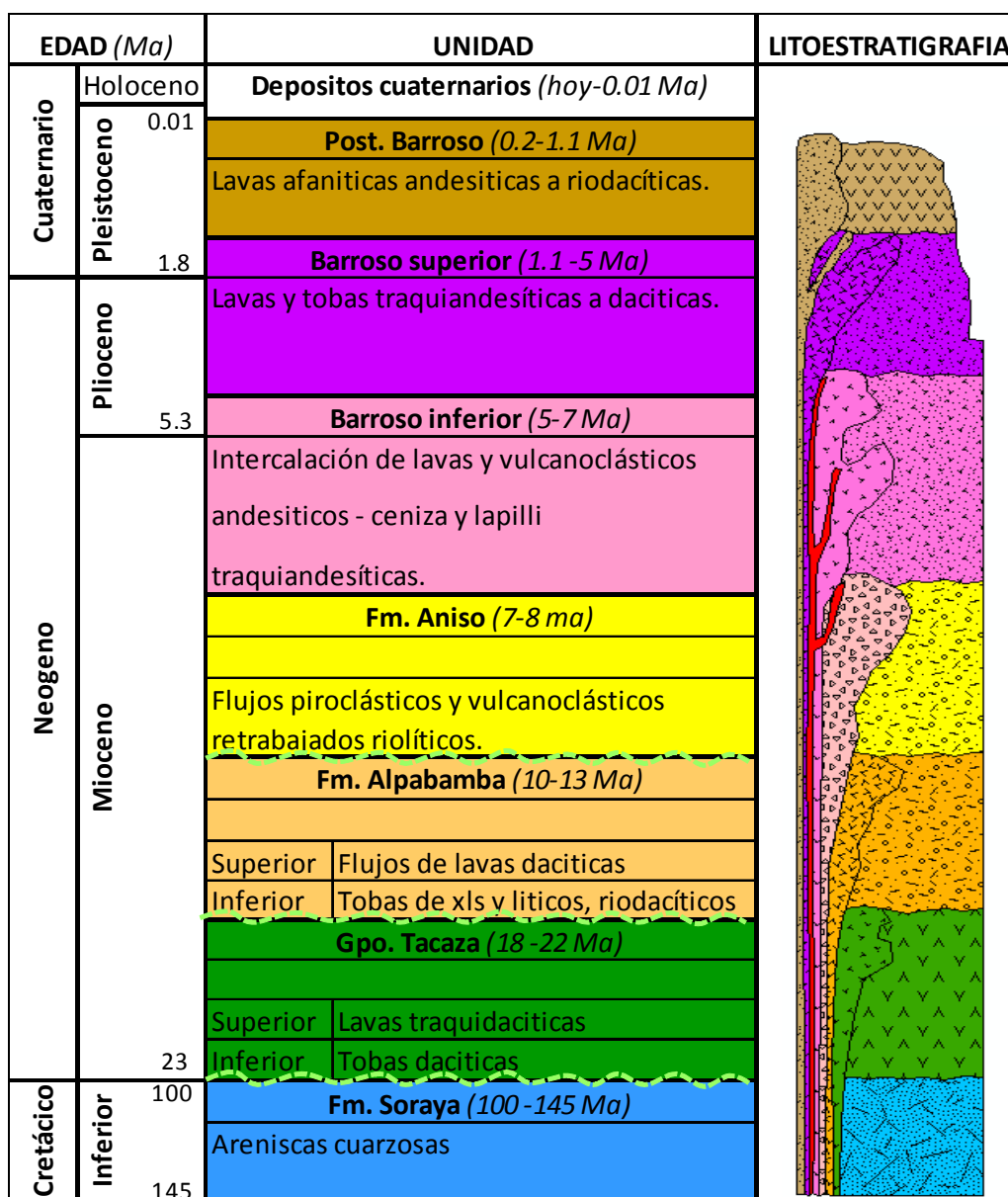


Figura 3.1: Columna estratigráfica de la región Huanzo.

Dentro del área de estudio, ámbito de la Región Huanzo, afloran solo algunas de las unidades descritas en el capítulo 2, y que se resumen en la columna estratigráfica de la zona de estudio (Figura 3.1), integrada principalmente por rocas volcánicas y volcanoclásticas de edad Miocena a Pleistocena. Aunque también afloran rocas del cretácico inferior en pequeños bloques levantados tectónicamente durante el Terciario.

A continuación se describen las distintas unidades que se reconocen en la región del Huanzo.

3.1 Unidad Litoestratigráfica del Mesozoico

3.1.1 Formación Soraya

Distribución areal, estructura y espesor: Hacia el sector Oeste y Noroeste del área de estudio, se exponen paquetes estratificados de más o menos 300 m de espesor con moderado plegamiento y extensión areal de 22 x 3 km, con afloramientos aislados de alineación NNO. Representadas principalmente por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso en paquetes decimétricos a métricos, expuestos en altos estructurales que están limitados por fallas NNO con EO (Figura 3.2).

Al Este de las laguna Huacullo y Sur de laguna Huanzo, se han reconocido crestos resistivos a la erosión (Foto 3.1), con paquetes de hasta 60 m y aproximadamente 1 km de extensión, en diferentes tramos. Consiste de una alternancia estrato-grano creciente de lutitas, limolitas, sub-arcosas y cuarciarenitas (areniscas – cuarzosas).

También aflora al Oeste del área de Millo, paraje Huamancharpa y suroeste del cerro Huayllane; donde está constituida por areniscas cuarzosas de grano fino a medio con tonalidades blanquecinas y de aspecto macizo con escasos granos gruesos de cuarzo. Ver anexo I.

El contacto inferior de los paquetes estratificados no ha sido definido, sin embargo se reconoce el contacto superior, por discordancia angular a unidades volcánicas; en dos áreas: al sur de la laguna Huacullo infrayace a la unidad Tacaza inferior y la Formación Alpabamba; y a 1.5 km al sur de laguna Huanzo infrayace al Barroso inferior.

Se postula a la Formación Soraya como basamento Mesozoico de las unidades volcánicas expuestas en la región Huanzo. Sus afloramientos estarían

relacionados a fallamiento inverso producto de un tectonismo compresivo, que habrían generado los altos estructurales “Ventanas tectónicas” en donde se reconoce los afloramientos.

Relación estratigráfica y edad: Por ubicación estratigráfica dentro del área de estudio y por correlación con la unidad de similar característica litológica y más cercada, descrita por Caldas (1993) en el cuadrángulo de Orcopampa quien indica restos de tallos mal conservados contenidas en la Formación Hualhuani del Grupo Yura y sugiere una edad Cretácica Inferior.

Dávila (1988) y Caldas (1993), correlacionan esta unidad de areniscas cuarzosas con la Formación Chimú del norte de Perú y el Grupo Morro Solar de Lima.

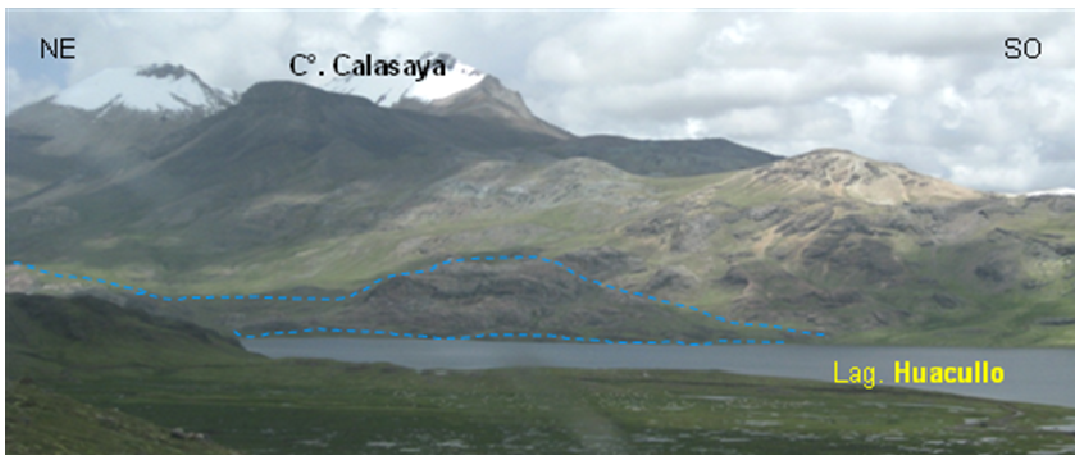


Foto 3.1: Afloramientos de las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya, forma crestones resistentes a la erosión.

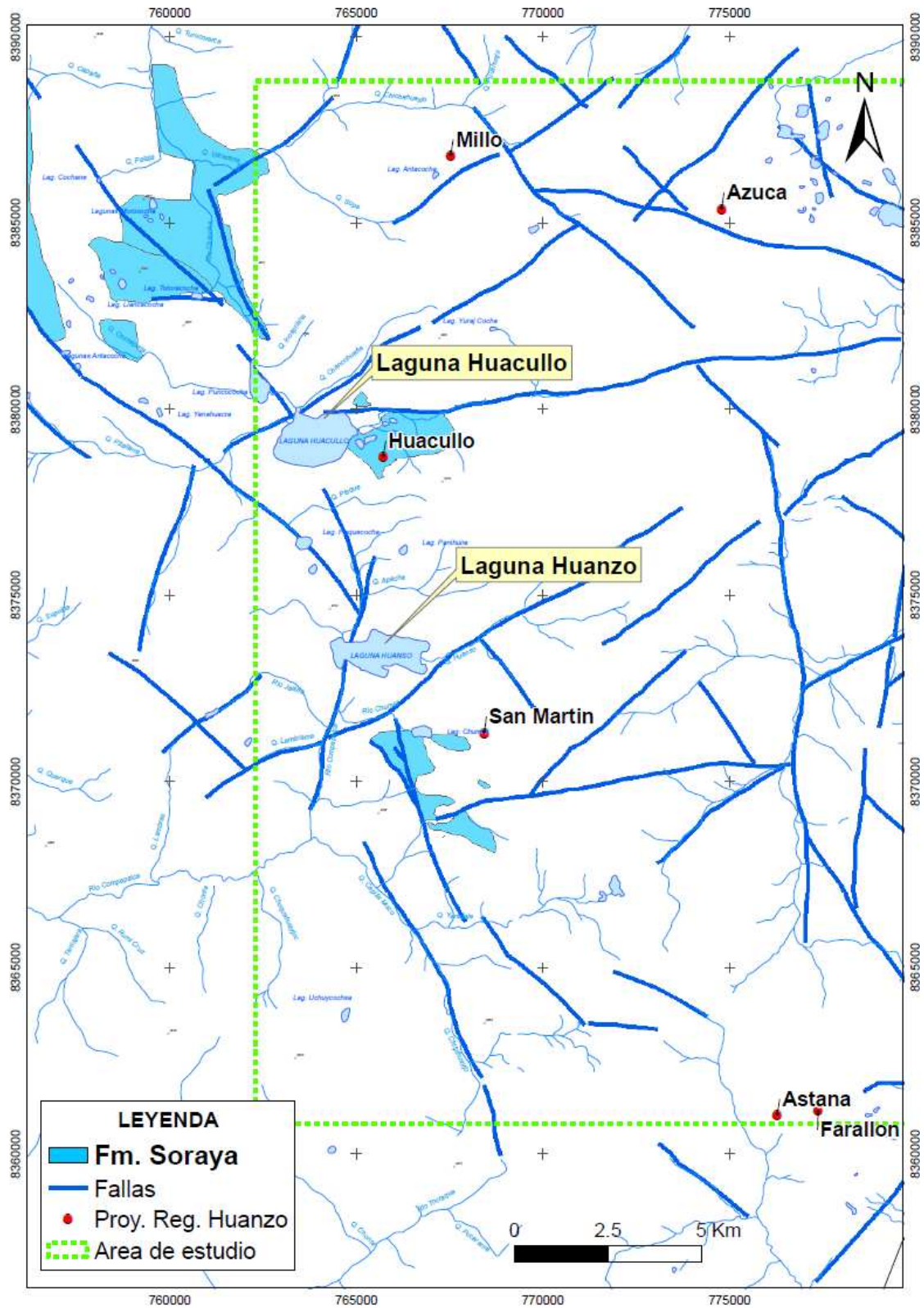


Figura 3.2: Afloramientos de la Formación Soraya, ubicadas dentro y al NO del área de estudio.

3.2 Unidades litoestratigráficas de los volcánicos Mioceno-Plioceno-Pleistoceno

3.2.1 Grupo Tacaza

Hacia el este del área de estudio (sector Pausi), se reconoció secuencias correlacionable con la base del vulcanismo Tacaza, compuestas por flujos piroclásticos con texturas de brechas matriz sostén englobando a grandes bloques de fragmentos líticos (<1.5m de diámetro) de textura porfirítica; también se observó cristales de plagioclasa y hornblenda prismáticas (1 cm de longitud), la matriz es pumicea, de color gris verdoso debido a una leve alteración clorítica. Si bien en general estos flujos son macizos, se reconoce una difusa gradación normal y una muy leve estratificación. El espesor total de esta unidad es mayor a 100m, no se ha reconocido la base. (Fotos 3.2 y 3.3). Hacia el techo, se hacen más abundantes los niveles lávicos hasta formar exclusivamente la columna volcánica. Se trata de lavas de composición andesítica, de textura porfirítica gruesa donde se reconocen grandes cristales de plagioclasa y hornblenda prismáticas de gran tamaño (>1 cm) la pasta afanítica es oscura verdosa, con una leve alteración clorítica de carácter regional.

Así mismo, Zapata (2008) indica que en las quebradas Minatas y Farallón, se exponen en extensión areal de 0.6 x 0.2 km, tobas cristalofíticas de coloración violácea y composición dacítica, con cloritización moderada.



Foto 3.2: Flujos piroclásticos textura matriz sostén con fragmentos líticos.



Foto 3.3: Fragmentos líticos con gran tamaño, de composición andesítica.

Distribución areal, estructura y espesor: dentro del área de estudio las unidades del Grupo Tacaza corresponde a eventos volcánicos de tipo explosivo

relacionado a la unidad del Tacaza Inferior y principalmente del tipo efusivo relacionado al Tacaza Superior, con alternancias de lavas y rocas volcanoclásticas de composición andesítica a dacítica; además se encuentran tectonizadas y deformadas, presentando altos ángulos de inclinación y pliegues abiertos.

En la zona del Cerro Crespo, Huacullo y San Martín y dentro del área de estudio, sus afloramientos son más restringidos y se ubican principalmente en cabeceras de bofedales y quebradas; siendo el más prominente con 1.8 x 1.0 km de extensión, ubicado en la margen derecha de la quebrada Palljapampa, donde se observa estratos subverticales; está constituida por rocas de textura pórfido afanítica con fenos de plagioclasa (<0.5 mm) en matriz afanítica parda rojiza, de composición dacítica – andesítica. Los pseudoestratos en este sector (quebrada Palljapampa) tienen un rumbo 184°/69°, además corta n vetillas de cuarzo (<2 cm) sinestrales, (Muestra N° 109233). Ver anexo I.

Al sur de la laguna Huacullo se exponen afloramientos cuya extensión areal abarca 0.8 x 0.3 km, donde se reconoce depósitos piroclásticos y volcanoclásticos de composición andesítica – dacítica de coloración gris a gris verdoso en la base y, flujos lávicos porfíricos de matriz violácea y rojiza al techo (Muestra N° 109247).

Al noroeste de la laguna Huacullo, se reconoce un alto morfológico de extensión areal 0.6 x 0.5 km en medio del bofedal, compuesto por lavas andesíticas porfíricas de matriz afanítica con niveles tobaceos al techo, (Muestra N° 109241).

Cuerpos subvolcánicos: intruyen a las secuencias volcánicas del Tacaza en las cercanías de la laguna Huanzo aflora un cuerpo subvolcánico de 0.8 x 0.4 km de extensión areal; a 3.0 km al sur, sub-aflora otro cuerpo subvolcánico de 2.2 x 0.4 km con elongación NNE, este último posee textura pórfido afanítica y composición monzogranítica?, se aprecian fenocristales (10%) de ortoclasa (<2cm), ojos de cuarzo 3% y cristales de hornblenda 3%, todo en una matriz afanítica. (Muestra N° 109246). Así mismo, al sureste de la laguna Huacullo se reconoce un intrusivo de composición dacítica aflora con 1.5 x 1.2 km de extensión, su emplazamiento se relaciona al sistema de fallamiento NNE y NE.

Se sugiere que estos intrusivos, estarían relacionados a los eventos del vulcanismo Tacaza, por similitud en composición y asociación estructural en sus afloramientos.

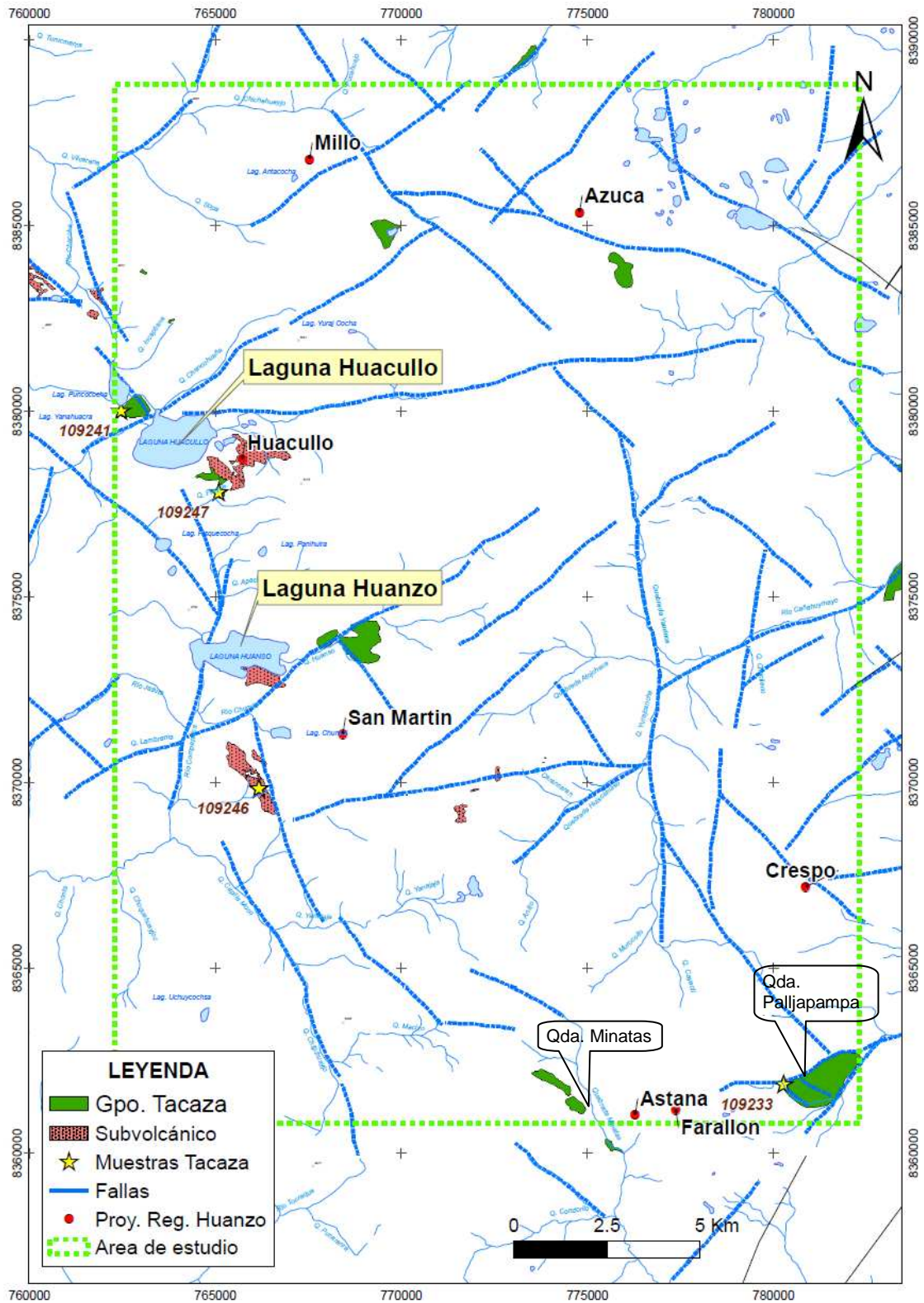


Figura 3.3: Afloramientos del Gpo. Tacaza y subvolcánicos asociados, ubicados dentro del área de estudio.



Foto 3.6: Sub-afloramientos de subvolcánicos ácidos, pórfido afanítico, relacionados eventos del Grupo Tacaza. (Muestra N° 109246).

Estudios petrominerográficos de rocas del vulcanismo Tacaza, muestras 109241 y 109247, se describen en el Anexo I.

Características geoquímicas: para el presente trabajo se realizaron análisis geoquímicos de “Roca Total” por el método ICP-MS, en 4 muestras representativas del Grupo Tacaza. Los resultados de elementos mayores permiten señalar que composicionalmente varía entre dacita a traquidacita con un magmatismo calcoalcalino de “Alto” contenido de potasio.

El análisis de elementos traza indica que las rocas del Grupo Tacaza presentan un alto contenido de Cs, Rb, Th y U, además un empobrecimiento bajo en Sr y Eu, lo que indica según Thompson et al. (1983) que proviene de un magmatismo más diferenciado. Según Sun & McDonough (1989), indica posible contaminación de corteza por adición de sedimentos y correspondería a la evolución de magmatismo de arco. Se describe con mayor profundidad en el capítulo 5 y resultados de los análisis se presentan en el Anexo II (Tabla II.3).

Relaciones estratigráficas y edad: los afloramientos relacionados al vulcanismo Tacaza, alrededores de la laguna Huacullo y reconocidos dentro del área de estudio, se ubican discordantemente sobre afloramientos de las areniscas cuarzosas de la Formación Soraya del Cretácico Inferior e infrayacen a secuencias volcánicas posteriores de la Formación Alpbamba del Mioceno Medio, por lo que Palacios O. (1993) le asigna al evento Tacaza como Pre-Mioceno Medio. Así mismo, Morche W. (2004) también reconoció las rocas andesitas rojizas de aspecto

antiguo que se observó en la quebrada Palljapampa, y le asigna dentro del Mioceno Inferior, dentro del Grupo Tacaza.

Dentro del área de estudio, no se reportan edades radiométricas, sin embargo en el ámbito distrital y regional, se reportaron edades que ayudan a inferir la edad de desarrollo del vulcanismo Tacaza en la región Huanzo. En el área de Orcopampa a 50km sur de Huanzo, Swanson (1993) y Noble et al. (1974), reportan 20.0 y 19.4 Ma (método K/Ar) en tobas relacionadas al vulcanismo Tacaza y lo asignan dentro del Mioceno Inferior. En los sectores de Lagunillas – Puno, Wasteneys et al., (1990) definen un rango de edad entre 30.21 ± 0.73 a 20.0 ± 1.0 Ma para secuencias volcánicas del Grupo Tacaza, asignándolo dentro del Oligoceno-Mioceno.

Por los antecedentes mencionados y observaciones de campo, las unidades volcánicas relacionadas al Grupo Tacaza dentro de la Región Huanzo se proponen una edad de entre 22 y 18 Ma, parte del Mioceno Inferior.

3.2.2 Formación Alfabamba

Distribución areal, estructura y espesor: dentro del área de estudio, el vulcanismo Alfabamba se reconoce en la parte oeste (margen derecha quebrada Yaurinca), suroeste (margen izquierda de quebrada Huiscahuiso). Consiste en secuencias irregulares de 70 a 80 m de potencia y hasta 400 m de extensión, con tobas de líticos clasto-sostén cuyos líticos son decimétricos y dacíticos, además posee cristales de cuarzo (10%), biotita fresca (<4%) en matriz riolítica porfírica. Hacia el sector sureste del Prospecto San Martín, se exponen secuencias volcanoclásticas, posee textura porfírica y composición dacítica, matriz pardo rojiza (Muestra 109242).

Entre el ámbito del prospecto Farallon y proyecto Crespo es donde se reconoce las unidades del vulcanismo Alfabamba, dispuestas en discordancia sobre las secuencias volcánicas basales del Grupo Tacaza, consiste en depósitos de potentes flujos piroclásticos hacia la base, coronados por intercalación flujos piroclásticos y lavas andesíticas – dacíticos hacia el techo, se encuentran en posición sub-horizontal o suavemente basculada, siempre con inclinaciones inferiores a 10° .

En la base del vulcanismo Alfabamba, se reconoce una potente sucesión de flujos piroclásticos de diferentes características; el más antiguo corresponde a un flujo piroclástico rico en fragmentos pumicios (<5 cm de diámetro) de formas

redondeadas con nulo o muy escaso soldamiento, los cristales de cuarzo y feldespato son comunes, fragmentos líticos son escasos; la matriz es pumicea y abundante, dándole a la roca un aspecto de matriz sostenida.

Sobre esta unidad se reconoce otro flujo piroclástico con abundantes fragmentos líticos de gran tamaño (< 1m de diámetro) de rocas volcánicas con textura porfiritica, los fragmentos pumicios siguen siendo abundantes y también cristales de cuarzo y feldespato. La roca posee una textura matriz sostenida, con abundante matriz pumicea de color gris claro, el soldamiento es casi inexistente. Intercalados con esta secuencia volcanoclástica se reconocen delgados bancos formados por lavas de composición andesítica y textura porfiritica, de escasos metros de potencia.

También se ha reconocido una unidad volcanoclástica pumicea, con vitroclastos deformados, con una relación de tamaño 3:1 a 4:1, debido a soldamiento (Foto 3.7), con abundantes cristales de cuarzo, sanidina, biotita y escasa hornblenda y una matriz muy homogénea y coherente. Se postula que esta unidad está por encima de las descritas anteriormente, aunque no se ha observado una relación directa entre ambas.

Cuerpos subvolcánicos: Intruyendo principalmente a las rocas volcánicas de la Formación Alpbamba, se reconocen numerosos cuerpos subvolcánicos de composición riódacítica a dacítica que se disponen a manera de domos y diques. Poseen textura porfiritica con cristales abundantes de cuarzo, sanidina y biotita; la pasta afanítica es abundante, de colores claros. En general se observan estructuras de flujo, con variadas orientaciones e inclinaciones, plegamientos y contorsiones que revelan el carácter viscoso de las lavas que le dieron origen. Asociado a estos cuerpos suele haber brechas de explosión, muchas veces controladas por estructuras, por ejemplo el Cerro Crespo.

A 2.3 km norte de la laguna Huanzo, se reconoce un cuerpo subvolcánico de forma cómica de extensión 1.0 x 0.5 km, con textura afanítica y composición riódacítica, con 3-5% vetillas de cuarzo hialino paralelos al “banding” (Muestra 109248).

En el sector de Huacullo, el vulcanismo Alpbamba está evidenciado por eventos múltiples de domos y diques de composición riolítica a dacítica que intruyen tanto a las areniscas cuarzosas de la Formación Soraya y las unidades piroclásticas-lávicas del Grupo Tacaza (en discusión).

Es de resaltar que estas rocas intrusivas poseen alteración argílica y/o silicificación, no solo en el sector San Martín, sino en domos al norte del laguna Huanzo. Se sugiere que son producto de fluidos hidrotermales, singenéticos o epigenéticos, es de importancia su caracterización para definir nuevas áreas prospectables y dar mayor soporte geológico a las ya existentes.

Se postula que estos intrusivos, estarían relacionados a los eventos de la Formación Alpbamba, por similitud en composición y asociación estructural en sus afloramientos.



Foto 3.7: Ignimbritas con pómez deformados por soldamiento, Fm. Alpbamba.

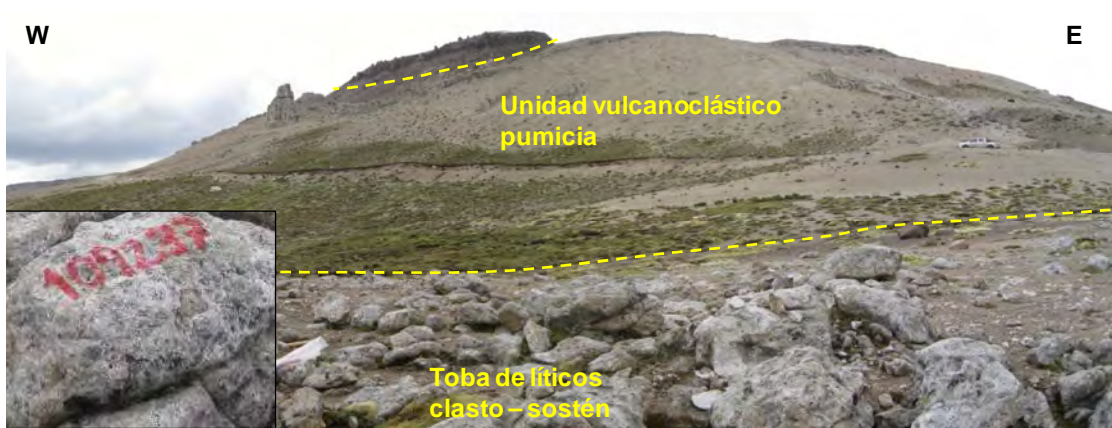


Foto 3.8: Secuencias relacionadas al vulcanismo Alpbamba.



Foto 3.9: Subvolcánicos asociados al vulcanismo Alfabamba.



Foto 3.10: Toba de líticos y cristales (cuarzo <6%).

Estudios petrominerográficos de rocas del vulcanismo Alfabamba, muestras 109242, 109243 y 109244 se describen en el Anexo I.

Características geoquímicas: Para el presente trabajo se realizaron análisis geoquímicos de “Roca Total” por el método ICP-MS, en 4 muestras representativas de la Formación Alfabamba. Los resultados de elementos mayores permiten señalar que composicionalmente son riolitas con un magmatismo calcoalcalino de “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.

El análisis de elementos traza indica que las rocas de la Formación Alfabamba presentan un alto contenido de Cs, Rb, Th y U, una disminución en Sr y una moderada anomalía negativa de Eu, lo que indica según Thompson et al. (1983) que proviene de un alto régimen de diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa. Según Sun & McDonough (1989), indica posible contaminación de corteza por adición de sedimentos y correspondería a la evolución de magmatismo de arco. Se describe con mayor profundidad en el capítulo 5 y resultados de los análisis se presentan en el Anexo II (Tabla II.3).

Relaciones estratigráficas y edad: Los afloramientos relacionados al vulcanismo Alfabamba determinados dentro de la Región Huanzo, se ubican discordantemente sobre afloramientos de lavas y tobas del vulcanismo Tacaza del Mioceno Inferior, he infrayacen a secuencias volcanoclásticas y retrabajadas del vulcanismo Aniso (Sencca) del Mioceno Superior.

