

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



**INGENIERO GEÓLOGO**

PUNO – PERÚ  
2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

**“VULCANISMO MONOGENÉTICO DEL PERÚ CENTRAL:  
AYACUCHO Y HUANCAMELICA DEFINIENDO LÍMITES DE  
LITOSFERA SUBCONTINENTAL”**

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. SANDRA LAURA CHOQUEHUANCA CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

M.Sc. Ing. Andrés Olivera Ghura

PRIMER MIEMBRO

Ing. Roberto Zegarra Ponce

SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. Ing. Roger Gonzales Aliaga

ASESOR DE TESIS

M.Sc. Ing. Miguel E. Calcina Benique

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Mirian I. Mamani Huisa

CO DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Ing. Rildo O. Rodríguez Mejía

**ÁREA:** Recursos naturales y medio ambiente

**TEMA:** Fenómenos geodinámicas



**DEDICATORIA:**

*A Dios por su inmenso amor.*

*A mis queridos padres Esterania y Placido.  
Hnos. Alex, Ruth, Ruby.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico por darme la oportunidad para la elaboración del presente proyecto de investigación en la persona de la Presidenta del Directorio Ing. Susana G. Vilca Achata.

Un reconocimiento al Msc. Rildo Oscar Rodríguez Mejía, jefe del proyecto en donde se realizó la presente tesis, por la confianza brindada, orientación y asesoramiento en la realización de cada etapa en esta tesis, de igual manera por haberme impartido los conocimientos necesarios en campo y gabinete.

A la Dra. Mirian Irene Mamani Huisa, por formar parte en este trabajo, por el asesoramiento orientación y explicaciones realizadas en las diferentes etapas de la elaboración de este proyecto de investigación, siendo un aporte muy importante en los temas de geoquímica y magmatismo.

Al M.sc. Miguel Elías Calcina Benique, asesor académico en la presente tesis, por sus críticas y observaciones y el apoyo en todo momento que han servido de mucho.

Al Ing. Alan Santos, por las discusiones, orientaciones brindadas y por la amistad sincera.

Al Dr. Victor Carlotto Caillaux, por haber aceptado la realización de este trabajo cuando fué el Director del área de Geología Regional INGEMMET.

A mis amigos y compañeros de trabajo del INGEMMET, Diana Pajuelo, Elvis Sánchez, Elizabeth Ordoñez, Lisenia Chavez, Claudia Fabian, Boris del Castillo, Mary Carmen Carrasco, Rosmery Flores por las opiniones, sugerencias y su amistad.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ing. Geológica UNA-PUNO, por haberme impartido los primeros conocimientos y las enseñanzas en mi formación universitaria, en especial al Ing. Roberto Zegarra P., Ing. Erasmo Carnero C., Ing. Samuel Machaca H., Ing. Andrés Olivera Ch., Ing. Mario Soto G., Ing. Raul Machaca., Ing. Valentin Fernandez., Ing. Luis Ortiz G. y a la Ing. Sofía Benavente por su amistad y sabios consejos en esta etapa de mi vida.



## INDICE

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Indice	iii
Listado de figuras	vii
Listado de fotografías	x
Listado de cuadros	xi
Listado de abreviaturas y siglas	xii
Listado de simbologías	xiii
Listado de mapas	xiv
Resumen	xv
Abstract	xvi
<b>1. CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	<b>Pag.</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis	4
1.4.1 Variables	4
1.4.2 Indicadores	4
1.5 Objetivos	5
1.6 Metodología de trabajo	5
1.7 Materiales y métodos	6
1.8 Antecedentes	7
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL</b>	
a. PRINCIPIOS BÁSICOS DE GEOQUÍMICA Y MAGMATISMO	9
2.1.1 Magma	9
2.1.2 Magmatismo	10
A. Magmas parentales	10
B. Diferenciación magmática	11
- Cristalización fraccionada	11
- Asimilación magmática	12
2.1.3 Aspecto Tectónico- Vulcanismo	12
A. Manto litosférico	12
- Manto Lerzolítico	13
- Manto Harzburguítico	13

- Arco magmático	13
- Tras arco magmático	14
B. Litosfera Subcontinental	15
- Bloques litosféricos	15
C. Vulcanismo	16
- Clasificación de Volcanes de Acuerdo a su Actividad	16
- Tipos de Volcanes Según su Erupción	17
- Clasificación de Volcanes de Acuerdo a su Modo de Emplazamiento	19
- Campo Volcánico	20
- Rocas Potásicas – Ultrapotásicas	22
2.1.4 Petrografía de Rocas Volcánicas	23
2.1.5 Geoquímica	23
A. Clasificación de los Elementos por su Concentración	23
- Elementos mayores	23
- Elementos traza	24
- Elementos compatibles e incompatibles	24
2.1.6 Geocronología	25
2.1.7 Yacimiento mineral	25
<b>3. CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b>	
3.1 INTRODUCCIÓN	26
3.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	26
3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN	27
3.4 MARCO GEOMORFOLÓGICO	29
3.4.1 Cordillera Occidental	29
3.4.2 Altiplanicies Interandinas	29
3.4.3 Cordillera Oriental	30
3.5 MARCO GEOLÓGICO	32
3.5.1 Zona volcánica central (ZVC)	32
3.5.2 Basamento pre cambriano	34
A. Basamento de Paracas	34
B. Basamento de Arequipa	34
C. Basamento de Amazonia	35
3.6 CONTROLES ESTRUCTURALES REGIONALES	37
3.6.1 Falla Ayacucho (FA)	39
3.6.2 Sistema de fallas Abancay - Andahuaylas - Totos (SFAAT)	39
3.6.3 Sistema de fallas Chonta (SFCH)	40
3.6.4. Fallas Tarma (FT)	40
3.7 DOMINIOS TECTÓNICOS	41
3.7.1. Dominio de Castrovirreyna	41
3.7.2 Dominio de San Miguel	44
3.7.3 Dominio de Huancavelica	44

3.7.4 Dominio Ayacucho	44
3.8 MAGMATISMO	45
3.8.1 Permo - Triásico	45
3.8.2 Triásico - Jurásico	45
3.8.3 Cretácico	46
3.8.4 Paleógeno	46
3.8.5 Neógeno - Plioceno	46
3.9 GEOQUÍMICA DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMS)	47
3.9.1 Muestras y Métodos Analíticos	49
3.9.2 Caracterización Geoquímica del Vulcanismo Monogenético en el Perú Central entre Huancavelica - Ayacucho	49
<b>4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	
<b>VULCANOLOGÍA FÍSICA DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMs)</b>	
4.1 INTRODUCCIÓN	51
4.2 MODO DE EMPLAZAMIENTO	52
4.3 PETROGRAFIA DE CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMs)	52
4.3.1 Texturas	53
A. Porfírica con cristales Plagioclasa- Piroxenos	53
B. Porfírica con cristales Plagioclasa- Piroxeno- Anfíbol	53
C. Porfírica con cristales Plagioclasa- Piroxeno- Anfíbol - Olivino	54
D. Porfírica con cristales Plagioclasa- Piroxeno - Olivino	54
4.3.2 Asociaciones Mineralógicas de los Centros Volcánicos Menores	54
A. Plagioclasa	54
B. Olivino	55
C. Piroxeno	56
D. Anfíbol	57
E. Moldes de cristales	57
F. Biotita	58
G. Cuarzo secundario	58
H. Alteración	59
4.3.3 Relación de la Petrografía y el Modo de Emplazamiento	60
4.4 RESULTADOS GEOQUÍMICOS	63
4.4.1 Geoquímica de Elementos Mayores	63
A. Clasificación de rocas ígneas (TAS)	63
B. Clasificación de rocas alcalinas y subalcalinas de Floyd y Winchester	65
C. Clasificación de ambiente y series magmáticas	67
D. Determinación del contenido de FeO total	69
E. Diagramas binarios de variación tipo Harker de los centros volcánicos menores	72
- TiO <sub>2</sub> vs SiO <sub>2</sub>	72
- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs SiO <sub>2</sub>	72

- MnO vs SiO <sub>2</sub>	73
- MgO vs SiO <sub>2</sub>	73
- CaO vs SiO <sub>2</sub>	73
- Na <sub>2</sub> O vs SiO <sub>2</sub>	74
F. Determinación del contenido de saturación de alúmina en rocas volcánicas	76
4.4.2 Geoquímica de Elementos Traza y Elementos de Tierras Raras	77
A. Elementos traza compatibles e incompatibles	78
- V vs Rb	78
- Ni vs SiO <sub>2</sub>	80
- Rb vs SiO <sub>2</sub>	81
B. Razones de elementos traza y Tierra Raras ligeras y pesadas	82
- Profundidad de generación de magma	84
- Asimilación de la corteza	86
- Discriminación del ambiente tectónico	87
- Fuente mantelica	89
4.4.3 Perfiles de Concentración de Elementos Traza y Tierras Raras	90
4.4.4 Ocurrencia de Minerales Relacionados a la Geoquímica de Rocas Monogénicas	92
A. Determinación de la afinidad Adakítica	94
4.4.5. Anomalías de Estroncio (Sr) y Correlación con los Yacimientos	97
4.5 AMBIENTE MAGMÁTICO Y PETROGÉNESIS	100
4.6 RELACIÓN CON OTROS CENTROS VOLCÁNICOS RECIENTES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL (SUR DEL PERÚ)	102
<b>CONCLUSIONES</b>	105
<b>RECOMENDACIONES</b>	106
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	107
<b>ANEXOS</b>	113

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura 2.1 Se muestra la cristalización fraccionada en base a la clasificación de la serie de Bowen (continua y discontinua).
- Figura 2.2 Modelo esquemático del arco magmático y la generación del magma en un ambiente de subducción (Stern, 2002).
- Figura 2.3 a) Tras arco en ambientes compresivos (montañas), b) Tras arco en ambientes distensivos (cuencas) (Stern, R., 2002).
- Figura 2.4 Tipos de Erupciones Volcánicas
- Figura 2.5 a) Vista al volcán Vesubio, en Italia. b) Representación esquemática de una caldera.
- Figura 2.6 Esquema de la génesis y la evolución volcánica para los centros volcánicos menores y estratovolcán Davidson & de Silva (1992).
- Figura 3.1 Zona Volcánica Central y los principales afloramientos de los Centros Volcánicos Menores entre Perú, Bolivia y Argentina, compilado de Carlier et al, 2005; Murray, 2010; Davidson, 1992; Jimenez & Lopez, 2008.
- Figura 3.2 Límite de bloques aóctonos antiguos definido en base a datos isotópicos y teorías existentes de Ramos, 2008; Macfarlane et al., 1990.
- Figura 3.3 Columnas estratigráficas generalizadas de los dominios tectónicos asociado a los principales sistemas de fallas. Modificado de Rodríguez (2008).
- Figura 4.1 Diagrama TAS (Alcalis Total vs. Sílice) mostrando la clasificación de rocas volcánicas (Le Maitre et al., 1989).
- Figura 4.2 Zr/Ti vs Nb/Y diagrama de Winchester & Floyd., 1977.
- Figura 4.3 (a) Subdivisión de rocas volcánicas utilizando los elementos de  $K_2O$  versus  $SiO_2$ ; las subdivisiones en líneas punteadas muestran la clasificación en base al ambiente y tipo de roca (Le Maitre et al, 1989). La clasificación de las series calcoalcalinas propuesto por Rickwood (1989). Los limites en solidos diferenciando de la serie shoshonítica, calcoalcalina y toleítica propuesto por Peccerillo & Taylor (1976), (b) Clasificación de la serie calcoalcalina  $K_2O$  versus  $Na_2O$  de Peccerillo & Taylor (1976) modificado por Le Maitre (1989) utilizado para las rocas volcánicas de los Centros volcánicos Menores. El contenido de elementos mayores representado por los óxidos han sido recalculados al 100% libre de volátiles.
- Figura 4.4 (a, b) Diagramas binarios para distinguir el tipo de roca ígnea, serie magmática y contenido de FeO total. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total. FA (falla Ayacucho), SFAAT (sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos).

Figura 4.5 Diagramas del tipo Harker para las rocas ígneas de los departamentos de Ayacucho-Huancavelica. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total.

Figura 4.6 Diagrama para determinar el índice de saturación de alúmina en los sectores Ayacucho y Pampa Cangallo. Según las relaciones del contenido de  $Al_2O_3$  entre  $Na_2O$  y  $K_2O$  vs  $Al_2O_3$  con  $Al_2O_3$  entre  $CaO$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$ , clasificándose en tres campos metalumínico, peralumínico y peralcalino de Maniar & Piccoli (1989).

Figura 4.7 Diagrama de clasificación de carga iónica positiva vs el radio iónico de elementos mayores (resaltado) y elementos traza (Rollinson, 1994). Elementos de tierras raras (REEs), en el centro del diagrama son ploteados en una escala expandida en la parte superior derecha. De acuerdo al potencial iónico (carga/radio), más elementos pueden ser subdivididos en dos categorías, enmarcados en polígonos, 1) Elementos de potencial iónico bajo (LFSE) más comúnmente llamados elementos litófilos de iones grandes (LILE), en la parte superior izquierda, 2) Elementos de potencial iónico alto (HFSE), en el centro derecho.

Figura 4.8 Diagrama de variación del V vs Rb en escala logarítmica. Se muestra una tendencia indicando los procesos de cristalización fraccionada y fusión parcial para los centros volcánicos menores.

Figura 4.9 Diagrama binario del elemento compatible de Ni mostrando la evolución de los magmas dentro de la fase fundida del sistema magmático.

Figura 4.10 Diagrama de Rb vs  $SiO_2$  mostrando la variación composicional de un elemento incompatible para las unidades volcánicas recientes. CV (Centro Volcánico), EV (Estrato volcan).

Figura 4.11 Diagramas de razones de elementos traza Sr/Y, La/Sm, Sm/Yb, Dy/Yb (Mamani et al., 2010) de los Centros Volcánicos Menores.

Figura 4.12 Diagrama de razones de elementos traza Ce/Y vs  $SiO_2$  (propuesto por Mantle & Collins, 2008) para determinar la profundidad a la que se ha formado el magma para las rocas monogenéticas del área de estudio.

Figura 4.13 Diagrama de variación de razones Sm/Yb vs Sr/Y (Mamani et al, 2010), para los Centros Volcánicos Menores (monogenéticos) en el Perú Central. Las abreviaciones que se encuentra en la leyenda se describe de la siguiente manera: CVM – Centro Volcánico Menor, EV – Estrato Volcán.

Figura 4.14 Diagrama de Th/Yb vs Nb/Yb con los diferentes tipos de ambiente tectónico MORB (Mid – Ocean Ridge Basaltic) o enriquecimiento por adición de fluidos por subducción o contaminación. (Pearce & Peate, 1995).

Figura 4.15 Diagrama de proveniencia de magmas. El Nb es comúnmente depletado en el manto litosférico relacionado al La, es así que las bajas razones de Nb/La

en los magmas máficos sugiere una fuente del manto litosférico, diagrama modificado de Bradshaw & Smith (1994).

Figura 4.16 Perfiles de concentración de elementos traza y elementos de tierras raras ligeras y pesadas compatibles, para las lavas de los Centros Volcánicos Menores, Domos y Volcánicos Mio - plioceno. Los valores están normalizados según al Condrito Sun & McDonough (1989).

Figura 4.17 A) Diagrama de Ce/Y vs Ce para determinar la proveniencia del magma. B) Eu/Eu\* vs Sr/Y diagrama utilizado para determinar el tipo de magma.

Figura 4.18 Diagrama de razones Sr/Y vs Y mostrando la evolución de las rocas volcánicas monogenéticas que van de rocas subalcalinas y principalmente al campo de la serie Adakita. Los campos de Adakita y rocas subalcalinas están definidas por Defant, M.J & Drummond, M.S. (1990).

Figura 4.19 Diagrama de FeO tot vs Eu/Eu\* diferenciando el estado de oxidación de los magmas. La correlación de estos valores se encuentran asociados con la ocurrencia de minerales metálicos según Lang & Baker (2001).

Figura 4.20 A) Diagrama TAS (Alcalis Total vs. Sílice) mostrando la clasificación de rocas volcánicas Le Maitre et al (1989). B) Clasificación de la serie calcoalcalina K<sub>2</sub>O vs Na<sub>2</sub>O de Peccerillo & Taylor (1976) modificado por Le Maitre (1989) utilizado para las rocas volcánicas de los Centros volcánicos Menores. C) Diagramas binarios para distinguir el tipo de roca ígnea, serie magmática y contenido de FeO total. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total. FA (falla Ayacucho), SFAAT (sistema de fallas Abancay – Andahuaylas – Totos). D) Correlación de un elemento compatible y un elemento incompatible. E) Diagrama de FeO tot vs Eu/Eu\* diferenciando el estado de oxidación de los magmas. La correlación de estos valores se encuentran asociados con la ocurrencia de minerales metálicos según Lang & Baker (2001). F) Eu/Eu\* vs Sr/Y diagrama utilizado para determinar el tipo de magma.



## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Foto 2.1 Campo Volcánico de Andahua – Huambo. Fotografía obtenida por Mirian Mamani.

Foto 2.2 Campo Volcánico de Andahua – Huambo. Fotografía obtenida por Mirian Mamani.

Foto 4.1 a) Microfotografía en (Nx) de Microcristales de plagioclasa del CVM Llanopata (GR6-12-509). b) fenocristales del CVM Yutupuquio (GR6-12-503).

Foto 4.2 Microfotografías en Nx de cristales de Olivino en una matriz de microcristales de plagioclasa. Muestras del CVM Ayacucho (a. GR6-12-508 y b. GR6-12-509).

Foto 4.3 Microfotografía en Nx, mostrando fenocristales de piroxeno, con fracturas internas. La muestra pertenece al CVM Acocro (GR6-12-511).

Foto 4.4 Microfotografía con moldes de cristales en la muestra de la unidad del CVM San Francisco (GR6-12-505).

Foto 4.5 Microfotografía en Nx de los cristales amorfos de cuarzo residual: a) cuarzo en medio de una matriz con microcristales de plagioclasa bordeado por arcillas – sericita (CVM Jatopampa GR6-12-508). b) cristal de cuarzo en una matriz de plagioclasa con cristales de olivino, piroxeno, biotita y minerales máficos (CVM Pumapuquio GR6-12-510).



## LISTADO DE CUADROS

Cuadro N° 3.1 Vías de acceso a la zona de estudio.