Dentro del área de estudio, no se reportan edades radiométricas, sin embargo en el ámbito distrital y regional, se reportaron edades que ayudan a inferir la edad de desarrollo del vulcanismo Alfabamba en la región Huanzo. En el cuadrángulo de

Orcopampa, Noble (1972) reporta entre 13 y 10 Ma (método K/Ar) para tobas ubicadas al noreste de Andahua, que las relaciona a la Formación Alpacabamba. En los sectores de Ocuwiri y Lagunillas – Puno, Wastenev et al., (1990) reportan edades entre 19.09 ± 0.12 a 11.20 ± 1.00 Ma (método K/Ar) para secuencias volcánicas de la Formación Palca, asignando dentro del Mioceno Medio; esto sería correlacionable con el evento Alpacabamba

Por los antecedentes mencionados y observaciones de campo, en las unidades de la Formación Alpacabamba dentro de la Región Huanzo, se propone una edad de entre 13 y 10 Ma formando parte del Mioceno Medio.

3.2.3 Formación Aniso

Antecedentes geológicos: el nombre Aniso fue dado y reportado por Dávila D. (1988) quienes reportan esta unidad estratigráfica en el cuadrángulo de Pacapausa en Ayacucho, refiriéndose a material volcano-sedimentario, cuya secuencia más conspicua se encuentra en la parte más alta del pueblo de Aniso, donde desarrolla hasta 500 m de espesor; es descrita como intercalaciones de areniscas tobaceas grises a verdosas, con areniscas conglomerádicas cuyos fragmentos sub-redondeados a sub-angulares son de tobas o lavas andesíticas; se reconocen también tobas re-depositadas blanco-amarillentas.

Discusión, las secuencias volcanoclásticas retrabajadas y flujos piroclásticos que sobreyacen erosionalmente al vulcanismo Alpacabamba, han sido nombrados como Fm. Sencca por Palacios O. (1994). Sin embargo, tomando en consideración las observaciones de campo como oleadas piroclásticas y depósitos retrabajados, además de características geoquímicas, descritas en el Capítulo 5; estos depósitos se relacionarían más con eventos coetáneos del vulcanismo Aniso y con facies piroclásticas tardías coetáneas al vulcanismo Sencca; asimismo, en el sector de Azuca al norte de la cordillera del Huanzo, Palacios C. et al. (2011) lo denominaron como Formación Para. En el presente estudio mencionamos a estos depósitos, como Formación Aniso.

Distribución areal, estructura y espesor: dentro del área de estudio, la Formación Aniso se reconoce en afloramientos a sub-afloramientos en un área de 5 x 15 km, llegando hasta aproximadamente 150m de espesor, corresponde a eventos volcánicos de tipo explosivo con niveles volcanoclásticos re-trabajados, de composición andesítica hasta riolítica.

Al suroeste del área del proyecto Azuca y Millo, se aprecian secuencias volcanoclásticas retrabajadas de tobas arenosas. En el sector Huacullo, se exponen tobas de ceniza y lapilli estratificadas con niveles arcillosos y areno arcillosos lacustrinos. En el sector de Crespo, el vulcanismo Aniso corresponde a una unidad piroclástica en la base, con depósitos de bloques y ceniza con fragmentos líticos centimétricos a decimétricos de composición andesítica, que alternan con depósitos de ceniza y lapilli de composición dacítica que tiene débil a moderada cloritización; la secuencia intermedia aflora entre la pampa de los impactos y el Cerro Crespo, consiste en una alternancia de tobas de cristales, ceniza, lapilli acrecional y lapilli con pómez (Foto 3.12), estas tobas son de composición dacítica a riódacítica y se caracterizan por el ensamble cuarzo-plagioclasa-biotita; las secuencias superiores afloran entre los cerros Crespo y Queshca y consiste en tobas cristalolíticas, depósitos de bloques y ceniza, secuencias laminares lacustres, inyecciones de flujos bandeados, brechas vitrofíricas y tobas pseudo-estratificadas (Muestra 109235 – Foto 3.13). En el sector Farallón, zona del Cerro Jachallanco, la Formación Aniso está representada por depósitos piroclásticos de ceniza y lapilli interdigitada con secuencias arcillosas y areno-arcillosas lacustres de coloración gris verdosa y rojiza (Zapata A., 2008); también se observan intrusiones dómicas que cortan a estas secuencias, las que estarían relacionadas al evento Aniso.

Cuerpos subvolcánicos: hacia el suroeste del Cerro Crespo, se exponen numerosos cuerpos subvolcánicos de composición riódacítica a dacítica que se disponen a manera de domos y diques.

El domo principal, tiene una forma circular y elongada de rumbo noreste y extensión 0.9 km x 0.5 km, se reconoce textura porfírica con cristales abundantes de cuarzo, sanidina y biotita; la pasta afanítica es abundante y de colores claros. Se distingue estructura fluidal (Foto 3.14) con variadas orientaciones e inclinaciones, plegamientos y contorsiones que sugieren el carácter viscoso del magma que los origina; asociado a estos cuerpos suelen haber brechas de explosión, muchas veces controladas por estructuras, como ejemplo en el Cerro Crespo (muestra 109236).

Los flujos bandeados de estos domos lava, cortan depósitos de tobas de bloques, ceniza y lapilli; a su vez son intruidos por domos riolíticos, como se observa en el Cerro Tres Puntas.

La disposición de diques que intruyen a rocas piroclásticas pseudo-estratificadas, indican relaciones de intrusión y extrusión.



Foto 3.11: Secuencias de pseudo-estratigráficas con tobas de ceniza y lapilli, niveles areno arcillosos en la base.

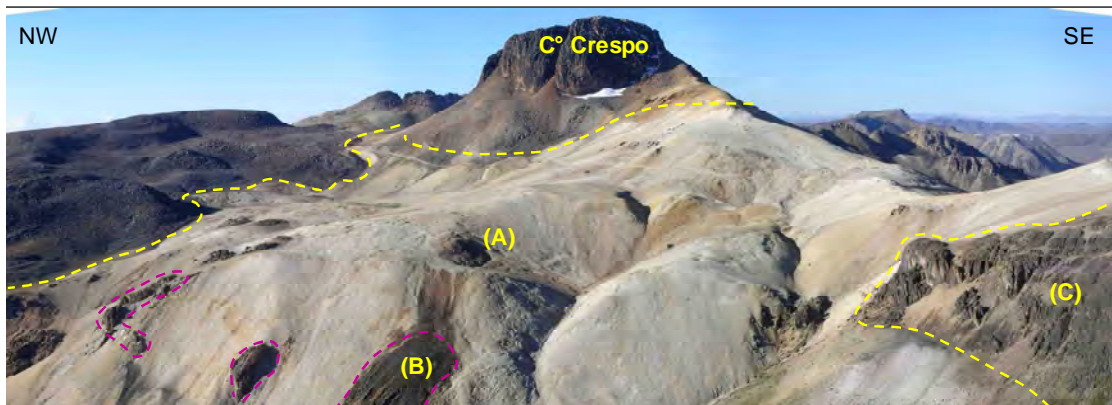


Foto 3.12: Vista al NE, unidad piroclástica con tobas de cristales, ceniza y lapilli, dacíticos – riodacíticos (A), intruido por domos vitrofiricos (B) y domos dacíticos (C).



Foto 3.13: Secuencia con volcanoclásticos desarrollados en ambiente lagunar, muestra 109235.



Foto 3.14: Lavas riodacíticas con estructura fluidal.

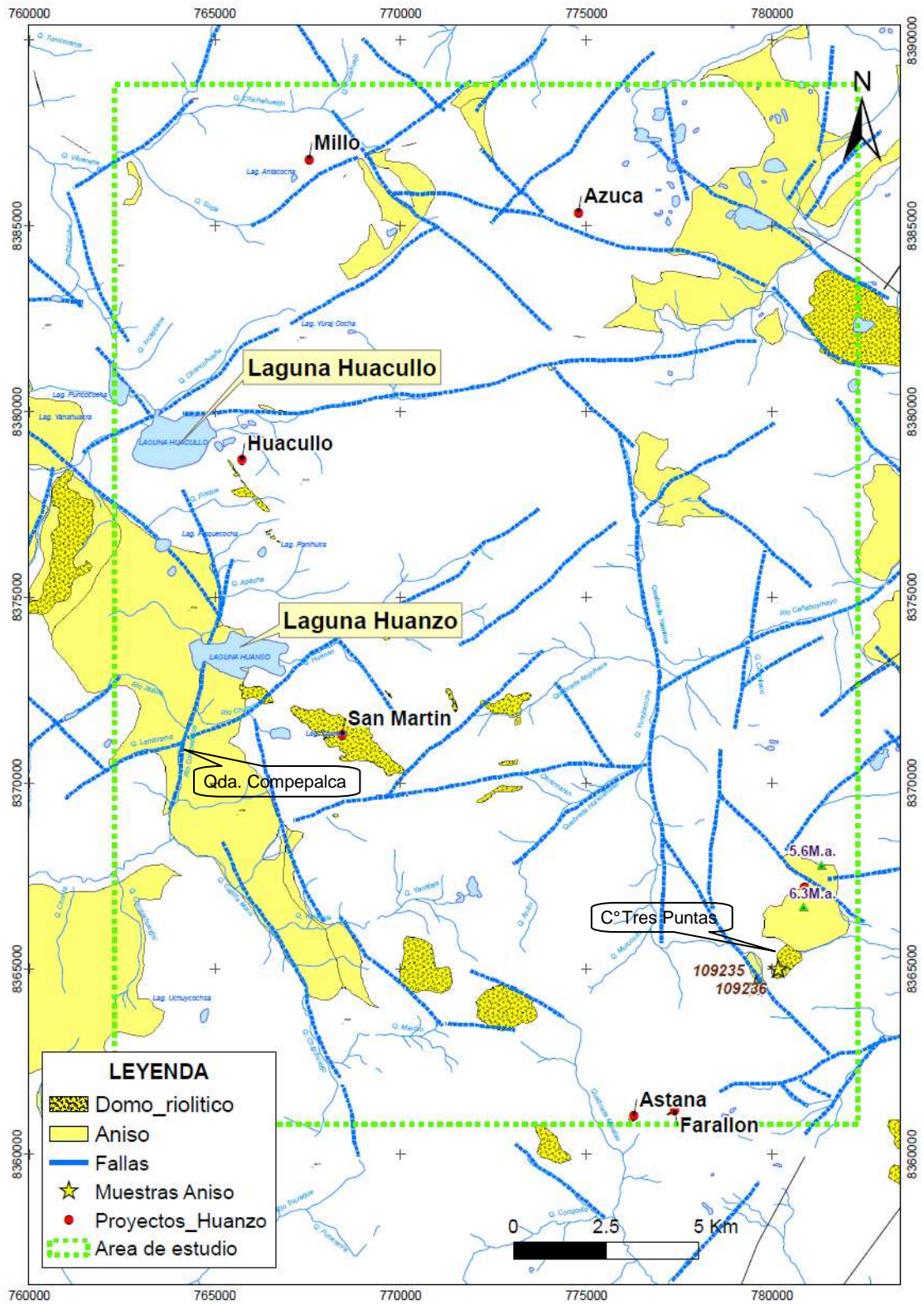


Figura 3.5: Afloramientos de la Fm. Aniso y subvolcánicos asociados, ubicados dentro del área de estudio.

Estudios petrominerográficos de rocas del vulcanismo Alpabamba, muestras 109235 y 109236, se describen en el Anexo I.

Características geoquímicas: para el presente trabajo se realizaron análisis geoquímicos de “Roca Total” por el método ICP-MS, en 2 muestras representativas de la Formación Aniso. Los resultados de elementos mayores permiten señalar que composicionalmente son riolitas con un magmatismo calcoalcalino de “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.

El análisis de elementos traza indica que las rocas de la Formación Alpabamba presentan un alto contenido de Cs, Rb, Th y U, una disminución en Sr y una moderada anomalía negativa de Eu, lo que indica según Thompson et al. (1984) que proviene de un alto régimen de diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa. Según Sun & McDonough (1989), indica posible contaminación de corteza por adición de sedimentos y correspondería a la evolución de magmatismo de arco. Se describe con mayor profundidad en el capítulo 5 y resultados de los análisis se presentan en el Anexo II (Tabla II.3).

Relaciones estratigráficas y edad: los afloramientos relacionados al vulcanismo Aniso en el área de estudio, se ubican sobreyaciendo en discordancia erosional a la Formación Alpabamba del Mioceno Medio e infrayace en concordancia a las secuencias tobaceas del Barroso Inferior.

En el área de estudio, Ponce et al. (2010) definen un rango de edad entre 6.30 ± 0.10 a 5.60 ± 0.10 Ma (método Ar/Ar) en alunita de alteración hidrotermal desarrolladas sobre domos félsicos del vulcanismo Aniso y Barroso Inferior, en los cerros Crespo y Queshca; en el ámbito distrital, Echavarría L. (2008) reporta una edad de 6.73 ± 0.12 Ma (método Ar/Ar) en Sanidina de niveles volcanoclásticos ubicada entre Orcopampa y Ares y que estarían relacionados al evento Aniso; por lo que se asume una edad mayor a los 6.3 Ma para las secuencias volcanoclásticas re-trabajados, intruidas por éstos domos y afectados por alteración hidrotermal.

Por los antecedentes descritos y observaciones de campo en la Región Huanzo, el evento volcánico que origino los depósitos de la Formación Aniso se habría desarrollado en el Mioceno Superior, con una edad entre 8 a 7 Ma.

Se menciona **probables eventos coetáneos** en base a edades radiométricas y estratigrafía volcánica, como las realizadas por Dávila D. (1988) en la zona de Ayacucho en donde reconocen que la base de la Formación Aniso cubre en concordancia, a la Formación Alpabamba, mientras que el tope es cubierto en

discordancia por lavas de la Formación Saycata, e indican que la Formación Aniso se habría desarrollado en el Mioceno Medio a Superior. Por otro lado, el evento Aniso sería coetáneo con la serie volcánica que comprende a las tobas Umachulco, poblado de Orcopampa descrita por Arenas (1974), a una escala más regional, con las formaciones Capillune y Sencca del suroeste peruano, en éste último Tosdal et al. (1981) reporta una edad de 6.5 ± 0.3 Ma (método K/Ar) en el área de Cerro Huailao en Moquegua; en los sectores de Pichacani y Omate – Puno, Tostal et al. (1981) y Klinck et al. (1986) definen un rango de edad entre 10.20 ± 0.90 a 6.43 ± 0.20 Ma (método K/Ar) para secuencias volcánicas del Gpo. Maure, que también serían coetáneos con la unidad Aniso.

3.2.4 Grupo Barroso

En el área de estudio, el Grupo Barroso es la unidad que cubre hasta un 45% de superficie, correspondiendo a las secuencias de mayor exposición y extensión. Luego de las observaciones de campo y de realizar la columna litoestratigráfica, se describen dos unidades principales, asociados al vulcanismo del Grupo Barroso.

Discusión: en base a resultados de dataciones radiométricas es importante recalcar, que las secuencias andesíticas - basálticas descritas por Palacios O. (1994) como parte del Grupo Barroso y de edad Pliocénica, corresponde al Pleistoceno y en el presente estudio lo mencionamos como eventos Post Barroso.

3.2.4.1 Barroso Inferior

Hacia el norte del área de estudio, alrededores del cerro Pintapata y Proyecto Azuca, las secuencias volcánicas que forman la unidad del Barroso Inferior tienen una potencia hasta 400 m, y en el presente estudio se reconoce que llegan a 12 km de extensión en elongación noreste.

Los niveles inferiores tienen una potencia de entre 250 a 350 m, corresponde a secuencias volcanoclásticas y principalmente flujos de lavas andesíticas con textura porfiritica de coloración gris verdosa, que contienen secuencias tobaceas y de autobrechamiento (muestra 109239); macroscópicamente los flujos lávicos andesíticos presentan una textura porfiritica, con mayor porcentaje de fenocristales: plagioclasas entre 10 a 15%, feldespato potásico 5%, biotitas entre 1 a 3% y matriz

entre 30 a 40% (Foto 3.15); la secuencia tobacea es principalmente de lapilli con esporádica ocurrencia de líticos de diámetro menor a 0.3 m.

Los niveles superiores tienen una potencia entre 15 a 70 m, corresponde a secuencias de flujo con lavas de composición andesítica de color gris violáceas y textura porfido-afanítica, contiene menor ocurrencia de fenocristales: plagioclasas entre 5 a 10%, feldespato potásico menor a 3%, máficos entre 1 a 2% y magnetita menor a 1%.

En la parte central del área de estudio, entre las nacientes de las quebradas Pisque y Macizo, se reconocen secuencias menores a 5 km de extensión y con elongación noroeste, relacionadas al vulcanismo del Barroso Inferior y consiste en lavas andesíticas con lentes volcanoclásticas, así como tobas de líticos y cristales de composición dacítica a riolítica; de esta zona se extrajo la muestra 109245.

En la quebrada Apache ubicada al norte de laguna Huanzo, se exponen rocas volcanoclásticas pseudo-estratificadas (257°05') de composición andesítica - dacítica, posee niveles decimétricos a centimétricos de fábrica grano decreciente en secuencias arenáceas y llegan a formar paquetes de hasta 30 m de potencia y continuidad horizontal en un área aproximada de 2 x 3 km. En la base se reconocen tobas de líticos heterolíticos con clastos menores a 40 cm, mientras que al techo hay niveles arenáceos de grano grueso y tobas de cristales de cuarzo y hornblenda con fragmentos de pómez (muestra 109249, Foto 3.16). Se interpreta como facies de frentes de depositación “base surge”.



Foto 3.15: Vista al O, secuencias volcanoclásticas andesíticas con textura porfirítica de coloración gris verdosa (muestra 109239).

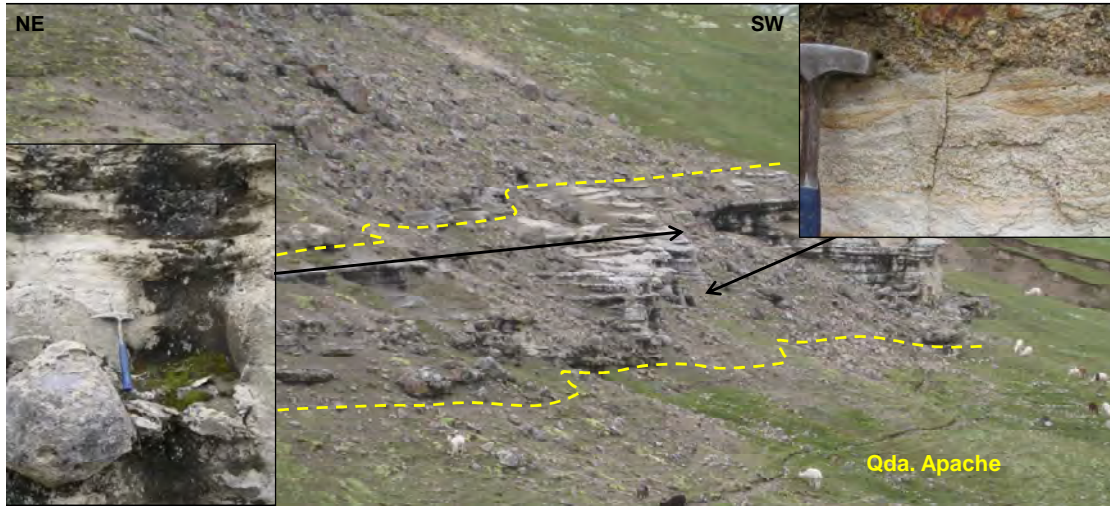


Foto 3.16: Secuencia volcanoclástica retrabajada. En la base niveles arenáceos y tobas de cristales, al techo son tobas heterolíticas (clastos < 40 cm, foto izquierda). Muestra 109249.

Sub-volcánicos del Barroso Inferior: en el sector norte, el Barroso Inferior es intruido por dos eventos de cuerpos sub-volcánicos de composición andesítica a dacítica. Palacios C. et al. (2011) indican que estos sub-volcánicos son “sin” y “post” mineralización de las vetas en Proyecto Azuca; el primero “sin – mineralización” con orientación este a oeste, presenta foliación subvertical, de composición andesítica a dacítica y textura porfírica, posee fenos de plagioclasa menores a 10%, feldespato potásico entre 5 a 10%, biotita entre 7 a 12% y magnetita menor a 1%. El segundo evento intrusivo “post-mineralización” está constituido por cuerpos subvolcánicos andesíticos de forma elongada y sin orientación definida

En el sector centro, al E del proyecto San Martín, se reconoce que los sub-volcánicos andesíticos y domos riolíticos cortan a secuencias Barroso Inferior.



Foto 3.17: Foto 3.16: Vista al E, secuencias de tobas andesíticas de textura porfírica, sector de San Martín (muestra 109245).

3.2.4.2 Barroso Superior

Hacia el norte del área de estudio en los cerro Sullo Sullo y Alanta, se reconoce secuencias de flujos piroclásticos y domos de composición riodacítica, con potencias entre 50 a 100 m y llegan hasta 4 km de extensión en elongación noreste y este a oeste, sobreyaciendo a flujos de lava andesítica gris violáceos del Barroso Inferior; posee textura porfirítica y de devitrificación, estructuras con foliación de flujo plegadas (ver foto 3.20), contiene fenocristales menores a 3cm de cuarzo entre 6 a 12%. Se interpreta que la secuencia de lavas con textura de devitrificación, correspondería a flancos de una estructura tipo lava-domo. No se observa alteración hidrotermal.

En el sector centro, al este del proyecto San Martín, mayormente corresponde a depósitos de ignimbritas.

En el sector sur, al oeste de los prospectos Astana – Farallón en los cerros Minasniyoc, Cavacti y Perjasja, se observan lavas de composición andesítica de textura afanítica y porfirítica que sobreyace discordantemente a secuencias de las Formaciones Alpbamba y Aniso. Estos eventos son relacionados al Pleistoceno – Holoceno del volcanismo Barroso por Zapata A. (2008).

Al borde este del cerro Cullpacucho, se reconocen lavas sub-horizontales de textura fluidal y afanítica de composición andesítica con esporádicos líticos afaníticos menores a 5% (muestra 109234).

Palacios C. et al. (2011) reportan edades de 2.5 ± 0.8 a 2.4 ± 0.2 Ma (método Ar/Ar) en biotita de flujos piroclásticos y domo riodacítico relacionados al Barroso Superior, en inmediaciones del Proyecto Azuca.

Echavarría L., (2009), describe secuencias de derrames lávicos modernos, posteriores a la mineralización, de edad plio-pleistocena, que forman delgadas coladas de composición intermedia a básica, formadas por rocas de textura porfirítica fina a afanítica con fenocristales de plagioclasa y piroxenos; generalmente forman grandes mesetas de posición horizontal y están relacionadas a conos volcánicos jóvenes y bien preservados.

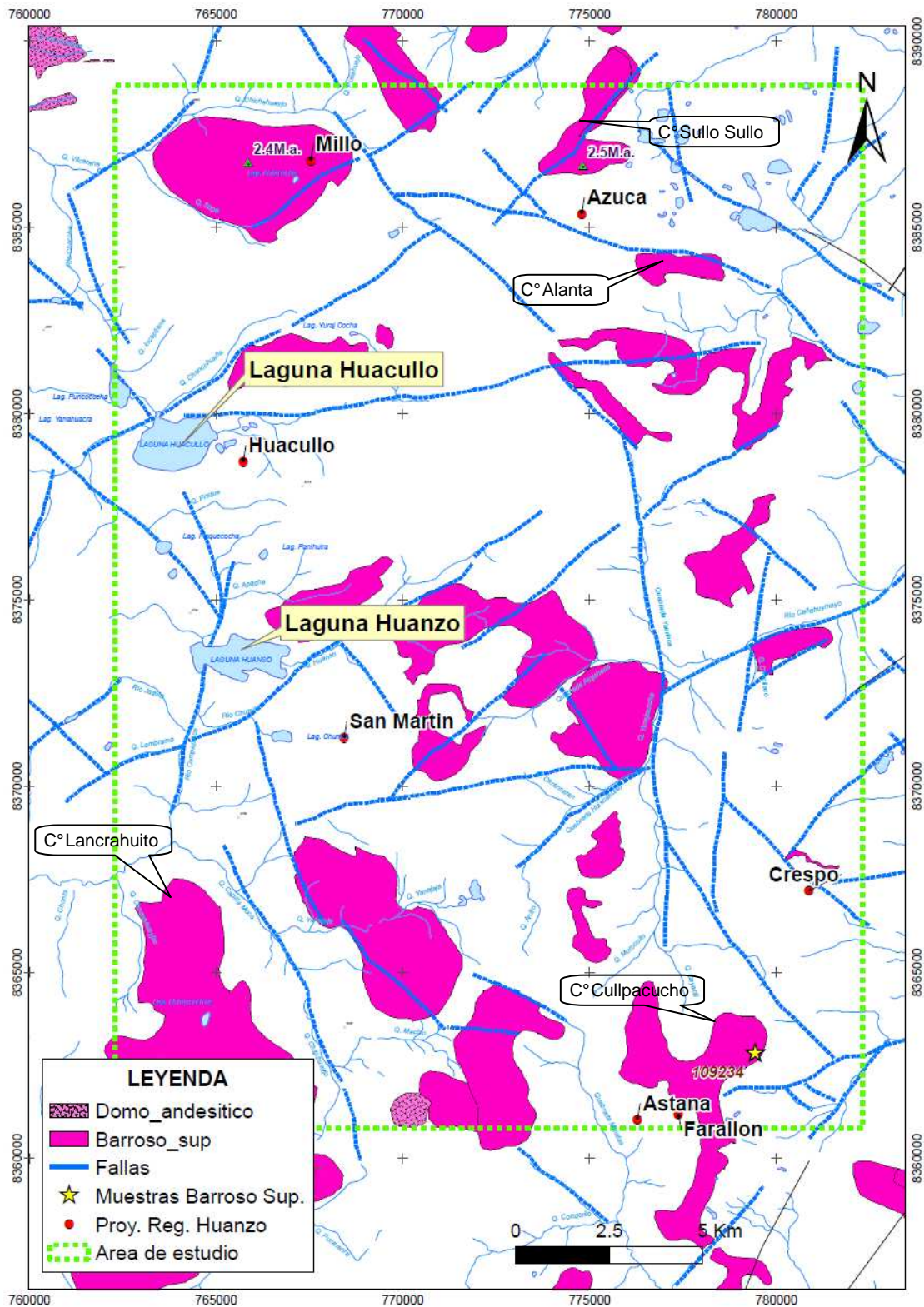


Figura 3.7: Afloramientos de rocas volcánicas y subvolcánicas relacionadas al Barroso Superior, ubicadas dentro del área de estudio.

Estudios petrominerográficos de rocas del vulcanismo Barroso, muestras 109245 y 109249, se describen en el Anexo I.

Características geoquímicas: para el presente trabajo se realizaron análisis geoquímicos de “Roca Total” por el método ICP-MS, en 3 muestras representativas del Grupo Barroso, 2 del Barroso Inferior y 1 del Barroso Superior. Los resultados de elementos mayores permiten señalar que composicionalmente son andesitas a traquiandesitas con un magmatismo calcoalcalino.

El análisis de elementos traza indica que las rocas de la unidad del Barroso Inferior presentan un alto contenido de Cs, Rb, Th y U, además un empobrecimiento bajo en Sr y Eu, lo que indica según Thompson et al. (1984) que proviene de un magmatismo más diferenciado. Asimismo, la roca analizada del Barroso Superior muestra un comportamiento contrario, bajo en Cs y sin disminución en Eu, lo que sugiere que proviene de un magmatismo menos diferenciado y Según Sun & McDonough (1989), no indicaría contaminación de corteza. Se describe con mayor detalle en el capítulo 5 y los resultados de los análisis se presentan en el Anexo II (Tabla II.3).

Relaciones estratigráficas y edad del Grupo Barroso: los afloramientos relacionados al vulcanismo Barroso dentro de la Región Huanzo, se ubican concordantemente sobre secuencias volcanoclásticas y retrabajadas del vulcanismo Aniso (Sencca) del Mioceno Superior, he infrayacen a secuencias lávicas andesíticas - basálticas y domos lavas relacionados al vulcanismo Post-Barroso del Pleistoceno.

Dentro del área de estudio, en el ámbito del proyecto Azuca, Palacios C. et al. (2011) reportan edades de 2.5 ± 0.8 a 2.4 ± 0.2 Ma (método Ar/Ar) realizadas en biotita de flujos piroclásticos y domo riódácítico, y lo relacionan al Barroso Superior.

Por las dataciones descritas y observaciones de campo en la Región Huanzo, el evento volcánico que origino los depósitos del Grupo Barroso se habría desarrollado en parte final del Mioceno Superior, todo el Plioceno y parte del Pleistoceno; se propone una edad entre 7.0 a 5.0 Ma para el Barroso Inferior y entre 5.0 y 1.1 para el Barroso Superior.

Se menciona **probables eventos coetáneos** en base a edades radiométricas y estratigrafía volcánica, como las realizadas en el ámbito de la Mina Arcata, en donde Candiotti (1990) reporta 6.1 ± 0.2 Ma (método K/Ar) en secuencias volcanoclásticas del Barroso Inferior. Por otro lado, ésta unidad sería coetáneo con

secuencias volcanoclásticas y lavas de la caldera Caylloma, donde Noble et al., (1982) indica 4.4 y 2.4 Ma (método K/Ar), también lo ubica como Barroso Superior.

A una escala más regional, Tosdal et al. (1981) reporta 6.5 ± 0.3 Ma (método K/Ar) en depósitos superiores del vulcanismo Sencca y entre 1.6 a 6.5 Ma en Huaitiri, asimismo Kaneoka y Guevara (1984) indican 3.20 y 6.43 Ma en Omate; todas en Moquegua; Clark et al. (1990) indicaron 6.48 a 7.04 Ma en secuencias volcánicas de Mazo Cruz - Puno y lo ubicaron dentro del Barroso Inferior. Todo probablemente coetáneo con el Grupo Barroso.

3.2.5 Unidad Post Barroso

Antecedente geológico: a nivel regional, Mendivil (1965) se refiere a depósitos de rocas volcánicas que generalmente cubren las partes altas de los cerros y en muchos casos están cubiertas por nieve perpetua, relacionados a secuencias superiores del Grupo Barroso, además indica que sus afloramientos fueron afectados por la glaciación Pleistocena.

Discusión: en el área de estudio, Palacios O. (1994) describe a secuencias andesíticas - basálticas como parte del Barroso Superior; en el presente estudio, éstas secuencias son ubicadas como eventos Post Barroso (basados en dataciones, explicadas en adelante).

Distribución áreal, estructura y espesor: la unidad del post Barroso cubre hasta un 20% del área de estudio, y en forma parte de la cordillera del Huanzo en los nevados Huanzillo, Huaytane y Alanta, llegando a 5,175 msnm en el cerro Huayllne.

En el borde oeste del C° Huaña se reconoce secuencias hasta 50 m de potencia y 1 km de extensión en elongación norte-sur, de flujos de lavas andesitas - basálticas de coloración pardo oscura a negro, textura afanítica a microporfirítica (Foto 3.20).