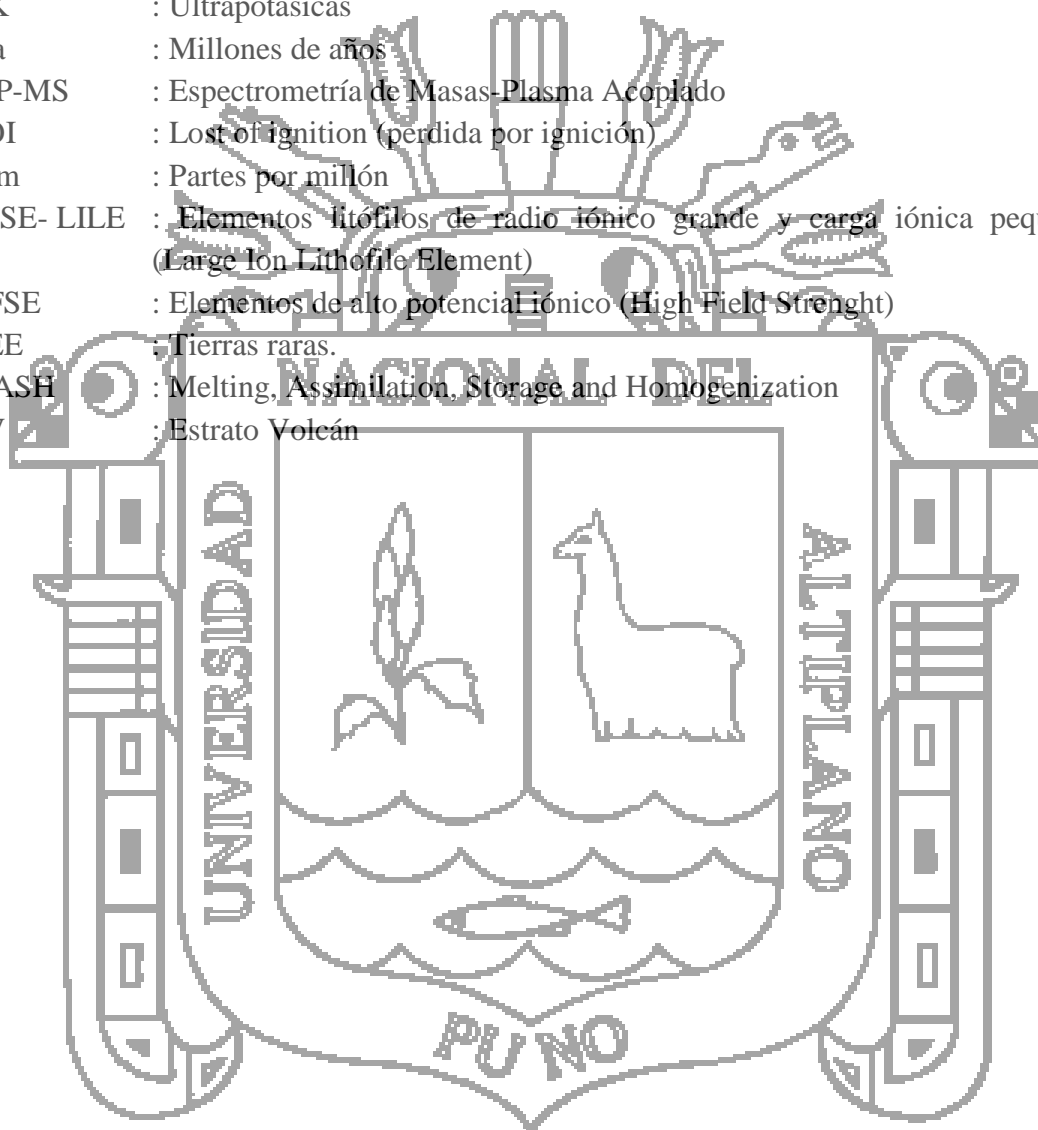
Cuadro N° 4.1 Resumen de la Descripción Microscópica en las Rocas Volcánicas.

Cuadro N° 4.2 Elementos Mayores y Traza de los Centros Volcánicos Menores  
(Monogénéticos) del Perú Central y Volcánicos del Mio-Plioceno.



**LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS**

CVM	: Centro Volcánico Menor.
CVMs	: Centros Volcánicos Menores
K	: Potásicas
UK	: Ultrapotásicas
Ma	: Millones de años
ICP-MS	: Espectrometría de Masas-Plasma Acoplado
LOI	: Lost of ignition (perdida por ignición)
ppm	: Partes por millón
LFSE- LILE	: Elementos litófilos de radio iónico grande y carga iónica pequeña (Large Ion Lithophile Element)
HFSE	: Elementos de alto potencial iónico (High Field Strenght)
REE	: Tierras raras.
MASH	: Melting, Assimilation, Storage and Homogenization
EV	: Estrato Volcán



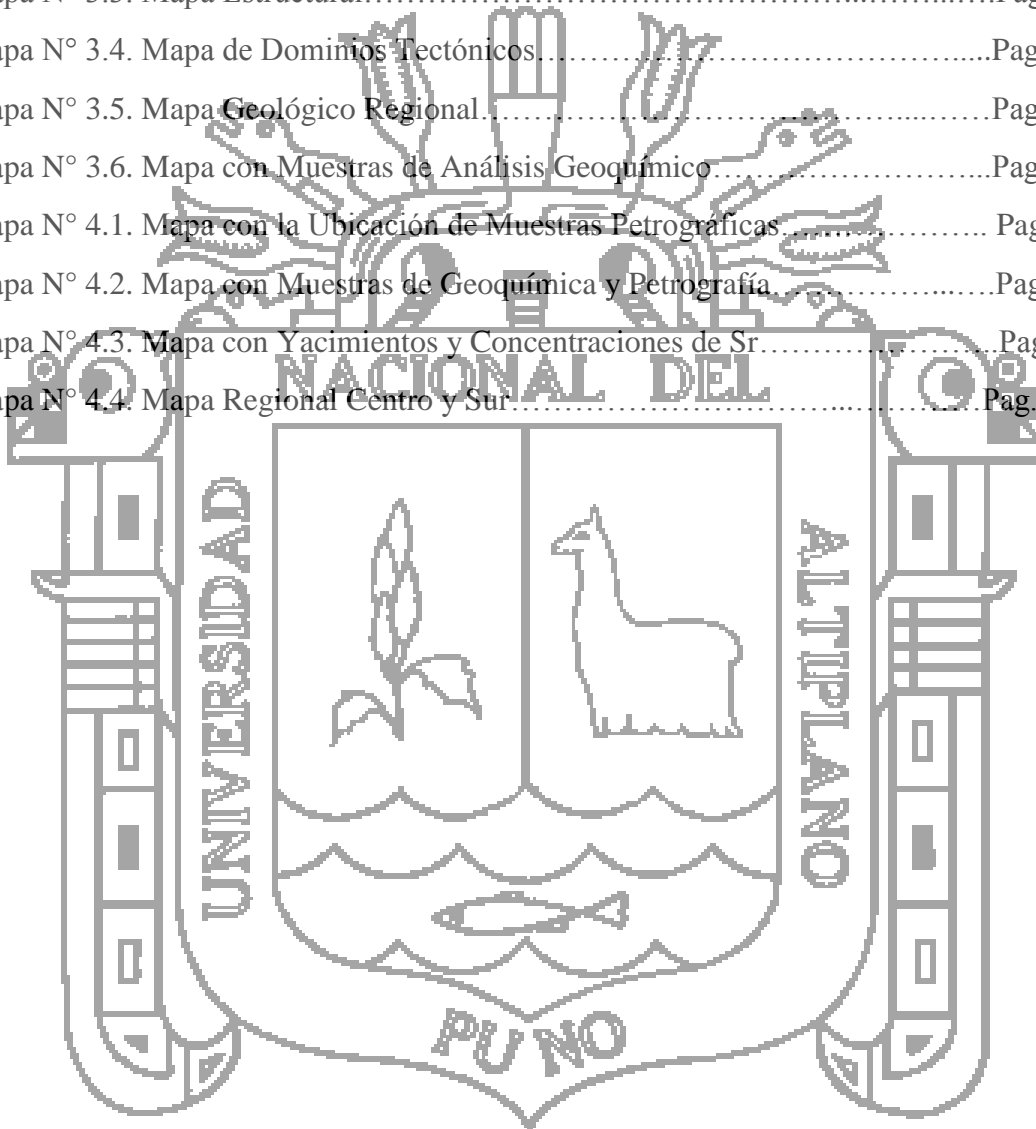
**LISTADO DE SIMBOLOGÍAS**

Plg	: Plagioclasa (microcristales)
PLG	: Plagioclasa (fenocristales)
OI	: Olivino
Anf	: Anfíbol
Px	: Piroxeno
Bt	: Biotita
MI	: Molde de cristal
Cz	: Cuarzo
Ser	: Sericita
Ox Fe	: Óxido de Hierro
Nx	: Nícoles cruzados
TAS	: Total Alcalis – sílice
FeO tot	: Hierro total



**LISTADO DE MAPAS**

Mapa N° 3.1. Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio.....	Pag. 28
Mapa N° 3.2. Mapa Morfoestructural.....	Pag. 31
Mapa N° 3.3. Mapa Estructural.....	Pag. 38
Mapa N° 3.4. Mapa de Dominios Tectónicos.....	Pag. 42
Mapa N° 3.5. Mapa Geológico Regional.....	Pag. 48
Mapa N° 3.6. Mapa con Muestras de Análisis Geoquímico.....	Pag. 50
Mapa N° 4.1. Mapa con la Ubicación de Muestras Petrográficas.....	Pag. 62
Mapa N° 4.2. Mapa con Muestras de Geoquímica y Petrografía.....	Pag. 98
Mapa N° 4.3. Mapa con Yacimientos y Concentraciones de Sr.....	Pag. 99
Mapa N° 4.4. Mapa Regional Centro y Sur.....	Pag. 103



## RESUMEN

El área de estudio se ubica en el centro del Perú, entre los departamentos de Ayacucho y Huancavelica, se ha cartografiado pequeños centros volcánicos en donde se ha desarrollado estudios de geoquímica magmática, vulcanología física, ya que son importantes para definir fallas profundas (transcorticales) que controlaron la evolución andina, el límite de bloques litosféricos y el emplazamiento de yacimientos de minerales.

El objetivo fue determinar límites de bloques litosféricos y principales sistemas de fallas regionales que se encuentran en el centro del Perú, mediante la geoquímica de los centros volcánicos menores (monogenéticos).

La metodología consistió en el análisis químico de 26 muestras de rocas de diferentes centros volcánicos menores, apoyados con 21 muestras de estudios anteriores siendo un total de 47 muestras con valores de elementos mayores, traza. Así mismo se han considerado dataciones radiométricas de estudios anteriores. El método de análisis químico utilizado en el laboratorio fue por espectrometría de masas-plasma acoplado (ICP-MS). Se ha realizado estudios microscópicos de secciones delgadas para cada centro volcánico menor, con la finalidad de determinar las diferentes asociaciones mineralógicas y correlacionarlas con los diagramas geoquímicos.

El contexto geológico regional donde se encuentran los centros volcánicos menores (monogenéticos) está dado por el Basamento Pre-cambriano conformado por varios bloques antiguos acretados, así como en los Basamentos de Paracas, Arequipa y Amazonia. La estratigrafía está conformado por unidades desde el Paleozoico hasta el Mioceno-Plioceno, controlado y limitado por fallas regionales, tales como el sistema de fallas Chonta, Abancay-Andahuaylas-Totos y la falla Ayacucho.

Las rocas volcánicas de los Centros Volcánicos Menores son de edad mio-plioceno datados entre 3 y 5 M.a, está conformado por las unidades Ayacucho (basalto, basalto andesita, andesita, traquiandesita) y Pampa Cangallo (traquiandesita, dacita).

Las características petrográficas de la unidad Ayacucho muestran la presencia de minerales de asimilación profunda lo que indica que los Centros Volcánicos Menores se habrían emplazado a lo largo de una falla profunda, a diferencia de los Centros Volcánicos Menores que se emplaza en la unidad Pampa Cangallo que presenta asociaciones mineralógicas con asimilación somera.

Geoquímicamente los afloramientos de rocas monogenéticas presentan rangos entre 50 a 62 wt% SiO<sub>2</sub>. Las concentraciones de los elementos mayores se definen como rocas máficas e intermedias, con una variación de composición calcoalcalina-alcalina (serie shoshonítica).

Las estructuras regionales que controlan el emplazamiento y afloramientos de los Centros Volcánicos Menores de composición monogenética son favorables para el emplazamiento de depósitos minerales por ejemplo polimetálicos, llegando a formar franjas metalogenéticas importantes.

## ABSTRACT

The study area is located in the center of Peru, between the departments of Ayacucho and Huancavelica, has mapped small volcanic centers where has developed magmatic geochemistry, physical volcanology studies, as they are important to define deep faults that controlled the Andean evolution, limit lithospheric blocks and emplacement of mineral deposits.

The objective was to determine limits of lithospheric blocks and regional fault systems that are at the center of Peru, by the geochemistry of minor volcanic centers.

The methodology involved in the chemical analysis of 26 samples of different type of rock from minor volcanic centers, supported by previous studies with 21 samples being a total 47 samples with values of major and trace elements. Also radiometric dates have been considered in previous studies. The chemical analysis method used in the laboratory was by mass spectrometry-coupled plasma (ICP-MS). It has made microscopic studies of thin sections for each minor volcanic center, in order to determine the different mineralogical associations and correlate with geochemical diagrams.

The regional geological context where the minor volcanic centers (monogenetic) is given by the Pre-Cambrian Basement comprises for several old accreted blocks, Basements of Paracas, Arequipa and Amazonia. The stratigraphy consists of units from the Paleozoic to the most recent units (Miocene - Pliocene), controlled and limited by regional structures such as Ayacucho fault, Chonta fault system, and Abancay-Andahuaylas-Fotos fault system.

The volcanic rocks of the Minor Volcanic Centers with age miopliocene dated between 3-5 Ma, consists of the Ayacucho (basalt, andesite basalt, andesite, trachyandesite) and Pampa Cangallo units (trachyandesite, dacite).

The petrographic characteristics of the Ayacucho unit shows the presence of minerals from deep assimilation indicating that the Minor Volcanic Centers have been emplaced along a deep fault, unlike the Minor Volcanic Centers that is emplaced in the Pampa Cangallo unit having mineralogical associations with shallow assimilation.

Geochemically the outcrop of monogenetic rocks present ranges between 50-62 wt% SiO<sub>2</sub>. Concentrations of the major elements that defined as intermediate mafic rocks, with compositional variation between calc-alkaline and alkaline (shoshonitic series). Regional structures that control the emplacement and Minor Volcanic Centers outcrops of the monogenetic composition, are favorable for the emplacement of polymetallic mineral deposits, coming to be important metallogenic zones.

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las rocas monogenéticas es importante para delimitar estructuras profundas en cortezas continentales espesas, como es el caso de la corteza de los Andes (>50 km). A lo largo del borde este de los Andes Centrales se encuentran centros volcánicos menores asociados a sistemas de fallas regionales.

En el Altiplano y en el borde oeste de la Cordillera Oriental del sur de Perú, los centros volcánicos menores se agrupan en dos tipos de composición Potásicas (K) y Ultrapotásicas (UK), cada grupo se ha emplazado sobre distintos bloques litosféricos (Carlier et al., 2005). La presencia de centros volcánicos menores se prolonga hacia el Altiplano de Bolivia, en donde a base de isotopos, se concluyó que las variaciones geoquímicas están relacionadas a los diferentes porcentajes de contaminación cortical (Davidson & de Silva, 1992); más al sur, en la puna de Argentina se ha determinado que las variaciones de los elementos mayores, traza e isótopos de los centros volcánicos menores, indican que se han emplazado en el Plioceno producto de la delaminación de la litosfera (Kay et al., 1994; Murray, 2010).

Las lavas máficas mio-pliocénicas del sur del Perú presentan características geoquímicas, litológicas y estructurales que nos permite entender los diferentes procesos magmáticos. Los flujos de lava que se encuentran en el borde oeste de la Cordillera Oriental del sur del Perú, forman una franja de rocas monogenéticas de composición potásica (K) y ultrapotásica (UK), cada grupo de rocas se formaron sobre distintos bloques litosféricos Carlier et al., 2005.

En el Centro del Perú, a lo largo de los sistemas de fallas Ayacucho, Abancay-Andahuaylas-Totos y Chonta; afloran varios centros volcánicos menores; por ello, dentro del Proyecto GR6: “Geología de Rocas Sedimentarias y Volcánicas del Altiplano y Cordillera Oriental” en INGEMMET se han cartografiado, muestreado y analizado químicamente para determinar su relación con fallas profundas que controlaron la evolución andina y son considerados también límite bloques litosféricos.

El patrón geoquímico fue tomado a partir de las rocas más primitivas del centro del Perú, las cuales se encuentran en el Complejo Ofiolítico de Tapo, ubicado a 10 km al NE de Tarma, (Tassinari et al., 2011). Para el presente estudio se han realizado 26 análisis químicos de diferentes centros volcánicos menores, además se cuenta con 21 muestras de estudios anteriores que totalizan 47 muestras con valores de elementos mayores, traza e isótopos. Así mismo se han considerado dataciones radiométricas de estudios anteriores.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el estudio de los magmas Potásicos-Ultrapotásicos (K-UK) se puede determinar la composición y geometría de los dominios y/o bloques de la litosfera subcontinental (Carlier et al., 2005). Por esta razón es importante conocer las zonas del territorio peruano donde existen este tipo de rocas expuestas a lo largo de estructuras o fallas regionales a manera de centros volcánicos menores.

En el centro del Perú, se han cartografiado pequeños centros volcánicos en la región de Ayacucho y Huancavelica (Lefèvre, 1979; Noble et al., 1975; Morche et al., 1995; Rodríguez & Chacaltana, 2003).

Sin embargo para la zona de trabajo no se han desarrollado estudios de geoquímica magmática relacionado a la delimitación de bloques litosféricos, realizar estudios de volcanología física y geoquímica son importantes para definir las fallas transcorticales que controlaron la evolución andina y el emplazamiento de yacimientos de minerales.

El presente trabajo consiste en caracterizar petroquímicamente estos magmas y determinar la edad de emplazamiento y su relación con cambios en litosferas subcontinentales.



## Formulación del problema

Dado el problema, se puede formular las siguientes interrogantes:

- ✓ ¿Qué características petroquímicas presentan las rocas de los Centros Volcánicos Menores del centro del Perú y a que sistemas estructurales se encuentran asociados?
- ✓ ¿El estudio de la geoquímica magmática de los Centros Volcánicos Menores permitirá delimitar los bloques litosféricos subcontinentales, como es el caso en el sur del Perú?
- ✓ ¿Qué indican las variaciones geoquímicas en las rocas monogenéticas?
- ✓ ¿Qué tipo de depósitos de minerales están relacionados a este tipo de magmas?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La importancia de identificar los procesos que han intervenido en la formación de rocas monogenéticas, su distribución espacial, temporal y el modo de emplazamiento. Estos magmas máficos producto de diferentes procesos tectónicos en su mayoría son de carácter alcalino (serie shoshonítica)-calcoalcalino y se generan en estructuras regionales litosféricas extensionales, generando una fuente para el rápido ascenso de los magmas derivados del manto a los niveles máximos de la corteza y con poca interacción cortical (Richard et al., 1990).

Así mismo, se pueden formar por causa de una colisión de bloques litosféricos que provoca un engrosamiento de la corteza y una posterior delaminación (Harris et al., 1986; Davies y von Blandenbur., 1995).

Con el presente trabajo, se busca determinar para el Centro del Perú entre Huancavelica y Ayacucho, si las diferentes rocas de composición monogenética (rocas máficas) delimitan distintos bloques de litosfera subcontinental y su relación con yacimientos de minerales.

## 1.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES

1. Se sabe que en el sur del Perú, las rocas de composición potásica y ultrapotásica se caracterizan por tener alto contenido potásico, fraccionamiento de tierras ligeras y anomalías negativas en Nb-Ta.
2. Tectónicamente las rocas volcánicas que se encuentran en el sur de Perú se han emplazado a lo largo del sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayavivi que es el límite entre dos bloques litosféricos o tipos de magmas: perzolitico en el Altiplano Oriental y Harzburgítico en el Altiplano Occidental (Carlier et al., 2005).
3. Los Centros volcánicos menores que se encuentran en los departamentos de Ayacucho y Huancavelica, también pueden definir límites de bloques litosféricos subcontinentales de distintas composiciones, tal como ocurre en el sur de Perú.

### 1.4.1 VARIABLES

#### Variable independiente

- Tectónica (estructural).
- Magmatismo y geoquímica.

#### Variable dependiente

- Afloramiento de volcanes monogenéticos.
- Composición petrográfica de los centros volcánicos menores.
- Signaturas geoquímicas de rocas ígneas.
- Relación con depósitos de minerales.

### 1.4.2 INDICADORES

- Cartografiado geológico y estructural de los centros volcánicos menores.
- Alineamiento de rocas volcánicas máficas.
- Geoquímica de rocas ígneas. (e. g., contenido < 62 % SiO<sub>2</sub>).
- Edad de las rocas (dataciones radiométricas).

## 1.5 OBJETIVOS

### ➤ Objetivo General

- Determinar límites de bloques litosféricos y principales sistemas de fallas regionales que se encuentran entre Ayacucho-Huancavelica, mediante la geoquímica de los centros volcánicos menores.

### ➤ Objetivos Específicos

- Identificar los centros volcánicos menores (CVMs) en la región de Ayacucho y Huancavelica.
- Determinar las características petrográficas y geoquímicas de los CVMs e interpretar las principales variaciones geoquímicas de las rocas volcánicas.
- Identificar estructuras regionales y su relación con los CVMs así como se presentan en el sur de Perú.
- Determinar si existe relación entre el origen de los centros volcánicos menores (monogénicos) con la ocurrencia de yacimientos polimetálicos en el área de estudio.

## 1.6 METODOLOGIA DE TRABAJO

El método de trabajo está dividido en las siguientes etapas:

### 1.6.1 GABINETE I

- Recopilación de información de trabajos y publicaciones en un contexto regional y local.
- Fotointerpretación de fotografías aéreas y análisis de imágenes satelitales.
- Análisis y sistematización de la información geoquímica de trabajos anteriores.

### 1.6.2 ETAPA DE CAMPO

- Cartografiado geológico de las estructuras volcánicas
- Observación directa de la geología y estructuras existentes en el área de trabajo.
- Muestreo de rocas volcánicas para el estudio de análisis químico y petrográfico.

- **Método de Muestreo**

El muestreo se ha realizado en la parte céntrica de cada centro volcánico, lugar en donde principalmente aflora la roca volcánica fresca, ya que en los bordes se encuentran cubiertos por material cuaternario o se encuentra alterado.

El muestreo ha sido mediante la obtención de pequeños fragmentos de rocas frescas menores a 3 cm de diámetro (*rock chip*) para el análisis geoquímico, paralelamente, del mismo lugar se tomó una muestra de mano para una descripción petrográfica macroscópica y microscópica (sección delgada).

La cantidad de roca fragmentada que se ha obtenido por cada afloramiento es de 3 Kg y de 1 a 2 muestras por cada centro volcánico, en algunos casos la cantidad es variable por la granulometría y la visibilidad de los cristales, la recolección es de forma irregular o no sistemática. Las muestras colectadas se encuentran previamente codificadas.

### 1.6.3 GABINETE II

Con los datos obtenidos en campo se realizó la integración del mapa geológico en donde se ha utilizado diferentes herramientas y programas especializados así como el Arc GIS 10, Adobe Illustrator CS6 y Microsoft Excel para la conformación de una base de datos. Finalmente se realizaron las interpretaciones y la redacción de la tesis.

## 1.7 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se han realizado 26 análisis químicos de diferentes centros volcánicos menores, además se cuenta con 21 muestras de estudios anteriores que totalizan 47 muestras con valores de elementos mayores, traza e isótopos. Así mismo se han considerado dataciones radiométricas de estudios anteriores.

El procesamiento matemático de los datos geoquímicos se dio en base a la recalculación al 100% para los elementos mayores, utilizando fórmulas matemáticas y para los elementos traza se realizó la normalización al Condrito Sun & McDonough (1989) (<http://earthref.org/GERM/>).

El método de análisis químico utilizado en el laboratorio para las muestras fue por espectrometría de masas – plasma acoplado (ICP-MS). Con los resultados de laboratorio y los de estudios anteriores se ha procedido a realizar la tabulación y análisis de datos en el software Microsoft Excel mediante diagramas geoquímicos.

El patrón geoquímico fue tomado a partir de las rocas más primitivas del centro del Perú, las cuales se encuentran en el Complejo Ofiolítico de Tapo, ubicado a 10 km al NE de Tarma, (Tassinari et al. 2011).

Se ha realizado estudio microscópico de secciones delgadas de cada centro volcánico menor, con la finalidad de determinar las diferentes asociaciones mineralógicas y correlacionarlas con los diagramas geoquímicos.

Para la elaboración del mapa geológico y secciones se utilizó el Software Arc Gis 9.3 y el Adobe Illustrator. En el ordenamiento de la base de datos de campo y geoquímicos se utilizó el programa Microsoft Excel.

## 1.8 ANTECEDENTES

Carlier et al. (1997); Carlier & Lorand (1997, 2003); Sandeman & Clark (2004) estudiaron las rocas potásicas (K) - ultrapotásicas (K-UK) en el sur del Perú, notando que la característica principal en las rocas K-UK es su composición monogenética (un solo tipo de magma) y afloran en forma de pequeñas estructuras (stock, diques o pequeños volcanes), relacionado a sistemas de fallas regionales. Recientemente, Carlier et al. (2005) determinaron, en el sur del Perú, que la composición química de los centros volcánicos menores corresponde a rocas potásicas y ultra potásicas y son controladas por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri; al este de dicho sistema de fallas se encuentran shoshonitas y lamproitas y al oeste son traquibasaltos y shoshonitas.

En el Altiplano de Bolivia también afloran pequeños centros volcánicos de composición traquiandesítica y en base a isótopos se concluyó que las variaciones geoquímicas se encuentran relacionadas a los diferentes porcentajes de contaminación cortical (Davidson & De Silva, 1992).

En la Puna de Argentina se tienen también afloramientos de rocas monogénicas, y en base a los estudios de las variaciones de los elementos mayores, traza e isótopos sugieren que estas rocas monogénicas se han producido en el Plioceno producto de la delaminación de la litosfera (Kay et al., 1994; Murray, K., 2010).



## CAPITULO II

### MARCO TEORICO – CONCEPTUAL

#### 2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE GEOQUÍMICA Y MAGMATISMO

##### 2.1.1 MAGMA

Se llama a la roca completamente o parcialmente fundida, y se solidifica debido al enfriamiento para formar una roca ígnea, compuesta por silicatos. La mayoría de los magmas constan de tres componentes: Líquido, sólido y una fase gaseosa. La porción líquida es conocida como la masa fundida y se compone principalmente de iones móviles constituido por los ocho elementos más comunes que se encuentran en la corteza. Los componentes sólidos son los minerales silicatados que han cristalizado a partir de la masa fundida, los componentes gaseosos son llamados volátiles como vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre, etc. (Lutgens, F & Tarbuck, E., 2012)

El contenido de sílice en el magma determina el grado de viscosidad y se deduce que a mayor contenido de sílice mayor será el grado de viscosidad.

Según el contenido de sílice los magmas pueden clasificarse en:

- Magmas ultramáficos, contienen menos del 45% de  $\text{SiO}_2$ . Las rocas volcánicas con menos del 45%, son llamadas ultrabásicas.
- Magmas máficos.- presentan valores bajos de sílice entre 45% y 52 % de  $\text{SiO}_2$ . Son poco viscosos por lo que tienen un alto grado de fluidez. También recibe el nombre de magmas máficos por su alto contenido de hierro y magnesio. Las rocas resultantes de este tipo de magmas están conformados mayormente por minerales ferromagnesianos.

- Magmas intermedios.- contienen entre el 52 % y 63 % de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y sus características litológicas al igual que su clasificación presentan composición intermedia.
- Magmas ácidos.- llamado también magmas félsicos, el contenido de sílice es mayor a 63 %  $\text{SiO}_2$ . Se deduce que por su alto contenido de sílice, son altamente viscosos y fluyen con dificultad

### 2.1.2 MAGMATISMO

El magmatismo se encarga de describir e identificar el origen, la evolución y el emplazamiento de magmas, también se refiere a todos los procesos en los que intervienen los materiales del interior de la Tierra cuando se encuentran fundidos o en forma de magma. Cuando el magma está en un proceso de ascenso desde su cámara magmática pasan por varias etapas como es el caso de la diferenciación magmática, en donde el fundido en su trayecto se separa en diferentes componentes hasta llegar a formar una estructura mineralógica (Oyarzún, J., 2009)

La composición de los magmas pueden ser afectados por la interacción con el material de la corteza y también porque el espesor de la corteza varía con el tiempo. En los Andes Centrales existe una buena relación entre la evolución de la corteza y la génesis del magma.

#### A. MAGMAS PARENTALES

Un magma parental es el líquido original de la cual se han desarrollado una serie de magmas de diferente composición. La composición de los magmas cambian principalmente por cristalización fraccionada y contaminación cortical. También puede ocurrir pérdida de volátiles a través exsolución y la separación de los componentes volátiles.

En general los magmas llegan a ser más ricos en Fe (hierro) y Si (sílice), y pobres en Mg (magnesio) durante su fraccionamiento, sin embargo, detallados los cambios en la



composición dependen de la secuencia de cristalización y la posibilidad de contaminación de la corteza. (Fuente: Imperial College Rock Library)

## B. DIFERENCIACIÓN MAGMÁTICA

La diferenciación magmática es el conjunto de procesos mediante los cuales un magma original primario, homogéneo se separa en fracciones que llegan a formar rocas de composiciones diferentes pero relacionadas.

### - Cristalización fraccionada

En esta etapa se produce lentamente el enfriamiento del magma, en profundidad sus componentes cristalizan de forma gradual en condiciones de alta presión y temperatura y con ausencia de oxígeno; en donde cristalizan, primero, los minerales ferromagnesianos y plagioclasas (minerales que tienen bajo contenido de sílice en su estructura), quedando como residuo un fundido relativamente enriquecido de sílice, con el cual posteriormente se podrán formar a temperaturas más bajas, ortoclasa, mica y cuarzo.

El orden de cristalización de los minerales está definido en la serie de Bowen (Fig. 2.1), las series más importantes se dividen en dos: serie continua (plagioclasas) y serie discontinua (silicatos ferromagnesianos), Bowen, N (1928)

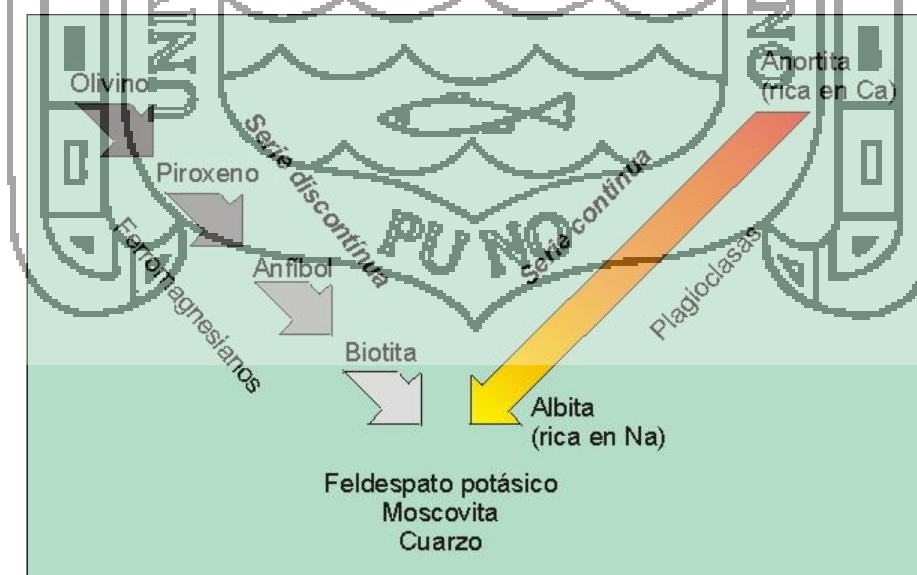


Figura 2.1: Se muestra la cristalización fraccionada en base a la clasificación de la serie de Bowen (continua y discontinua). Bowen, N. L., 1928.

### - Asimilación Magmática

En este proceso el magma original se incorpora al material ígneo, sufriendo modificaciones en su composición, se produce la destrucción total o parcial de rocas o magmas primitivos para generar una nueva mezcla de magma que puede llegar a ser homogéneo pero de composición intermedia, por ejemplo: la asimilación se puede dar a partir de las rocas encajonantes u otro magma de composición diferente (mezcla de magmas). (Bayly, 1982)

De este modo, el magma original puede sufrir una modificación en su composición, debido a que han pasado por un proceso de contaminación. La composición de la roca ígnea resultante cuando el magma contaminado cristaliza dependerá de las composiciones del magma original (magma primitivo), es decir del material asimilado y la proporción en que se encuentre esta última mezcla. (Best, E & Myron, G., 1982)

### 2.1.3 ASPECTO TECTÓNICO – VULCANISMO

#### A. MANTO LITOSFÉRICO

El comportamiento muy diferente de las zonas de subducción involucra la litosfera joven y antigua, esto también se muestra en el régimen de tensión que se manifiesta detrás del arco magmático. Algunas zonas de subducción generan cuencas de tras arco o expansión del fondo marino. La subdivisión de las zonas de subducción se da en base a la tensión que se ejerce, teniendo un régimen extensivo y compresivo (Jarrad, R., 1986).

Se tiene dos ejemplos acerca de las zonas de subducción diferenciándose de acuerdo al ángulo como son el tipo Mariana y el del tipo Chilena (Stern, R., 2002). (Fig. 2.3 a y b).

De acuerdo a su composición los cuerpos ultramáficos de acuerdo a su composición varían de la siguiente manera.

### - Manto Lherzólítico

Constituido por lherzolitas con cantidades menores de piroxenitas, ambos con clinopiroxenos prominentes; la principal fase aluminosa puede ser tanto granate, espinela o plagioclasa. Estas rocas tienen la capacidad de emisión de líquidos basálticos, propiedad no poseída por el de tipo harzburgítico. Las lherzolitas tienen índice de color  $M \geq 90$  y las relaciones  $opx/(ol + cpx + opx)$ , y  $cpx/(ol + cpx + opx) \geq 5$ . Están compuestas predominantemente de olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno.

Debido al incremento de presión, las asociaciones minerales de las lherzolitas son:

- Baja presión: olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + plagioclasa
- Mediana presión: olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + espinela
- Alta presión: olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + granate

### - Manto Harzburgítico

Las harzburgitas tienen índice de color  $M \geq 90$ , y la relación  $cpx/(ol + opx + cpx) < 5$ . Están compuestas esencialmente de olivino y ortopiroxeno. Se derivan de las lherzolitas por fusión y extracción de los componentes basálticos de menor punto de fusión, que consume a los clinopiroxenos y la composición migra hacia la composición de una dunita.

### - Arco Magmático

La principal fuente de formación de los arcos magmáticos son las zonas de subducción involucrando litosfera joven y antigua. La subdivisión de las zonas de subducción se realiza teniendo en cuenta el ambiente tectónico si ha sido compresional o extensional (Jarrad, R., 1986) (Ver fig. 2.2).

El olivino, piroxeno, hornblenda, y especialmente la plagioclasa son los típicos fenocristales de lavas arco. Las lavas de arco generalmente no están en equilibrio con el manto peridotítico pero han experimentado significativa fraccionación de bajas presiones, generalmente dentro de la corteza. La naturaleza de lavas de arco porfirítica indica que en su mayoría son mezclas de fusión y cristales, por lo que el análisis de muestras de lavas de arco puede dar información engañosa acerca de cómo han evolucionado del fundido. Afortunadamente, se funden atrapados en forma de

inclusiones de vidrio, son comunes en fenocristales de arco, y la composición de estos vidrios ofrece la información más confiable sobre la evolución del fundido.

Los antecedentes del arco magmático brinda información detallada acerca de la evolución en diferentes periodos de la subducción en los Andes Centrales. Mediante la actividad ígnea en los arcos magmáticos y sus tras arcos es que se forma la corteza continental, se encuentra relacionado a la presencia de yacimientos.

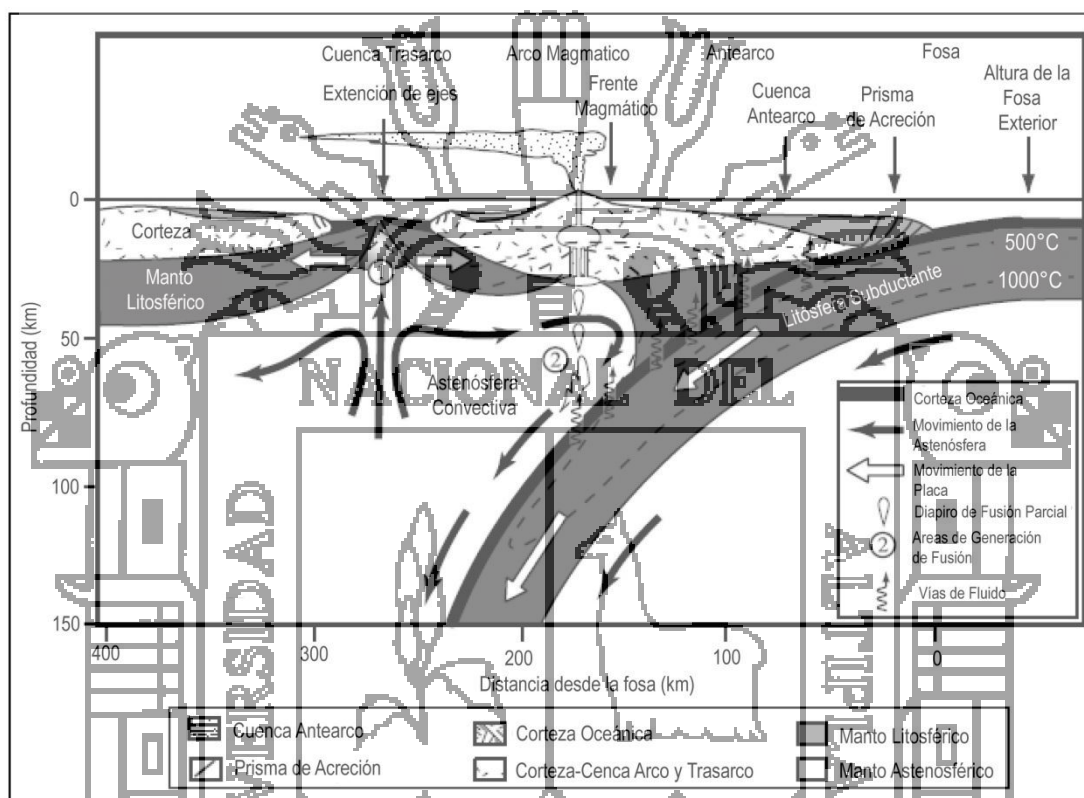
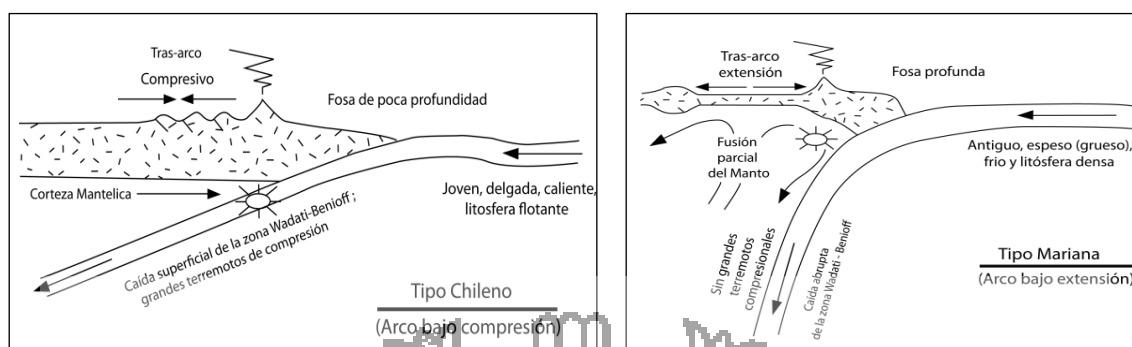


Figura 2.2: Modelo esquemático del arco magmático y la generación del magma en un ambiente de subducción (Stern, R., 2002).

#### - Tras arco magmático

Los procesos de subducción están dados por procesos compresivos y distensivos, es por eso que en los ambientes compresivos a lo largo de los Andes Centrales generan montañas y en ambientes distensivos se forman cuencas de diferentes estilos, el ambiente tectónico depende del esfuerzo y del ángulo de subducción, es decir las lavas erupcionadas en este ambiente son comúnmente denominadas cuencas basálticas de tras arco, haciendo referencia entre los magmas asociados con diferentes estados de evolución. (Stern, R., 2002).