Coronando y bordeando el nevado Minajasa, al sureste del cerro Millo, se observan lavas con extensión menor a 2 km y aproximadamente 60 m de potencia, de composición andesítica y textura porfíricas, con cristales milimétricos de plagioclasa menores a 8%, anfíboles y biotita ambas menores a 6%; estas lavas tienen marcada disyunción columnar (muestra 109240). En la cabecera y margen derecha del río Pulljopampa, lavas de coloración gris clara y composición andesítica - dacítica, con cristales de hornblenda menores a 2%, también se distingue marcada disyunción columnar (muestra 109250). Al oeste y norte de C° Crespo, se

exponen flujos de lavas de composición andesítica y rocas autoclásticas de textura afanítica y porfírica, posee cristales de plagioclasa – sanidina – biotita; Zapata A. (2008) indica que corresponde al Pleistoceno – Holoceno.

Cuerpos subvolcánicos: se reconoce un dique de 3.5 km de longitud y entre 10 a 25 m de potencia, que se extiende en elongación NNO desde el cerro Pintapata en donde tiene aspecto de domo – lava, es de composición riódacítica con cristales cuarzo entre 10 a 15%, se observa texturas de devitrificación (ver Foto N°3.23). Palacios C. et al. (2011) reporta 0.76 ± 0.16 Ma (método Ar/Ar) e indica que corta a la vetas mineralizadas del proyecto Azuca.

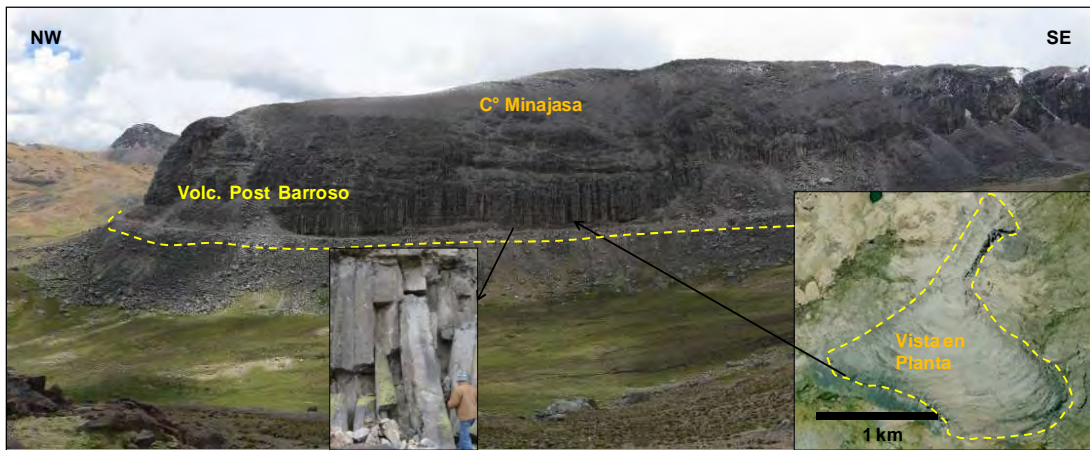


Foto 3.21: Vista al NE, secuencia volcánica con marcada disyunción columnar, muestra 109240.



Foto 3.22: Vista al S, secuencia volcánica con marcada disyunción columnar, muestra 109250.

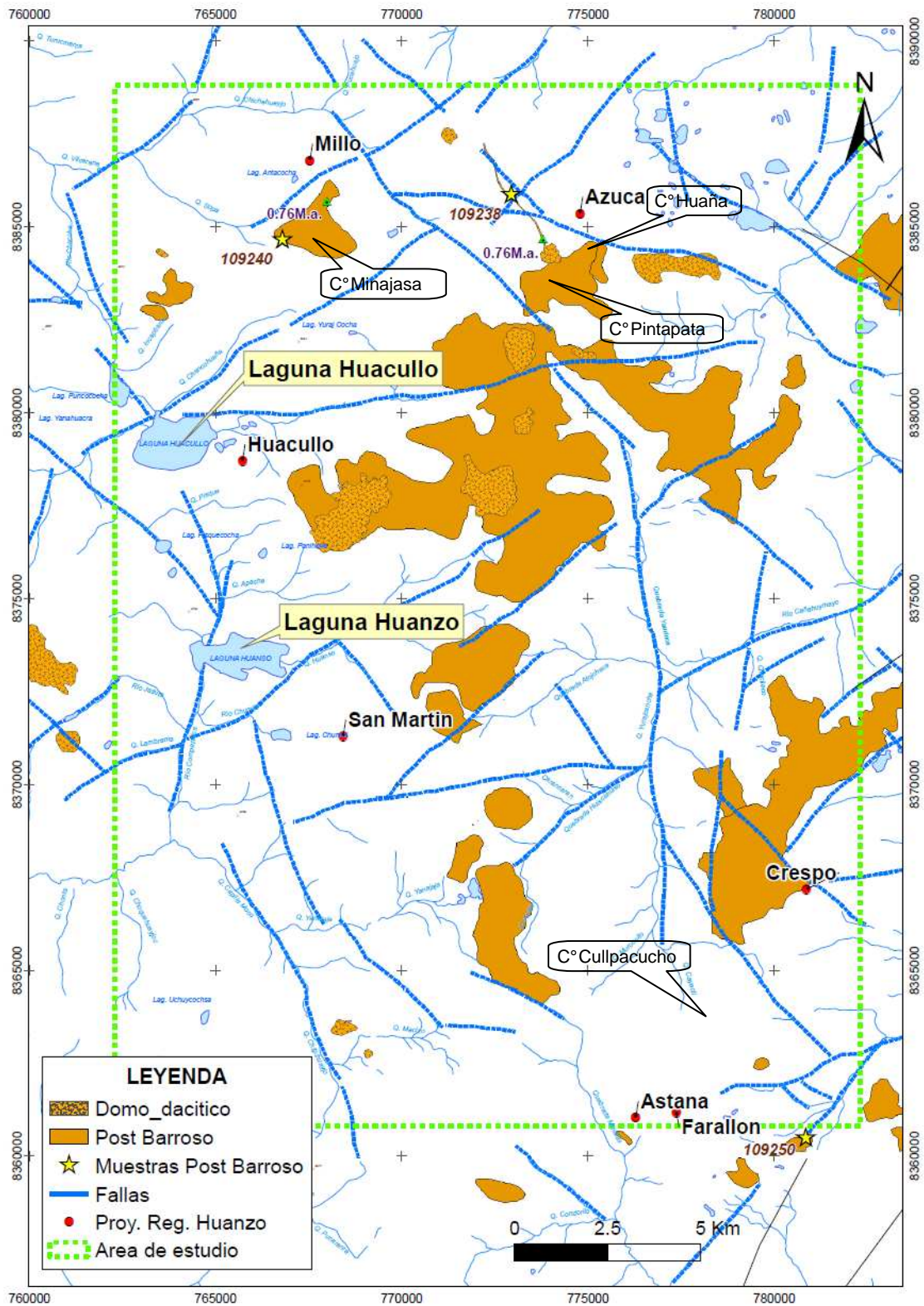


Figura 3.8: Afloramientos de rocas volcánicas y subvolcánicas relacionadas al Barroso Superior, ubicadas dentro del área de estudio.

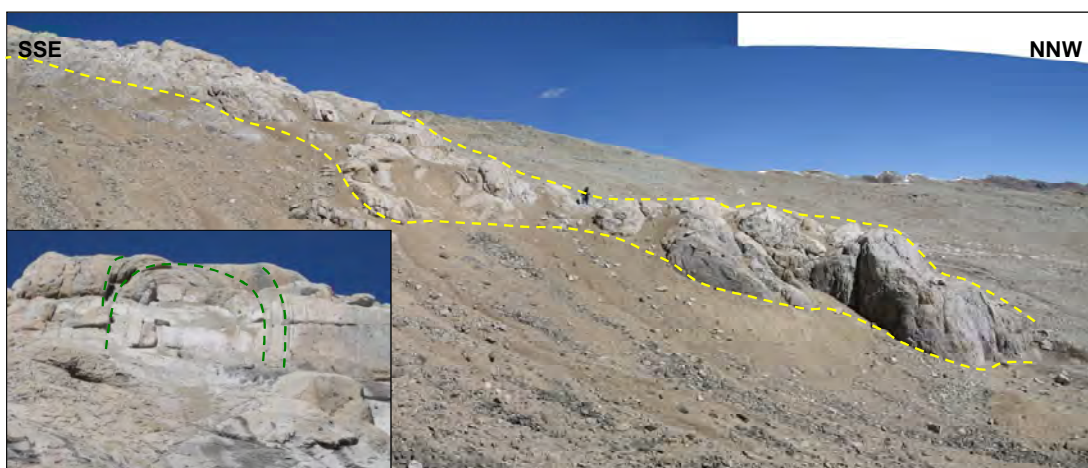


Foto 3.23: Vista al O, dique riódacítico con foliaciones de flujo subvertical (manera de domo) observada en corte transversal, muestra 109238.

Estudios petrominerográficos de rocas de la unidad Post Barroso, muestras 109240 y 109250, se describen en el Anexo I.

Características geoquímicas: Para el presente trabajo se realizaron análisis geoquímicos de “Roca Total” por el método ICP-MS, en 2 muestras representativas de la unidad Post Barroso. Los resultados de elementos mayores permiten señalar que composicionalmente son riolita con un magmatismo calcoalcalino de “Alto” contenido de potasio.

El análisis de elementos traza indica que la unidad Post Barroso presentan un alto contenido de en Cs, Rb, Th y U, además un empobrecimiento bajo en Sr y Eu, lo que indica según Thompson et al. (1984) que proviene de un magmatismo más diferenciado. Se describe con mayor detalle en el capítulo 5 y los resultados de los análisis se presentan en el Anexo II (Tabla II.3).

Relaciones estratigráficas y edad: Las secuencias relacionadas al evento Post Barroso reconocidas en la zona de estudio, se encuentran discordantes y concordantes sobre secuencias volcanoclásticas de la unidad Aniso y lávicas del Grupo Barroso, cubriendo algunas veces depresiones topográficas como al norte cerro Crespo y otras se encuentran en zonas elevadas cubierta por nieve.

Palacios C. et al. (2011) reporta 0.76 ± 0.16 Ma (método Ar/Ar) en biotita de dique en el ámbito del Proyecto Azuca; asimismo, Ligarda R. (comunicación personal) indica 0.76 ± 0.14 Ma (método Ar/Ar) para rocas del cerro Minajasa.

Por las dataciones descritas y observaciones de campo en la Región Huanzo, el evento volcánico que origino la unidad Post Barroso se habría desarrollado en parte del Pleistoceno; proponiendo una edad entre 1.1 y 0.2 Ma.

CAPITULO 4: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1 Marco Estructural Regional

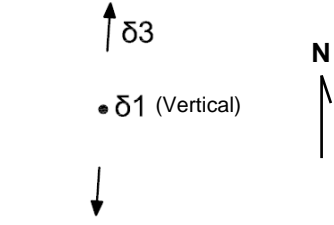
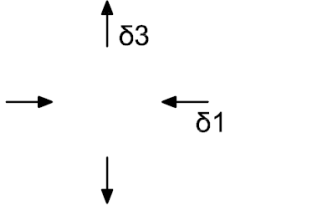
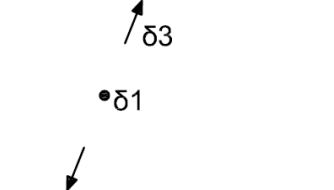
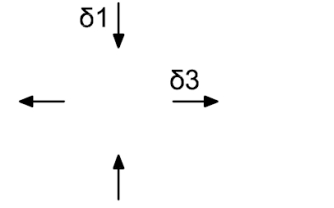
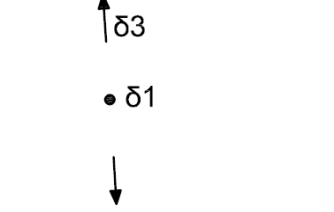
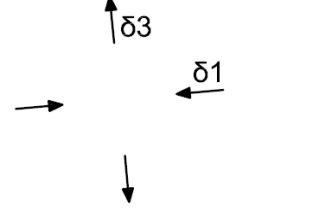
Los Andes Centrales del Sur del Perú constituyen un área clásica de levantamiento debido principalmente a tectonismo compresivo; sin embargo, este tectonismo debe haber sido cíclico y episódico, reflejado por la presencia de eventos de extensión relacionado a periodos de relajación entre los eventos compresivos (Noble et al., 1999). En dicho marco tectónico son habituales los movimientos de deformación transtensivo y transpresivo en donde son frecuentes los cambios rápidos en la dirección de los esfuerzos.

Estudios posteriores proponen sentidos de esfuerzos regionales relacionados a una época en particular, por ejemplo Cassard et al., (2000) postula esfuerzos regionales con la tensión orientada aproximadamente en sentido N-S o NNO-SSE, mientras que la compresión estaría ubicado con dirección E-O o ENE-OSO, para el Mioceno Inferior-Medio del Sur de Perú; asimismo Mercier et al., (1992) propone esfuerzos compresivos con dirección E-O a ENE-OSO entre 4.5 y 2 Ma.; además Echevarría et al. (2006), en base a su estudio estructural regional del distrito Caylloma, propone lo mostrado en la Figura 4.1.

Bajo este contexto regional, se desarrollo el marco estructural de la región Huanzo, principalmente sobre rocas cretácicas y volcánicas.

Con el estudio estructural, se pretende identificar los sistemas de estructurales principales, proponer su cinemática e indicar la orientación de esfuerzos que habrían sucedido para su desarrollo; además, se pretende reconocer sistemas estructurales más favorables, para la circulación de fluidos magmáticos - hidrotermales.

Como antecedente, Palacios O., (1994) describe que la arquitectura estructural de la región de estudio es resultado de una primera fase compresiva, seguida de levantamiento y luego de fallamiento profundo y vertical; posteriormente en el Neógeno (Terciario Superior) se desarrolla un fallamiento tensional, seguido de un volcanismo fisural.

<p>F) Sistema de esfuerzos de tensión prevalecientes durante el Cuaternario hasta la actualidad (2-0 Ma.)</p>	
<p>E) Sistema de esfuerzos prevalecientes durante el evento compresivo del Plioceno (2 Ma.)</p>	
<p>D) Sistema de esfuerzos de tensión prevalecientes durante el Mioceno superior-Plioceno (10-3 Ma.), entre los eventos compresivos Quechua II y III. La posición de δ1 es vertical.</p>	
<p>C) Sistema de esfuerzos compresivos, prevalecientes durante el Mioceno medio, Evento Quechua II (10 Ma.)</p>	
<p>B) Sistema de esfuerzos tensionales, supuestamente prevalecientes entre los eventos compresivos (17-10 Ma.), La posición de δ1 es vertical.</p>	
<p>A) Sistema de esfuerzos compresivos, prevalecientes durante el Mioceno inferior, Evento Quechua I (17 Ma.)</p>	
<p>Figura 4.1: Posición de sistemas de esfuerzo y su variación desde el Mioceno a la actualidad, resalta la alternancia de eventos: compresivos y tensionales. Confeccionado por: Echavarría L. et al. (2002) a partir de sus datos y de Mercier et al. (1992), Cassard et al. (2000) y Sebrier & Soler (1991).</p>	

4.2 Análisis estructural de la Región Huanzo

Para el estudio estructural (regional, distrital y de detalle) del área de estudio, se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis data topográfica, aplicando métodos de rasterización.
- Estudio de imagen satelital de sensores ASTER y LandSat.
- Evaluación y análisis de datos estructurales, data de campo.
- Análisis de fallas, mediante la técnica de McCoss.

4.2.1 Evaluación de información topográfica

Para el presente trabajo y con el objetivo de facilitar la interpretación estructural de la zona de interés, la Cia. Minera Ares S.A.C. proporcionó los resultados del estudio realizado por la empresa Fathom Geophysics. Dicho estudio consistió en identificar los quiebres topográficos principales y para esto realizó un análisis de información topográfica. Todo debido a la falta de información geofísica regional que ayude a sugerir rumbos de estructuras principales y al hecho de tratarse de un vulcanismo y tectonismo Mio-Pliocénico reflejado por la morfología superficial, hecho que se puede evidenciar en terreno.

La topografía fue grillada y procesada de la misma manera que un dato geofísico por Dan Core (2010). A la grilla topográfica, con nodos cada 100 metros, se le ha aplicado filtros para resaltar estructuras y discontinuidades a escala distrital con 10 km de longitud de onda y escala local con 2-3 km de longitud de onda. Las estructuras resultantes limitan bloques elevados (altos topográficos) y bloques hundidos (bajos topográficos), además poseen buena correlación con la geología aflorante.

Resultados a escala distrital: El análisis de las orientaciones de los lineamientos a una alta frecuencia, permitió distinguir cuatro direcciones principales tales como: NNO-SSE, NE-SO, N-S y E-O, mostrados en rojo, verde, rosado y naranja respectivamente en la Figuras 4.3. Así mismo, en la Figura 4.4 se simplificó aún más la información con el objetivo de facilitar la interpretación y visualización de la misma.

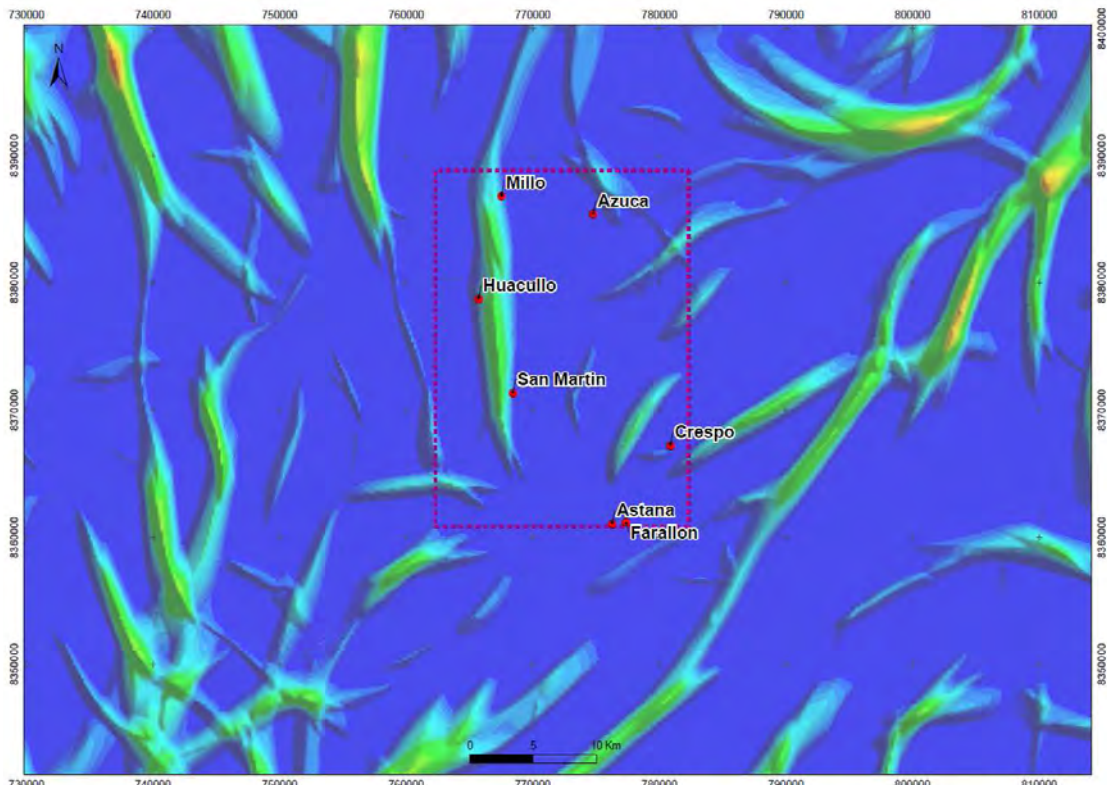


Figura 4.2: Imagen obtenida luego de aplicar el filtro de detección de estructuras, a una frecuencia alta (longitud de onda 10 km), sobre la data topográfica.

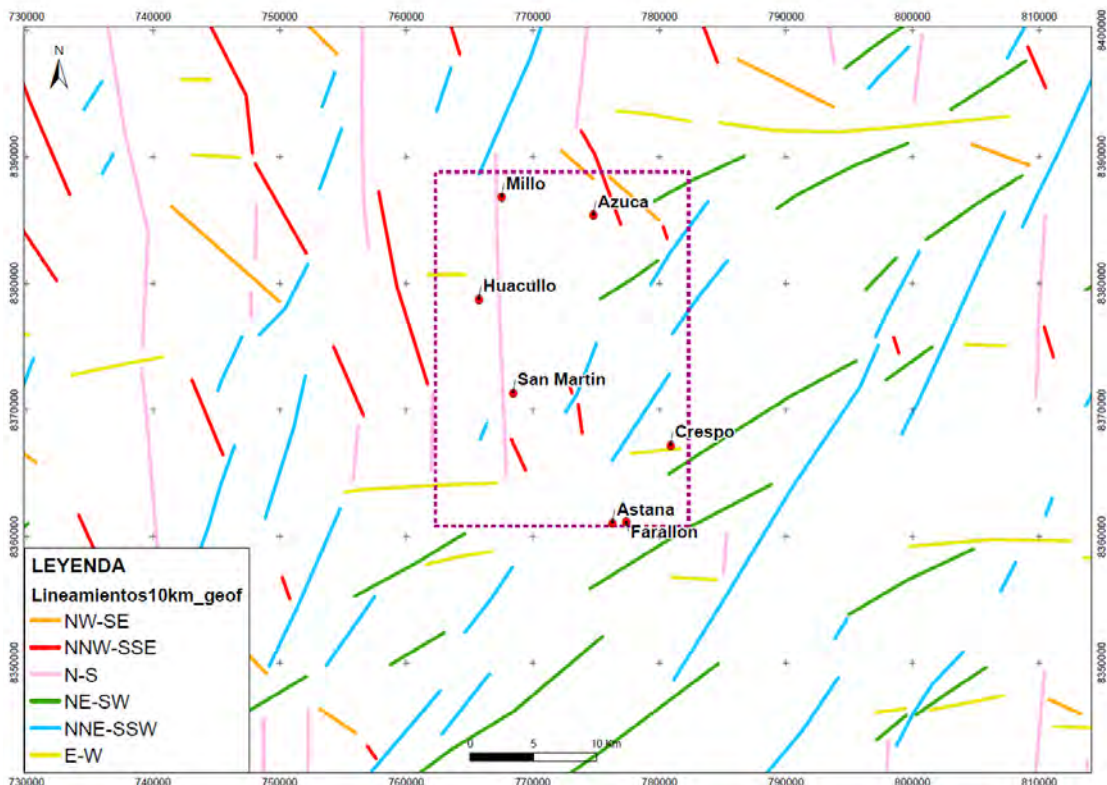


Figura 4.3: Estructuras y lineamientos simplificados de data topográfica, medidos a frecuencia alta (10 km).

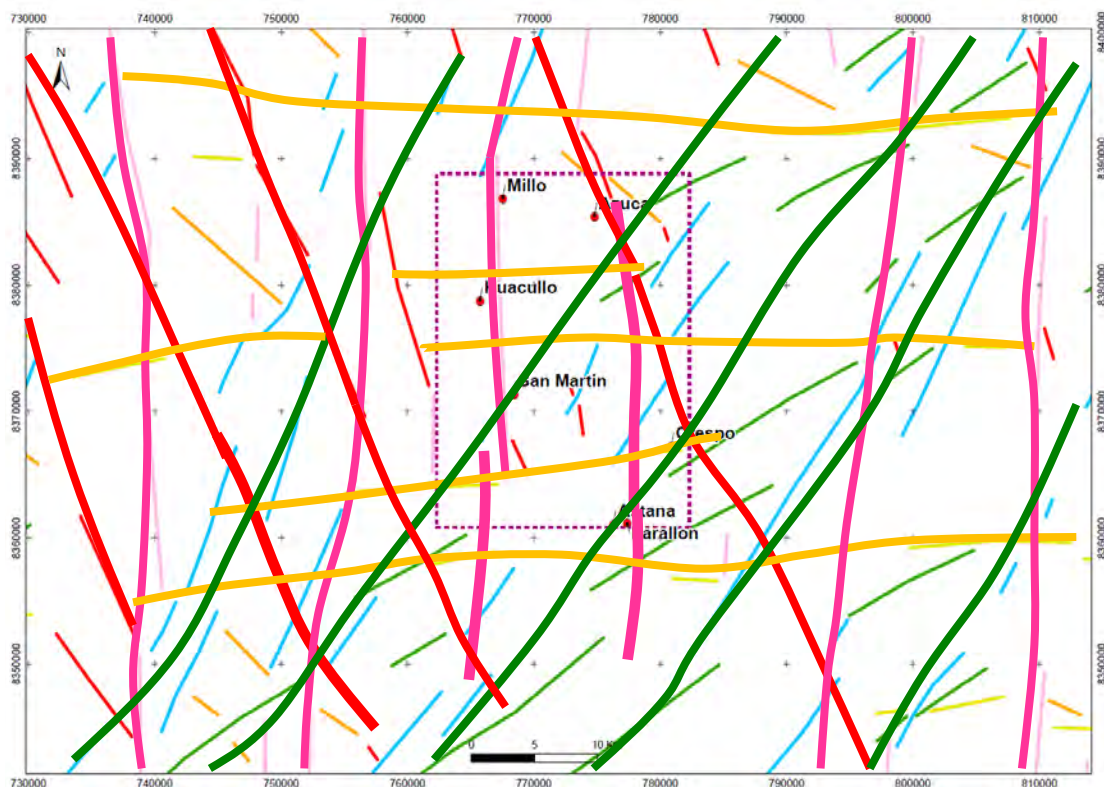


Figura 4.4: Interpretación de la figura 4.3, donde se identificaron los lineamientos regionales más importantes.

En conclusión, los datos topográficos a escala distrital permitieron distinguir la estructura de bloques fallados con orientación NO a NS, los cuales están cortados por fallas transversales NE a EO.

Por otra parte, se propone como 1° evento estructural a los lineamientos NO-SE y NNO-SSE, 2° NE-SO y NNE-SSO, 3° N-S y último 4° evento E-O.

Las estructuras y/o lineamientos NO-SE y N-S coincide con el sistema Andino, y los de NE-SO y E-O coinciden con el sistema Transandino. Lineamientos distritales conjugados de rumbo NO (dirección andina) y NE, actúan paralelos y transversales al arco volcánico Neógeno, respectivamente.

Resultados a escala local: El análisis de las orientaciones de estructuras y/o lineamientos, en el sector Huanzo, permitió distinguir a una frecuencia intermedia, cuatro direcciones principales: NNO-SSE, N-S, E-O, NE-SO mostrados en rojo, rosado, naranja y verde respectivamente en la Figuras 4.6 A, asimismo en la Figura 4.6 B, se simplificó la información con el objetivo de interpretar y visualizar.

En conclusión, los datos topográficos a escala distrital permitieron distinguir la estructura de bloques fallados con orientación NO a NS, los cuales están cortados

por fallas transversales NE a EO. Además, la orientación de estas estructuras concuerda con el sistema de fracturamiento descritos por Zapata A (2008) en los proyectos Azuca y Crespo. Por otra parte, luego de interpretar los lineamientos y bajo observaciones estructurales de campo, se propone:

1° evento: NO-SE y NNO-SSE, de cinemática sinistral .

2° evento: NE-SO y NNE-SSO, de cinemática dextral.

3° evento: N-S, de cinemática dextral.

4° evento: E-O, de cinemática sinistral.

Al igual que el análisis distrital, las estructuras/lineamientos NO-SE y N-S coincide con el sistema Andino, y los de NE-SO y E-O coinciden con el sistema Transandino. En este marco, las vetas de Azuca, Huacullo y San Martín se disponen asociadas a las fracturas principales: NO y EO.

Por lo tanto, a partir de estas evidencias indirectas se concluyó que la región del Huanzo al igual que el arco volcánico Cenozoico regional, estuvo afectada por esfuerzos transcurrente transpresivos y transtensivos, evidenciados en fallas de rumbo “NO” con inclinaciones tanto al SO como al NE y de rumbo “NE” con inclinaciones al SE y NO. La intersección de ambos juegos de fallas resulta en una estructuración en bloques.

Es importante resaltar que los proyectos con evidencias de mineralización como Millo, Huacullo y San Martín se ubican al borde del bloque levantado de orientación N-S por lo que estarían relacionados a los altos topográficos. Asimismo éstas ocurrencias se reconocen en la intersección de estructuras y/o lineamientos E-O con NE-SO en Crespo, N-S con NE-SO en Huacullo - San Martín, N-S con E-O y NO-SE en Azuca y Millo, además estructuración N-S con E-O, NE-SO y NO-SE en Astana - Farallon.

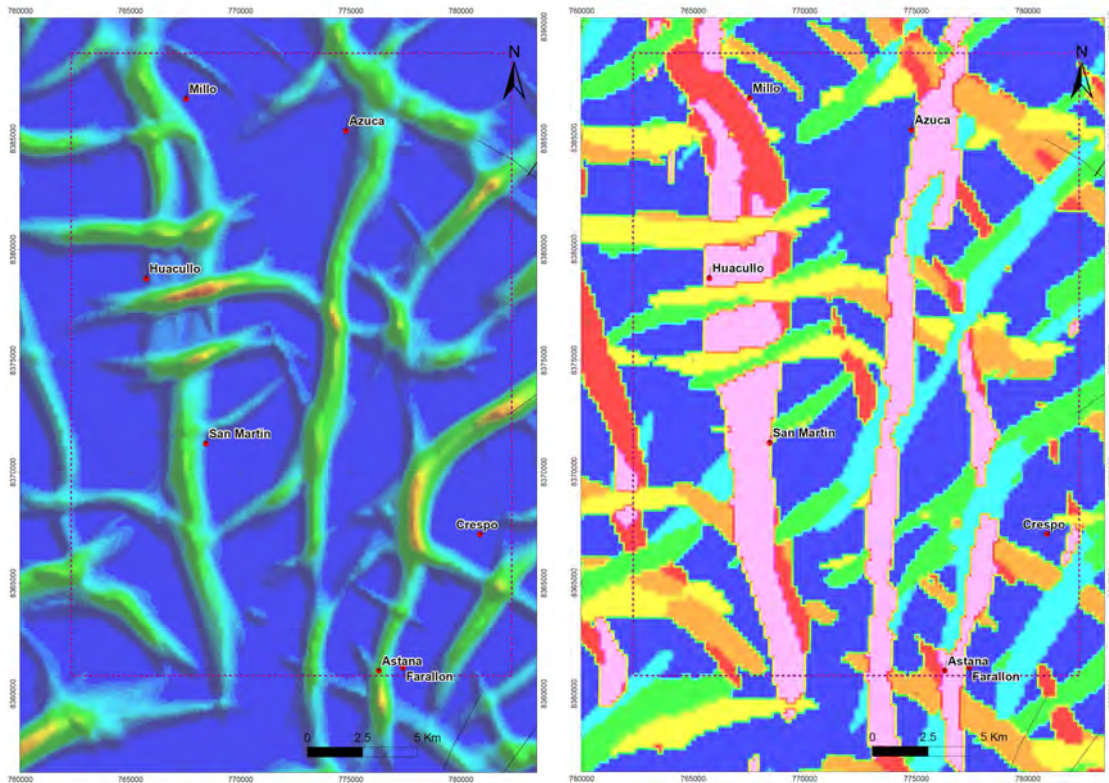


Figura 4.5: Imagen obtenida luego de aplicar el filtro de detección de estructuras, a una frecuencia intermedia (longitud de onda 5 km), sobre la información topográfica.

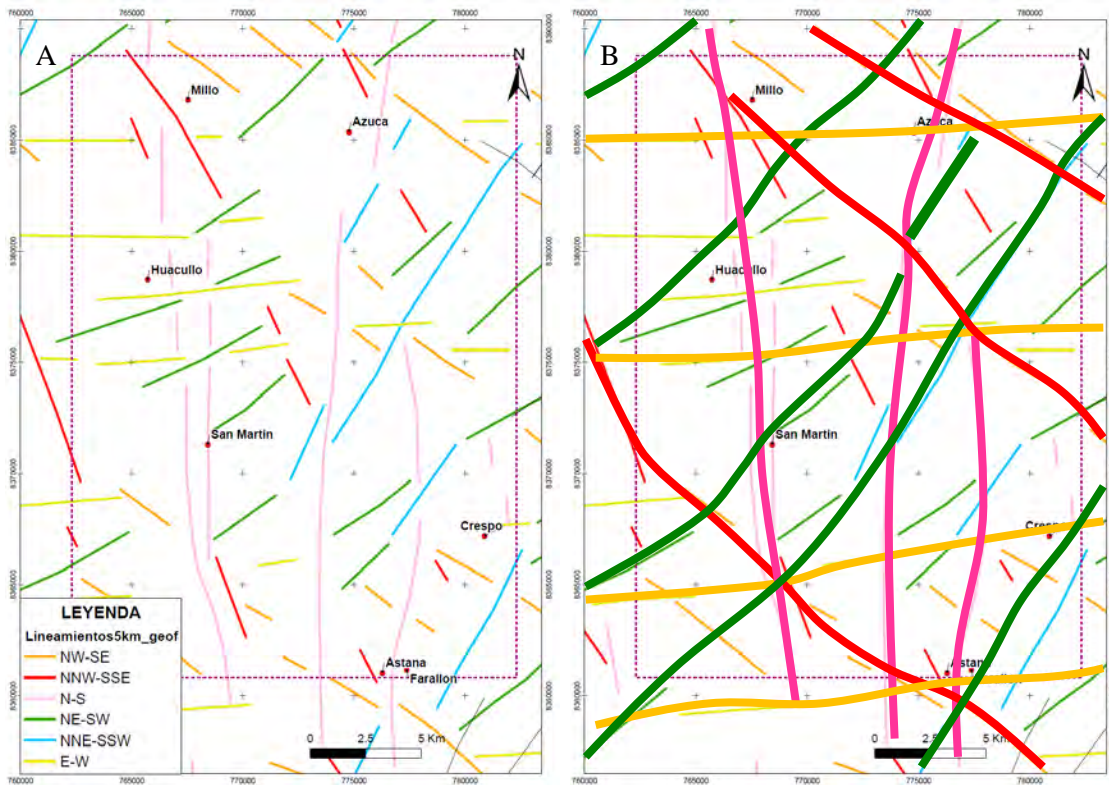


Figura 4.6: A (izquierda) y B (derecha). Interpretación de la figura 4.5, donde se identificaron los lineamientos locales más importantes.

4.2.2 Estudio sobre Imagen Satelital

En base al DEM de la imagen Aster (Figura 4.7) e imagen Landsat TM (B4 – Filtro14), proporcionadas por Cia. Minera Ares, se obtuvo los lineamientos más resaltantes de probables estructuras geológicas como: fallas, fracturas y lineamientos semi-circulares, dentro de la zona de estudio y alrededores (escala 1:150,000). A estos lineamientos reconocidos, se les determinó su azimut correspondiente que complementaron la data estructural de campo.

Enfocados al área de estudio, sobre la Landsat TM (15 x 15 m de tamaño de celdas y combinaciones de colores RGB 321), se determinó lineamientos los que representarían los principales sistemas estructurales que afectan al macizo rocoso, dentro y alrededores del área de estudio a escala 1:100,000 (Figura 4.8). A continuación se describen los resultados obtenidos.

Sistemas estructurales: La región del Huanzo, se caracteriza por la presencia de cuatro juegos estructurales. A continuación se describe cada una de ellas en orden cronológico (ver Figura 4.9):

- A) Fallas de rumbo NNO – SSE y sus tensionales NO-SE, atraviesa a la laguna Huacullo de la que se abre una tensional hacia la laguna Huanzo. Controlan los afloramientos de las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya del Cretácico Inferior y subvolcánicos relacionados al vulcanismo Tacaza. Posee una cinemática sinistral inversa del tipo transpresivo.
- B) Fallas y lineamientos NE-SO, a lo largo de las quebradas Palljapampa, Huanzo, Huiscahuiso entre otros. Controlan los afloramientos del vulcanismo Tacaza y forman parte de sistemas tensionales del vulcanismo Alpabamba, Barroso Inferior y Post-Barroso.
- C) Fallas NO-SE, sector este de Millo y norte de Crespo. Controlan el emplazamiento de los volcánicos Alpabamba, Sub-volcánicos del Aniso y Barroso Inferior
- D) Fallas E-O, sector de Azuca y norte de Astana Farallón. Controlan el emplazamiento de los volcánicos Barroso Inferior y tensionales del Barroso Superior.

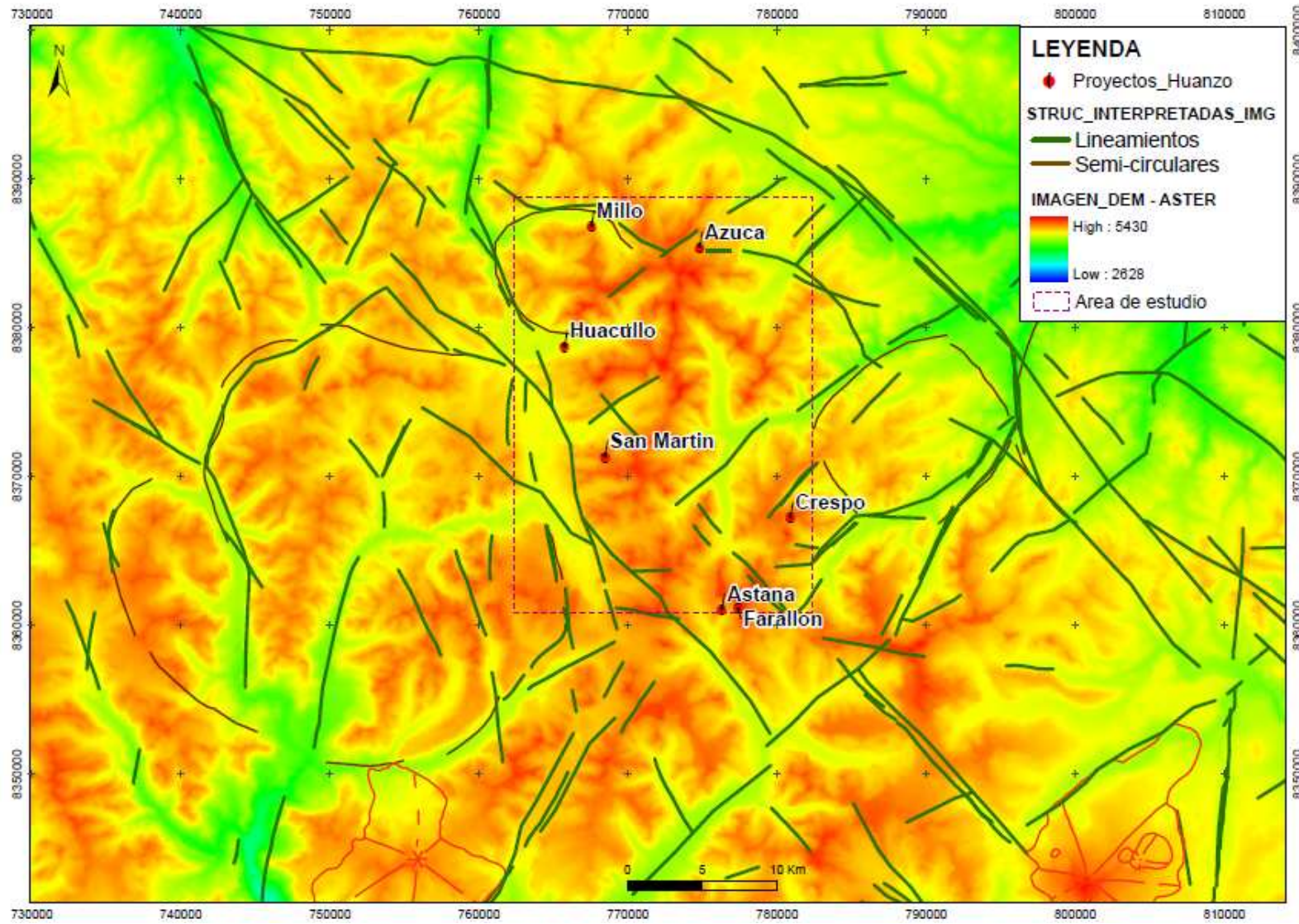


Figura 4.7: Lineamientos estructurales sobre imagen DEM procesada de la imagen Aster.

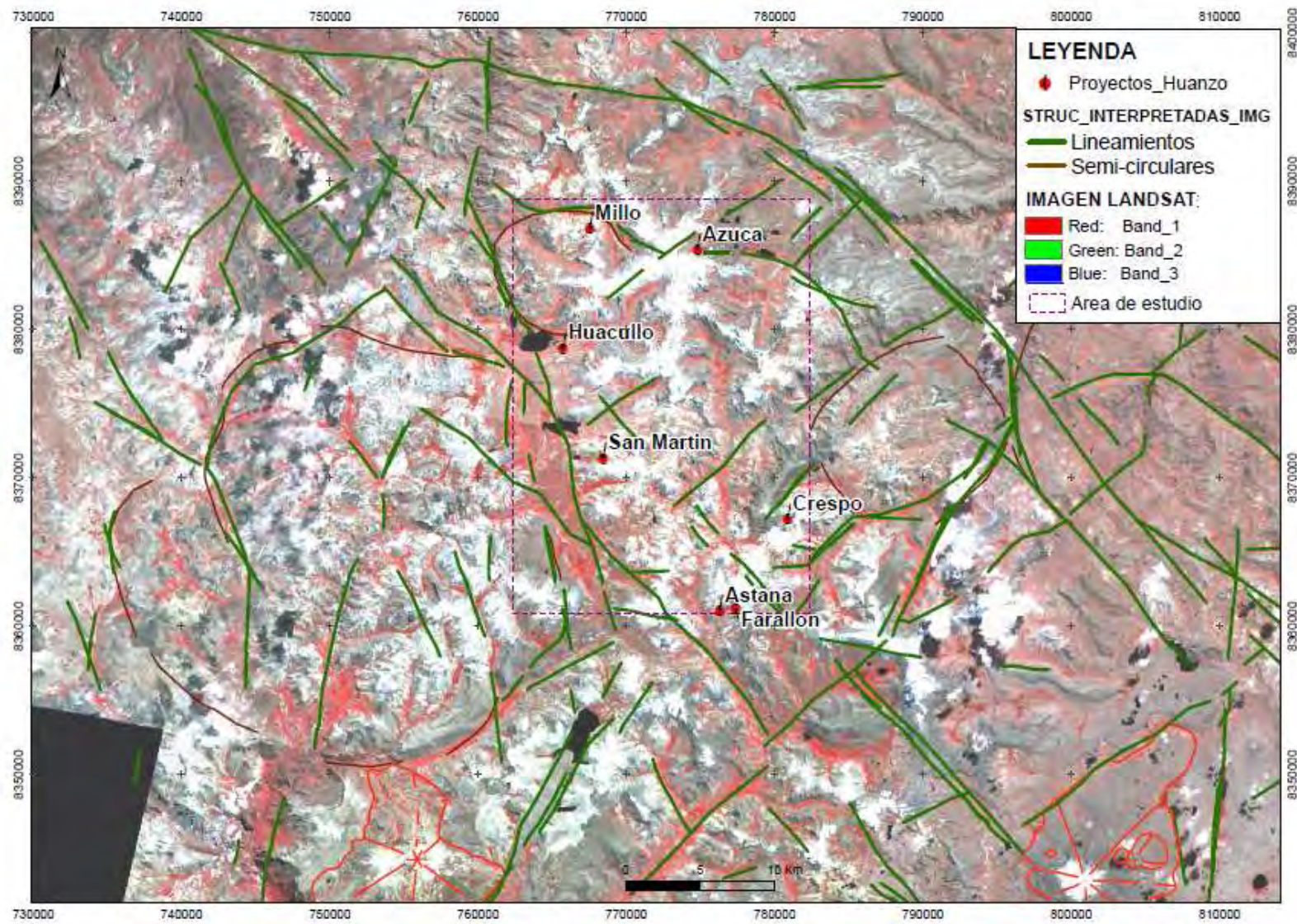


Figura 4.8: Determinación de lineamientos estructurales sobre imagen Landsat TM.

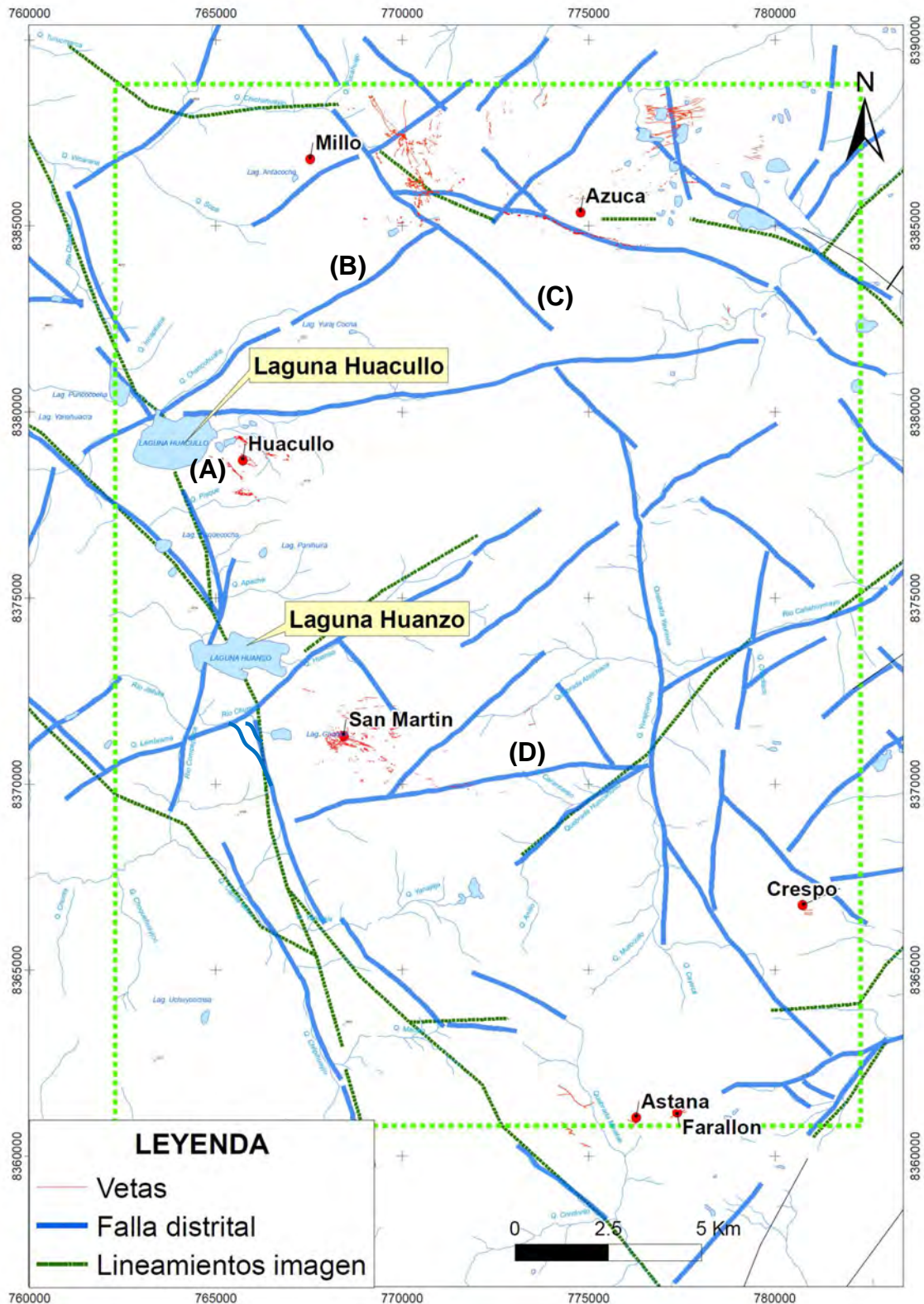


Figura 4.9: Mapa de sistemas estructurales principales y estructuras reconocidas con mineralización en el área de estudio, región Huanzo.

4.2.3 Análisis de datos estructurales cartografiados

En base al cartografiado estructural, lineamientos sobre imágenes satelitales, contactos litológicos y estructuras mineralizadas, de la región Huanzo; se procedió con el análisis estructural mediante el método McCoss.

McCoss (1986), desarrolló un modelo geométrico que ayuda a determinar la orientación de los ejes del elipsoide de esfuerzos en zonas afectadas por un régimen tectónico del tipo transpresivo o transtensivo.

Todo en base a los datos obtenidos: azimut y σ_3 local. Estos vectores se grafican sobre un círculo, que permite obtener el vector resultante “ σ_3 regional” (con su dirección y tipo de esfuerzo), además este gráfico, permite sugerir la dirección del esfuerzo extensional regional resultante (dextral o sinistral) y su cinemática, en base al ángulo “A” (normal o inversa); en base al valor del ángulo “A” que se obtiene entre vector σ_3 regional y línea del centro de circunferencia hacia el punto tangente, se determina si es producto de esfuerzos de: transpresión ($A=20^\circ-70^\circ$), cizalla simple ($A=90^\circ$) o transtensión ($A=110^\circ-160^\circ$).

Análisis a fallas, lineamientos y contactos litológicos: en base a los datos azimut y σ_3 local, obtenidos sobre terreno e interpretación de lineamientos (Cuadro 4.1), se realizó diagramas de círculos y vectores que permiten caracterizar los esfuerzos predominantes asociados a cada unidad litológica. El resultado del análisis se muestra en el cuadro 4.2.

Data		Resultados			Relacionados a la unidad:
Azimut	σ_3 local	σ_3 regional	Angulo "A"	Cuadrante	
343°	008°	N300°-N120°	~ 50°	"I"	Soraya
042°	022°	N095°-N275°	~ 34°	"D"	Tacaza
325°	265°	N294°-N114°	~ 120°	"D"	Alpabamba
317°	031°	N014°-N194°	~ 147°	"I"	Aniso
330°	036°	N012°-N192°	~ 130°	"I"	Barroso Inferior
292°	147°	N088°-N268°	~ 60°	"I"	Barroso Superior
323°	220°	N025°-N205°	~ 151°	"I"	Post Barroso

Cuadro 4.1: Datos estructurales y resultados de análisis.

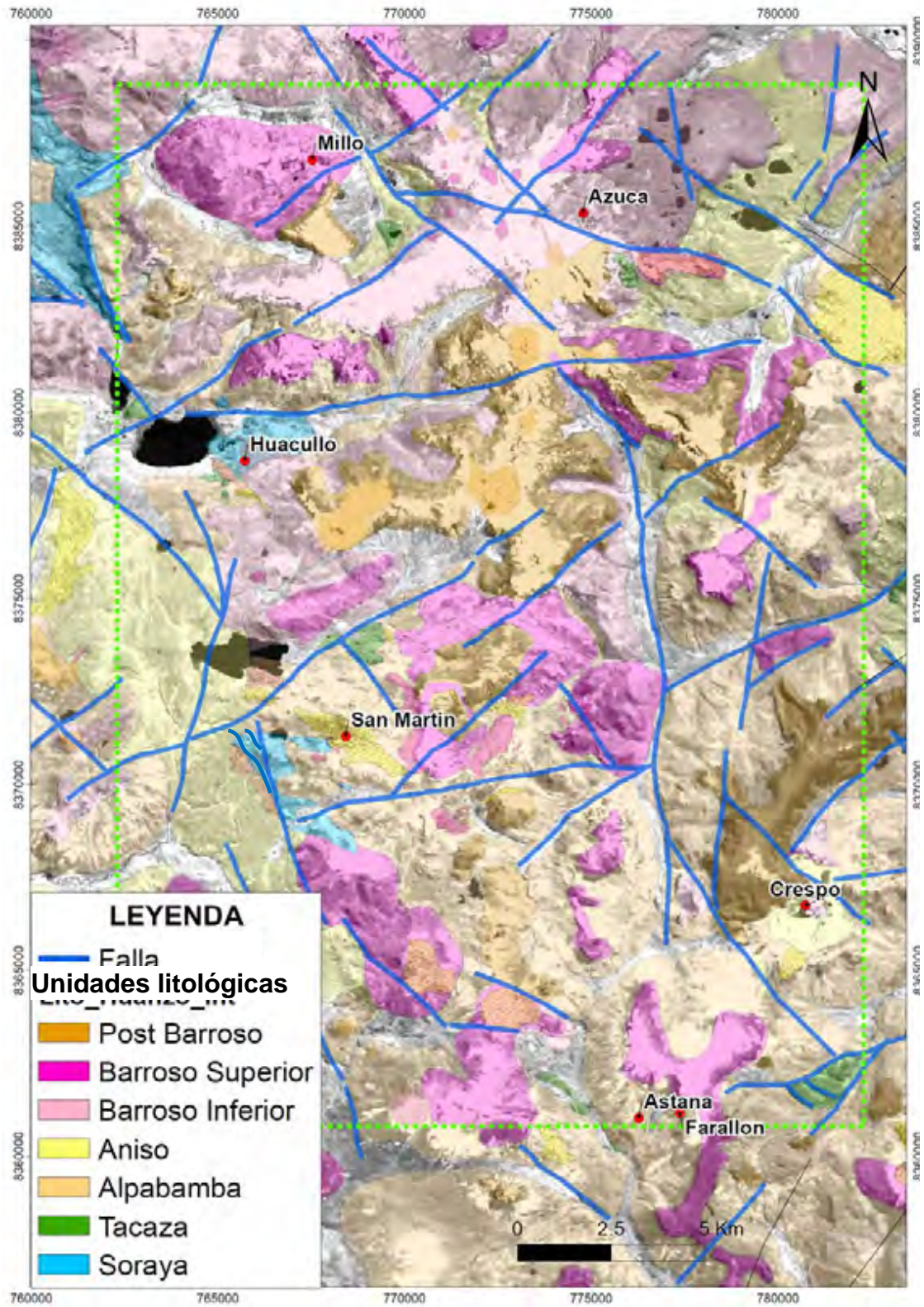


Figura 4.1: Mapa litológico y estructural de la región Huanzo.

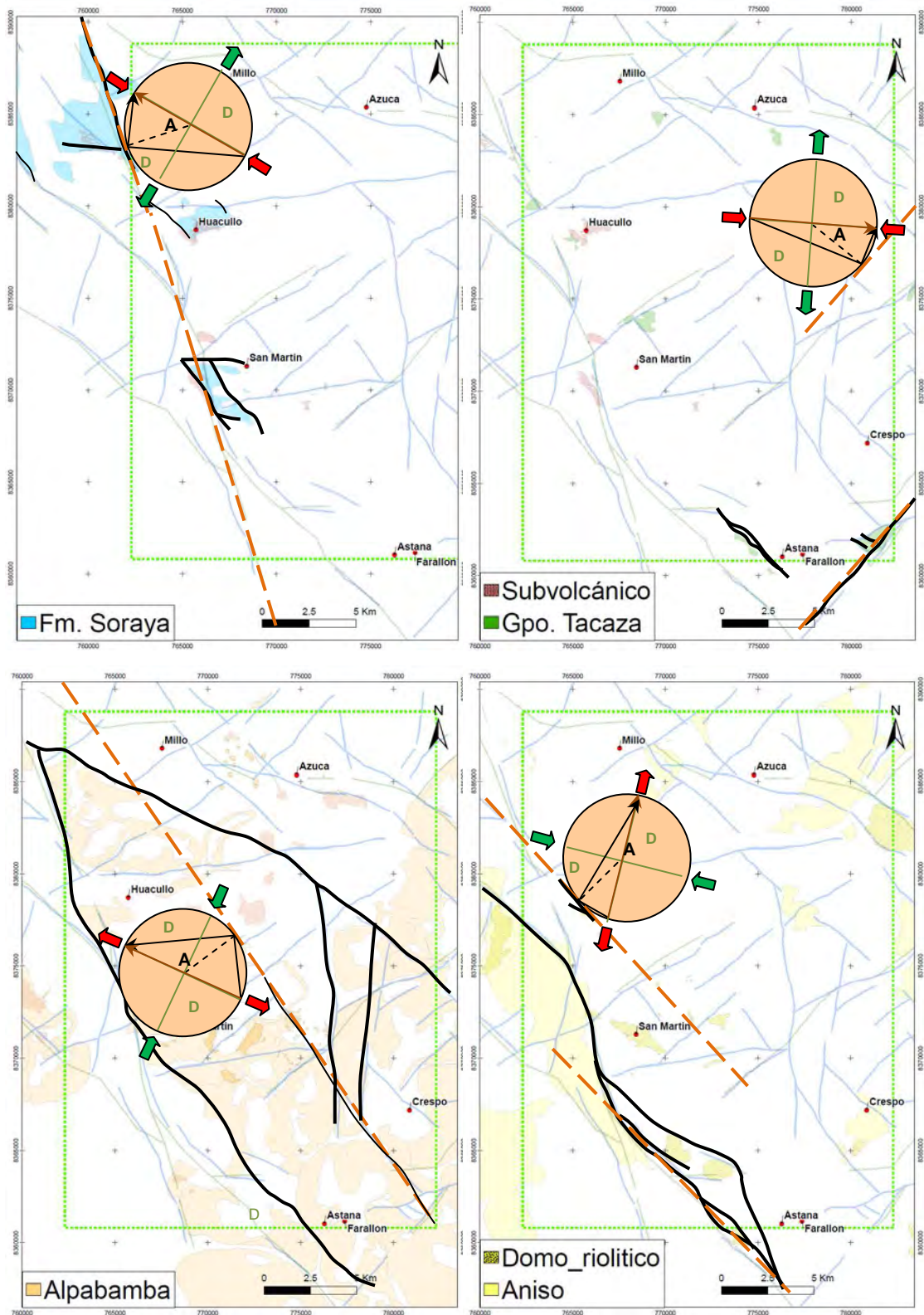
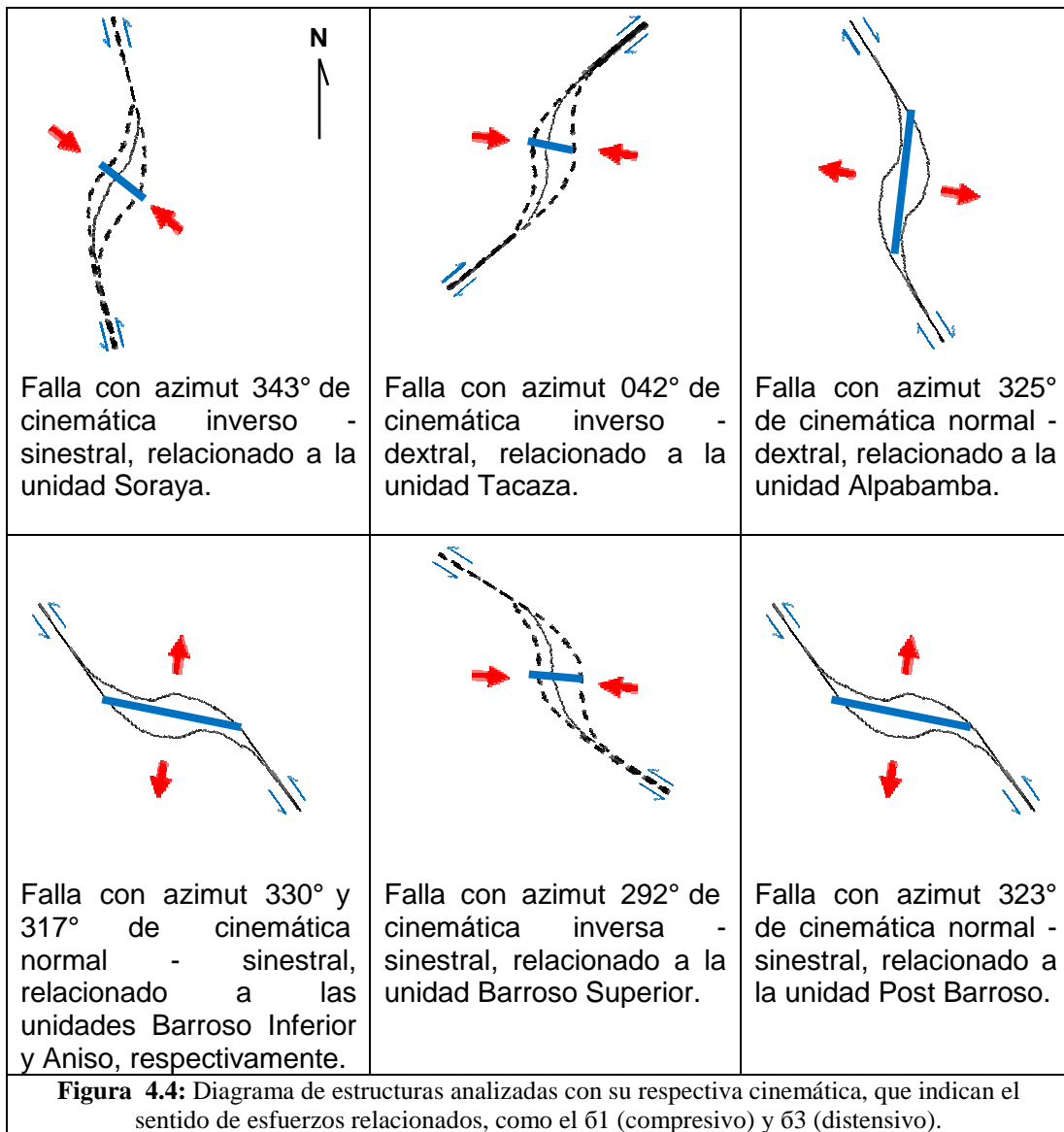


Figura 4.2: Diagrama McCoss en fallas de las unidades Soraya al Aniso, con interpretación del sentido de esfuerzos que los originaron.