A

B

Figura 2.3: a) Tras arco en ambientes compresivos (montañas), b) Tras arco en ambientes distensivos (cuencas) (Stern, R., 2002).

## B. LITÓSFERA SUBCONTINENTAL

La litosfera subcontinental infrayace a la corteza continental, la profundidad varía desde algunas decenas de km debajo de zonas de rift a más de 250 km debajo de cratones y/o terrenos antiguos. La composición de la litosfera subcontinental está fuertemente correlacionada con la edad tectonothermal que suprayace a la corteza, lo que implica a largo plazo la afinidad entre la corteza y el manto (Griffin et al., 2000). Está compuesta principalmente de rocas ultramáficas, que van desde hercólitas (olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno ± granate ± espinela) a dunitas (olivino) y harzburgitas (olivino + ortopiroxeno) (Mamani, M., 2011).

### - Bloques litosféricos

Los bloques litosféricos son zonas de la litosfera con diferentes características litológicas, textura y composición de las rocas, producto de uno o varios eventos tectónicos importantes. En el caso del sur de Perú trabajos realizados por Carlier et al., 2005; Carlotto et al., 2008, evidencian mediante la presencia de centros volcánicos menores, diques, necks alineados al sistema de Fallas Cusco – Vilcanota.

Con el análisis químico de rocas volcánicas se tienen características composicionales diferentes ya que en ambos sectores presentan variaciones geoquímicas particulares.

## C. VULCANISMO

Se produce cuando el material fundido en el interior de la Tierra fluye hacia la superficie a través de grietas y fracturas. A este material fundido que sale a la superficie se le denomina lava y se caracteriza porque se enfría rápidamente liberando sus gases disueltos. De acuerdo a la composición y la viscosidad del magma varía las características y el tipo de erupción volcánica (Stem, R., 1998), es decir la actividad volcánica establece una comunicación temporal y permanente entre la parte profunda de la litósfera y la superficie terrestre.

### - CLASIFICACIÓN DE VOLCANES DE ACUERDO A SU ACTIVIDAD

La salida de productos gaseosos, líquidos y sólidos lanzados por las explosiones constituye los paroxismos o erupciones del volcán.

Los volcanes se pueden clasificar de diferentes maneras teniendo en consideración factores diversos. Con respecto a la frecuencia de su actividad eruptiva los volcanes pueden ser:

- **Volcanes activos**

Los volcanes activos son aquellos que entran en actividad eruptiva. La mayoría de los volcanes ocasionalmente entran en actividad y permanecen en reposo la mayor parte del tiempo. El período de actividad eruptiva puede durar desde una hora hasta varios años. El ejemplo más claro se tiene en el Sur de Perú los volcanes Misti, Huaynaputina, Sabancaya. Los intervalos de inactividad entre erupciones pueden durar meses, décadas y en ocasiones hasta siglos.

- **Volcanes durmientes o intermitentes**

Los volcanes durmientes son aquellos que mantienen ciertos signos de actividad como lo son la emisión de aguas termales y que han entrado en actividad esporádicamente. Dentro de esta categoría suelen incluirse las fumarolas y los

volcanes con largos períodos en inactividad entre erupción. Un volcán se considera activo si su última erupción fue antes de 25.000 años.

La actividad eruptiva es casi siempre intermitente, ya que los períodos de paroxismo alternan con otros de descanso. Este tipo de actividad volcánica consiste en el emplazamiento de las rocas ígneas o en estado de fusión, desde el interior de la corteza terrestre hacia el exterior. Estos materiales salen a la superficie terrestre como si fueran ríos de rocas fundidas, conformando un volcán activo, al impulso de los gases.

- **Volcanes extintos o apagados**

Los volcanes extintos son aquellos que estuvieron en actividad durante períodos muy lejanos y no muestran indicios de que puedan reactivarse en el futuro. Se puede decir también a aquellos volcanes que hasta el presente no han erupcionado o si han tenido actividad volcánica ha cesado por completo.

#### - TIPOS DE VOLCANES SEGÚN SU ERUPCIÓN

La actividad volcánica no se da de la misma manera en todos los volcanes, ya que presentan características diferentes, desde su composición hasta el medio tectónico en donde está ubicado. La diferencia también se da cuando algunos volcanes emiten vapor y gases volcánicos mientras que otros realizan una erupción explosiva, es decir la diferencia de la erupción se deberá al tipo de lava y la cantidad de agua presente en el magma. Es así que de acuerdo a su erupción se clasifican en:

- **Hawaiano:** Los volcanes de este tipo tienen una actividad explosiva poco común, liberan gases de manera tranquila, que pueden impulsar lava hasta 500 metros de alto. Se dan numerosas salidas de fluido magma que forman importantes lagos o ríos de lava. La lava suele salir por los laterales y no por el cráter. Tienen forma de escudo y pendientes suaves. Esta clase de volcanes está presente en Hawai, de allí su nombre.
- **Estromboliano:** Los volcanes de este tipo generan lava con menor fluidez que los anteriores, lo que hace que constantemente explote de forma pastosa y gases.



Se caracterizan por formar de manera muy rápida conos de escoria. Ejemplos de estos son los volcanes ubicados en el mar Mediterráneo: los Stromboli y en Kamchatka: Kiluchevski.

- **Vulcaniano:** es cuando el volcán emite lava muy viscosa, poco fluida, que se solidifican con rapidez. Se forman grandes nubes de material piroclástico y se emite mucha ceniza. Están caracterizadas por producir una erupción en forma de nube similar a una seta u hongo. La actividad suele comenzar con una erupción freática que descarga escombros. La fase principal suele constar de una erupción de magma viscoso, rico en gases volcánicos y que forma una nube oscura.
- **Vesubiano o pliniano:** Este otro tipo de volcanes producen presiones de gas muy fuertes, que logran causar explosiones de elevada violencia. Producen nubes cuyas precipitaciones son de cenizas.
- **Peleano:** Debe su nombre a la Montaña Pelada (Montagne Pelée), una cumbre volcánica de la isla antillana de la Martinica, se caracteriza por una erupción explosiva que arroja lavas muy viscosas acompañadas de nubes de gases que arrastran todo lo que encuentran a su paso.

Volcanes	Tipos de Erupciones	Tipos de Productos	Imágenes	Ejemplos
Hawaiano	Erupciones suaves con surtidores de lava que a veces surgen desde fisuras. Cono muy aplastado.	Lavas muy fluidas (básicas). emiten muy pocos gases y cenizas por la gran fluidez de la lava.		Manua Loa, Hawai, Timanfaya, Lanzarote (1730).
Estromboliano	Erupciones poco violentas. La lava fluida desciende por el cono que crece con cada colada. Cono simétrico.	Lavas fluidas. Erupciones ricas en gases y pobres en cenizas.		Estromboli, Italia Paracutin, México Teneguia, La Palma (1730).
Vulcaniano	Explosiones fuertes que pulverizan la lava en cenizas y otros piroclastos. Cono asimétrico.	Lavas viscosas (ácidas). Erupciones ricas en piroclastos (cenizas, lapilli y bombas).		Vulcano, Italia
Vesubiano	Explosiones violentas debido a los gases que pueden precipitar en cenizas y otros piroclastos. Cono más o menos simétrico.	Alternancia de coladas de lava y piroclastos.		Vesubio (Nápoles, 79 d.C) Teide (Tenerife) Fujisan (Japón)
Pliniano	Erupciones muy violentas y ricas en cenizas y piroclastos. La columna eruptiva parece una coliflor gigante. Cono muy asimétrico	Lavas viscosas (ácidas).		Tambora, Indonesia (1815) Pinatubo, Filipinas (1991)
Peleano	Erupciones muy violentas que forman calderas por hundimiento del cono o de grandes agujas cuando se levanta el tapon que cierra el crater.	Lavas muy viscosas. Erupciones ricas en gases, vapor de agua, cenizas y pumita incandescente.		Krakatoa, Indonesia Mont Pelée, Martinica StA Helena, EEUU (1980)

Figura 2.4: Tipos de Erupciones Volcánicas Fuente: Ecoexploratorio.org.



- **CLASIFICACIÓN DE VOLCANES DE ACUERDO A SU MODO DE EMPLAZAMIENTO.**

- **Volcanes Compuestos o Estratovolcanes**

Conformados por capas alternadas de coladas de lava y material piroclástico emitidos desde una chimenea central. Presenta mayor altura, con típicos cono y cráter volcánicos y clara estratificación de los productos volcánicos arrojados por la chimenea y su consiguiente deposición en las inmediaciones de la misma originando el cono volcánico.

- **Calderas**

Es el conjunto de estructuras volcánicas con una gran depresión, originada por un colapso. La expulsión de grandes volúmenes de lava de una cámara magnética subyacente, la cual era el soporte de la estructura inicial, provoca un colapso caldérico con paredes verticales y un piso relativamente plano; el diámetro puede medir desde unos cuantos kilómetros hasta 50 Km o más. En un futuro, después de cientos de millones de años, la cámara magnética se podría rellenar con magma fresco y nuevamente hacer erupción, forzando al suelo de la caldera a crecer como un domo resurgente y llevar a cabo un nuevo colapso (Bardintzeff, 1992).

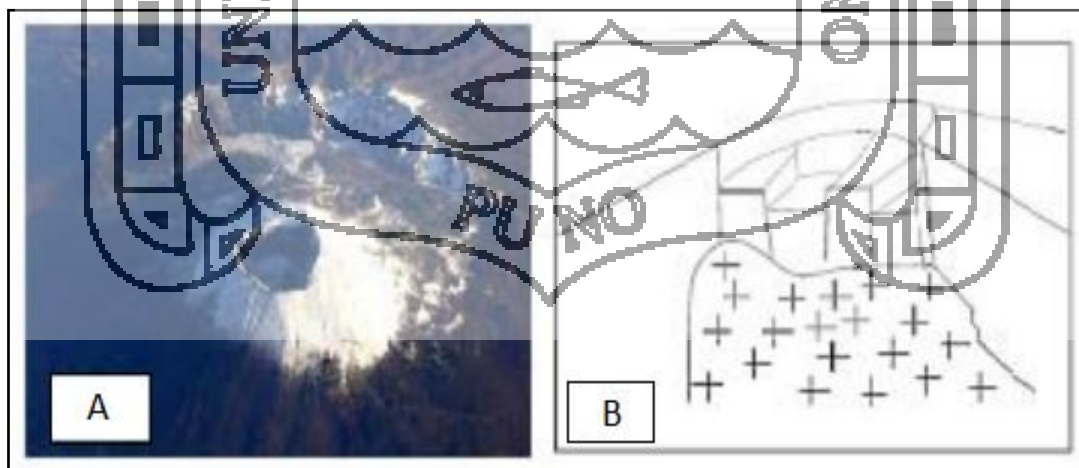


Figura 2.5: a) Fotografía del volcán Vesubio, en Italia. b) Representación esquemática de una caldera.

- **Domos de Lava**

Son cuerpos de lavas muy viscosas que salen a la superficie pero no pueden fluir, acumulándose en el centro eruptivo. Están conformados principalmente a partir de lavas de composición andesítica, dacítica y riolítica.

- **Conos de Ceniza y Escoria**

Esta estructura está formada por la acumulación de ceniza y escoria. Un cono de ceniza es una colina empinada. Sus erupciones, por lo general, no causan ninguna pérdida de vida. Los conos de ceniza están formados principalmente por erupciones estrombolianas, las cuales ocurren cuando el magma es viscoso, y el gas encerrado se escapa a medida que sube a la superficie. Frecuentemente, esto se traduce en bloques y bombas que caen sobre el espacio circundante.



Foto 2.1: Campo volcánico de Andahuay-Huambo. Fotografía obtenida por M. Mamani.

## - CAMPO VOLCÁNICO

Campo volcánico se define a un área de la superficie terrestre en donde se pueda generar actividad volcánica. En su mayoría es este campo volcánico se distribuyen varios volcanes, por lo general son conos de ceniza, pero también pueden presentarse a manera de flujos de lava, especialmente aparecen en grupos.

Este tipo de vulcanismo se clasifica por el tipo de estructura o edificio volcánico y por el tipo de erupción que presentan. Ambas características están relacionadas al ambiente tectónico que les dio origen, es decir por la presencia de fallas profundas (trascorticales).

Se clasifican en dos tipos: vulcanismo monogenético y vulcanismo poligenético.

- **Vulcanismo Monogenético**

Son eventos volcánicos de tipo explosivo y fluidal, está representado por estructuras volcánicas que se forman producto de una simple erupción, esta actividad volcánica puede durar algunos años y se extinguen sin volver reactivarse. En vez de ocurrir otra erupción en el mismo volcán, puede nacer otro similar. De acuerdo a su morfología los volcanes monogenéticos pueden ser clasificados como: fisurales, flujos de lavas, conos de escoria (Sepúlveda, F., 2004), como es el caso de los monogenéticos del sur de Perú que se ubican en Orcopampa, Sora, Andahua, Huambo y otros en los departamentos de Arequipa y Puno.

Para el presente estudio se pone énfasis a este término, porque en la zona de estudio existen pequeños volcanes recientes ( $>5$  Ma) que se emplazaron por la reactivación de fallas profundas y que por una simple fisura fluyó a superficie.



Foto 2.2: Campo volcánico de Andahua y Huambo. Fotografía obtenida por M. Mamani

- **Vulcanismo Poligenético**

Vulcanismo poligenético son aquellos que se forman a partir de diversas erupciones, que tienen lugar durante un periodo de tiempo largo, de miles hasta millones de años. A menudo están asociados a cámaras magmáticas intermedias o superficiales que experimentan sucesivos episodios de vaciado y rellenado, y donde los magmas primarios pueden evolucionar. Los edificios característicos resultantes son los estratovolcanes y los volcanes en escudo.

### - ROCAS POTÁSICAS Y ULTRAPOTÁSICAS

Las rocas ígneas potásicas y ultrapotásicas son una variedad de rocas volcánicas, obtenidas mediante una clasificación geoquímica y se encuentran en depósitos de poco volumen. Estas rocas máficas, generalmente, son pobres en sílice. La determinación de las rocas potásicas y ultrapotásicas se define en base al contenido de álcalis ( $K_2O/Na_2O > 3$ ) (Foley & Peccerillo, 1992).

Este tipo de rocas pueden proporcionar información en cuanto a la composición y geometría del manto litosférico en donde la superficie se encuentra expuesta por un determinado material diferenciando por la composición (Carlier et al, 2005)

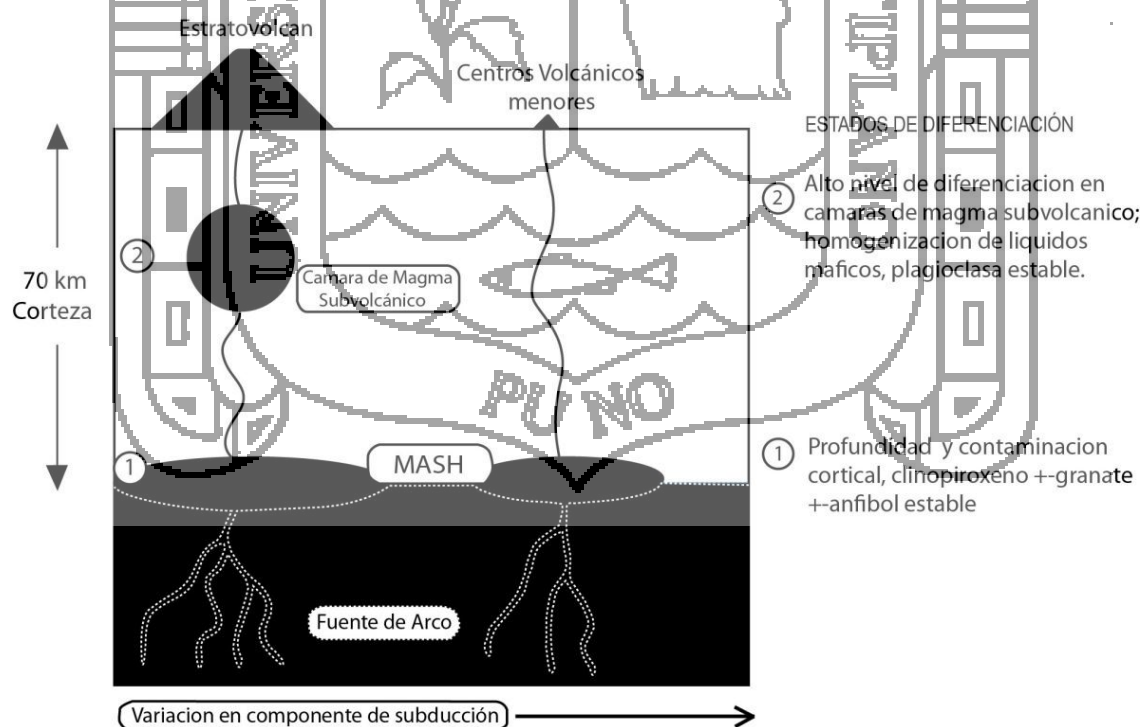


Figura 2.6: Esquema de la génesis y la evolución volcánica para los centros volcánicos menores y estratovolcán Davidson & de Silva (1992).

#### 2.1.4 PETROGRAFÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS.

La característica de los volcanes cenozoicos en la zona de los Andes Centrales comprendido entre los paralelos 18° y 26° de latitud sur (Ver fig. 3.3), son de composición andesita, dacita con andesita, riolita. La composición de estas lavas tienen sílice entre 56-66% y potasio de 1.4 a 5.4%. Los principales minerales formadores de rocas son: Plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, piroxeno, anfíbol, biotita y magnetita. La esfena y apatito son minerales accesorios comunes, con mayor frecuencia se presentan en rocas básicas. (Wilson, M., 2007).

#### 2.1.5 GEOQUÍMICA

Mediante la geoquímica de rocas ígneas se puede analizar e interpretar varios aspectos geológicos, como es el origen y la abundancia de los elementos mayores y traza de igual manera determinan la evolución y la proveniencia para cada tipo de roca.

##### A. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS POR SU CONCENTRACIÓN

- Elementos Mayores

Se concentran en todas las rocas ígneas, se expresa en porcentaje de peso total de óxidos (wt %), cada uno es mayor a 0.1%). Los elementos mayores están conformados por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y H<sub>2</sub>O, LOI. (White, 2009). Los geoquímicos hacen uso de los elementos mayores para: Clasificación de rocas, construcción de diagramas variantes (óxidos vs óxidos) y para comprobar la composición de determinadas rocas experimentalmente. (Rollinson, H., 1994).

En este estudio el método utilizado para el análisis analítico fue ICP-MS (Espectrometría de Masas – Plasma Acoplado por Inducción).

Para el tratamiento de los datos de elementos mayores, se ha tomado en cuenta que muchas de las rocas han podido sufrir algún tipo de alteración, este proceso afecta la concentración en los óxidos y volátiles, ocasionando un incremento o disminución en sus componentes. Por lo tanto, para conocer la abundancia de los principales óxidos de

las rocas, se ha recalculado los análisis químicos de los óxidos al 100% libre de volátiles (H<sub>2</sub>O, LOI) *lost of ignition* (perdida por ignición).

- **Elementos Traza**

Los elementos traza se presentan en concentraciones menores a 0.1% (1000 ppm) expresados en partes por millón (ppm). La mayoría de los elementos traza si bien no forman especies minerales por si solos, son capaces de sustituir a los elementos mayores en los minerales formadores de roca, estando presente en la fase líquida de una cámara magmática. (Rollinson, R., 1994)

Los elementos Li, Se, V, Co, Ni, Cr, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Nb, Zr, Mo, Cs, Cd, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th, U, están considerados como los más importantes para brindar información acerca del magmatismo, petrología y tectónica para la ubicación de yacimientos.