Luego del análisis, interpretamos en base a la metodología propuesta por McCoss (1986):

Estructura de Azimut:	Interpretación		
	<i>Angulo "A"</i>	<i>Cuadrante</i>	<i>Cinemática</i>
343°	transpresivo	transcurrente izquierdo	Inverso - sinistral
042°	transpresivo	transcurrente derecho	Inverso - dextral
325°	transtensivo	transcurrente derecho	Normal - dextral
317°	transtensivo	transcurrente izquierdo	Normal - sinistral
330°	transtensivo	transcurrente izquierdo	Normal - sinistral
292°	transpresivo	transcurrente izquierdo	Inverso - sinistral
323°	transtensivo	transcurrente izquierdo	Normal - sinistral

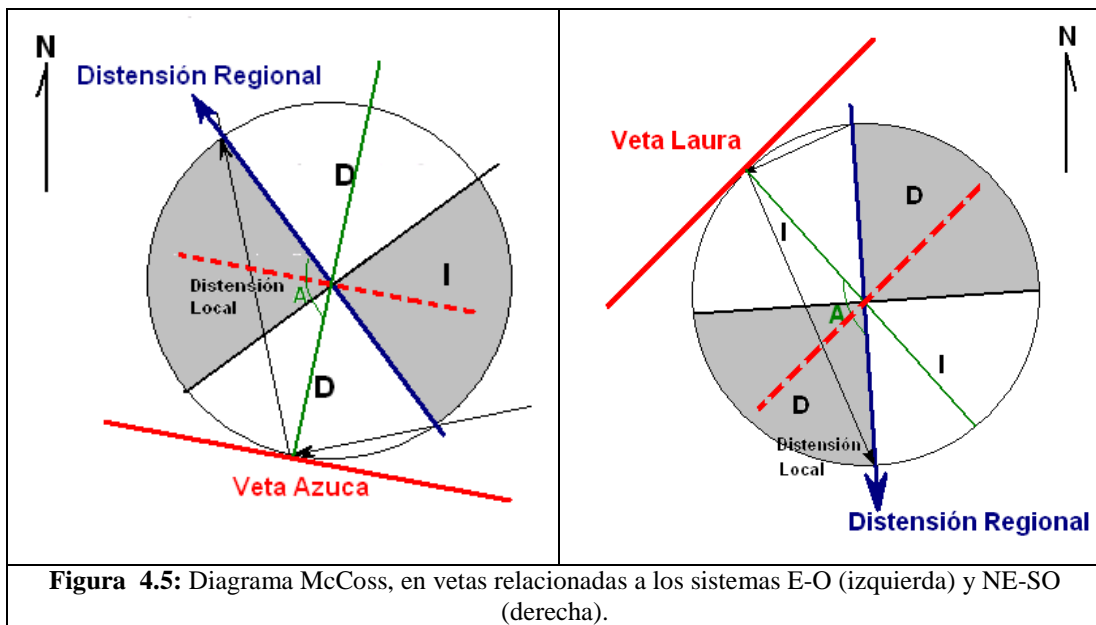
Cuadro 4.2: Interpretación cinemática de las fallas analizadas.



Análisis a estructuras mineralizadas de la región Huanzo: en base datos de azimut y β_3 local, obtenidos en las estructuras de relleno del proyecto Azuca, se realizo diagramas que permiten caracterizar los esfuerzos predominantes, asociados a estructuras receptoras de fluidos mineralizantes, en los sistemas de mayores eventos y rellenos de cuarzo.

	Data	
	Azimut	β_3 local
Sistema E - O	282°	347°
Sistema NE - SO	230°	150°

Cuadro 4.3: Datos de estructuras mineralizadas, veta Azuca y Laura.



	Resultados		
	β_3 regional	Angulo "A"	Cuadrante
Sistema E - O	N320°-N140°	~ 140°	"I"
Sistema NE - SO	N172°-N352°	~ 148°	"D"

Cuadro 4.4: Resultados que indican que las estructuras de mineralizadas se formaron bajo el mismo campo de esfuerzos.

	Interpretación		
	Angulo "A"	Cuadrante	Cinemática
Sistema E - O	transtensión	transcurrente izquierdo	Normal - sinistral
Sistema NE - SO	transtensión	transcurrente derecho	Normal - dextral

Cuadro 4.5: Estructuras que se forman bajo el mismo campo de esfuerzos con distinta cinemática

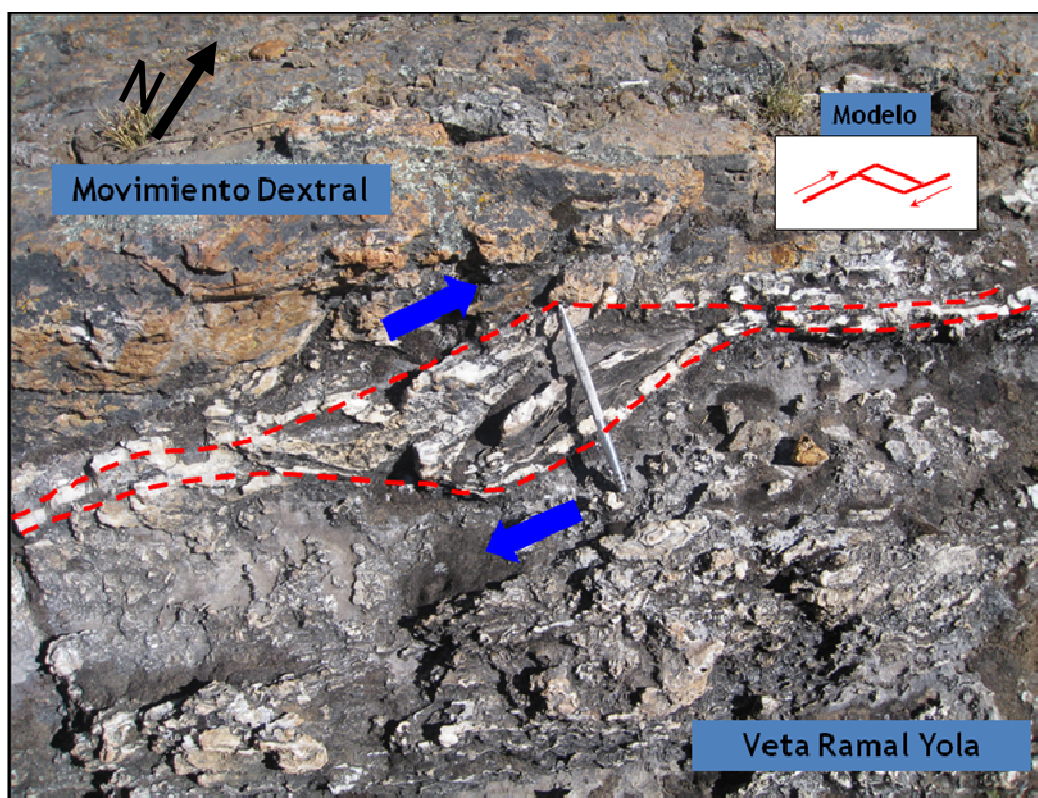


Foto 4.1: Parte de la veta Yola – Azuca, se aprecia que la estructura sufrió apertura hacia la derecha y cierre hacia la izquierda, lo que sugiere una cinemática dextral.

Debido a que la extensión regional de ambos sistemas tiene sentidos similares, se propone que es producto de un mismo evento extensional con sentido NNO-SSE. Esto coincide con esfuerzos predominantes desarrollados durante el Mio-Plioceno propuestos por Echavarría et al. (2002), además este evento extensional afecta principalmente a las unidades Aniso y Barroso Inferior.

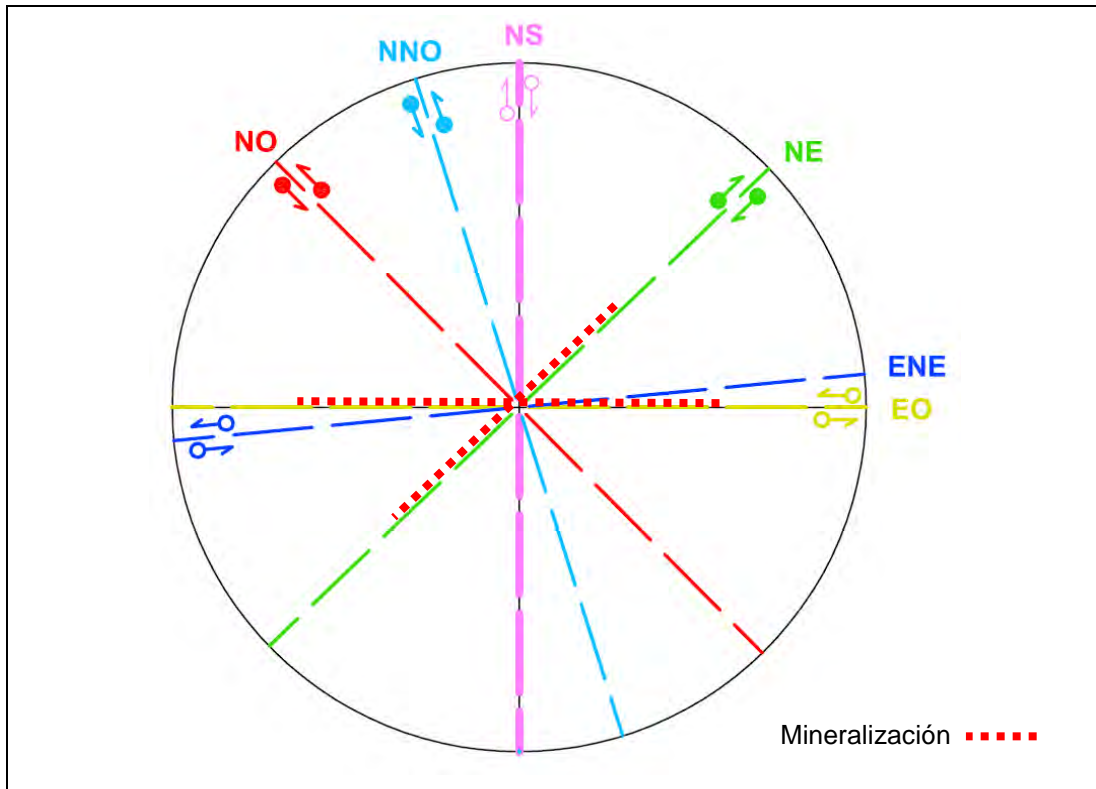
4.3 Interpretación

Según lo mostrado en los párrafos previos, la estructuración de la región Huanzo responde a un sistema de deformación que generó un conjunto de fallas. Tanto la evaluación topográfica, desde el punto de vista geofísico a escala regional y local, como el análisis en imágenes satelitales y todo complementado por observaciones de campo; coinciden en gran medida e indican cuatro sistemas estructurales principales: “NNO-SSE y NO-SE”, “NE-SO”, “N-S” y “E-O y ENE-OSO”, ver figura 4.15.

Basado en método McCoss (1986) quien desarrolló un modelo geométrico que ayuda a determinar la orientación de los ejes del elipsoide de esfuerzos, en zonas afectadas por un régimen tectónico tipo transpresivo o transtensivo, se sugiere que el:

- Sistema de rumbo NNO-SSE y sus tensionales NO-SE, posee una cinemática inversa - sinistral; afecta principalmente a los afloramientos de las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya y subvolcánicos relacionados al vulcanismo Tacaza.
- Sistema de rumbo NE-SO, posee una cinemática inversa – dextral; afecta principalmente a los afloramientos del Grupo Tacaza; además este sistema forma parte de estructuras tensionales que afecta a las unidades Alpacabamba, Barroso Inferior y Post-Barroso.
- Sistema de rumbo N-S, posee una cinemática normal - dextral; principalmente afecta a los afloramientos de los volcánicos Alpacabamba, Sub-volcánicos del Aniso y Barroso Inferior.
- Sistema de rumbo E-O, posee dos cinemáticas: una inversa – sinistral que afecta principalmente a los afloramientos de los volcánicos Post - Barroso Superior y otra cinemática normal - sinistral que afecta a las unidades del Aniso y Barroso Inferior.

El sistema de estructuración E-O con sus tensionales NE-SO, producto de evento extensional con sentido NNO-SSE que genera fracturas-fallas principalmente de rumbo E-O y que afecta principalmente a las unidades volcánicas del Aniso y Barroso Inferior, vendría a ser favorables para la circulación como para la precipitación de fluidos mineralizantes; como ejemplo tenemos los cuerpos de brecha en Crespo y vetas en Azuca con más de 60.8 Moz Ag eq de recursos.



		Cinemática propuesta:
1° Sistema	NNO	Transpresivo Sinistral
	NO	Transpresivo Sinistral
2° Sistema	NE	Transpresivo Dextral
3° Sistema	NS	Transtensivo Dextral
4° Sistema	EO	Transtensivo Sinistral
	ENE	Transtensivo Sinistral

Figura 4.6: Sistema de estructuración planteado para la región Huanzo.

4.4 Discusión sobre esfuerzos principales

En base a lo expuesto, se puede considerar que **el marco estructural de la región Huanzo** está representada por una serie de altos estructurales con fallamiento profundo e inverso, además fallamiento enmarcado en zonas transcurrentes tanto transpresivos como transtensivos; todo relacionadas a esfuerzos extensionales y compresionales. El eje principal de esfuerzos habría variado al igual que su intensidad y velocidad, principalmente desde fines del Cretácico hasta la actualidad, generando de esta manera la arquitectura estructural.

La posición de sistemas de esfuerzos planteados para la región Huanzo (Figura 4.16), desde el Cretácico Superior a la actualidad, consiste en:

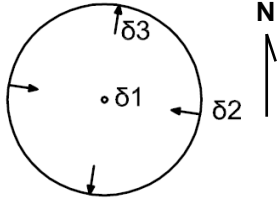
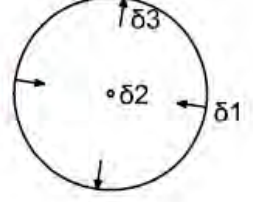
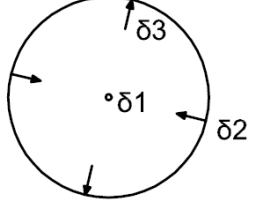
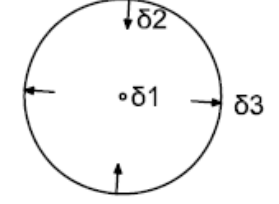
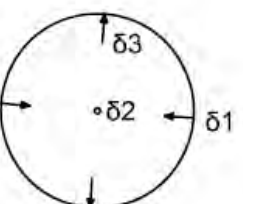
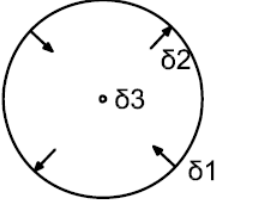
- Sistemas de esfuerzos compresivos, de componente compresional σ_1 en sentido NO, desarrollados probablemente en el Cretácico Superior y que ayudo al levantamiento y fallamiento inverso de las areniscas cuarzosas de la unidad Soraya, por otro lado la componente extensional σ_2 en sentido NE habría generado estructuras NO a NNO que actuaron como conductos favorables para el ascenso de los subvolcánicos de evento Tacaza. Coincidiría con la Fase Inca (INGEMMET, 1995).
- Sistemas de esfuerzos compresivos, de componente compresional σ_1 en sentido ONO y σ_3 en sentido NNO, desarrollados durante el Mioceno Inferior. Estos esfuerzos afectaron y habría participado del desarrollo del evento Tacaza ayudado al levantamiento y reactivación de fallas inversas. Coincide con los inicios de la Fase Quechua I (INGEMMET, 1995).
- Sistema de esfuerzos distensivos, de componente σ_1 en sentido vertical y σ_3 en sentido ONO, desarrollados durante el Mioceno Medio. Estos esfuerzos afectaron y habrían contribuido al desarrollo del evento Alpbamba mediante zonas de apertura NS a NNE. Desarrollándose entre la Fases Quechua I y II.
- Sistema de esfuerzos distensivos, de componente σ_1 en sentido vertical y σ_3 en sentido NNE, desarrollados durante el Mioceno Superior y Plioceno Inferior. Estos esfuerzos afectaron y habrían contribuido al desarrollo del evento Aniso y Barroso Inferior mediante zonas de apertura EO a NO. Coincidiría con eventos posteriores a la Fase Quechua II y finales de la Fase Quechua III.
- Sistema de esfuerzos compresivos, de componente σ_1 en sentido ONO y σ_3 en sentido ONO, desarrollados durante el Plioceno. Estos esfuerzos afectaron

y habrían contribuido al desarrollo del evento Barroso Superior mediante zonas de apertura EO a NO. Coincidiría con la prolongación de la Fase Quechua III y eventos compresivos entre 4.5 y 2 Ma, propuesto por Mercier et al. (1992).

- Sistema de esfuerzos distensivos, de componente σ_1 en sentido vertical y σ_3 en sentido NNE, desarrollados durante el Pleistoceno hasta la actualidad. Estos esfuerzos afectaron y habrían contribuido al desarrollo del evento Post Barroso mediante zonas de apertura NO a NNO.

El evento extensional de sentido NNE-SSO para su componente σ_3 y σ_1 en sentido vertical durante el Mioceno – Plioceno, genero fracturas y fallas de sentido EO a ONO favorables para circular y albergar fluidos mineralizados Ag-Au como ocurre en los cuerpos de brecha de Crespo y vetas de Azuca.

Autores como: Cassard et al. (2000), Mercier et al. (1992) y Echavarría et al. (2002), quienes desarrollaron diversos trabajos sobre el área de influencia regional del Huanzo, arribaron a resultados similares con respecto a la dirección de esfuerzos principales.

<p>Sistema de esfuerzos de tensión, en sentido NNO, durante el Pleistoceno hasta la actualidad, que afectó y contribuyó al desarrollo de la unidad Post Barroso.</p>	
<p>Sistema de esfuerzos compresivos, en sentido ONO, durante el Plioceno, que afectó y contribuyó al desarrollo de la unidad Barroso Superior.</p>	
<p>Sistema de esfuerzos tensionales prevalecientes durante el Mio-Plioceno, que afectó y contribuyó al desarrollo de las unidades Aniso (7-8 Ma) y Barroso Inferior (7.0-5.5 Ma). Además, generó fracturas y fallas de sentido EO favorables para la mineralización.</p>	
<p>Sistema de esfuerzos tensionales, en sentido ONO, prevalecientes durante el Mioceno Medio, que afectó y contribuyó al desarrollo de la unidad Alpabamba.</p>	
<p>Sistema de esfuerzos compresivos, en sentido NNO, durante el Mioceno Inferior. Esfuerzos, que afectó y contribuyó al desarrollo de la unidad Tacaza.</p>	
<p>Sistema de esfuerzos compresivos, en sentido NO, probablemente prevalecientes durante el Cretácico Superior y que afectó a la unidad Soraya.</p>	
<p>Figura 4.7: Modelo propuesto para la posición de sistemas de esfuerzos desde el Cretácico superior a la actualidad, en el ámbito de estudio - Región Huanzo.</p>	

CAPITULO 5: GEOQUÍMICA DE LOS VOLCÁNICOS CENOZOICOS

5.1 Muestreo Geoquímico

El muestreo se ha realizado teniendo en consideración que el material muestreado para análisis de roca total “whole rock” no debe presentar alteración hidrotermal ya que varía los contenidos de algunos elementos móviles como K, Mg, Ca, Na, Sr. Sin embargo, en ambientes volcánicos como es el caso de la zona de estudio, muchas rocas ígneas presentan por lo menos una débil alteración propilítica o argílica; en este caso, no fue posible obtener material inalterado por lo que se seleccionó el material de menor alteración. Hay elementos químicos como Ti, Zr, Y y las tierras raras (REE) que no son movilizados durante una débil o moderada alteración, estos elementos ayudan para la interpretación de rocas ligeramente alteradas.

Dentro las unidades litoestratigráficas, se ubicaron puntos representativos de muestreo geoquímico. Utilizando una “punta” y una “comba – 5 libras” de acero, se extrajo material. La cantidad dependió de la homogeneidad de la roca muestreada. Si la roca fue porfídica de grano grueso y/o anisótropa, bandeamiento de flujo por ejemplo, el volumen de muestra fue menor con aproximadamente 1 kilogramo de peso; en caso de rocas de grano muy grueso o heterogéneos se necesitara aún más material, entre 2 a 3 kilogramos. Para rocas piroclásticas, se extrajo preferentemente la pómez y se evitan los fragmentos líticos. Se recomienda no mandar a analizar tobas con una cantidad de fragmentos líticos mayor a 5-10%. En conclusión, la cantidad de muestra mínima de un fragmento de roca fue de 20 x 20 x 20 cm. Generalmente las muestras fueron fragmentadas en el campo en trozos de 2 cm³, la fragmentación se realizó sobre la misma roca fuente de la muestra para evitar contaminarla, además se retiró todas las patinas de alteración por intemperismo u oxidación, antes de colocarla en la bolsa de muestra. Se guardó en bolsas limpias de plástico, la numeración de la muestra fue registrada en tarjetas y escritos en la bolsa; además, se acompañó con una o dos muestras de mano para análisis petromineralográficos, con un volumen aproximado de 5 x 5 x 5 cm.

Es de resaltar que las muestras que se enviaron a laboratorio, estuvieron libres de caras meteorizadas y se evitaron en gran medida, las vetillas, xenolitos, cavidades rellenas con minerales secundarios u otras características que podían alterar su representatividad.

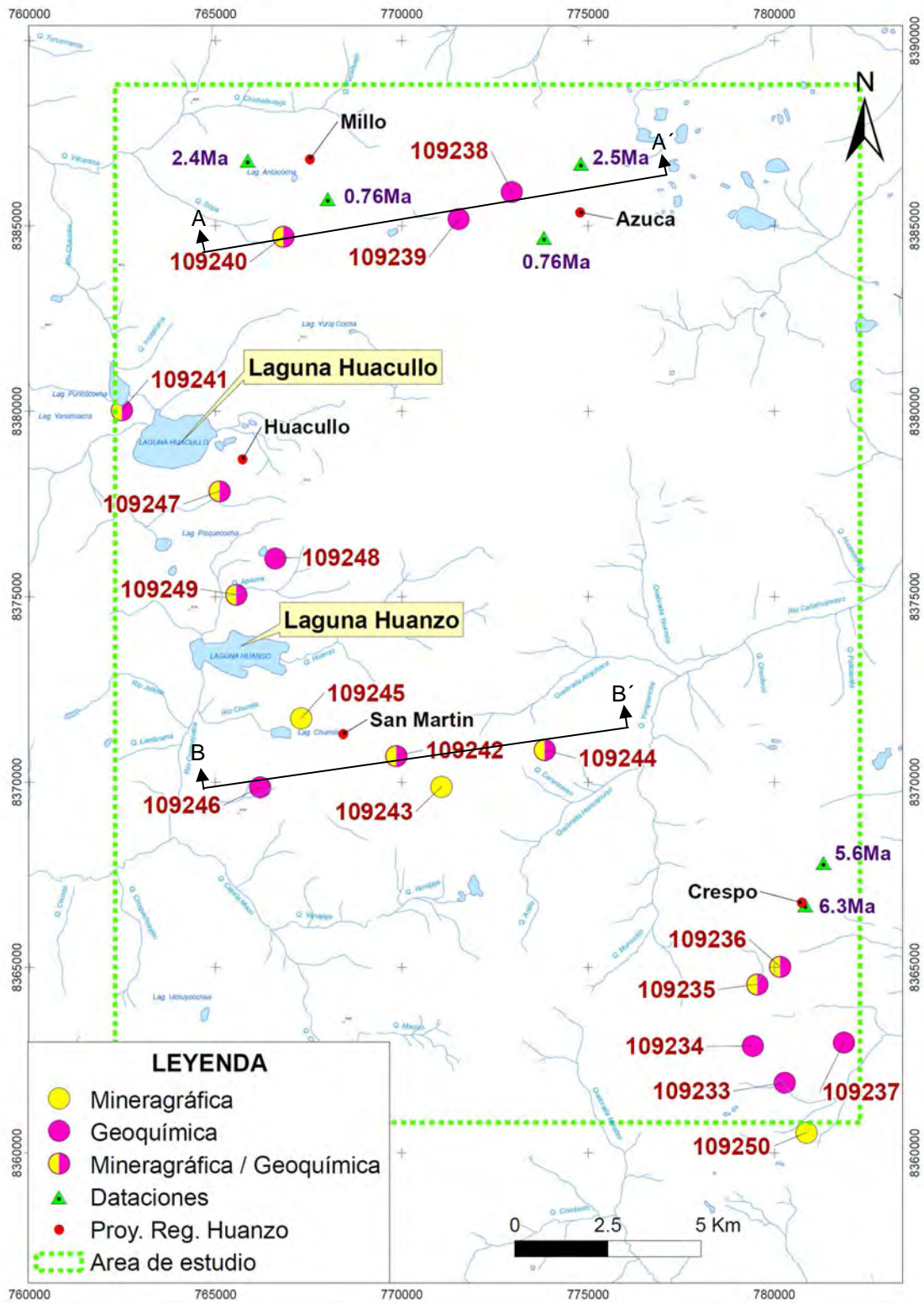


Figura 5.1: Ubicación de muestras extraídas del área de estudio.

5.2 Métodos Analíticos

Para el presente trabajo se envió a laboratorios de ALS Chemex - Perú, 15 muestras representativas del complejo volcánico de la región Huanzo, en donde se realizaron análisis geoquímicos de los elementos mayoritarios, trazas y tierras raras.

Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo II y fueron obtenidos sobre roca total usando el método ICP “Inductively Coupled Plasma”, espectrometría de plasma de acoplamiento inducido, para 13 elementos de tierras raras (REE) y se utilizó el método ICP – MS para 38 elementos trazas.

Complementariamente y para su comparación, se han agregado a los gráficos realizados en el presente trabajo, los datos de análisis geoquímicos realizados por INGEMMET (1993), INGEMMET (2003), Mamani & Ibarra (2000) y Cia. Minas Buenaventura (2003, en Quispe, 2004), sobre muestras del sur peruano y enmarcado en similar contexto geológico. Ver Anexo II, Tablas 4-7.

5.3 Geoquímica de los Elementos Mayoritarios

Las muestras de la región Huanzo, presentan valores en sílice, $\text{SiO}_2 > 58.10$ (peso de óxido, sin normalizar), por lo que según Peccerillo & Taylor (1976), las muestras de las unidades Barroso Inferior y Superior sería catalogado como rocas intermedias ($52\% < \text{SiO}_2 < 63\%$) y muestras de las unidades Tacaza, Alpabamba, Aniso y Post-Barroso como rocas ácidas ($\text{SiO}_2 > 63\%$).

El comportamiento geoquímico de los elementos mayores ha sido observado en los diagramas composicionales definidos como TAS, KS y AFM (Gráficos 5.2, 5.3 y 5.4).

5.3.1 Diagrama TAS

Las muestras analizadas fueron normalizadas al 100% en peso y ploteadas en el diagrama de contenido de SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%), con líneas clasificatorias de rocas según Le Maitre et al. (1989); permiten señalar que las rocas de las unidades Barroso Inferior y Superior son andesita a traquiandesita. Rocas de la unidad Tacaza varían entre traquidacita a dacita. Rocas de las unidades Alpabamba, Aniso y Post Barroso son riolitas. Se muestra en la Figura 5.2.

De igual modo, según Peccerillo & Taylor (1976), muestras de la unidad Tacaza, indican rocas ácidas cuyas concentraciones de SiO₂ van desde van de 67.77 a 70.17%. De la unidad Alfabamba, indican rocas ácidas con valores de SiO₂ entre 71.79 a 76.58%. De la unidad Aniso, indican rocas ácidas con SiO₂ entre 73.77 a 75.30%. Del Grupo Barroso, indican rocas intermedias con SiO₂ entre 59.16 a 62.65% y de la unidad Post-Barroso, indica rocas ácidas con SiO₂ entre 72.28 a 74.19%.

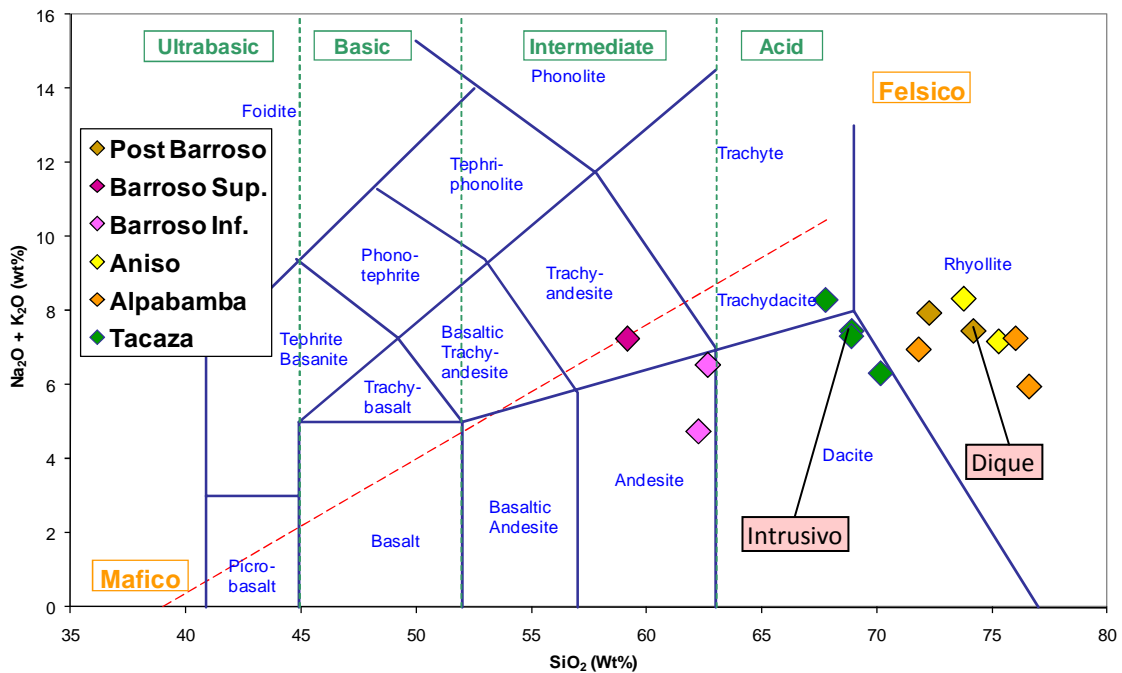


Figura 5.2: Diagrama de contenido de SiO₂ vs Na₂O + K₂O (wt%) con líneas clasificatorias según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean las muestras de la región Huanzo.

Del ploteo de las muestras de otros trabajos, se aprecia que:

El Tacaza (INGEMMET 2003) es más intermedia a básica, mientras que muestras del Tacaza de la región Huanzo son ácidas.

El Palca (Mamani & Ibarra, 2000) es de composición ácida, al igual que muestras del Alfabamba de la región Huanzo.

El Maure (INGEMMET 2003) es de composición ácida, al igual que muestras del Aniso de la región Huanzo.

El Sillapaca (INGEMMET 2003) y Grupo Barroso (Buenaventura 2003, en Quispe, 2004), son de composición intermedia a ácida, al igual que muestras del Barroso Inferior de la región Huanzo.

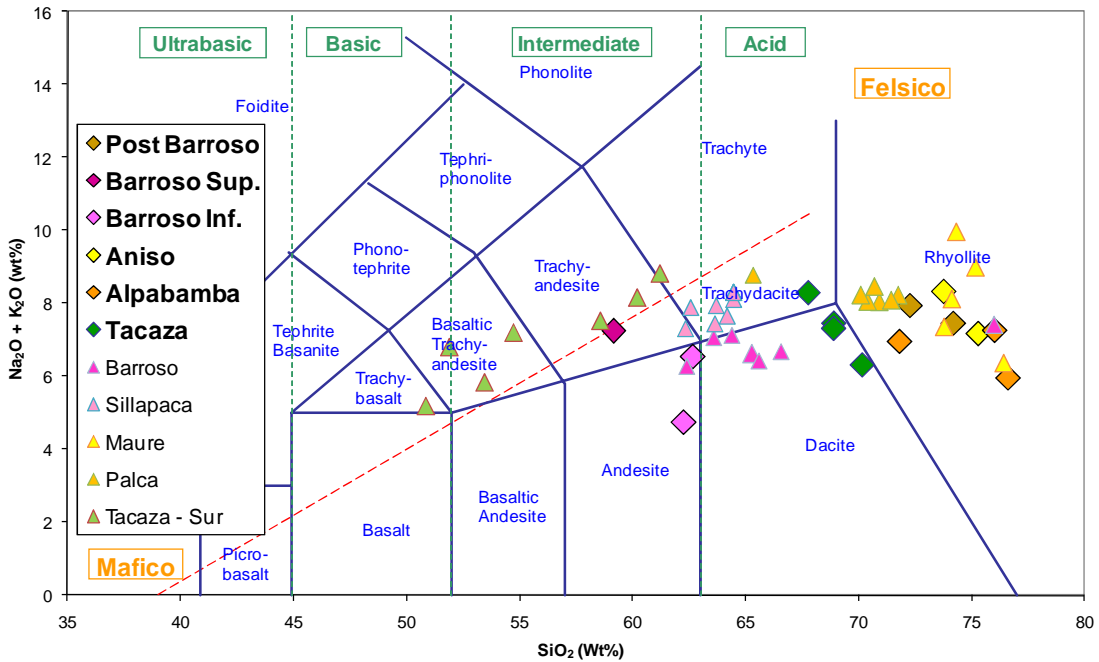


Figura 5.3: Diagrama de contenido de SiO₂ vs Na₂O + K₂O (wt%) con líneas clasificatorias según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

5.3.2 Diagrama KS

Las muestras también fueron ploteadas en el diagrama de contenido de K₂O versus SiO₂ (wt%), diagrama total álcalis (KS), con líneas que establece límites entre la serie magmática toleítica de bajo potasio, calco-alcalina de medio y alto potasio, y serie shoshonítica; propuesto por Le Maitre *et al.* (1989).

Se puede determinar que las concentraciones de K₂O en muestras de las unidades: Tacaza está entre 3.53 a 4.14%; del Alpabamba está entre 4.80 a 5.63%; del Aniso está entre 4.78 a 6.06%; del Barroso Inferior y Superior, entre 2.39 a 4.41% y del Post-Barroso entre 4.08 a 4.10%.

Estas muestras definen un serie calco-alcalina con “Alto” contenido de K₂O (wt%) para rocas de las unidades Tacaza, Barroso, Post Barroso y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica para rocas de las unidades Alpabamba, Aniso y Barroso Inferior. Se muestra en la Figura 5.4.

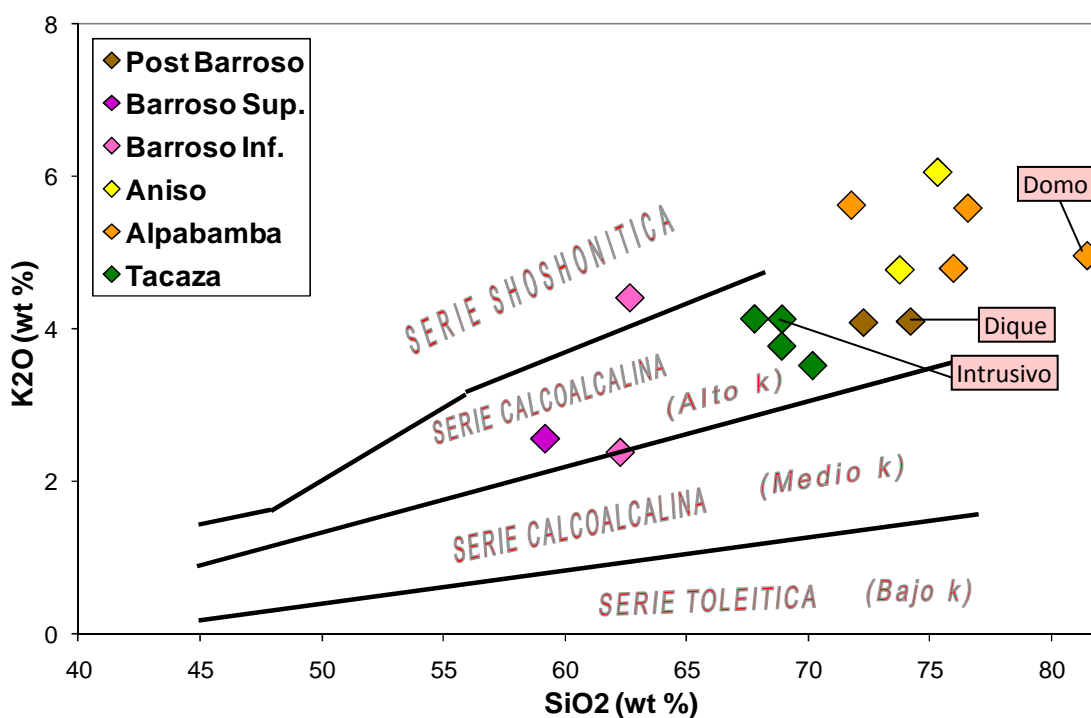


Figura 5.4: Diagrama de contenido de SiO_2 vs K_2O (wt%) con límites entre la serie shoshonítica, calcoalcalina y toleitica según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo.

Del ploteo de las muestras de otros trabajos, se aprecia que:

El Grupo Tacaza – sur, presenta concentraciones de K_2O (wt%) que van de 1.64% a 4.26% y define una serie calco-alcalina con “Alto” contenido de potasio, además tiene tendencia hacia las serie shoshonítica.

Los Grupos Palca, Sillapaca, Maure y Barroso, cuyas concentraciones de potasio varían entre 4.49 a 4.81%, 3.66% a 4.01%, 3.88% a 6.77% y 2.48 a 4.35%, respectivamente. Definen una serie calco-alcalina con “Alto” contenido de potasio, el Grupo Maure tiene ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.

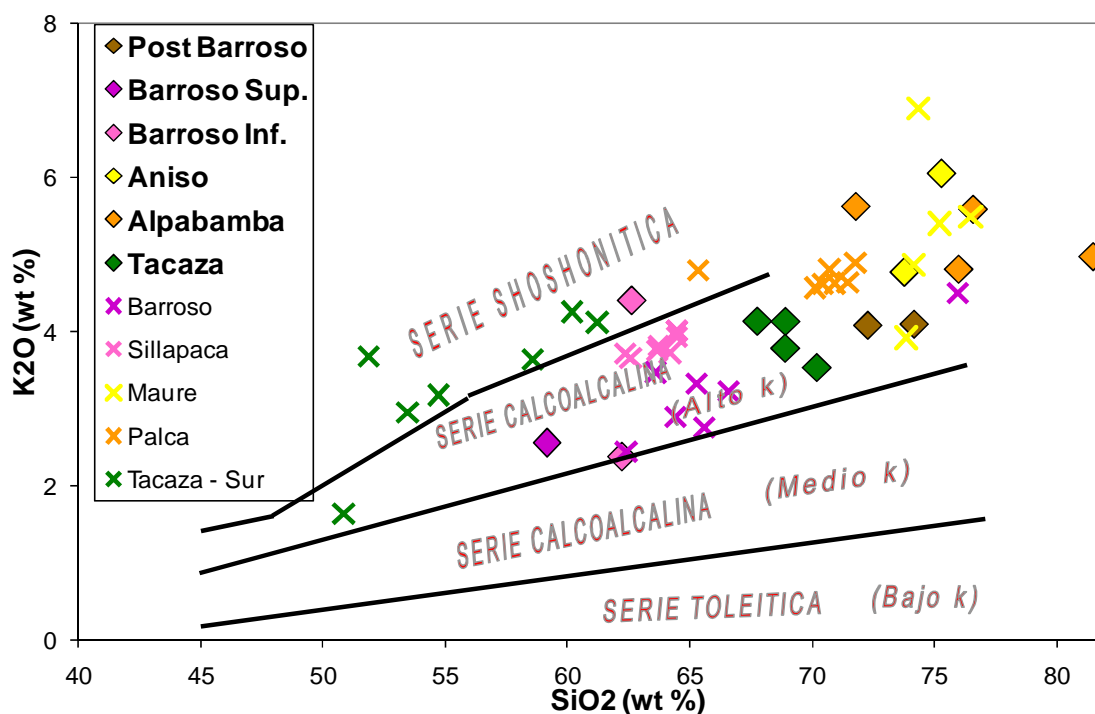


Figura 5.5: Diagrama de contenido de SiO_2 vs K_2O (wt%) con límites entre la serie shoshonítica, calcoalcalina y toleítica según Le Maitre *et al.* (1989), donde se plotean muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

5.3.3 Diagrama AFM

Las muestras ubicadas sobre el Diagrama AFM de Irvine y Baragar *et al.* 1971 (Gráfico 5.6), permite determinar la tendencia de evolución magmática a partir del magma inicial, en función de los contenidos total ($K_2O + Na_2O$), hierro total ($FeO + Fe_2O_3$) y magnesio (MgO); además muestra el límite entre serie toleítica y calcoalcalina.

Las muestras de la región Huanzo, permite mostrar una tendencia evolutiva calcoalcalina de su magmatismo. Teniendo mayor evolución magmática, las rocas félsicas de las unidades Alpacamba, Aniso y Post-Barroso; contrariamente, las rocas intermedias de las unidades Barroso Inferior y Barroso Superior, muestran evolución moderada.

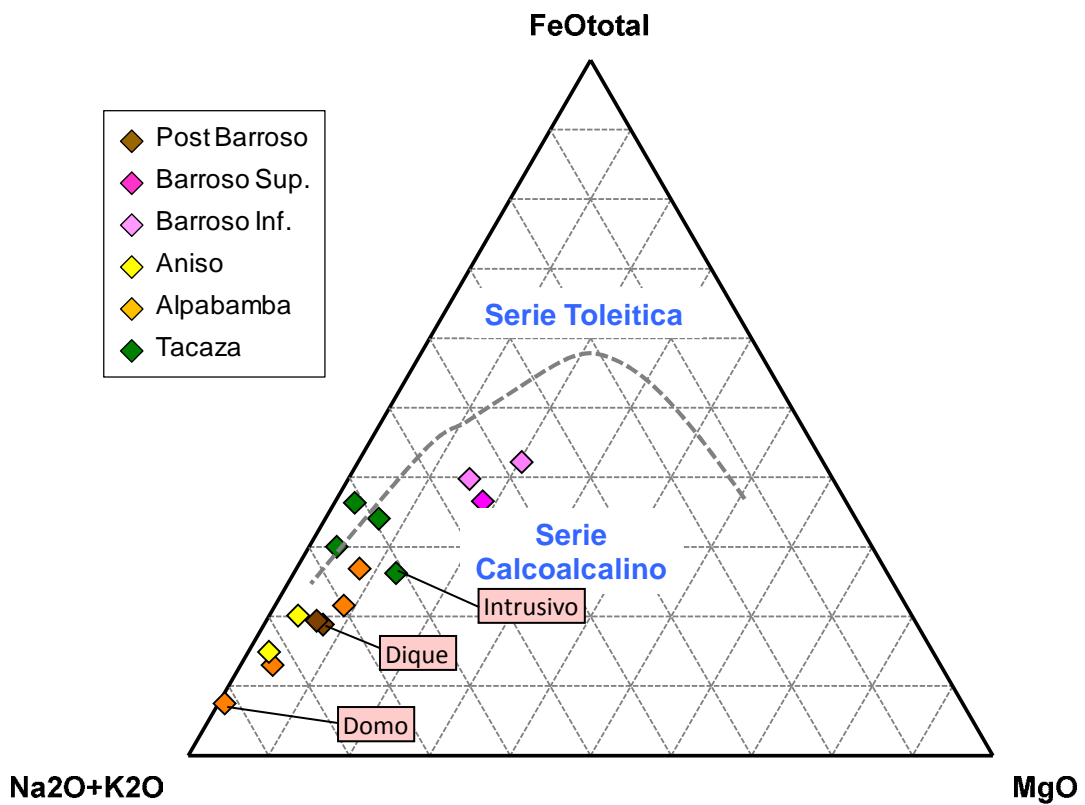


Figura 5.6: Diagrama AFM de Irvine y Baragar *et al.* (1971), muestra el límite entre campos toleíticos y calcoalcalino. Se plotean las muestras de la región Huanzo.

Del ploteo de las muestras de otros trabajos (Figura 5.7), también se aprecia una tendencia evolutiva calcoalcalina de su magmatismo. Teniendo mayor evolución magmática, las rocas félsicas de las unidades Palca y Maure; contrariamente las rocas intermedias y ácidas, de las unidades Tacaza y Barroso muestran evolución moderada. Se plantea que las muestras de la unidad Tacaza de la región Huanzo tienen mayor evolución magmática en comparación con las muestras de la unidad Tacaza ubicadas en el sectores de Arequipa y Puno.

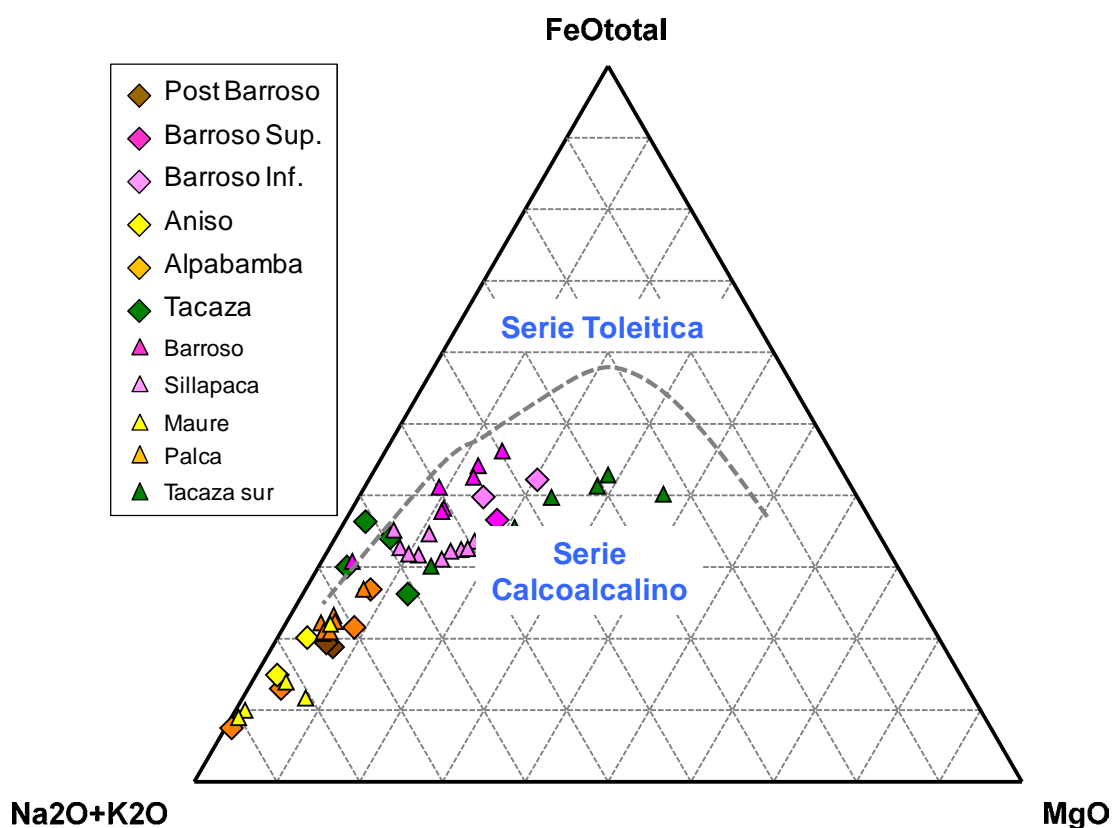


Figura 5.7: Diagrama AFM de Irvine y Baragar *et al.* (1971), muestra el límite entre campos toleíticos y calcoalcalino. Se plotean las muestras de la región Huanzo y otras del sur peruano.

5.4 Análisis de elementos Traza

Los elementos traza son aquellos que ocurren en concentraciones inferiores a 0.1% en peso de la roca (1000 ppm); estos elementos suelen ser mejores indicadores petrológicos que los elementos mayores. Los elementos traza se presentan como sustituciones de elementos mayores en los minerales principales o como impurezas químicas en los intersticios moleculares de los mismos. Determinar la variación de elementos traza, indican características petrogenéticas de rocas ígneas.

Las muestras obtenidas de la región del Huanzo, fueron normalizadas a valores del Manto Primitivo según Sun y McDonough (1989) para luego ser ploteadas sobre diagrama “spider”. Ver Gráfico 5.8.

Las rocas de la unidad Tacaza muestran un enriquecimiento en Rb, Ba, Th, U y mayor empobrecimiento en Cs; además un bajo empobrecimiento en Sr y Eu.

Las rocas de la unidad Alfabamba, muestran un enriquecimiento en Cs, Rb, Th y U; además una mayor empobrecimiento en Ba, Sr y Eu.

Las rocas de la unidad Aniso, muestran mayor empobrecimiento en Ba, Sr y Eu.

Las rocas de la unidad Barroso Inferior, muestran un enriquecimiento en Cs, Rb, Ba, Th y U; además un débil enriquecimiento en Sr y débil empobrecimiento en Eu.

La roca de la unidad Barroso Superior, muestran un mayor empobrecimiento en Cs y enriquecimiento moderado en Rb, Ba, Th y U; además un débil enriquecimiento en Sr y Eu.

Las rocas de la unidad Post Barroso, muestran un enriquecimiento en Cs, Rb y Th, moderado empobrecimiento en Ba y mayor enriquecimiento en U; además una débil disminución en Sr y Eu.

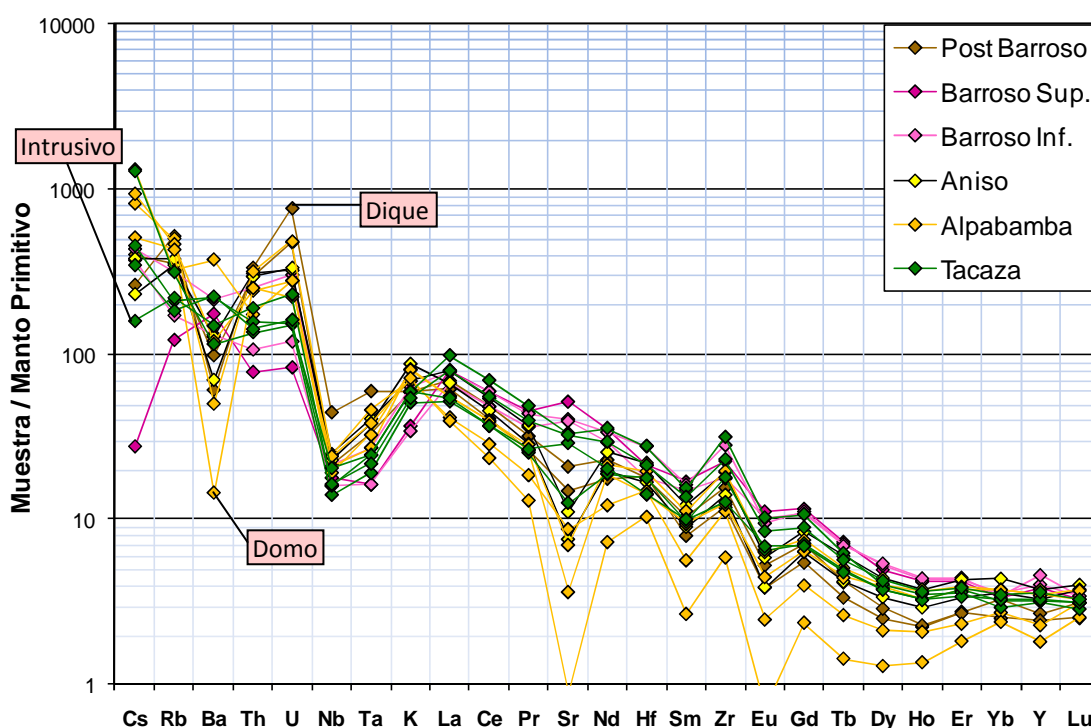


Figura 5.8: Diagrama “spider” de elementos traza y tierras raras (REE), con muestras de la región Huanzo; normalizados al manto primitivo según Sun & McDonough *et al.* (1989).

Interpretación: Los elementos traza en rocas del vulcanismo Tacaza, Barroso Inferior y Post Barroso muestran un alto contenido en Cs, Rb, Th, U y un bajo empobrecimiento en Sr y Eu, estas evidencias indican, según Thompson *et al.*

(1984), que provienen de un magmatismo más diferenciado; mientras que las muestras de del vulcanismo Alfabamba y Aniso presentan una mayor disminución en Sr y Eu lo que sugiere un alto régimen de diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa; la roca analizada del Barroso Superior muestra un comportamiento contrario a las anteriores, con fuerte disminución de Cs y sin empobrecimiento de Eu, lo que indica que proviene de un magmatismo menos diferenciado. Asimismo, el enriquecimiento en Cs – Rb y disminución de Nb y Eu en todas las unidades a excepción del Barroso Superior indica según Sun y McDonough (1989), posible contaminación de corteza por adición de sedimentos.

5.4.1 Características de corteza

En base a los patrones de elementos traza, como la razón de La/Sm que es sensible al fraccionamiento de plagioclasa (Mamani et al., 2010), asociado a tierras raras ligeras y la razón Sm/Yb asociados a tierras raras pesadas (HREE), este último indica minerales residuales en el magma según Kay et al. (1999). Se puede inferir el espesor de corteza en la que se originó el magmatismo.

Las muestras analizadas, indican valores de Sm/Yb mayores a 3 para las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior. Valores de Sm/Yb menores a 3 y valores de La/Sm mayores a 5, para las unidades Alfabamba y Aniso. Ver Figura 5.9.

Sobre el diagrama propuesto por Kay et al. (1999), las razones de Sm/Yb mayores a 3 para las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior, indican la presencia de anfíboles y granates residuales en equilibrio con el magma que sugiere un aumento de presión por engrosamiento de corteza, entre 40 y 60 km para el sector de estudio, según modelo propuesto por Mamani et al. (2010). Esto coincide con el marco tectónico de características compresionales.

Las razones de Sm/Yb con valores menores a 3 en las unidades Alfabamba y Aniso, indican presencia de clinopiroxenos residuales en equilibrio con el magma lo que estaría relacionado a un menor engrosamiento de corteza, menor a 40 km; esto coincide con periodos distensivos durante el Mioceno y explicados en el Capítulo 4 del presente estudio, además coincidiría con periodos distensivos cortos durante el Cenozoico propuestos en INGEMMET (1995) y Cassard et al. (2000).

Las razones de La/Sm mayores a 5 en rocas ácidas del Alfabamba y Aniso indican, según Mamani et al. (2010), una mayor sensibilidad al fraccionamiento de plagioclasa y relacionada a un magmatismo más diferenciado.

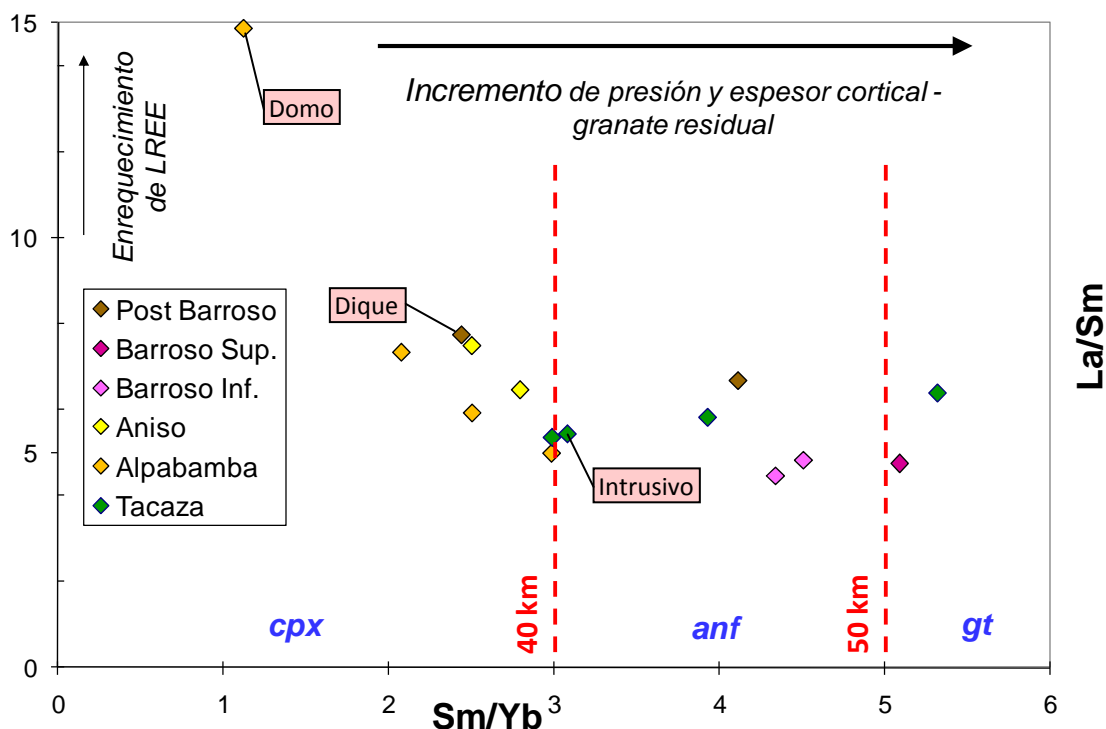


Figura 5.9: Diagrama La/Sm vs. Sm/Yb, la razón Sm/Yb indica minerales residuales en el magma (Kay et al., 1999). Con muestras de la región Huanzo.

5.4.2 Discriminación del Ambiente Tectónico

De acuerdo a las características de los elementos traza, se diseñaron diagramas que ayudaran a caracterizar el ambiente tectónico del cual se originaron las rocas volcánicas de la región Huanzo; además se realiza comparaciones con resultados de otros estudios sobre rocas de igual contexto geológico.

Según el diagrama discriminante Rb versus (Y + Nb) de Pearce et al. (1984) de la Figura 5.10, las rocas estudiadas se ubican en el campo de los granitos de arco volcánico (“*Volcanic arc granite*”, VAG) en transición al campo de granitos sincolisionales (syn-COLG). Se interpreta que estas rocas volcánicas cenozoicas adquirieron la signatura de granitos de arco volcánico, debido a que se habrían formado a partir de un manto litosférico enriquecido por procesos de subducción.

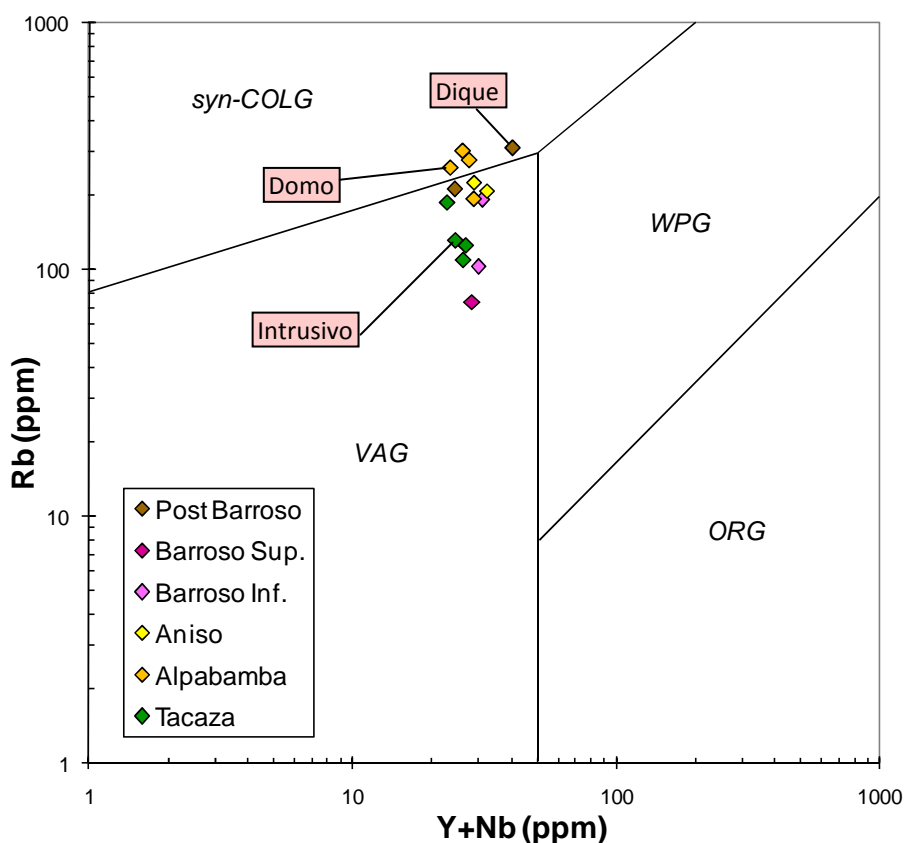


Figura 5.10: Diagrama Rb vs. Y+Nb, con campos de: granitos sincolisionales (syn-COLG), granitos de arco volcánico (“*Volcanic arc granite*”, VAG), intraplaca (“*Within Plate Granite*”, WPG), de dorsales oceánicas (ORG). Por Pearce et al. (1984).

5.5 Rol hidrotermal de los magmas

Luego de haber definido magmatismos de diferenciación variada (andesítica, traquiandesítica, dacítica, traquidacítica y riolítica) para los eventos volcánicos de la región Huanzo, es de interés saber si estos diferentes procesos magmáticos han dado origen a fases fluidas hidrotermales y que pueden concentrar iones metálicos.

Para definir esto, primero determinamos la saturación de alúmina mediante la relación del ratios $A/CNK = (Al_2O_3 / 101.96) / [(CaO / 56.08) + (Na_2O / 61.98) + (K_2O / 94.20)]$ propuesto por Maniar y Piccoli (1989), en donde valores mayores a 1 estarían relacionados a magmas con fases menos fluidas.

Por otro lado, determinamos el grado de sulfuración (*) mediante las variaciones de concentraciones en metales como Pb, Zn y Cu respecto a su abundancia promedio “background”, para nuestro caso mayor a 98.93, Barnes (1997, en Quispe, 2004).