Cuando el manto terrestre es fundido, los elementos traza pueden mostrar preferencia por la fase líquida (fundido) o la fase sólida (mineral) a los cuales se les llama elementos compatibles e incompatibles, respectivamente. (Rollinson, R., 1994; White, W., 2007).

- **Elementos Compatibles e Incompatibles**

De manera generalizada, los elementos incompatibles que pertenecen al grupo de elementos litófilos de radio iónico grande y baja carga – Large Ion Lithophile Element (LILE), (Cs, Sr, K, Rb, Ba) son móviles, mientras que los elementos de alto potencial iónico-High Field Strength Element (HFSE) son inmóviles. Este último grupo incluye a las tierras raras (REE), Y, Th, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta y P (Pearce, 1983). Los elementos traza compatibles con radio iónico pequeño y baja carga como el Cr, Ni, Co, V son inmóviles y Sc entre otros se tiene al La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Los metales de transición Mn, Zn y Cu tienden a ser móviles particularmente a altas temperaturas, mientras que Co, Ni, V y Cr son inmóviles. (Rollinson, R., 1994; White, W., 2007).

Estos elementos son usados en la interpretación geoquímica que sirve para estudiar la génesis de fuentes de rocas (magmas) y para descifrar los procesos magmáticos.



### 2.1.6 GEOCRONOLOGÍA

La geocronología se encarga de determinar la edad absoluta de rocas, fósiles y sedimentos, dentro de un cierto grado de incertidumbre inherente del método usado.

Las rocas y minerales tienen propiedades naturales de radioactividad, en cada caso con una velocidad de caída específica y constante. Por esa razón la composición isotópica de los materiales radioactivos cambia con el tiempo (Dickin, A., 2000). Este mecanismo es la base de la geocronología. La datación radiométrica es el procedimiento empleado para determinar la edad de las rocas, minerales aplicando diferentes isótopos radiactivos así como el K/Ar, Ar/Ar, U/Pb.

### 2.1.7 YACIMIENTO MINERAL

Está representado por la concentración de una o más sustancias minerales de valor económico, rodeada de materiales no económicos (ganga) y que se encuentra distribuida en la corteza terrestre.

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones cambios y transformaciones químico mineralógicas en la profundidad. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones variables llamado también zonas anómalas y finalmente por el tamaño y el volumen es denominado yacimientos minerales.

Para que un elemento o un mineral sean explotables en un yacimiento, su concentración debe ser muy superior a su concentración media en la corteza terrestre. El otro factor importante a considerar es el valor económico, esas concentraciones pueden ser o no de interés económico, lo que delimita el concepto de yacimiento explotable o no explotable, en función a factores muy variados, entre los que a primera vista destacan algunos como el valor económico del mineral o minerales extraídos como pueden ser: la concentración, el volumen de las reservas del depósito.

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra espacialmente en la parte central Perú y morfológicamente en la Cordillera Occidental, zona del Altiplano y en el borde oeste de la Cordillera Oriental resaltando principalmente la zona del Altiplano en donde se tiene unidades volcánicas recientes. Estas unidades morfológicas están limitadas por controles estructurales de carácter regional como son el sistema de fallas Chonta, Abancay-Andahuaylas-Totos y la falla Ayacucho.

#### 3.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio está ubicada en la parte central de Perú, enmarcado dentro de los departamentos de Ayacucho y Huancavelica. (Figura 1.1)

Las coordenadas geográficas que delimitan la zona de estudio se encuentran entre los paralelos:

Lat. Sur: 13°48' a 12°14'

Long. Oeste: 73°41' a 75°30'



La accesibilidad a la zona de estudio es por vía aérea y terrestre, por medio de las diferentes carreteras afirmadas que están interconectadas con las principales vías de acceso.

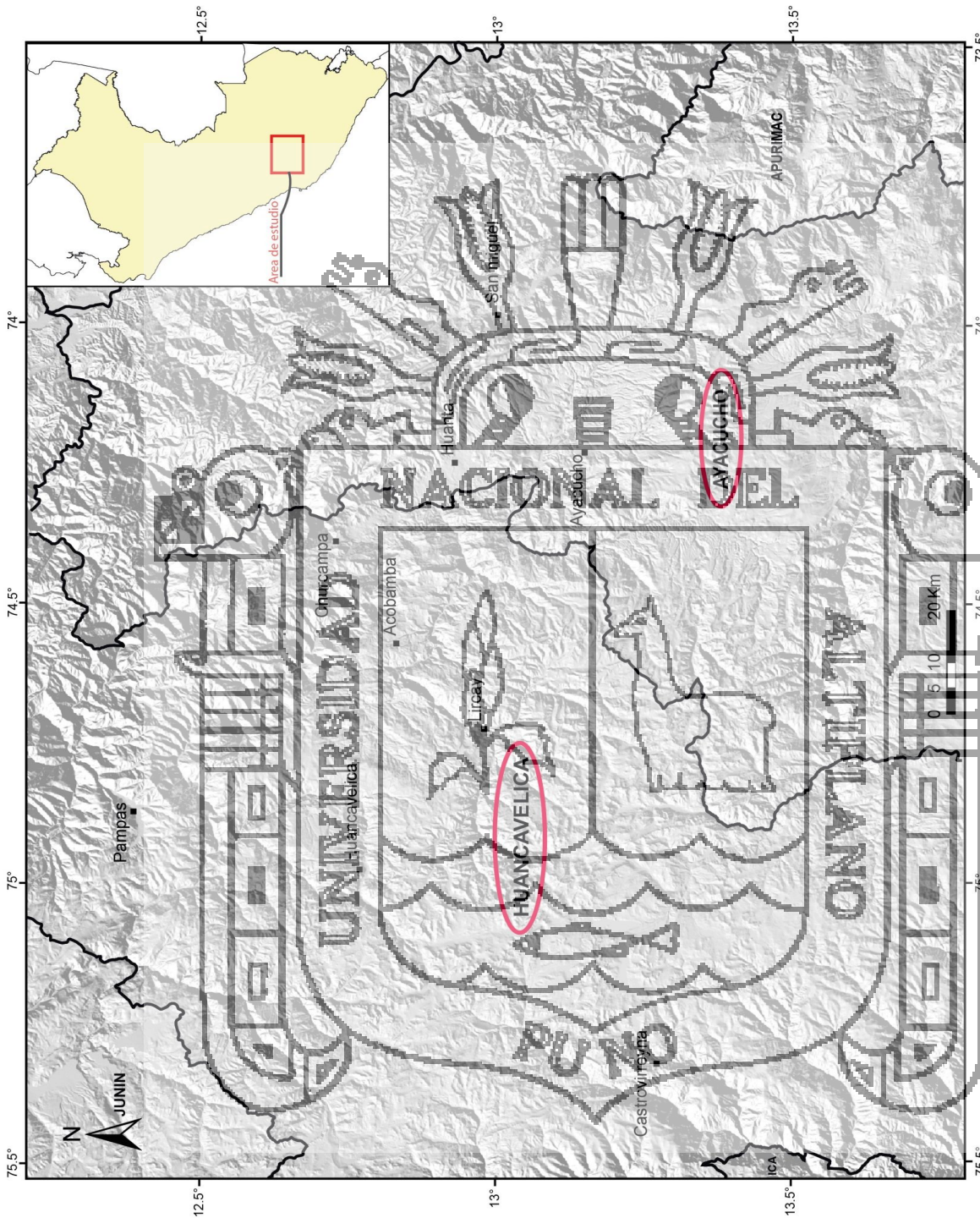
LUGAR	ACCESO
Lima – Ayacucho	Vía aérea
Lima - Pisco-Ayacucho	Vía asfaltada
Lima - Huancavelica	Vía asfaltada
Ayacucho - Pampa Cangallo	Vía afirmada
Ayacucho - Pampa la Quinua	Vía asfaltada y trochas

Cuadro N° 3.1 Vías de acceso a la zona de estudio.

### 3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

En el departamento de Ayacucho el clima es frío, en los valles el calor es intenso a medida que avanza el día, a lo largo de los valles en las partes más bajas el calor aumenta durante el día, por las noches la temperatura desciende hasta grados bajo cero, la altura promedio es de 2731 m.s.n.m. hasta los 4300 m.s.n.m. variable dependiendo de la ubicación. En el departamento de Huancavelica la temperatura es baja debido a la ubicación, la altura mínima es de 1900 m.s.n.m. y la altura máxima es de 4475 m.s.n.m.

La vegetación más representativa en la sierra Ayacuchana está caracterizada por tener una variedad de plantas silvestres tales como el ichu, el molle, tara, eucalipto.



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
Tema: "VALCANISMO MONOGENETICO DEL PERU CENTRAL: AVACUCHO-HUANCAVELICA DEFINIENDO LIMITES DE LITOSFERA SUBCONTINENTAL"	Fecha: Julio, 2014
Elaborado: <b>Alfonso L. Choquehuasi C.</b> Revisado: <b>Msc. Róbaldo Rodríguez Mujica</b> Ubicación: <b>Departamento AVACUCHO-HUANCAVELICA</b> Provincia: <b>Avacucho</b> Distrito: <b>Avacucho</b>	N° <b>3.1</b>
<b>MAPA DE UBICACIÓN</b>	
DATUM: UTM Proyección: GCS S 1983 WGS 84 Escala: Gráfica	

LEYENDA	
	Limites Departamentales
	Area de Estudio
	Pueblos

### 3.4 MARCO GEOMORFOLÓGICO

En la zona de estudio se encuentra la Cordillera Oriental, y la Cordillera Occidental, separadas por la Zona de Altiplanicies Interandinas, estas unidades morfológicas están delimitadas por sistemas de fallas regionales. La estructura más importante en el sector oeste es el sistema de fallas Chonta que delimita a la Cordillera Occidental de las Altiplanicies Interandinas; por el sector este, la falla Ayacucho delimita a la Cordillera Oriental; y por el sur, el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos delimita a la Cordillera Occidental y Altiplanicies Interandinas. (Ver Anexos: Mapa N° 1)

#### 3.4.1 CORDILLERA OCCIDENTAL

La Cordillera Occidental es una cadena montañosa de dirección NO-SE, con altitudes que oscilan entre los 4900 m.s.n.m y 5200 m.s.n.m siendo cortados por valles encañonados donde afloran rocas sedimentarias de origen marino, continental de edades Jurásicas- Cretácicas y rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad Paleoceno-Mioceno (Rodríguez, R., 2008). El afloramiento de cada tipo de roca presenta un modelado característico debido a la intervención de agentes erosivos

#### 3.4.2 ALTIPLANICIES INTERANDINAS

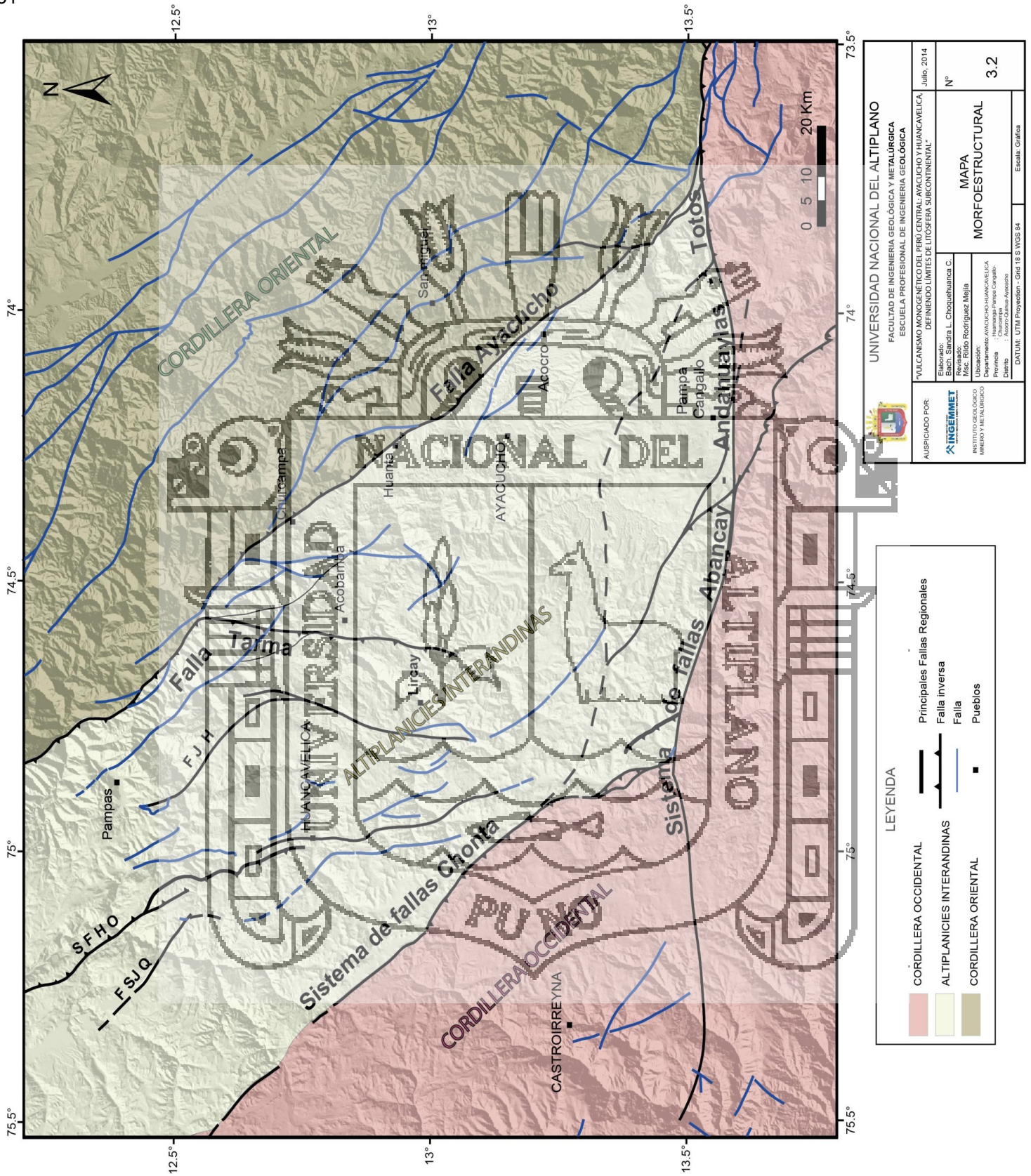
Están conformadas por relieves suaves con altura promedio de 4000 m.s.n.m, destacando las planicies de Ayacucho, Huancayo y Junín. Las cuales están separadas por zona de valles profundos. Las altiplanicies interandinas están drenadas por ríos afluentes del Ucayali entre ellos el río Mantaro que pasa por las depresiones intramontañosas de Ayacucho a 2100 m.s.n.m, Huancayo a 3200 m.s.n.m y Junín a 3900 msnm. En las Altiplanicies Interandinas afloran rocas metamórficas del paleozoico inferior y rocas meso-cenozoicas. Es importante señalar que en la parte central y sur del área de estudio se encuentran unidades volcánicas Mio-pliocénicas con diferente comportamiento y modo de emplazamiento.

### 3.4.3 CORDILLERA ORIENTAL

La Cordillera Oriental está conformada por montañas con alturas que sobrepasan los 5000 msnm, las mismas que están constituidas por rocas metamórficas del Paleozoico inferior con núcleos de rocas del Precámbrico. Su flanco oriental es muy vertical, disectado y cubierto por vegetación. En la parte central de la Cordillera Oriental se encuentran cuerpos plutónicos de edad Pérmico superior-Jurásico, mientras que al límite con las Altiplanicies interandinas se encuentran rocas volcano-sedimentarias que corresponde al Grupo Mitu y calizas pertenecientes al Grupo Pucará.







### 3.5 MARCO GEOLÓGICO

Los Centros Volcánicos Menores se encuentran en el borde oeste de la Cordillera Oriental y en el Altiplano. El marco geológico de la zona de estudio está conformado por la Zona Volcánica Central que a su vez está relacionada con los basamentos precambrianos, limitados por grandes fallas regionales que controlaron la evolución andina.

El entendimiento del marco geológico permitirá sustentar las hipótesis de emplazamiento de los Centros Volcánicos Menores que se encuentran en Ayacucho y Huancavelica.

#### 3.5.1 ZONA VOLCÁNICA CENTRAL (ZVC)

La Zona Volcánica Central forma parte de los Andes Centrales, desde los 10° hasta 30° latitud sur, abarcando el sur de Perú, sureste de Bolivia, norte de Chile y noroeste de Argentina. Varios volcanes se encuentran distribuidos a lo largo de estos lugares (Fig. 3.1). La característica más notable de la Zona Volcánica Central es el espesor de la corteza, que sobrepasa los 70 km, teniendo en cuenta que el engrosamiento de la corteza comenzó hace 25 Ma (Isacks, B.L., 1988).

La actividad volcánica a lo largo de toda esta franja, especialmente, se encuentra distribuida a manera de estratovolcanes y centros volcánicos menores del Mioplioceno. En la zona de estudio los Centros Volcánicos Menores (monogenéticos) son del Plioceno (Lefevre, C., 1979; Mégard, F., et al, 1984).



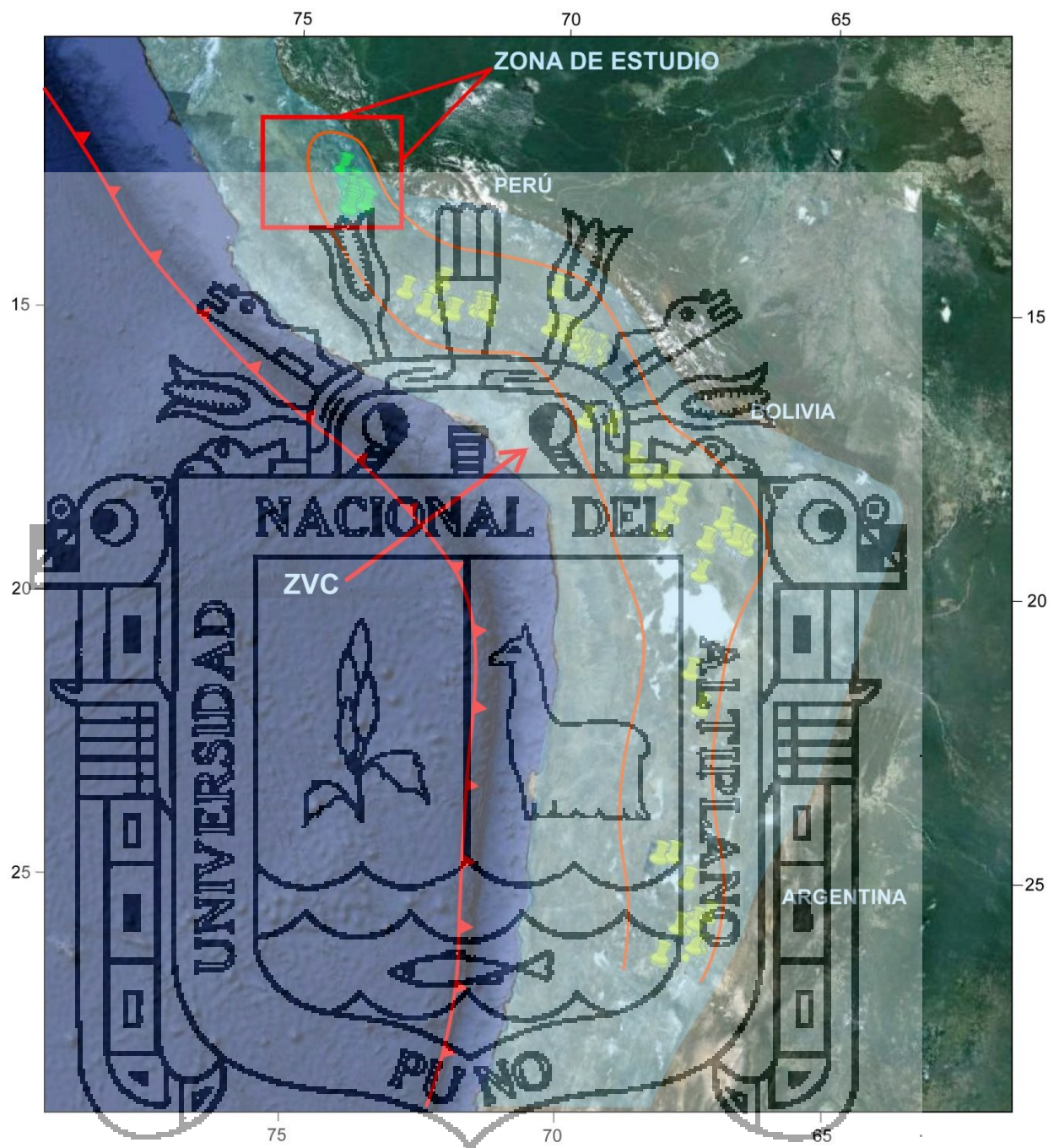


Figura 3.1: Zona Volcánica Central y los principales afloramientos de los Centros Volcánicos Menores entre Perú, Bolivia y Argentina, compilado de Carlier et al., 2005; Murray, K., 2010; Davidson & de Silva, 1992; Jiménez & Lopez, 2008.