Nº Muestra	Unidad	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cu+Zn+Pb ppm
109240	Post Barroso	5	53	20	78
109238	Post Barroso	9	38	21	68
109234	Barroso Sup.	53	104	11	168
109239	Barroso Inf.	18	155	19	192
109249	Barroso Inf.	27	102	15	144
109235	Aniso	42	42	13	97
109236	Aniso	2.5	46	21	69.5
109237	Alpabamba	2.5	35	26	63.5
109242	Alpabamba	7	46	21	74
109244	Alpabamba	2.5	66	17	85.5
109248	Alpabamba	2.5	13	23	38.5
109233	Tacaza	26	50	14	90
109241	Tacaza	8	74	21	103
109246	Tacaza	16	71	23	110
109247	Tacaza	13	74	16	103
Media (M)		15.60	64.60	18.73	98.93
Desviacion Estandar (Ds)		15.40	34.99	4.23	41.12
M+Ds		31.00	99.59	22.97	140.05

Cuadro 5.1: Indicadores estadísticos de elementos de metales base.

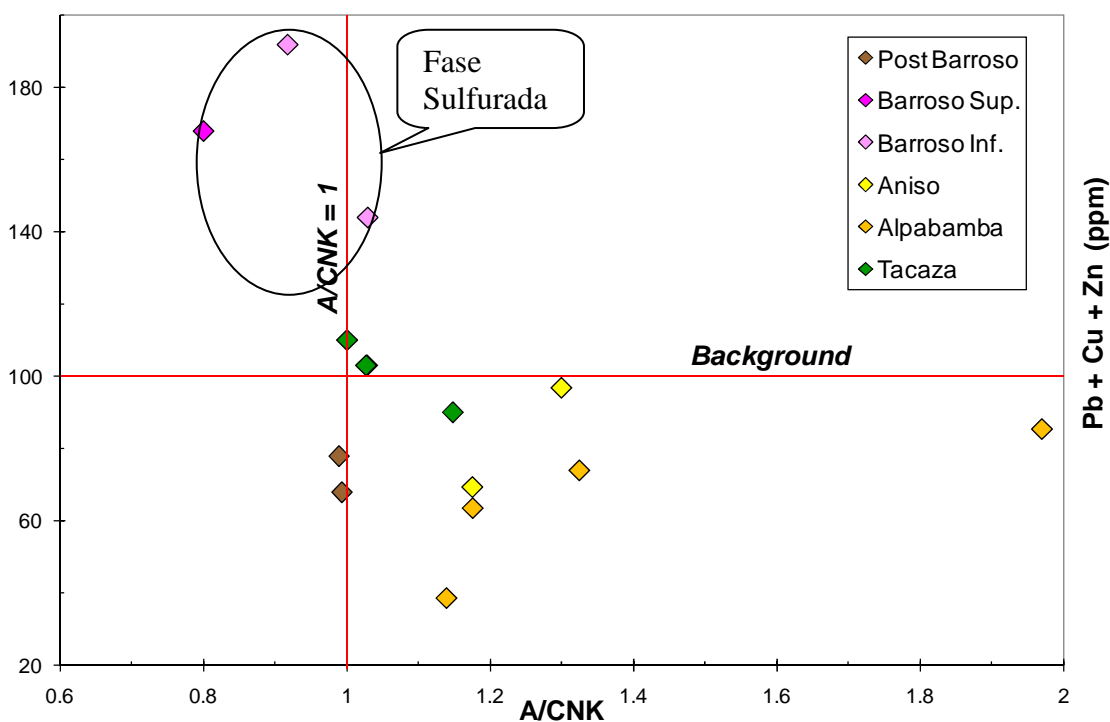


Figura 5.11: Diagrama A/CNK versus Pb+Cu+Zn, para diferenciar fases fluidas de fases sulfuradas, por Barnes (1997, en Quispe 2004).

La comparación de estas razones (Figura 5.11) indican que los magmas que dieron origen a rocas volcánicas del Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) y Barroso

Superior (5.5 a 1.1 Ma) habrían desarrollado fases más fluidas con capacidad de formar fases sulfuradas; esto coincide con la época metalogénica Mio-Pliocénica en donde se ubican los depósitos epitermales de sulfuración intermedia con mineralización de Ag-Au como Crespo (Ponce et al., 2010) y Azuca (Palacios C. et al., 2011), dentro de la región Huanzo.

(*) El término de estado de sulfuración se emplea de forma análoga al de estado de oxidación, descrito por Barton (1970); además, se ha establecido un marco de referencia para el estado de sulfuración en función de la temperatura y la fugacidad de S_2 (Einaudi et al., 2003), principalmente en depósitos epitermales de ambientes volcánicos. Bajo el planteamiento descrito relacionamos el contenido de metales base con el de sulfuros asumiendo su estado de sulfuración favorable.

5.5.1 Elementos metálicos en las unidades volcánicas

Se encuentra variabilidad en algunos contenidos de Cu, Pb y Zn, en donde el Zn contiene valores de 104 y 155 ppm que vienen a ser anómalos, considerando un 99.59 ppm (ver cuadro 5.1) como límite inferior de anomalía.

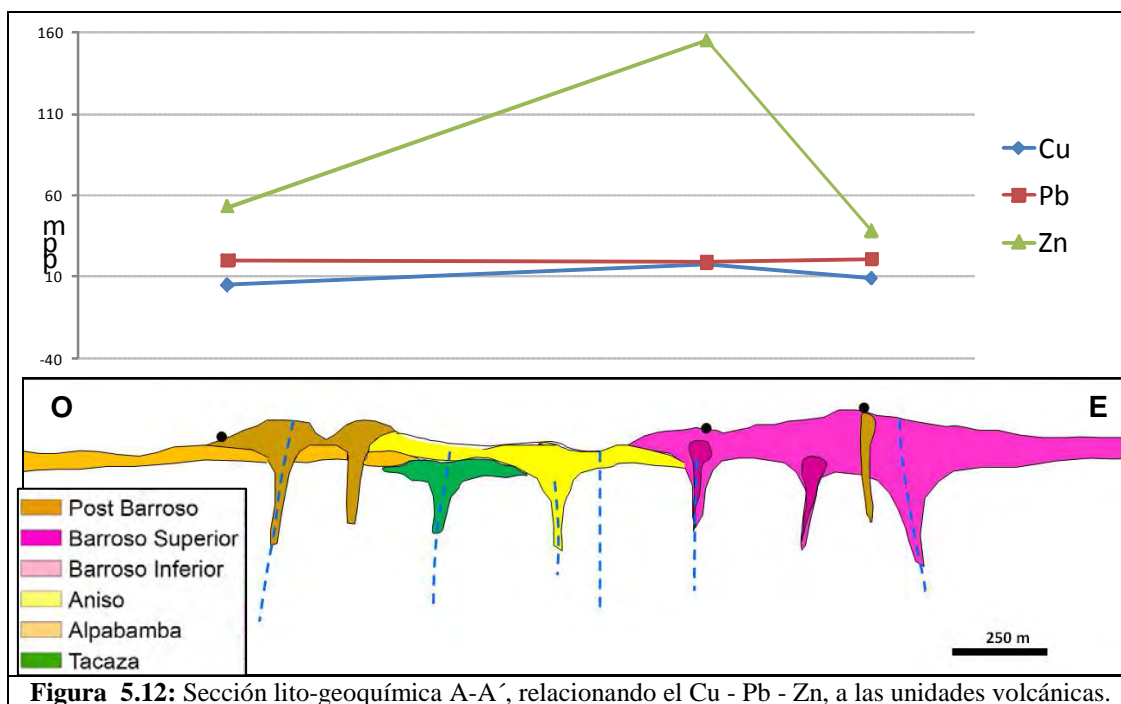


Figura 5.12: Sección lito-geoquímica A-A', relacionando el Cu - Pb - Zn, a las unidades volcánicas.

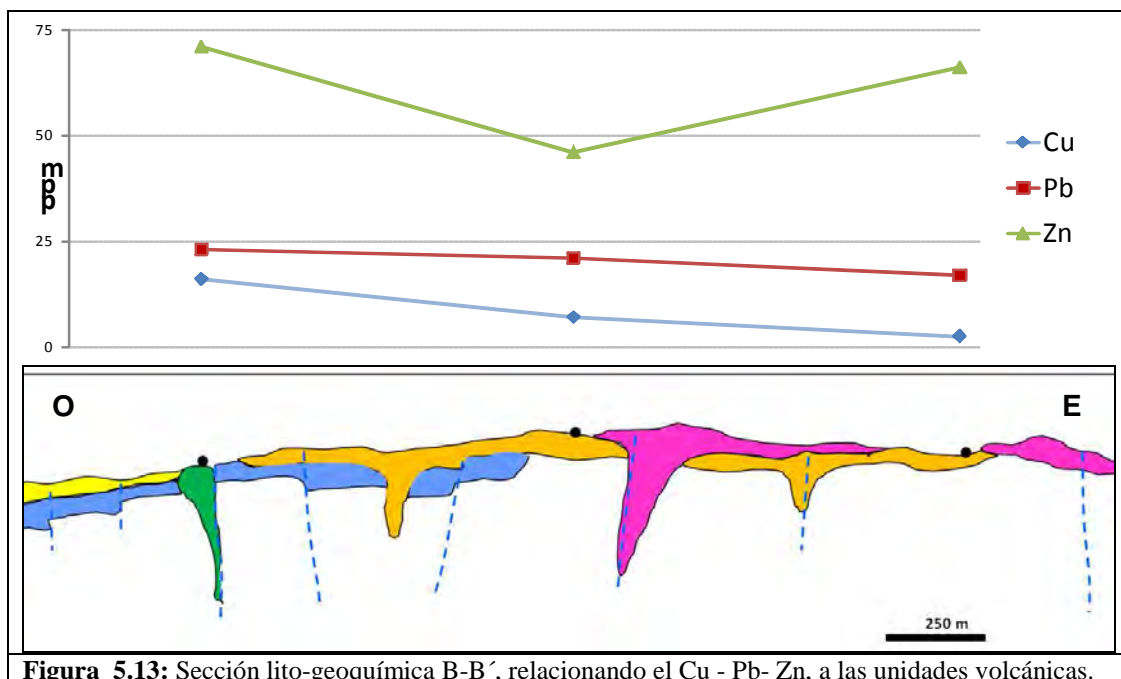


Figura 5.13: Sección lito-geoquímica B-B', relacionando el Cu - Pb - Zn, a las unidades volcánicas.

Las rocas con valores anómalos de Zn, se encuentran en la unidad del Barroso Inferior, y lo podemos visualizar en las secciones litológicas y geoquímicas representativas (Figura 5.12 y 5.13).

5.5.2 Elementos traza asociados a elementos metálicos

En base al índice de correlación Pearson que nos permite establecer la comparación matricial de dos variables (Beach & Tarney, 1978), cuyos valores del índice de correlación varían entre 0 y ± 1 . El valor 0 implica una distribución con alta dispersión, sin una notoria relación entre ambas variables; un valor de +1, implica buena relación entre las variables, por el contrario, un valor de -1, implica un estado de relación indirecta.

Para nuestro análisis, sólo nos interesa pares con alta correlación mayores a +0.7 y alta correlación inversa, menores a -0.7; por medio de esta discriminación podemos organizar ternas en diagramas triangulares, en la que un par tenga buena correlación de un signo y los otros dos pares tengan buena correlación del otro signo.

Las muestras sobre el diagrama triangular Cu-Pb-V, indican que mientras hay una disminución de Cu y Pb se tiene un incremento de V, principalmente en rocas de las unidades Barroso Inferior y Tacaza. (Figura 5.15).

Las muestras sobre el diagrama triangular Cu-Pb-Co, indican que mientras hay una disminución de Pb, se tiene un incremento de Cu, ambos relacionados a un incremento de Co, principalmente en rocas de las unidad Barroso Inferior. (Figura 5.16).

En base a lo expuesto, se determina una relación inversa entre de los elementos metálicos de Cu y Pb, con los metales de transición de Co y V.

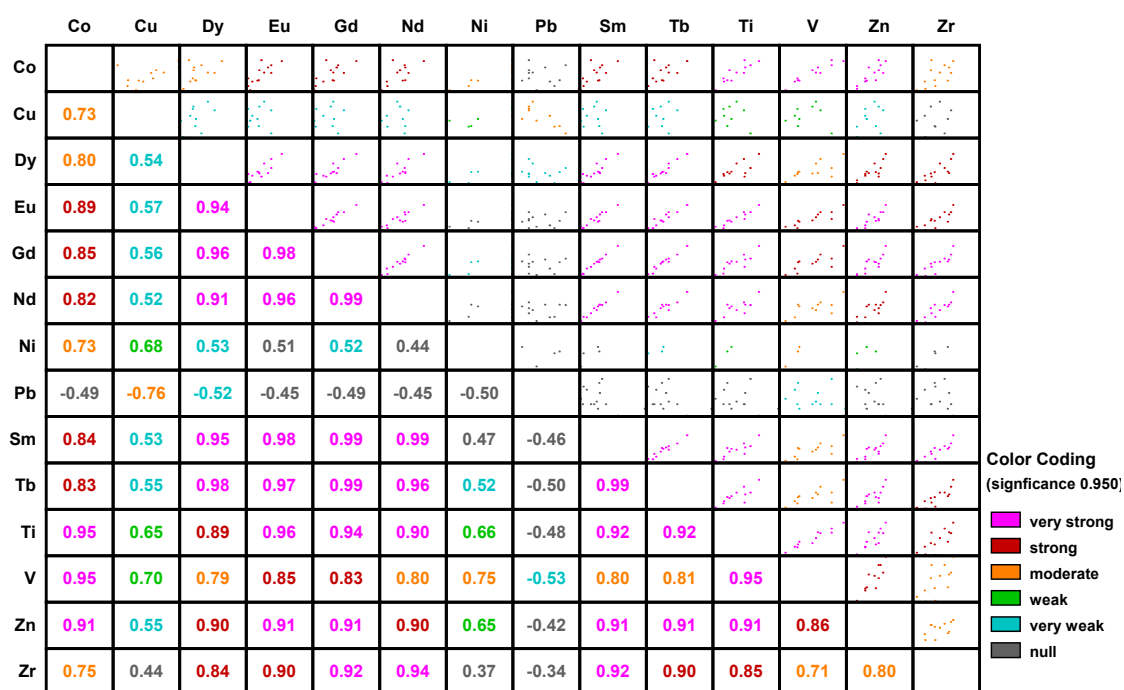


Figura 5.14: Diagrama con las correlaciones más resaltantes, en las muestras de la región Huanzo.

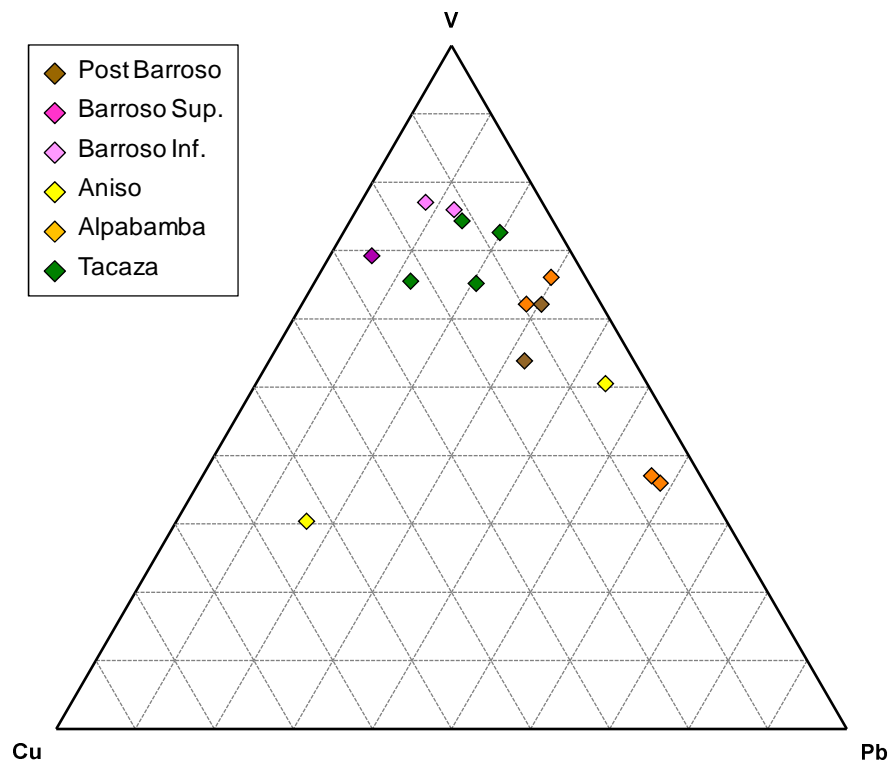


Figura 5.15: Diagrama ternario Cu-Pb-Zn.

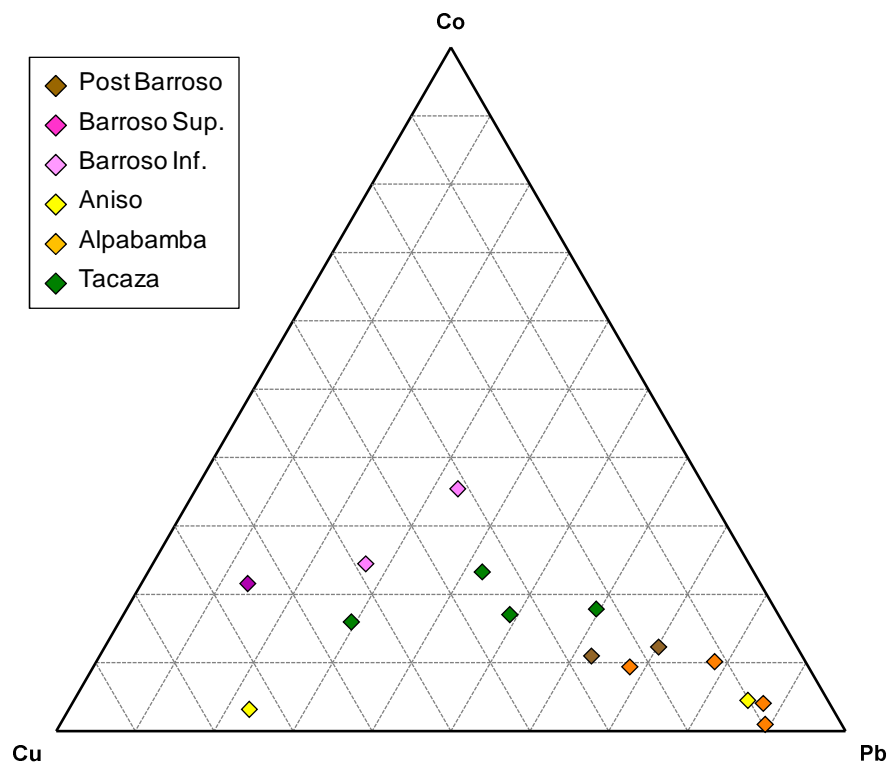


Figura 5.16: Diagrama ternario Cu-Pb-Co.

5.6 Conclusiones e Interpretación

Según lo discutido y mostrado en los párrafos previos, los resultados químicos de muestras de roca, dentro de la región Huanzo, son interpretados como:

- Rocas de las unidades Barroso Inferior y Superior son andesitas a traquiandesitas, rocas de la unidad Tacaza varían entre traquidacita a dacita, además, rocas de las unidades Alpabamba, Aniso y Post Barroso son riolitas.
- Se define una serie calco-alcalina con “Alto” contenido de potasio para rocas de las unidades Tacaza, Barroso, Post Barroso y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica para rocas de las unidades Alpabamba, Aniso y Barroso Inferior.
- Se define una tendencia evolutiva calcoalcalina del magmatismo que origina los diferentes eventos volcánicos. Teniendo mayor evolución magmática, las rocas félsicas de las unidades Alpabamba, Aniso y Post-Barroso; contrariamente, las rocas intermedias de las unidades Barroso Inferior y Barroso Superior, muestran evolución moderada.
- Se plantea que las muestras de la unidad Tacaza de la región Huanzo tienen mayor evolución magmática en comparación con las muestras de la unidad Tacaza ubicadas en los sectores de Puno y este de Arequipa.
- La variación de los elementos traza en rocas del vulcanismo Tacaza, Barroso Inferior y Post Barroso indican que provienen de un magmatismo más diferenciado; mientras que la variación de los elementos traza de las muestras de del vulcanismo Alpabamba y Aniso sugiere un alto régimen de diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa; asimismo, la roca analizada del Barroso Superior indica un comportamiento contrario a las anteriores e indica que proviene de un magmatismo menos diferenciado.
- Se sugiere que los magmatismos que desarrollaron el vulcanismo de la región Huanzo a excepción del Barroso Superior; habría sufrido contaminación de corteza por adición de sedimentos. Esta excepción es contradictoria, ya que el Barroso Superior se habría desarrollado en una corteza gruesa y en donde estaría propensa a la contaminación de niveles del basamento.
- La variación de los ratios de elementos traza, indican un engrosamiento de corteza, entre 40 y 60 km, cuando se desarrolló los magmatismos relacionados al vulcanismo de las unidades Tacaza, Barroso Inferior y

Superior. Esto coincide con el marco tectónico de características compresionales. Asimismo, indican un engrosamiento de corteza menor a 40km, para los magmatismos de las unidades Alpabamba y Aniso; esto coincide con periodos distensivos durante Mioceno.

- Se interpreta que el magmatismo de las rocas volcánicas, se habría formado a partir de un manto litosférico enriquecido por procesos de subducción adquiriendo la signatura de granitos de arco volcánico.
- Los magmas que dieron origen a rocas volcánicas del Barroso Inferior y Barroso Superior, habrían desarrollado fases más fluidas con capacidad de formar fases sulfuradas; esto coincide con la época metalogénica Mio-Pliocénica en donde se ubican los depósitos epitermales de sulfuración intermedia con mineralización de Ag-Au como Crespo y Azuca, dentro de la región Huanzo.

CAPITULO 6: DISCUSIONES

6.1 Evolución tectónica en la franja volcánica cenozoica

6.1.1 Marco tectónico regional

Trabajos realizados por McKee y Noble (1982) y Benavides & Cáceres (1999) indican que la geología histórica implica un complejo registro de acreciones, colisiones y subducción de diferentes tipos de corteza oceánica, éstos crearon una complicada segmentación, donde la tectónica, magmatismo y procesos sedimentarios cambiaron a través del tiempo y espacio; además formaron las características de las provincias morfo-estructurales mayores, vista actualmente en los andes.

De igual modo, Palacios O. (1994), Megard (1987), Noble & McKee (1991), mediante el estudio estructural y litoestratigráfico, reconocieron fases compresivas relacionados a diversos ciclos orogénicos, como la fases Inca (Eoceno), Quechua 1 (17-14 Ma), Quechua 2 (10-9 Ma) y Quechua 3 (7-6 Ma).

Es de resaltar que el magmatismo-vulcanismo cenozoico muestra un drástico cambio que correlaciona con la flexión de Abancay. Al sur de esta flexión, que engloba a la región Huanzo, posee características evolutivas distintas respecto al norte; tanto en estilo de subducción, tectonismo y desarrollo de vulcanismo (Echavarría et al., 2006).

Para nuestro estudio tomamos como base, las fases compresivas Quechua 1, 2 y 3, que afectaron a la evolución del magmatismo - vulcanismo de la Región Huanzo.

6.1.2 Marco tectónico de la región Huanzo

El marco Geológico-Tectónico Regional de la región Huanzo, se ubica en la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes de Sudamérica, que engloba al arco magmático Cenozoico del sur peruano y se evidencia por la presencia de secuencias volcánicas ligadas a una intensa actividad explosiva y efusiva de edad Cenozoica y que es la característica geológica dominante del área de estudio. Asimismo, el vulcanismo desarrollado en esta franja, forma parte del corredor metalogenético Puquio – Caylloma propuesto por Fornari & Vilca (1979) y Carlotto et al., (2009) donde se ubican minas de Ag-Au en operación como Arcata 5.4 Ma (Candiotti et al., 1990), Ares 12.5 Ma (Candiotti et al., 2005) y Caylloma 18.3 Ma (Echavarría et al., 2006), además proyectos de exploración avanzado como Crespo

6.3±0.1 a 5.6 ±0.1 Ma (Ponce et al., 2010) y Azuca. Lo que demuestra que el volcanismo imperante, resultan en la generación de sistemas hidrotermales relacionados a depósitos epitermales, principalmente vetiformes de sulfuración intermedia y baja; además, las rocas volcánicas genéticamente relacionadas a estos depósitos minerales son rocas calco-alcalinas, andesíticas a riolíticas.

6.2 Litoestratigráfica

Los antecedentes geológicos, se documentaron con los trabajos realizados por Palacios O. (1994) y Salas et al. (2001), conformada por lavas y rocas piroclásticas - volcanoclásticas de composición intermedia a ácida y filiación calco – alcalina, típica de márgenes continentales activos (Klink et al., 1986) que reposan discordantemente sobre rocas sedimentarias de edad Cretácica. Es de resaltar que las unidades litológicas reconocidas y descritas, fueron definidas por criterios litoestratigráficas regionales y no por estudios enfocados a su génesis.

Entre los años 2008 y 2010, los geólogos de la gerencia de exploraciones “greenfield” de Cia. Minera Ares S.A.C. realizaron trabajos de exploración geoeconómica, donde se identificó y delimitó secuencias litoestratigráficas, estructurales, alteración y mineralización; se puso mayor énfasis sectores prospectivos como Azuca, Crespo, Huacullo y San Martín.

Formación Soraya (Cretácico Inferior), Pecho (1981) indica que esta unidad está constituida por secuencias de cuarcitas, que morfológicamente forman prominentes crestas. En el área de estudio, se reconoció areniscas cuarzosas con moderado plegamiento que se expone a manera aislada sobre altos estructurales y limitados por fallas NNO, correlacionable con la Formación Soraya y equivalente de la Formación Hualhuani del Grupo Yura.

Grupo Tacaza (Mioceno Inferior), descrita por Palacios O., (1994) como paquetes aglomerados de tobas con matriz de ceniza fina e intercalaciones de lavas andesíticas que alternan con areniscas tobaceas. En el área de estudio, se reconoció en la base, predominio de flujos piroclásticos de brechas matriz sostenida, líticos de rocas lávicas de textura porfiritica y matriz pumicea; al techo se reconocieron niveles lávicos de textura porfiritica gruesa con grandes cristales de plagioclasa y hornblenda. En base a la geoquímica, son rocas de composición dacita a traquidacita.

Mamani et al. (2010) lo ubican entre 30 a 24 Ma y relacionan al denominado arco magmático del Tacaza. Para la región Huanzo, se propone que el evento Tacaza se desarrolló entre 22 y 18 Ma en base a dataciones en el área de Orcopampa, a 50km sur de Huanzo, en donde Swanson et al. (1993) y Noble (1972) reportaron 20 y 19.4 Ma (método K/Ar) en tobas relacionadas al vulcanismo Tacaza; siendo recomendable realizar dataciones en el área de estudio para confirmar esta propuesta.

Formación Alpabamba (Mioceno Medio), descrita por Caldas (1993) en el sector norte del cuadrángulo de Orcopampa; Palacios O. (1994) indica que su litología es variable y esta compuestas por ignimbritas de composición riolítica, latítica y dacítica. En el área de estudio, se reconoció potentes flujos piroclásticos no soldados y de escasos líticos en la base, con fragmentos de pómez, cristales de cuarzo y feldespato; coronado por flujos de lava hacia el techo. En base a la geoquímica, son rocas de composición riolítica.

Se propone para la región Huanzo que el evento Alpabamba se desarrollo entre 13 a 10 Ma, en base a dataciones (método k/Ar) del ámbito distrital en el cuadrángulo de Orcopampa, realizados por Noble (1972).

Formación Aniso (Mioceno Superior), las secuencias volcanoclásticas retrabajadas y flujos piroclásticos que sobreyacen erosionalmente al vulcanismos Alpabamba, ha sido nombrado como Fm. Sencca por Palacios O. (1994), en la zona de estudio. Sin embargo, tomando en consideración las observaciones de campo como oleadas piroclásticas y depósitos retrabajados, estos depósitos se relacionarían más con eventos coetáneos del vulcanismo Aniso y con facies piroclásticas tardías coetáneas al vulcanismo Sencca; asimismo, en el sector de Azuca al norte de la cordillera del Huanzo, Palacios C. et al. (2011) lo denominaron como Formación Para. En el presente estudio mencionamos a estos depósitos, como Formación Aniso. Además, la geoquímica de rocas indica una composición riolítica.

Se propone para la región Huanzo que el evento Aniso se desarrollo entre 8.0 y 7.0 Ma, en base a edades reportadas por Ponce et al. (2010) entre 6.3 a 5.6 Ma en alunita de alteración hidrotermal desarrolladas sobre domos félsicos del vulcanismo Aniso y Barroso Inferior, en los cerros Crespo y Queshca; además en el ámbito distrital, Echavarria L. (2008) reporta una edad de 6.73 Ma en sanidina de niveles volcanoclásticos ubicada entre Orcopampa y Ares, relacionados al evento Aniso; por lo que se que se asume una edad mayor a los 6.3 Ma para las

secuencias volcanoclásticas retrabajados, que fueron intruidas por éstos domos y afectados por alteración hidrotermal.

Grupo Barroso: Mendivil (1965), describe un conjunto de rocas volcánicas lávicas y piroclásticas ubicadas estratigráficamente sobre la Formación Sencca y anteriores a las últimas glaciaciones. En el área de estudio, se reconocieron dos unidades principales asociados a este vulcanismo:

Barroso Inferior (7.0 - 5.5 Ma) con niveles inferiores de secuencias volcanoclásticas y flujos de lavas gris verdosa de textura porfiritica que contienen niveles tobaceos; en los niveles superiores se reconoce flujos de lavas, color gris violáceas y textura porfido-afanítica. En base a la geoquímica, son rocas de composición andesítica.

Se propone para la región Huanzo que el evento Barroso Inferior, se habría desarrollado entre 7.0 y 5.5 Ma en base a edades de 6.1 Ma reportadas por Candiotti (1990) en el ámbito distrital, sobre en secuencias volcanoclásticas interpretadas como Barroso Inferior en el distrito de Arcata, y mencionamos como probables eventos coetáneos a lo reportado por Clark et al. (1990) con 6.48 y 7.04 Ma sobre secuencias volcánicas del Grupo Barroso en Mazo Cruz-Puno (sector del suroeste peruano).

Barroso Superior (5.0 - 1.0 Ma) se reconocieron secuencias de flujos piroclásticos de textura porfiritica y de desvitrificación, además de subvolcánicos. En base a la geoquímica, son rocas de composición traquiandesítica.

Se propone para la región Huanzo que el evento Barroso Superior se desarrollo entre 5.5 y 1.1 Ma en base a edades de 2.5 y 2.4 Ma reportadas por Palacios C. et al. (2011), y en el ámbito distrital, entre 4.4 y 2.4 Ma reportadas por Noble (1981b), sobre rocas volcanoclásticas y lavas asociadas de la caldera Caylloma, relacionados al evento del Barroso Superior; además coincide con lo propuesto por Ponce et al. (2010).

Unidad Post Barroso (1.1 - 0.2 Ma), Mendivil (1965) se refiere a depósitos de rocas volcánicas que generalmente cubren las partes altas de los cerros y en muchos casos están cubiertas por nieve perpetua.