### 3.5.2 BASAMENTO PRE CAMBRIANO

El grado de metamorfismo de los basamentos precambrianos difiere con su posición geográfica. En efecto, en el norte del Perú las rocas de los complejos de Olmos y Marañón son de bajo grado metamórfico, en tanto que en el sur las rocas del basamento de Arequipa son de alto grado metamórfico y fuertemente radiogénicos (Macfarlane et al, 1990).

Los isótopos de Pb y Sr de los Andes peruanos evidencian provincias isotópicas, cuyos límites coinciden con terrenos precambrianos (Macfarlane et al, 1990; Macfarlane & Petersen, 1990; Ramos, V., 2008). Las razones isotópicas de  $Pb^{206}/Pb^{204}$  y  $Sr^{87}/Sr^{86}$  se agrupan en tres provincias isotópicas principales, cuyos límites coinciden con fallas regionales y la ocurrencia de yacimientos minerales. Estas provincias corresponden a los basamentos precambrianos, tal es así que la provincia Pb Ic corresponde al basamento de Arequipa; la provincia Pb Ia, al basamento de Paracas y las provincias Pb II y Pb III, al basamento de Amazonia.

#### A. Basamento de Paracas

Se encuentra a lo largo de la Cordillera Occidental, está conformado por rocas ígneas y metamórficas. Estos afloramientos de la Isla de las Hormigas, son considerados como parte del bloque aloctono de Oaxáquia (Ramos, V., 2008), en base a los isótopos de Pb este dominio pertenece a la Provincia de Pb Ia (Macfarlane et al, 1990). En la zona de estudio el límite oriental del basamento de Paracas, coincide con el sistema de fallas Chonta (Rodríguez, R., 2008) (Ver Fig. 3.4)

#### B. Basamento de Arequipa

Definido como un bloque de basamento para-autóctono (Ramos, V., 2008), se encuentra a lo largo de la costa Peruana en la parte sur-occidental de la margen continental actual del Perú, entre Tacna y la península de Paracas formando una línea



de dirección NO-SE (Rodríguez, R., 2008), esta conformado por un complejo de rocas ígneas intrusivas y metamórficas así como gneises, granulitas asociado con gneises dioríticos y migmatitas foliadas (Ramos, V., 2008), los principales afloramientos metamórficos se encuentran a lo largo de la Cordillera de la Costa (Loewy et al., 2004). De acuerdo a los datos isotópicos el basamento de Arequipa es de alto grado (Mamani et al., 2008) y ha sido emplazado por granitoides del ordovícico a lo largo del sur de Perú y norte de Chile.

El basamento de Arequipa corresponde a la provincia isotópica de Pb Ic (Macfarlane et al., 1990). Su límite norte concuerda con el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

### C. Basamento de Amazonia

Este basamento en el centro del Perú, está compuesto por gneis granulíticos, gneis granatífero (kingsiticos), paragneis, zoicitas, pelitas feldespáticas, micaesquistos y algunos niveles de carbonatos impuros (Mégard, F., 1973; Dalmayrac et al., 1977). Dataciones realizadas por Dalmayrac et al., 1977, indican que las granulitas se cristalizaron hace 1140 Ma.

Al oeste, está separado del basamento de Paracas por el sistema de fallas Chonta, mientras que por el sur está separado del basamento de Arequipa por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos. El basamento de Amazonia corresponde a las provincias isotópicas Pb II y Pb III. (Macfarlane et al., 1990)

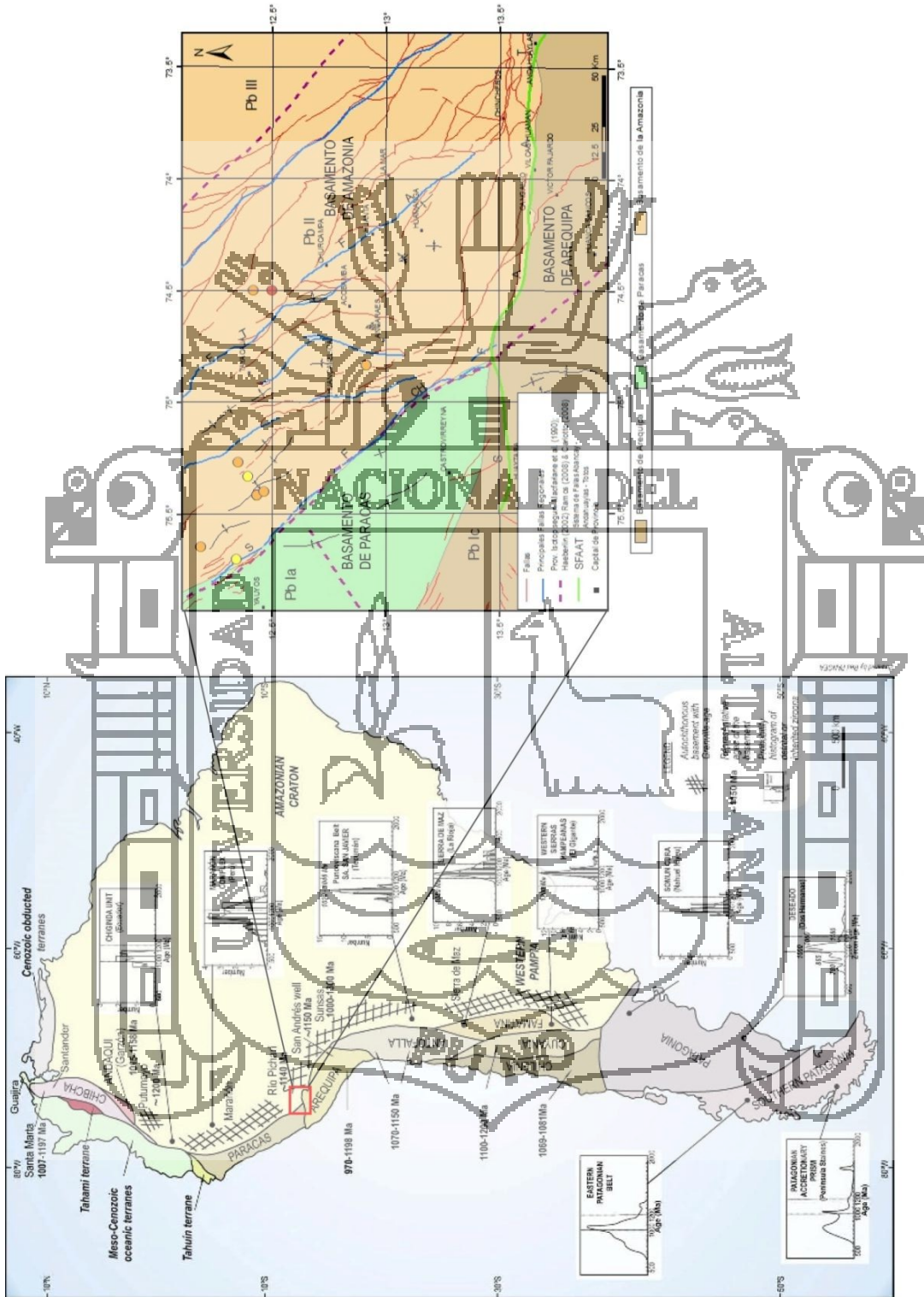


Figura 3.2: Límite de bloques alóctonos antiguos definido en base a datos isotópicos y teorías existentes de Ramos, 2008; Macfarlane et al., 1990.

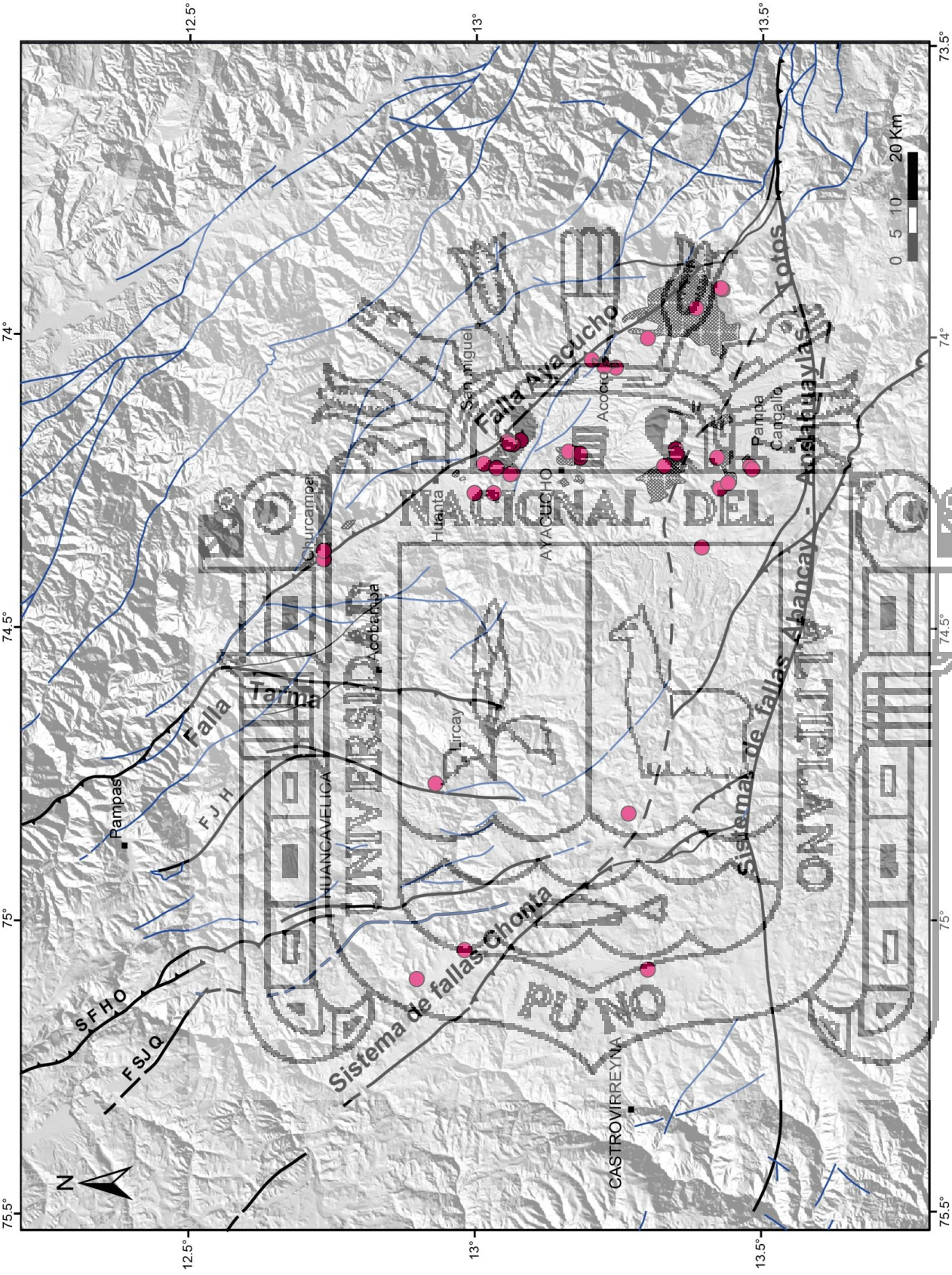
### 3.6 CONTROLES ESTRUCTURALES REGIONALES

El aspecto estructural en el área de estudio está controlado principalmente por fallas con dirección NO-SE y E-W. En la parte oriental se encuentran las fallas (NW-SE) Ayacucho y Tarma; en la parte sur, el sistema de fallas (E-W) Abancay-Andahuaylas-Totos; en la parte occidental, el sistema de fallas Chonta. (Ver Anexos: Mapa N° 2)

En este punto se describirá el comportamiento de las fallas regionales que controlan el emplazamiento de los Centros Volcánicos Menores en el área de estudio.







UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		Julio, 2014	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA		N°	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		3.3	
TITULACION MONOGRAFICO DEL PERU CENTRAL: AYACUCHO Y HUANCABVELICA		MAPA ESTRUCTURAL	
DEFINIENDO LIMITES DE LITOSFERA SUBCONTINENTAL		Escala Grafica	
Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuancas C. Esc. Geol. No. 10		Msc. Elio Rodríguez Mejía	
Ubicación: Departamento: AYACUCHO-HUANCABVELICA		Huancabamba Pampa Cangallo	
Provincia: Huancabamba		Ayacucho	
Distrito: Ayacucho		Ayacucho	
AUSPICIADO POR: INGEMMET		DATUM: UTM Projection - Grid 18 S WGS 84	
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO			

**LEYENDA**

	Principales Fallas Regionales
	Falla inversa
	Falla
	Muestras (Geoquímica y petrografía)
	Pueblos
	FSJQ : Sistema de falla San José de Quero
	SFHO : Sistema de fallas Huancabvelica-Oroya
	SJH : Sistema de fallas Juicani-Huancayo

### 3.6.1 FALLA AYACUCHO (FA)

Esta estructura se encuentra al este de Ayacucho, se extiende desde el pueblo de Churcampa por el norte hasta Acocro por el sur, en donde se une al sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos, presenta una orientación NW-SE, el comportamiento cinemático de esta estructura es de carácter inverso con vergencia al SW, ha controlado la sedimentación detrítica de la cuenca Ayacucho de edad Mioceno. En esta falla se encuentran actividad magmática reciente de edad Neógeno (Mioceno - Plioceno).

En el bloque oeste de la falla Ayacucho a lo largo de las Planicies Interandinas se encuentran unidades volcano-sedimentarias del Mioceno que cubren grandes extensiones, está conformado por piroclastos e ignimbritas y rocas volcánicas del Mio-Plioceno cuyo modo de emplazamiento es a manera de pequeños edificios volcánicos y/o centros volcánicos menores. En el bloque este de la falla se encuentra rocas de los grupos Ambo, Tarma, Copacabana y Grupo Mitu de Carbonífero-Triásico medio.

### 3.6.2 SISTEMA DE FALLAS ABANCAY-ANDAHUAYLAS-TOTOS (SFAAT)

Estudios regionales realizados recientemente ponen en evidencia un sistema de fallas con dirección este-oeste de magnitud regional, que se extiende desde Abancay pasando por Andahuaylas hasta Totos recibiendo el nombre Sistema de Fallas Abancay-Andahuaylas-Totos (Carlotto et al., 2009). Este sistema define el borde sur de un alto estructural que se denomina alto Totos-Paras, que parece ser una prolongación del alto Cusco-Puno. El sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos sería la prolongación del sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo.

Por otro lado, el borde sur del alto estructural está caracterizado por la presencia de fallas inversas de dirección casi este-oeste convergencia norte, haciendo repetir las rocas Jurásicas, y más al sur permitiendo que afloren pizarras esquistosas atribuidas al Paleozoico inferior. Este conjunto de fallas corresponden al sistema Abancay-Andahuaylas-Totos.



La falla Abancay-Andahuaylas-Totos al parecer corresponde al límite de bloques litosféricos alóctonos (Carlotto et al., 2008), uno es el macizo de Arequipa que se habría acretado al basamento de la Amazonia en el Meso proterozoico (Loewy et al., 2004; Carlier et al., 2005 Ramos, V., 2008).

### 3.6.3 SISTEMA DE FALLAS CHONTA (SFCH)

En el centro del Perú, entre los departamentos de Ayacucho - Huancavelica las fallas regionales presentan dirección NO-SE, con movimientos transcurrentes (Wise y Noble, 2001; Soulas, J., 1977; Megard, F., 1978 entre otros). Los indicadores cinemáticos presentes en los planos de fallas del sistema de fallas Chonta, son consecuencia de movimientos conjugados de fallas transcurrentes con componente vertical (Rodríguez, R., 2008), las cuales son características de un sistema de fallas transcurrente con zonas de transpresión y transtensión. (Waldron, 2005; McClay y Dooley, 1995; Rodríguez, 2008).

El Sistema de Fallas Chonta tiene dirección promedio N 135°, hacia el oeste el buzamiento es entre 60 y 80°. El bloque oeste (techo) está conformado principalmente por rocas volcánico sedimentarias del Paleoceno - Mioceno y el bloque este (piso) presenta rocas principalmente del Jurásico, Cretácico y Cenozoico. (Rodríguez, R., 2008)

### 3.6.4 FALLA TARMA (FT)

La Falla Tarma es una falla regional que se emplaza desde el oeste Churcampa, pasando por Tarma hasta el lago Junín. Tiene dirección NW-SE. Al este de Tarma, hace cabalgar a unidades del Paleozoico inferior sobre las unidades del Triásico. La proyección de esta falla hacia el Norte no es clara pero, se puede inferir que llega hasta juntarse con el Sistema de Fallas Chonta (Rodríguez et al., 2010). Hacia el sur, la Falla Tarma se proyecta hasta el cuadrángulo de Pampas conformado por rocas del Paleozoico inferior sobre rocas del Triásico medio.

El movimiento actual asumido para esta falla es inverso con vergencia al noreste, al oeste de Churcampa hace cabalgar al Grupo Mitu sobre los sedimentos volcano-sedimentarios de la Cuenca Ayacucho (Formación Huanta).

### 3.7 DOMINIOS TECTÓNICOS

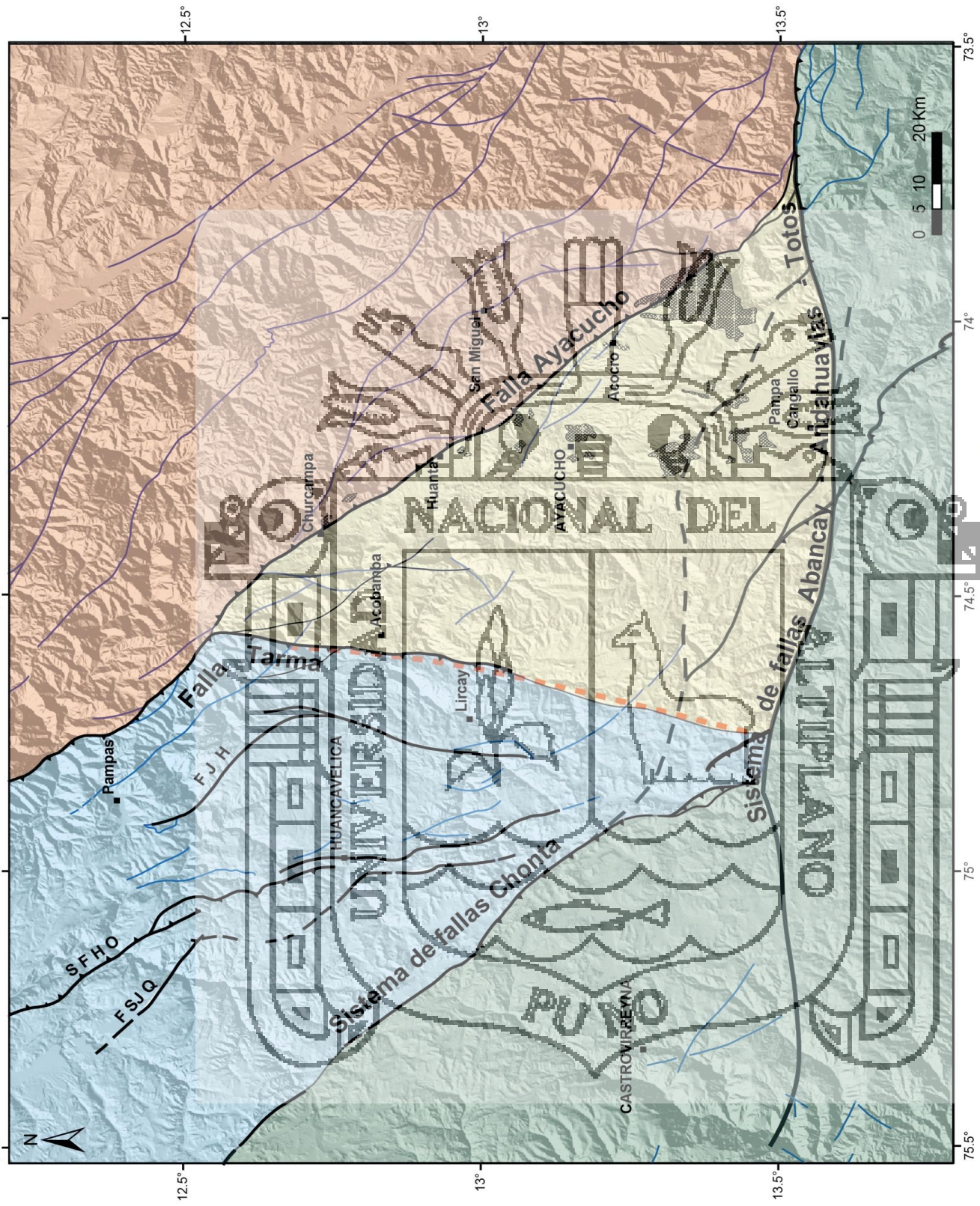
Las fallas regionales, que controlaron la evolución andina, delimitan diferentes estilos estructurales y características litológicas de las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. Las zonas que contienen las mismas características estructurales, sedimentarias y petrogenéticas son consideradas como dominios geotectónicos.

Los dominios tectónicos que se han determinado en la zona de estudio son San Miguel, Ayacucho, Huancavelica, Castrovirreyna y Pampas. (Ver Anexos: Mapa N° 3)

#### 3.7.1 DOMINIO DE CASTROVIRREYNA

El dominio de Castrovirreyna está limitado al noreste por el Sistema de Fallas Chonta. En este dominio solamente, aflora rocas del Paleógeno. Sin embargo, a diferencia de lo otros dominios estructurales, en el sector sur del dominio de Castrovirreyna, afloran ampliamente rocas de la Formación Condorsinga de Jurásico inferior y sobre esta se encuentran unidades de las formaciones Chunumayo y Cercapuquio del Jurásico medio, las cuales solo afloran en este dominio.





	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
	JULIO, 2014	N°
"VOLCANISMO MONOCENICO DEL PERU CENTRAL-AVACUCHO Y HUANCVELICA DEFINIENDO LIMITES DE LITOSFERA SUBCONTINENTAL"		N°
Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuancachi		MAPA DE DOMINIOS TECTONICOS 3.4
Revisado: Msc. Rildo Rodríguez Mejía		
Ubicación: Departamento: AVACUCHO-HUANCVELICA Provincia : Huancayo-Pampa Cangallo		
Distrito : Acosca-Casmas-Ayacuchito		
DATUM: UTM Proyección - Grid 18 S WGS 84 Escala: Grafica		

LEYENDA	
FSJQ	: Sistema de fallas San Jose de Quero
SFHO	: Sistema de fallas Huancavelica-Croya
SJH	: Sistema de fallas Julcani-Huancayo

SIMBOLOS	
	Dominio Castrovirreyra
	Dominio Ayacucho
	Dominio Huancavelica
	Dominio San Miguel
	Principales Fallas
	Falla inversa
	Falla
	Pueblos



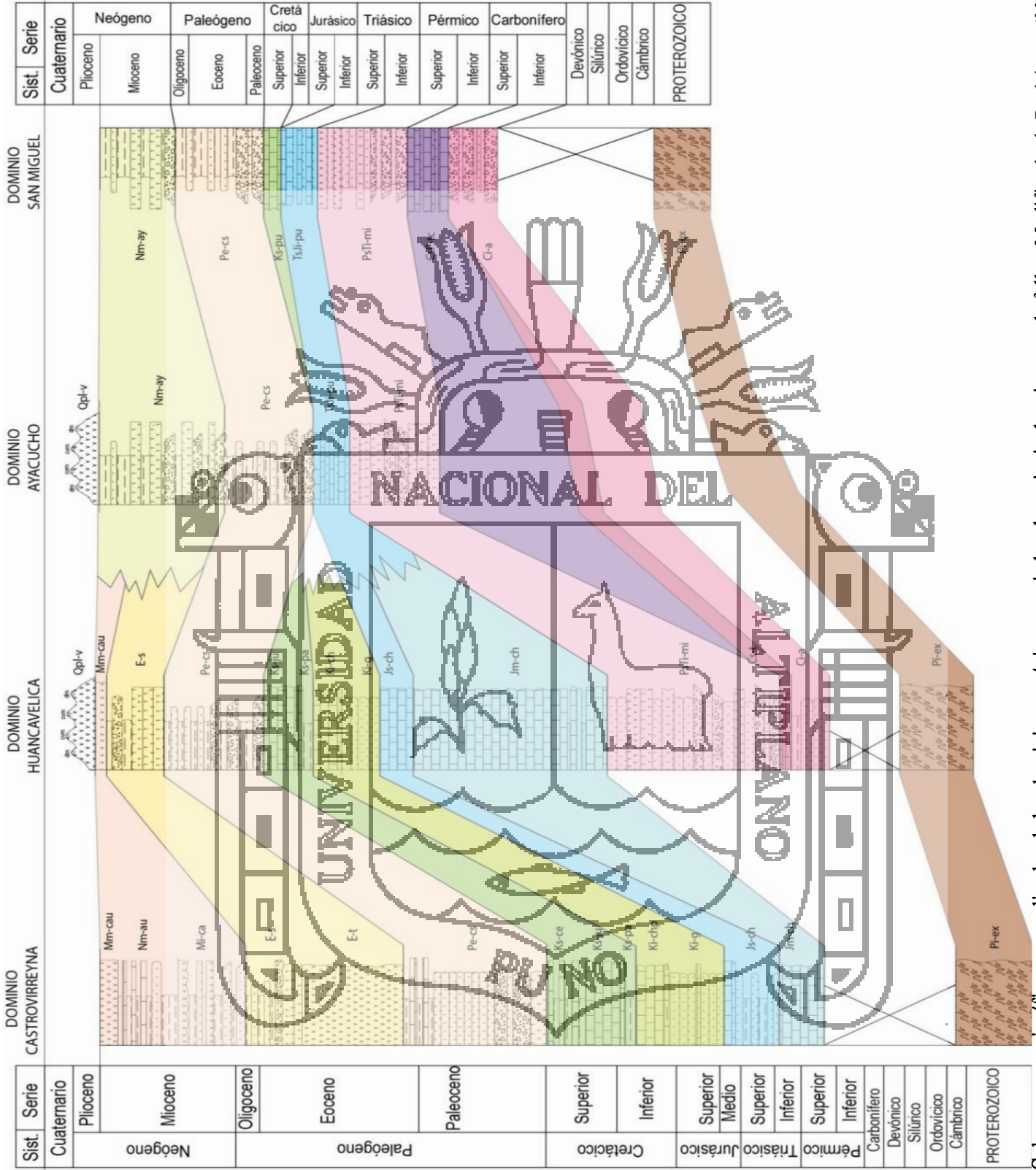


Figura 3.3: Columnas estratigráficas generalizadas de los dominios tectónicos asociado a los principales sistemas de fallas. Modificado de Rodríguez (2008).

### 3.7.2 DOMINIO DE SAN MIGUEL

Se encuentra en la parte este de la zona de estudio, conforma la Cordillera Oriental. El límite suroccidental es la falla Ayacucho en el sector sur y la falla Tarma en el sector norte.

Las rocas que se encuentran en este dominio son del Paleozoico hasta el Mioceno, principalmente del Carbonífero (Grupos Ambo, Tarma y Copacabana).

### 3.7.3 DOMINIO DE HUANCVELICA

Está controlado al este por las fallas Ayacucho y Tarma; y al sureste, por la prolongación del subsistema de fallas Julcani-Huancayo. El límite Sur de este dominio presenta un acúñamiento de fallas entre los poblados de Mariscal Cáceres y Lircay uniéndose al sistema de fallas Abancay- Andahuaylas-Totos.

En el Dominio de Huancavelica es donde se encuentran los mayores afloramientos del Triásico medio que pertenecen a los grupos Mitu y Pucará.

### 3.7.4 DOMINIO AYACUCHO

Este dominio está limitado al este por la falla Ayacucho; al suroeste, por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos. Hacia la parte sureste, las fallas mencionadas se unen originando una forma de cuña. El límite norte y oeste está dado por la proyección de la falla Tarma. En general este dominio presenta una forma triangular.

Se caracteriza por presentar los sedimentos detríticos de la cuenca Ayacucho, conformado por las formaciones Ayacucho y Huanta. Dentro del área de este dominio se encuentran Centros Volcánicos Menores (monogenéticos) del Mio-Plioceno.

### 3.8 MAGMATISMO

La actividad magmática en el área de estudio está registrada desde el Permo-Triásico iniciado con el Grupo Mitu hasta el Neógeno-Plioceno, con la actividad volcánica que se manifiesta a manera de flujos de lava y centros volcánicos menores (monogenéticos). Las unidades volcánicas se diferencian a partir de la ubicación, el modo de emplazamiento, tipo de roca y de la estructura volcánica que forme.

#### 3.8.1 PERMO - TRIÁSICO

En este periodo el magmatismo se encuentra a manera de un vulcanismo básico a intermedio, está compuesto por coladas e ignimbritas del Grupo Mitu y granitos (Mégard, 1978; Dalmayrac et al., 1980), se encuentran en los dominios de San Miguel y Ayacucho. En algunas zonas presenta un vulcanismo básico conformado por diques y coladas de basalto, el modo de emplazamiento es a manera de flujos de lava e ignimbritas.

#### 3.8.2 TRIÁSICO - JURÁSICO

La actividad magmática en este periodo evidencia la presencia de un vulcanismo en la parte norte y sur de Perú, de igual manera en el centro del Perú se tienen rocas volcánicas de composición básica que se encuentra en la secuencia del Grupo Pucará del Triásico-Jurásico (Rosas, S., 1994), existen evidencias de la actividad volcánica del Triásico superior y que corresponde a la Formación Chambará, el modo de emplazamiento es a manera de flujos de basaltos e ignimbritas.

Estudios geoquímicos de rocas volcánicas de Shalipayco (Muñoz et al., 2000) refieren un basalto andesítico de composición alcalina y de ambiente Intraplaca (Rosas, 1994; Rosas et al, 1996, 1997).

### 3.8.3 CRETÁCICO

La actividad magmática del Cretácico está dada por la presencia de coladas basálticas de composición alcalina de la Formación Chayllacatana, la misma que aflora al este de Huancavelica. En el centro del Perú se registra una actividad volcánica para el periodo del Albiano lo cual no ha sido constante a pesar de que el proceso de subducción era constante, vale decir que la geometría del arco magmático ha variado fuertemente a lo largo de este periodo (Soler, P., 1990).

El modo de emplazamiento se da a manera de flujos de lava, perteneciendo a un ambiente intracontinental. Estos magmas provienen de la fusión parcial del manto litosférico subcontinental en un régimen tectónico distensivo (Soler, P., 1988). De igual manera esta roca basáltica se ha datado por el método de Ar/Ar obteniendo una edad de 109 Ma. (Noble et al., 2001)

### 3.8.4 PALEÓGENO

La actividad magmática del Paleógeno está conformada por las formaciones Tantará y Sacsacero que afloran en el sinclinal de Castrovirreyna y en el bloque techo de la falla Chonta. Está compuesta por lavas basálticas y brechas.

### 3.8.5 NEÓGENO-PLIOCENO

El magmatismo del Neógeno es el más abundante de la zona de estudio, ocupa grandes extensiones dentro del dominio Ayacucho y está conformado por las lavas de las formaciones Sallalli y Huanta, además de los centros volcánicos de Chaupiorcco, Tutayac Orcco y Apacheta; por lo general de composición andesítica. También existe un volcanismo ácido de las formaciones Ayacucho y Portuguesa de composición dacítica a riolítica.

A partir de los 3.7 Ma (Mégard et al., 1984) la actividad volcánica decae y solamente se manifiesta a través de pequeños Centros Volcánicos Menores de composición andesítica a

basáltica. Entre los principales se encuentran los volcánicos Molinoyoc, y los Centros Volcánicos Menores (monogenéticos) de la Quinua, Churcampa, Pampa Cangallo y de Lucho Jahuana Pampa.

### 3.9 GEOQUIMICA DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMs)

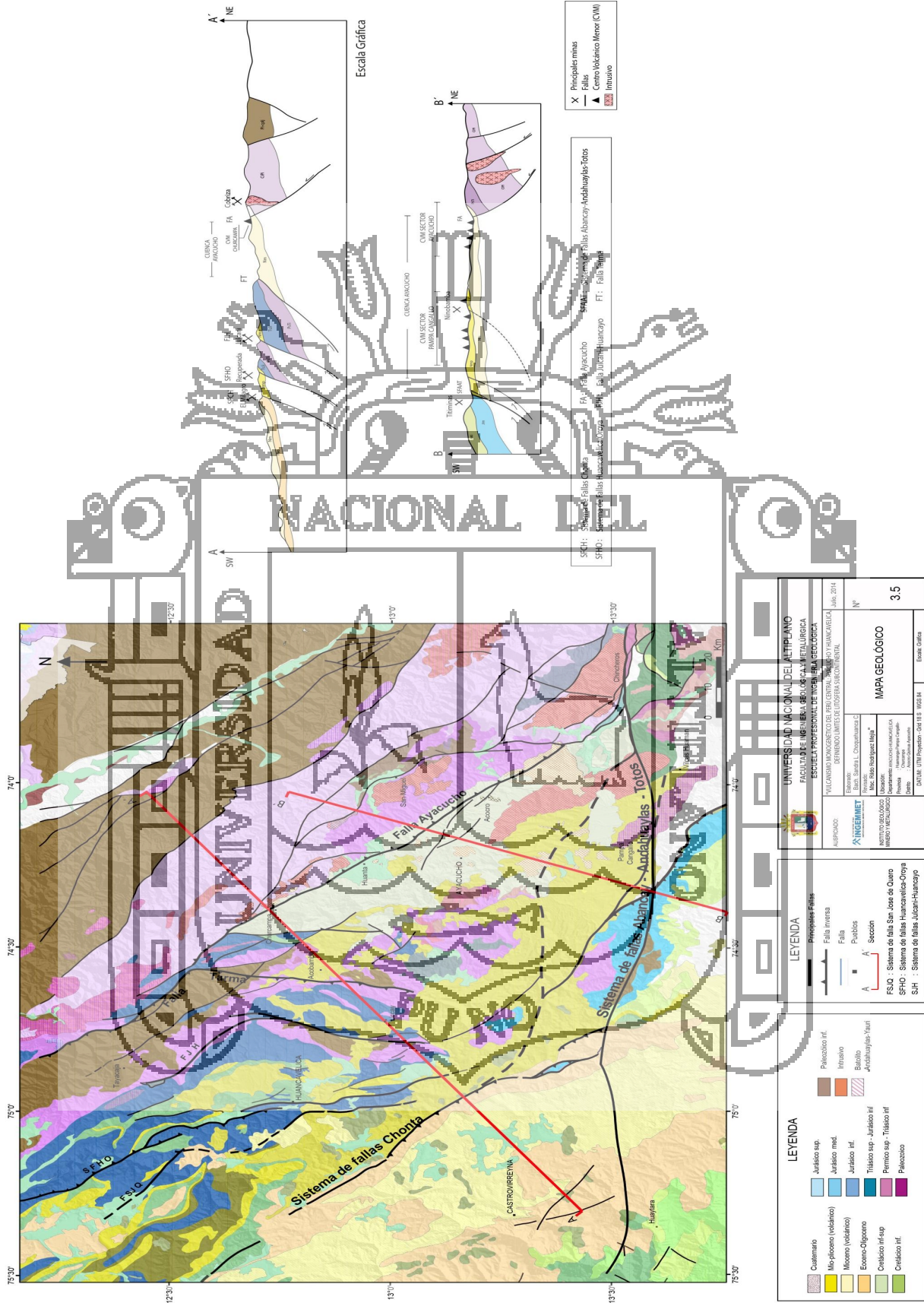
La composición química de las rocas en los centros volcánicos menores está diferenciada en elementos mayores, elementos traza y tierras raras. Los datos de elementos mayores (óxidos) fueron recalculados al 100% libre de volátiles. (Ver Anexos: Mapa N° 4)

La variación geoquímica de los elementos mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en las rocas perteneciente a los centros volcánicos menores ha sido definida en base a diagramas binarios que servirán para una mejor definición y clasificación.

Los elementos traza y tierras raras para su aplicación han sido normalizados al Manto primitivo (McDonough & Sun, 1995).







### 3.9.1 MUESTRAS Y MÉTODOS ANALÍTICOS

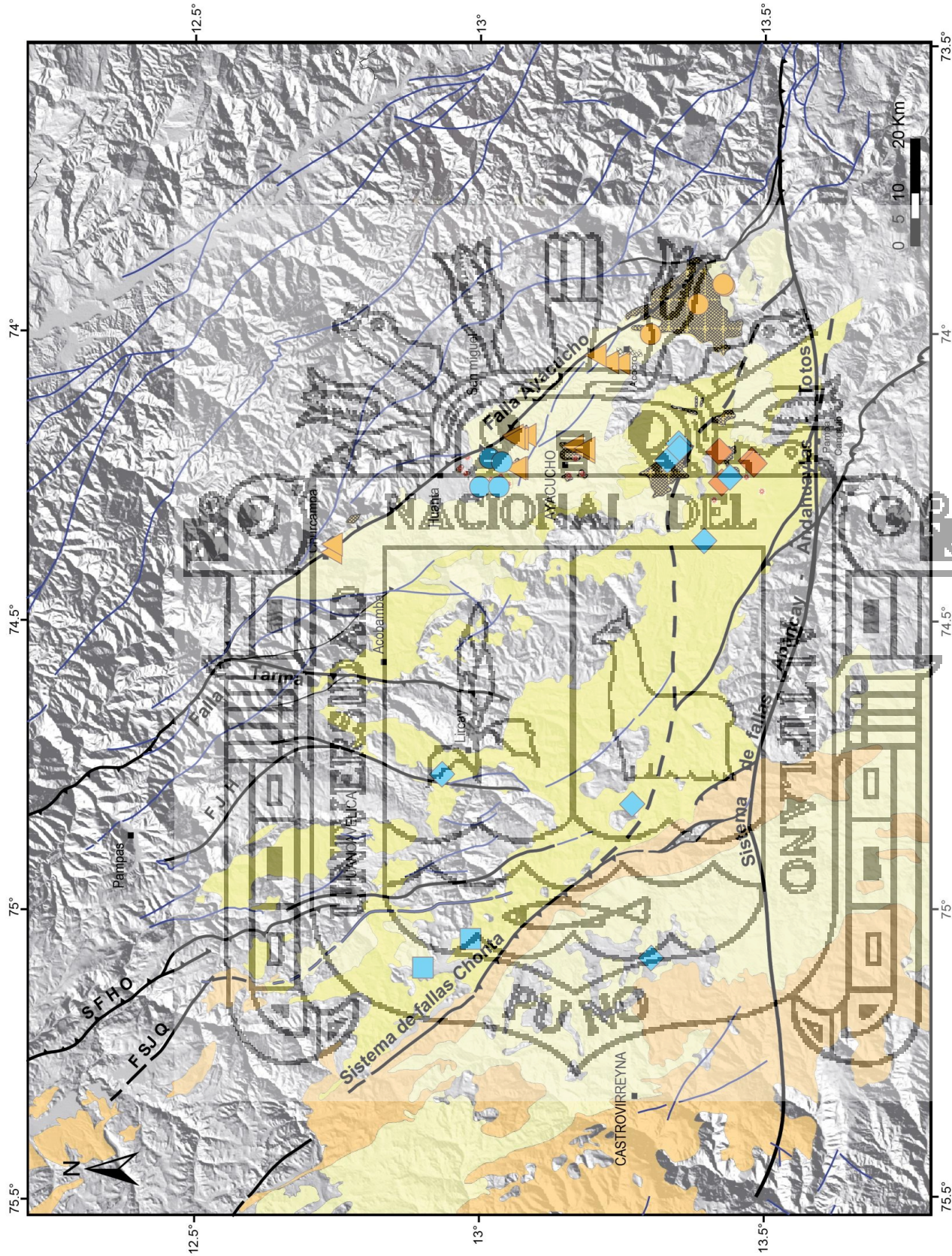
Para obtener la variación geoquímica de los centros volcánicos menores y para el desarrollo del presente estudio se ha utilizado una base de datos de 47 muestras con valores de elementos mayores, traza y tierras raras, 26 muestras son inéditas y 21 corresponden a Noble et al., 1975; Lefevre, C., 1979.