En el área de estudio, se reconoció flujos de lavas de coloración oscura a negra con textura afanítica a microporfiritica y marcada disyunción columnar, además se observó un dique de rumbo NNO y datado en 0.76 Ma (Palacios C. et al., 2011). En base a la geoquímica, son rocas de composición riolítica.

Discusión: en base a resultados de dataciones radiométricas, las secuencias andesíticas - basálticas descritas por Palacios O. (1994) como parte del Grupo Barroso y de edad Pliocénica, corresponde al Pleistoceno y en el presente estudio lo mencionamos como eventos Post Barroso.

Se postula que esta unidad representa el último evento volcánico e intrusivo dentro de la región Huanzo desarrollado durante edad Pleistocénica.

6.3 Estructuración y esfuerzos principales por épocas

Palacios O., (1994) describe que la arquitectura estructural de la región de estudio es resultado de una primera fase compresiva, seguida de levantamiento y luego de fallamiento profundo y vertical, posteriormente en el Neógeno (Terciario Superior) se desarrolla un fallamiento tensional, seguido de un volcanismo fisural.

Estudios posteriores proponen sentidos de esfuerzos regionales relacionados a una época en particular, como por ejemplo: Cassard et al., (2000) propone esfuerzos de extensión con sentido NNO para el Mioceno Superior - Plioceno (10-3 Ma) en el sur peruano. Mercier et al. (1992) propone esfuerzos compresivos con sentido E-O entre 4.5 y 2 Ma. Echevarría et al. (2006), en base a su estudio estructural regional del distrito Caylloma, propone variación del sentido de esfuerzos, desde el Mioceno Inferior hasta la actualidad.

Bajo este contexto regional, se habría desarrollado el marco estructural de la región Huanzo, principalmente sobre rocas cretácicas y volcánicas.

En el presente estudio, se determinó cuatro sistemas estructurales principales: “NNO-SSE y NO-SE”, “NE-SO y NNE-SSO”, “N-S” y “E-O y ENE-OSO” para la región Huanzo, en base a métodos de rasterización, análisis sobre imágenes satelitales y observaciones de campo.

Mediante el análisis sobre estructuras identificadas, mediante el método McCoss (1986), se propone las siguientes orientaciones del eje principal de esfuerzos, principalmente desde el Cretácico hasta la actualidad:

Esfuerzos compresivos, de componente compresional 61 en sentido NO, desarrollados probablemente en el Cretácico Superior y/o inicios del Terciario. Por otro lado la componente extensional 62 en sentido NE habría generado estructuras NO a NNO que actuaron como conductos favorables para el ascenso de los subvolcánicos del evento Tacaza. Coincidiría con la Fase Inca (INGEMMET, 1995).

Esfuerzos compresivos, de componente compresional ̄1 en sentido ONO y ̄3 en sentido NNO, desarrollados durante el Mioceno Inferior. Coincidiría con la Fase Quechua I (INGEMMET, 1995).

Esfuerzos extensivos, de componente ̄1 en sentido vertical y ̄3 en sentido ONO, desarrollados durante el Mioceno Medio. Estos esfuerzos afectaron y habrían contribuido al desarrollo del evento Alpacabamba mediante zonas de apertura NS a NNE. Coincide con la parte final de la Fase Quechua I y II.

Esfuerzos extensivos, de componente ̄1 en sentido vertical y ̄3 en sentido NNE, desarrollados durante el Mioceno Superior y Plioceno Inferior. Coincidiría con eventos posteriores a la Fase Quechua II y finales de la Fase Quechua III.

Esfuerzos compresivos, de componente ̄1 en sentido ONO y ̄3 en sentido ONO, desarrollados durante el Plioceno. Coincidiría con la prolongación de la Fase Quechua III y eventos compresivos entre 4.5 y 2 Ma (Mercier et al., 1992).

Esfuerzos extensivos, de componente ̄1 en sentido vertical y ̄3 en sentido NNE, desarrollados durante el Pleistoceno hasta la actualidad..

Trabajos de Cassard et al. (2000), Mercier et al. (1992) y Echavarría et al. (2002), sobre el área de influencia regional del Huanzo, arribaron a resultados similares con respecto a la dirección de esfuerzos principales.

6.4 Geoquímica de elementos mayores y elementos traza

Para el presente estudio, se realizaron análisis geoquímicos en laboratorios ALS Chemex – Perú, de 15 muestras representativas extraídas del complejo volcánicos de la región Huanzo, complementariamente y para su comparación, se recopiló datos de análisis geoquímicos, sobre muestras enmarcadas en similar contexto geológico en el sur peruano.

El análisis de los resultados, permiten señalar mediante la geoquímica de **los elementos mayores**, que las rocas de las unidades Barroso Inferior y Superior son andesita a traquiandesita, del Tacaza varían entre traquidacita a dacita y del Alpacabamba, Aniso y Post Barroso son riolitas; además definen una serie calcoalcalina con “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.

Se plantea que las muestras de la unidad Tacaza de la región Huanzo tienen mayor evolución magmática en comparación con las muestras de la unidad Tacaza ubicadas en los sectores de Puno y este de Arequipa.

Comparativamente, el Tacaza (INGEMMET 2003) es de composición más intermedia a básica, mientras que las muestras del Tacaza de la región Huanzo son ácidas. El Palca (Mamani & Ibarra, 2000) es de composición ácida, al igual que las muestras del Alpacabamba de la región Huanzo. El Maure (INGEMMET 2003) es de composición ácida, al igual que las muestras del Aniso de la región Huanzo. El Sillapaca (INGEMMET 2003) y Grupo Barroso (Buenaventura 2003, en Quispe, 2004), son de composición intermedia a ácida, al igual que las muestras del Barroso Inferior de la región Huanzo. Esta comparación es básicamente descriptiva, y queda abierta la posibilidad de realizar mayores estudios que permitan definir si sus respectivos magmatismos, provienen de una misma cámara magmática.

Los elementos traza en rocas del vulcanismo Tacaza, Barroso Inferior y Post Barroso muestran un alto contenido en Cs, Rb, Th, U y un bajo empobrecimiento en Sr y Eu, estas evidencias indican, según Thompson et al. (1984), que provienen de un magmatismo más diferenciado, mientras que las muestras del vulcanismo Alpacabamba y Aniso presentan una mayor disminución en Sr y Eu lo que sugiere un alto régimen de diferenciación magmática; la roca analizada del Barroso Superior muestra un comportamiento contrario a las anteriores, con fuerte disminución en Cs y sin empobrecimiento en Eu, lo que indica que proviene de un magmatismo menos diferenciado. Asimismo, el enriquecimiento en Cs – Rb y disminución de Nb y Eu en todas las unidades a excepción del Barroso Superior indica, según Sun & McDonough (1989), posible contaminación de corteza por adición de sedimentos, esta excepción es contradictoria, ya que el Barroso Superior se habría desarrollado en una corteza gruesa y en donde estaría propensa a la contaminación de niveles del basamento.

No se realizaron análisis comparativos con datos geoquímicos de elementos traza de otras unidades de contexto geológico similar, debido a que la data recopilada no considera los mismos elementos. Esto podría ser materia de mayor investigación.

Los patrones de elementos traza indican razones de Sm/Yb mayores a 3 para las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior, indican la presencia de anfíboles y granates residuales (Kay et al., 1999) en equilibrio con el magma que sugiere un aumento de presión por engrosamiento de corteza, entre 40 y 60 km

para el sector de estudio, según modelo propuesto por Mamani et al. (2010); esto coincide con el marco tectónico de características compresionales. Así mismo, las razones de Sm/Yb menores a 3 en las unidades Alfabamba y Aniso, indican presencia de clinopiroxenos residuales en equilibrio con el magma lo que estaría relacionado a un menor engrosamiento de corteza, menor a 40 km; esto coincide con periodos distensivos cortos durante el Cenozoico propuesto en INGEMMET (1995) y Cassard et al. (2000). Las razones de La/Sm mayores a 5 en rocas ácidas del Alfabamba y Aniso indican, según Mamani et al. (2010), una mayor sensibilidad al fraccionamiento de la plagioclasa, relacionado a magmatismo más diferenciado.

6.5 Evolución geológica

Se interpreta que durante el **Mioceno Inferior**, se desarrollo una corteza engrosada, producto de una subducción de ángulo menor a 30°, en discusión y según modelo de Ramos (2009), en donde se emplazo un magmatismo diferenciado que origino un vulcanismo explosivo y efusivo, con predominio de flujos piroclásticos y niveles lávicos de composición dacítica a traquítica, relacionados a eventos Tacaza, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos compresivos de orientación NO, relacionados a inicios de la Fase Quechua I (INGEMMET, 1995).

En el **Mioceno Medio**, se desarrollo una corteza de menor engrosamiento, producto de una subducción de ángulo mayor a 30°, e n donde se emplazo un magmatismo de mayor diferenciación que origino un vulcanismo explosivo y efusivo, con predominio de flujos piroclásticos de composición riolítica, relacionados al evento Alfabamba, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos extensivos de orientación ONO, ocurridos entre la Fase Quechua I (17-14 Ma) y Fase Quechua II (10-9 Ma).

En el **Mioceno Superior**, continuaba una corteza de menor engrosamiento, producto de una subducción de ángulo mayor a 30°, e n donde se emplazo un magmatismo de mayor diferenciación que origino un vulcanismo explosivo, con niveles vulcanoclásticos de composición riolítica relacionados a la unidad Aniso, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos extensivos de orientación NNO, relacionados a periodos cortos y finales de la Fase Quechua II ó desarrollado entre la Fase Quechua II y Fase Quechua III (7-6 Ma), materia de discusión que podría ser dilucidado en nuevas investigaciones.

Al finalizar el Mioceno y en gran parte del Plioceno, se desarrolló una corteza engrosada, producto de una subducción de ángulo menor a 30°, relacionado a eventos de esfuerzos compresivos prevalecientes entre eventos extensivos. En el primero de estos eventos reconocidos a **finés del Mioceno**, se emplazó un magmatismo diferenciado que originó un vulcanismo predominantemente efusivo con niveles tobáceos y flujos de lava andesítica relacionados a la unidad Barroso Inferior, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos extensivos de orientación NNE, probablemente relacionados a periodos cortos de la Fase Quechua III (7-6Ma); asimismo este magmatismo, pudo albergar fases fluidas que tuvieron la capacidad de formar fases sulfuradas, y que producto del esfuerzo extensivo de sentido NNE-SSO se generó fracturas y fallas favorables para el ascenso, circulación y depositación de éstos fluidos; esto se evidencia en las vetas de relleno en Azuca y cuerpos de brechas en Crespo, ambos de sentido E-O y con mineralización de Ag-Au. En el segundo de estos eventos desarrollados **durante el Plioceno**, se emplazó un magmatismo menos diferenciado que originó un vulcanismo predominantemente explosivo con flujos piroclásticos traquidacíticos relacionados a la unidad Barroso Superior, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos compresivos de orientación ONO, que para la zona de estudio se relacionaría a la continuidad de la Fase Quechua III (7-6 Ma).

Por último en el **Pleistoceno**, se desarrolló una corteza con engrosamiento moderado, en donde se emplazó un magmatismo diferenciado que originó un vulcanismo predominantemente efusivo con flujos de lavas riodacíticas relacionados a la unidad Post-Barroso, y cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos extensivos en orientación NNE. Ver figura 6.1.

6.6 Unidad y sistema favorable para la exploración

Se propone que la unidad volcánica del Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) es más prospectiva, debido que su magmatismo habría albergado fases fluidas y por la capacidad de formar fases sulfuradas. Además esta unidad estuvo afectada por el evento extensional de sentido NNE-SSO que genera fracturas-fallas principalmente de rumbo E-O favorables para la circulación de fluidos; como ejemplo tenemos los cuerpos de brecha en Crespo (más de 0.75 Moz eq Au en recursos) y vetas de relleno en Azuca (más de 60.8 Moz eq Ag en recursos), de edad Mio-Pliocénica.

Lo que se propone no es determinativo, queda abierta la posibilidad de que la unidades Aniso y Alpabamba podría también albergar mineralización, ya que posee características de rocas favorables con buena permeabilidad, flujos piroclásticos entre flujos lávicos, estos últimos servirían de buena roca sello. Además es afectado por esfuerzos extensivos, que pueden generar apertura y por lo tanto circulen fluidos hidrotermales.

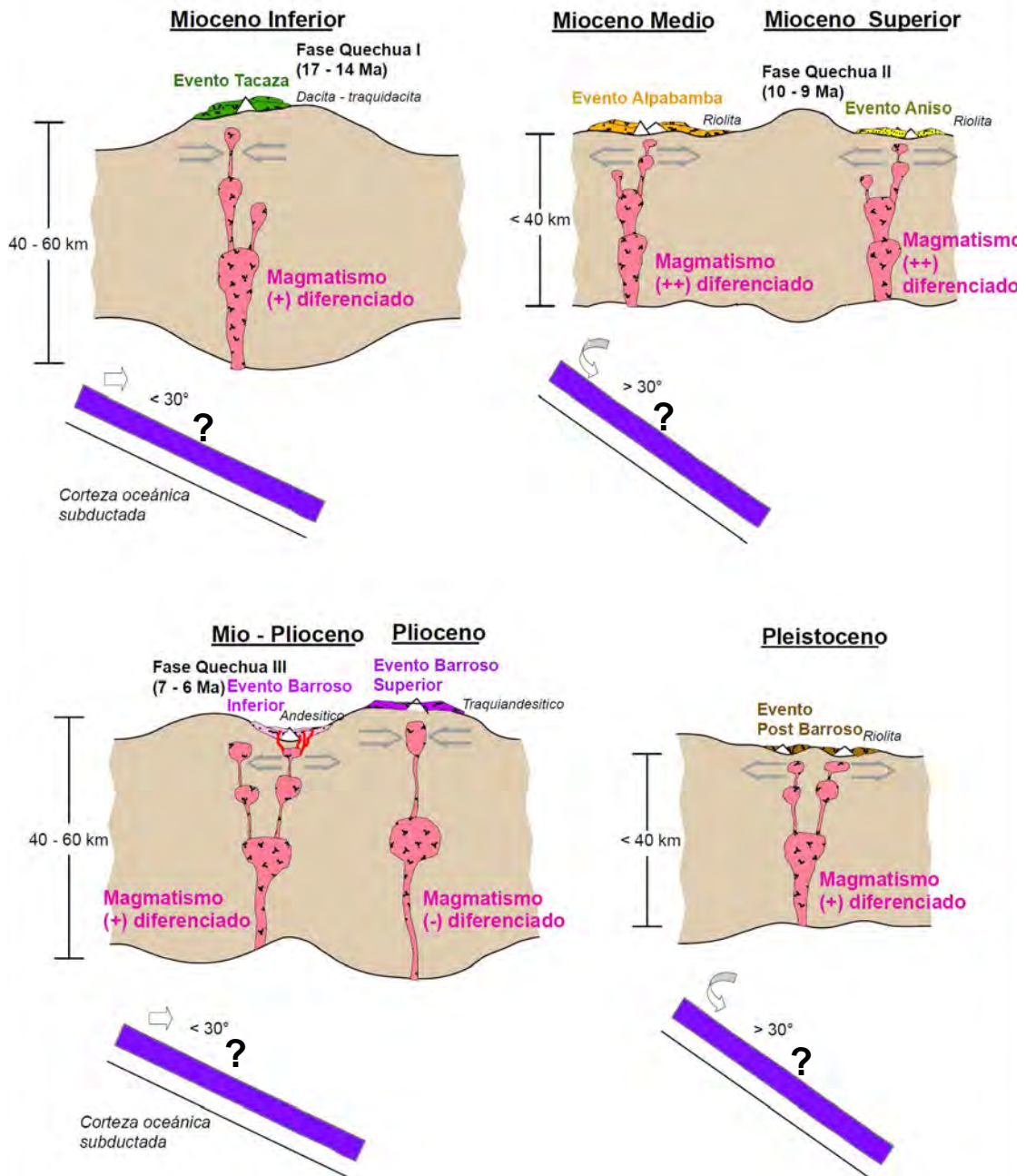


Figura 6.1: Esquema evolutivo, propuesto para el vulcanismo de la región Huanzo.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES

1. Los rasgos geo-estructurales que se han desarrollado en el área de estudio, están vinculados a la Tectónica Andina, esto debido a la subducción de la corteza oceánica que desarrolló una significativa deformación y magmatismo en episodios repetitivos en el margen Andino.
2. Litológicamente está constituido de un basamento de areniscas cuarzosas de la Formación Soraya (Cretácico Inferior), cubierto por flujos piroclásticos y niveles lávicos del Grupo Tacaza (Mioceno Inferior) y Formación Alpbamba (Mioceno Medio), continua la secuencia, con volcanoclásticos retrabajados del Aniso (Mioceno Superior), volcanoclásticas y flujos lávicos del Barroso Inferior (7.0 - 5.5 Ma), flujos piroclásticos del Barroso Superior (5.0 - 1.0 Ma) y flujos lávicos del Post Barroso (Pleistoceno).
3. Desde el punto de vista petrográfico, las rocas estudiadas presentan principalmente textura pórfido afanítica, con fenocristales de plagioclasa y máficos inmersos en una matriz de ceniza volcánica. Las plagioclasas se disponen en individuos tabulares subhedrales, con débil macla polisintética; los cristales de cuarzo son anhedrales y los de anfíbol son los más representativos, de forma euhedrales a subhedrales.
4. Con la geoquímica de los elementos mayores, se define que las rocas de las unidades Barroso Inferior y Superior son andesita a traquiandesita, del Tacaza varían entre traquidacita a dacita y del Alpbamba, Aniso y Post Barroso son riolitas; además definen una serie calco-alkalina con “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.
5. El análisis estructural, en base a métodos de rasterización, análisis sobre imágenes satelitales y observaciones de campo. Se establece cuatro sistemas estructurales principales: “NNO-SSE y NO-SE”, “NE-SO y NNE-SSO”, “N-S” y “E-O y ENE-OSO” para la región Huanzo.
6. En el Mioceno Superior, el vulcanismo explosivo de la unidad Aniso, cuyo contexto distrital es afectado por esfuerzos extensivos de orientación NNO, relacionados a periodos cortos y finales de la Fase Quechua II ó desarrollado entre la Fase Quechua II y Fase Quechua III (7-6 Ma), es materia de discusión que podría ser dilucidado en nuevas investigaciones.
7. En base al contenido de elementos traza, el vulcanismo del Barroso Superior provendría de un magmatismo menos diferenciado; la del Tacaza, Barroso inferior y Post Barroso de un magmatismo mas diferenciado; mientras que la

del Alpbamba y Aniso de una mayor diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa.

8. El magmatismo de las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior se habría desarrollado en condiciones de alta presión asociada a una corteza engrosada entre 40 y 60km; esto coincide con el marco tectónico compresional. Además, el magmatismo del Alpbamba y Aniso habrían tenido un menor engrosamiento de corteza menores a 40km, esto coincidiría con periodos extensivos cortos durante el Mioceno propuesto por Palacios O. (1994).
9. Todas las unidades a excepción del Barroso Superior, indican posible contaminación de corteza por adición de sedimentos, esta excepción es contradictoria, ya que esta unidad se habría desarrollado en una corteza gruesa y expuesta a la contaminación de niveles del basamento.
10. La unidad Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) es más prospectiva, debido a que su magmatismo habría albergado fases fluidas y podido formar fases sulfuradas. Además esta unidad estuvo afectada por el evento extensional de sentido NNE-SSO que genera fracturas-fallas principalmente de rumbo E-O favorables para la circulación de fluidos; como se reconoce en los cuerpos de brecha en Crespo y vetas en Azuca de edad Mio-Pliocénica, con mineralización Ag - Au.
11. Queda abierta la posibilidad de que la unidades Aniso y Alpbamba podría también albergar mineralización, debido a la buena permeabilidad de sus flujos volcanoclásticos y retrabajados entre flujos lávicos, estos últimos servirían de buena roca sello; además es afectado por esfuerzos extensivos que pueden generar apertura para que circulen fluidos hidrotermales.
12. Se propone la necesidad de una investigación complementaria, relacionada a estudios de inclusiones fluidas en los yacimientos de la zona, como Azuca y Crespo; con la finalidad de encontrar más relación entre el hidrotermalismo, evidenciado por el estado de sulfuración, y los metales de transición de carácter incompatible que pudo generar el magmatismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas, M. (1974). Geología de la mina Orcopampa y alrededores. Tercer Congreso Peruano de Geología,(46): 9-24.
- Barton, P.B. Jr. (1970). - Sulfide petrology: Mineralogical Society of America, Special Paper, 3, pp. 187-198.
- Beach, A. and Tarney, J. (1978). Major and trace element patterns established during retrogressive metamorphism of granulite-facies gneisses, N.W. Scotland. Precambrian Research, 7, 325-348.
- Benavides & Cáceres, V. (1999). Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle, en Skinner, B., ed., Geology and ore deposits of the Central Andes, Society of Economic Geologist Special Publication Number 7, pp. 61 – 107.
- Benavides, C. (1962). Estratigrafía Pre-Terciaria de la región Arequipa. Bol. Soc. Geol. Del Perú, T. 38, pág. 5 – 63.
- Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 46 Serie A, 62p.
- Candiotti, H., Noble D. and Mckee E. (1990). Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, southern Peru. Economic Geology, V. 85, pp. 1473 – 1490.
- Carlotto, V., Cerpa, L., Acosta, H., Rodriguez, R. (2009).- Evolución Tectónica y Metalogenética de la Litosfera del Sur del Perú: Resultado de la acreción de bloques alóctonos, Convención Minera de Perú 2009, pp. 1-11.
- Cassard D., Chauvet A., Bailly L., Llosa F., Rosas J., Marcoux E. y Lerouge C., (2000). Structural control and K/ Ar dating of the Au-Ag epithermal veins in the Shila Cordillera, southern Peru. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes, 330, 1: 23-30.
- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. & Douglas, D.A. (1990). Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru. Econ. Geol., 85, p. 1520-1583.
- Dan Core (2010). Mejora de filtrado y detección de estructuras de los datos topográficos de Sur Peruano. Reporte interno para Cia. Minera Ares S.A.C.

- Dávila, D. (1988). Geología del cuadrángulo de Cailloma, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 40, Serie A, 93p.
- Dávila, D. (1991). Geología del cuadrángulo de Pacapausa, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 41 Serie A, 56p.
- Echavarría, L., and Nelson, E., (2002). Structural controls on the Arcata epithermal vein system, Peru. Geological Society of America. Abstract pp. 7.
- Echavarría, L., Nelson, E., Humphrey, J., Chávez, J., Escobedo, L. & Iriondo, A. (2006). Geologic evolution of the Caylloma epithermal vein district, Southern Peru. Economic Geology, V. 101, pp. 843-863.
- Echavarría, L. (2009). Comentarios visita al Proyecto Liam Regional. Informe interno Compañía Minera Ares S.A.C.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., Inan, E.E. (2003).- Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments: Society of Economic Geologists, Special Publication, 10, pp. 285-313.
- Fornari, M. & Vilca, C. (1979). Mineralización Argentífera Asociada al Volcanismo Cenozoico en la Faja Puquio – Caylloma: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 60, pp 106 – 107.
- Gutscher, M.A., Spakman, W., Bijwaard, H. y Engdahl, E.R. (2000). Geodynamics of flat subduction: seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. Tectonics 19: 814-833.
- INGEMMET (1993). Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca, Sur del Perú. – Boletín No. 42, Serie A, p. 257.
- INGEMMET (1995). Geología del Perú. Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín No. 55, Serie A, p. 143.
- INGEMMET (2003). Compendio de Yacimientos Minerales del Perú. – Boletín No. 10, Serie B, p. 620.
- Irvine, T. N. y Baragar, W. R. A., (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 8, pp. 523-548.
- Jennks, W. (1948). Geology of the Arequipa quadrangle of the Carta Nacional de Perú. Instituto Geológico del Perú, Bol. N°9, 204 pag.
- Kaneoka, I. & Guevara, C. (1984). K- Ar age determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, southern Peru. Geochemical Journal, 18 (5): 233-239.

- Kay, R., Mpodozis, C., Coira, B. (1999). Neogene Magmatism, Tectonic and Mineral Deposits of the Central Andes (22° to 33°S Latitude). Special Publication N° 7, Society of Economic Geologist, Chap. 2, pp. 27-59.
- Klinck, B. A., Allison, R. A. & Hawkins, M. P. (1986). The Geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West Lake Titicaca, Southern: Lima, Peru, British Geol. Survey INGEMMET, p. 353.
- Le Maitre, R., Bateman, P., Dubek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M., Sabine, P., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, A. y Zanettin, B. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193 pp.
- Maniar, P. y Piccoli, C., (1989). Tectonic discrimination of granitoids. Geology Society of American, Bulletin 101: 635-643.
- Mamani, M. & Ibarra, I. (2000). Magmatismo y Tectónica Meso-Cenozoica del Altiplano y del Borde Noreste de la Cordillera Occidental de la Región de Puno. – Tesis Ing. Geólogo, UNSAAC, Cusco, p. 80.
- Mamani, M., Wörner, G. & Sempere, T. (2010). “Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S) : Tracing crustal thickening and magma generation through time and space”. Geological Society of America Bulletin 2010, pp. 162-182.
- McCoss, A. (1986). “Simple constructions for deformations in transpresión/transtensión zones”. Journal of Structural Geology, vol. 8, pp. 715-718.
- McKee E.H., and Noble, D.C., (1982). Miocene volcanism and deformation in the Western Cordillera and high plateaus of south – central Peru. Geological Society of American Bulletin, v. 93, pp. 657 – 662.
- Mégard, F. (1987b). Structure and evolution of the Peruvian Andes. En: The Anatomy of Mountain Ranges. Princeton University Press, pp. 179 – 210
- Mendivil, S. (1965). Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 10.
- Mercier J., Sebrier M., Lavenu A., Cabrera J., Bellier O., Dumont J., Machare J., (1992). Changes in the tectonic regime above a subduction zone of Andean type : the Andes of Peru and Bolivia during the Plio-Pleistocene. Journal of Geophysical Research, V. 97, N°B8: 11945-11982.
- Morche, W. (2004). Volcanic field study of the Liam prospect, southern Perú. Informe interno Newmont, pp.27.

- Noble, D. (1972). Reconnaissance study of the stratigraphy and structure of Cenozoic volcanic rocks of the Orcopampa district. Informe publicado por Compañía Minera Buenaventura S.A.
- Noble, D. & Mckee E. (1999). The mioceno metallogenic belt of central and northern Peru. En: B.J. Skinner (Editor), *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists, Special Publication, N°7, pp. 155-193.
- Noble D. (1982). Geological interpretation and Discussion of four new K/Ar age determinations from the Arcata and Cailloma Districts. Informe interno Mauricio Hochschild MHC.
- Palacios, C. Medina, R. Zapata, A. Usca, J. Zegarra, Z. & Velazco, C. (2011). A new Ag-Au epithermal vein-type ore deposit, Azuca, Cordillera de Huanzo, southern Peru. *Course of Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Antofagasta – Chile*.
- Palacios, O. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 51 Serie A, 73p.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. y Tindle, A. G., (1984). Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, Vol. 25, pp. 956 - 983.
- Pecho, V. (1983). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas. Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 35 Serie A, 92p.
- Peccerillo, A. & Taylor, T.S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- Ponce, A., Quispe J., Palacios C. Zapata A. y Sang-MoK (2010). Complejo de domos Mio-Pliocénicos y su Relación con la Mineralización de Ag – Au tipo Epitermal en el Proyecto Crespo, Cordillera del Huanzo. XV Congreso Peruano de Geología, Volúmenes Resúmenes Extendidos, pp. 596 - 599.
- Quispe, J. (2004). “Petrografía, Geoquímica e Implicancias Metalogenéticas de los Volcánicos Cenozoicos del Sureste del Perú, Puno (Perú)”. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Quispe, J., Carlotto, V., Acosta, J., Macharé, J., Chirif, H., Rivera, R., Romero, D., Huanacuni, D. y Rodríguez, R. (2008). Mapa Metalogenético del Perú 2008: herramienta esencial para las exploraciones mineras. XIV Congreso Peruano de

- Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología, 6 p. Edit. Soc. Geol. Perú. CD.
- Ramos, V.A., and Folguera, A., (2008). Andean fl at slab subduction through time, in Murphy, B., ed., Ancient Orogens and Modern Analogues. Geological Society of London Special Publication.
- Ramos, V. (2009). Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. Geological Society of America Memoirs, 2009, 204, p. 31-65.
- Rivera M., Navarro P., Monge R. & Rolin D. (2008). Evolución del volcanismo cenozoico en el norte del Perú: departamento de la Libertad (7° 45' - 8° 25' s). XIII Congreso Peruano de Geología, Volúmenes Resúmenes Extendidos, pp. 304 - 307.
- Sébrier M. & Soler P. (1991). Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the Present. Geological Society of America Special Paper, v. 265, pp. 259-276.
- Salas, G., Chavez, A., Aguilar, E. (2001). Revisión del cuadrángulo de Cayarani 30-r, mapa no publicado, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú, pp. 13 – 18.
- Schildgen, T., Hodges, K., Whipple, K., Reiners, P., and Pringle, M. (2007). Uplift of the western margin of the Andean plateau revealed from canyon incision history, southern Peru: *Geology*, v 35, p. 523-526.
- Stern, R. J., S. H. Bloomer, F. Martinez, T. Yamazaki, and T. M. Harrison (1996). The composition of back-arc basin lower crust and upper mantle in the Mariana Trough: A first report, *Isl. Arc*, 5, 354–372,
- Sun & MacDonough (1989). Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, v. 42; pp 313-345.
- Swanson, K.E., Noble, D.C., Mc.Kee, E.H. and Gibson, P.C. (1993). Collapse Calderas and other Neogene Volcanic and Hydrothermal features of the Chila Cordillera and Adjacent Areas, Southern Perú (Abs.): *Geol. Soc. América. Abs.*, with programs, V. 25, p. 154.
- Thompson, R., Hendry, G. y Parry, S. (1984). An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: and element approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 310, 549-590.

- Tosdal, R. M., Farrar, E. & Clark, A.H. (1981). K-Ar, Chronology of late Cenozoic Volcanism in the Cordillera Occidental, Southernmost Peru: Jour. Volcanology Geotherm. Research, v. 10, p. 157-173.
- Uyeda, S., & Kanamori H. (1979), Back-arc opening and the mode of subduction, J. Geophys. Res., 84, 1049–1061,
- Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Cailloma, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 24, Serie A, 64p.
- Wasteneys, H. A. & Clark, A.H. (1990).- Mineralogical Zoning in an Epitermal Silver Vein System, Santa Barbara Mine, Santa Lucia District, Southeastern Peru (abs): Geol. Assoc. Canada Mineralog. Assoc. Canada Program with abstracts, v. 15, p. 137.
- Wilson, J. & García, W. (1962). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, Servicio de Geología y Minería, Perú. Boletín 4.
- Zapata, A., Morales, M. y Zegarra, M. (2008). Geología distrital preliminar del Proyecto Azuca. Informe interno Compañía Minera Ares S.A.C.
- Zapata, A. & Morales, M. (2008). Geología distrital preliminar del Proyecto Crespo. Informe interno Compañía Minera Ares S.A.C.