Las 26 muestras colectadas han sido analizadas por el método analítico ICP-MS roca total y análisis multielemental (elementos mayores, elementos traza y elementos de tierras raras).

### 3.9.2 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL VULCANISMO MONOGENÉTICO EN EL PERÚ CENTRAL ENTRE AYACUCHO - HUANCABELICA

La caracterización geoquímica se basa en diagramas binarios para la correlación de concentraciones de los elementos mayores, traza y tierras raras. Los resultados de los análisis químicos se encuentran en la tabla 5.1 donde los valores de los elementos mayores y el FeO total han sido recalculados al 100 % libre de volátiles. (Ver Anexos: Mapa N° 5)





		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</b> DEFINIENDO LIMITES DE LITOSFERA SUBCONTINENTAL	
AUSECUCIADO POR: 		Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuancua C. Revisado: Msc. Rildo Rodriguez Mejia	
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO		N° <b>3.6</b>	
Departamento AVACUCHO HUANCVELICA Provincia : Chucabamba Distrito : Acoso-Cajana Ayabamba		MAMA CON MUESTRAS DE ANALISIS GEOQUIMICO	
DATUM: UTM Projection - Grid 18 S WGS 84		Escala: Grafica	

SIMBOLOGIA		LEYENDA		UNIDADES VOLCANICAS RECIENTES	
	Principales fallas		Volcánicos Plio-cuaternarios		Volcánicos Neogeno-Mioceno
	Falla inversa		Volcánicos Neogeno-Mioceno		Volcánicos Mio-Plioceno
	Fallas		Volcánicos Mio-Plioceno		Volcánicos Eoceno-Oligoceno
	Pueblos				



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### VULCANOLOGÍA FÍSICA DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMs)

##### 4.1 INTRODUCCIÓN

Los Centros Volcánicos Menores (CVM) presentan diferente modo de emplazamiento, tipo de texturas y asociaciones mineralógicas que conforman las rocas máficas de dichos centros.

Estos pequeños edificios volcánicos, menores a 50 m de altura, son originados por un solo evento eruptivo, se distribuyen alineados y a la vez dispersos en fallas profundas. Las fallas asociadas a los CVMs en el centro del Perú son la falla Ayacucho y el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos que controlan a las unidades Ayacucho y Pampa Cangallo respectivamente. (Ver Mapa N° 6)

Geográficamente se encuentran en los sectores de Ayacucho, Pampa Cangallo, Pampa la Quinua, Churcampa y Lucho Jahuana pampa.

La forma de los CVMs depende del tipo de erupción, si ha sido explosivo o fluidal. Litológicamente varían desde andesita a basalto.

## 4.2 MODO DE EMPLAZAMIENTO

El modo de emplazamiento y las características litológicas de las rocas volcánicas que han erupcionado, está determinado a partir de las propiedades físico químicas del magma o del fluido, el grado de viscosidad y el contenido volátil en el magma. La viscosidad está controlada por la composición y la temperatura, dependiendo del tipo de evento volcánico, si ha sido explosivo o fluidal y de las condiciones que han sido favorables para el emplazamiento de magmas máficos. Teniendo en cuenta estos parámetros es importante determinar, macroscópica y microscópicamente, las texturas y el contenido de minerales de las rocas volcánicas, para agruparlos en unidades volcánicas.

A medida que una lava se enfría, la viscosidad aumenta de tal forma que el flujo se mueve lentamente y se forma una corteza en la parte superficial; sin embargo, en la parte interna, la lava sigue líquida y continúa en movimiento, lo que ocasiona que la corteza llegue a romperse o fracturarse formando bloques de escoria.

## 4.3 PETROGRAFÍA DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES (CVMs)

La caracterización microscópica de las lavas de los CVM se ha realizado con 10 secciones delgadas colectadas para el presente estudio. Tabla 4.1

Litológicamente las rocas volcánicas son de composición basáltica, andesítica, andesita-basáltica con la mayor presencia de minerales ferromagnesianos. Todas las lavas de los CVM, de la zona estudio, presentan como minerales principales a la plagioclasa (fenocristales y microcristales) y en algunos casos el piroxeno; acompañados de minerales accesorios como el olivino, biotita, anfíbol y cuarzo. El mayor porcentaje de uno de estos minerales en una lava, es una guía para determinar la proveniencia y el grado de cristalización de los magmas, si han sido someros o profundos. (Ver Anexos: Mapa N° 6)

### 4.3.1 TEXTURAS

Las lavas de los CVM presentan texturas porfiríticas con diferentes asociaciones de minerales porfiríticos. En las secciones delgadas se han determinado que varían en el tamaño de los cristales y el mineral porfirítico y se diferencian en:

#### A. Porfirítica con cristales Plagioclasa-Piroxeno (moldes de cristales)

El ensamble mineralógico de plagioclasa y piroxeno en la sección delgada GR6-12-501 es muy notoria ya que los cristales de plagioclasa varía entre 2 mm y 0.5 mm. El alto contenido en microcristales de plagioclasa y trazas de fenocristales en comparación a los bajos valores de piroxeno indica que esta roca en relación al magma habría tenido una asimilación somera. Este ensamble se ubica en el sector de Pampa Cangallo en el CVM Azabran emplazado en el sistema de falla Abancay-Andahuaylas-Totos.

#### B. Porfirítica con cristales Plagioclasa-Piroxeno-Anfíbol (biotita-moldes de cristales)

La asociación de plagioclasa, piroxeno y anfíbol está presente en las muestras GR6-12-502, 503, 505 perteneciente a la los CVMs Huayllabamba, Yutupuquio y San Francisco del sector Pampa Cangallo y la muestra GR6-12-506 del CVM Churcampa que se encuentra dentro del sector de Ayacucho. La única muestra del CVM Churcampa con estas características se ubica al norte de la falla Ayacucho e indica que este centro volcánico habría tenido una asimilación somera lo que hace similar esta asociación con los centros volcánicos de la unidad Pampa Cangallo. Este ensamble mineralógico indica la evolución acorde a la diferenciación. Se ubican a lo largo de la falla Ayacucho y sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

**C. Porfirítica con cristales Plagioclasa-Piroxeno-Anfíbol-Olivino (biotita-moldes de cristales)**

Este ensamble mineralógico de plagioclasa, piroxeno, anfíbol y olivino en las muestras GR6-12-508, 509, 510 pertenecen a los CVMs Jatotpampa, Llanopata y Pumapuquio del sector de Ayacucho. La presencia de olivino en estas rocas hace referencia a que este magma ha tenido asimilación profunda. Estas muestras se emplazan en la falla Ayacucho.

**D. Porfirítica con cristales Plagioclasa-Piroxeno-Olivino (biotita-moldes de cristales)**

La asociación mineralógica de plagioclasa, piroxeno y olivino en las rocas volcánicas GR6-12-511, 512 corresponden al CVM Acocro y la Quínuá de la unidad Ayacucho. En este ensamble está ausente el anfíbol ya que por los procesos de alteración han sido reemplazados por óxidos de hierro manteniendo solamente el molde del cristal. Las muestras con estas características se emplazan a lo largo de la falla Ayacucho.

**4.3.2 ASOCIACIONES MINERALÓGICAS DE LOS CENTROS VOLCÁNICOS MENORES**

La descripción microscópica de las rocas volcánicas está en base a las principales características que presenta cada mineral principal, accesorio, secundario y alteración.

**A. PLAGIOCLASA (fenocristales y microcristales)**

Las muestras estudiadas que presentan fenocristales de plagioclasa pertenecen al sector de Pampa Cangallo a los CVM de Yutupuquio, emplazado en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y en los CVM de Churcampa Pumapuquio y Acocro, ambos ubicados en la falla Ayacucho.

La plagioclasa se presenta de dos maneras: microlitos y fenocristales. Los microlitos se encuentran formando la matriz, son subhedrales a euhedrales, prismáticos, alargados y tabulares con tamaños menores a 0.3 mm; en ocasiones se presentan alineados en base a la dirección de flujo de la lava (Foto 4.1a). Los fenocristales son subhedrales, varían desde 2 mm a 0.5 mm de tamaño (Foto 4.1b), presentan macla, zoneamiento. En ocasiones están fracturados y sericitizados en los bordes o en la parte central.

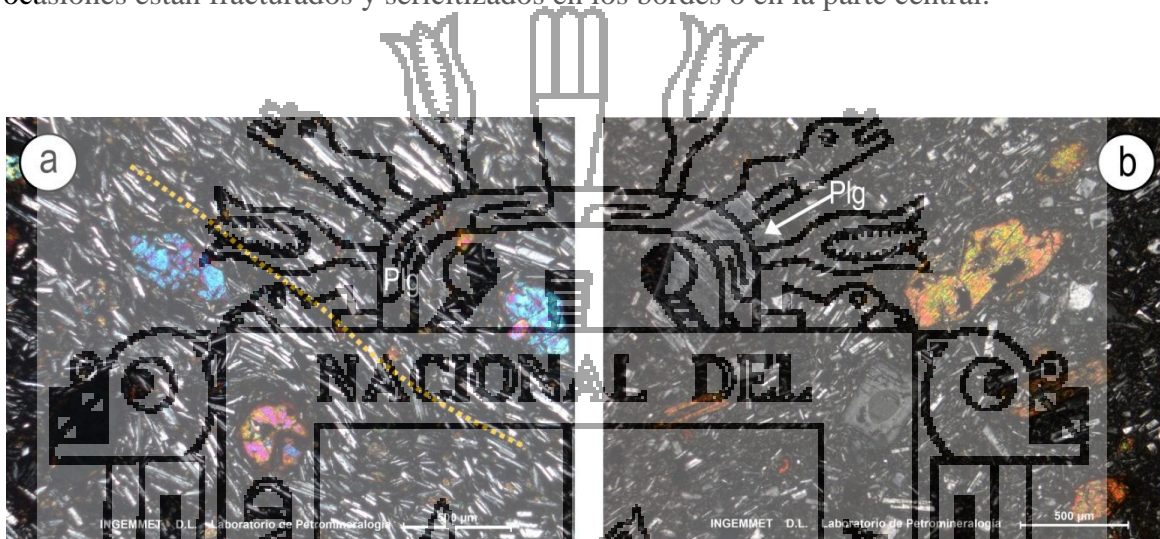


Foto 4.1: a) Fotomicrografía en (Nx) de Microcristales de plagioclasa del CVM Llanopata (GR6-12-509). b) fenocristales del CVM Yutupuquio (GR6-12-503).

## B. OLIVINO

El olivino se encuentran en los CVM de Llanopata, Jatotpampa, Pumapuquio, Acocro y la Quinua, ubicados lo largo de la falla Ayacucho.

El olivino se presenta en fenocristales subhedrales y anhedrales con tamaños menores a 0.5 mm en una matriz con microcristales prismáticos de plagioclasa (Foto 4.2 a). Los bordes están ligeramente alterados y reemplazados por óxidos de hierro. Los CVM que contienen olivino proceden de zonas más profundas de los CVM que no lo contienen.



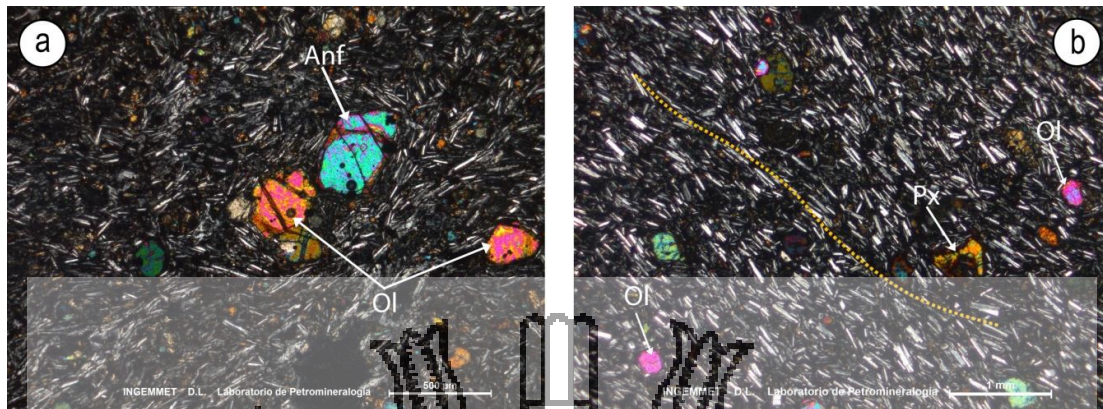


Foto 4.2: Fotomicrografía en Nx de cristales de Olivino en una matriz de microcristales de plagioclasa. Muestras del CVM Ayacucho (a- GR6-12-508 y b. GR6-12-509).

### C. PIROXENO

Las muestras con presencia de piroxeno se encuentran en el sector de Ayacucho, emplazado en la Falla Ayacucho; y en la unidad Pampa Cangallo, ubicados en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

El piroxeno es un mineral accesorio en las rocas volcánicas, está presente en mayor y menor porcentaje. Son subhedrales con tamaños menores a 0.7 mm (Foto 4.3), en algunos sectores presenta textura glomeroporfirítica.

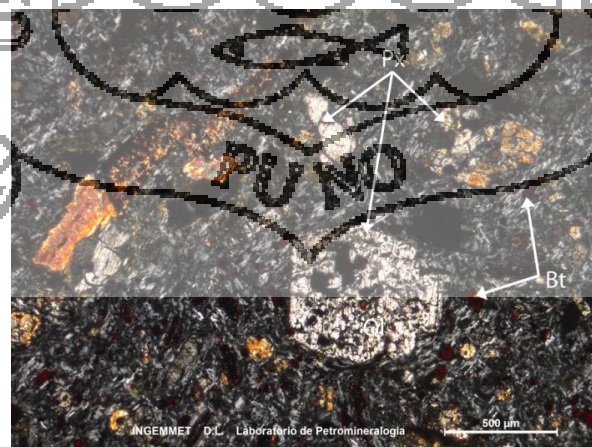


Foto 4.3: Fotomicrografía en Nx, mostrando fenocristales de piroxeno, con fracturas internas. La muestra pertenece al CVM Acocro (GR6-12-511)

## D. ANFIBOL

Este mineral lo presentan las rocas volcánicas de los sectores de Cangallo y Ayacucho, cuyo emplazamiento se da en la Falla Ayacucho y Sistema de Fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

Los cristales de anfíbol son subhedrales, prismáticos con corte basal hexagonal, tiene tamaños menores a 1mm (Foto 4.2 a) y presentan microfracturas. Se encuentran alterados a biotitas y reemplazado por óxidos de hierro, los bordes están alterados a arcilla y minerales opacos, sin embargo la parte céntrica mantiene las propiedades del mineral.

## E. MOLDES DE CRISTALES

Los moldes de cristales se encuentran en el sector Ayacucho en los CVM de Llanopata, Pumapuquio y Acero en las muestras GR6-12 (509, 510 y 511), se distribuyen en la Falla Ayacucho. Las muestras de los CVMs Azabran, Huayllabamba y San Francisco GR6-12 (501, 502, 505) se encuentran en el Sistema de Fallas Abancay-Andahuaylas-Totos por el sector de Pampa Cangallo.

Los moldes de cristales son subhedrales a euhedrales con tamaños menores a 0.8 mm (Foto 4.4). Se han generado producto de la alteración de cristales de anfíbol, pasando por un proceso de reemplazamiento total o parcial de mineral ferromagnesiano, óxidos de hierro y minerales opacos.

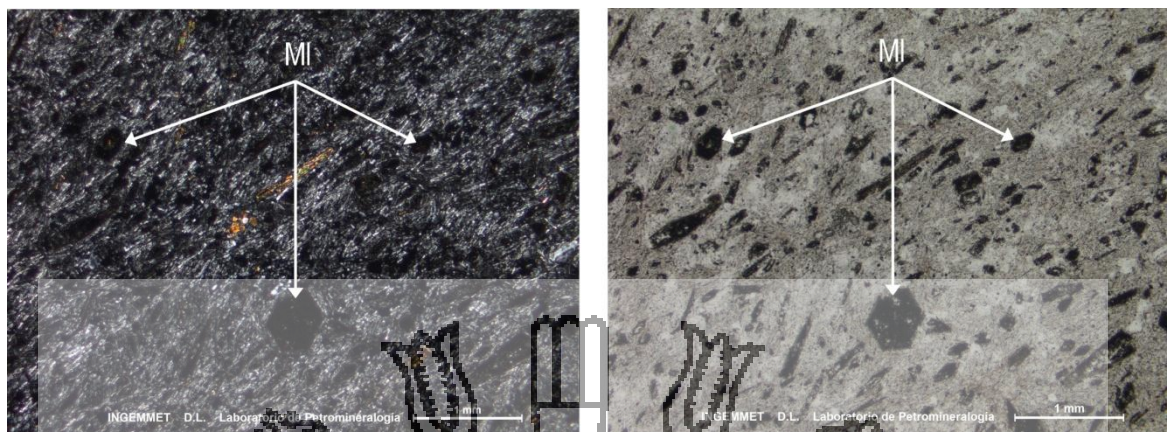


Foto 4.4: Fotomicrografía con moldes de cristales en la muestra del CVM San Francisco (GR6-12-505).

## F. BIOTITA

La biotita es un mineral que se presenta en todos los CVM de la zona de estudios. Tiene forma subhedral y tabular con tamaños menores a 1.3 mm, generalmente se encuentran alterados por óxidos y minerales opacos (Foto 4.3). En algunas muestras se encuentran a manera de fenocristales y en otros casos dispersos en la matriz, la forma de los cristales no están completos ya que se encuentran en cierto modo rotos y microfracturados.

## G. CUARZO SECUNDARIO

Esta ocurrencia se da principalmente en las muestras que pertenecen al sector de Ayacucho en los CVMs Churcampa, Jatopampa, Pumapuquio y La Quinua GR6-12 (506, 508, 510, 512), estructuralmente se emplazan en la falla Ayacucho.

Solo una muestra del CVM Yutupuquio (GR6-12-503) tiene cuarzo secundario y se emplaza en el Sistema de Fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

El cuarzo es anhedral con tamaños menores a 2 mm, en algunas muestras el borde de los cristales están rellenos por minerales producto de alteración (sericita y óxidos). La



inclusión y presencia de cuarzo secundario es característico en este tipo de rocas volcánicas.

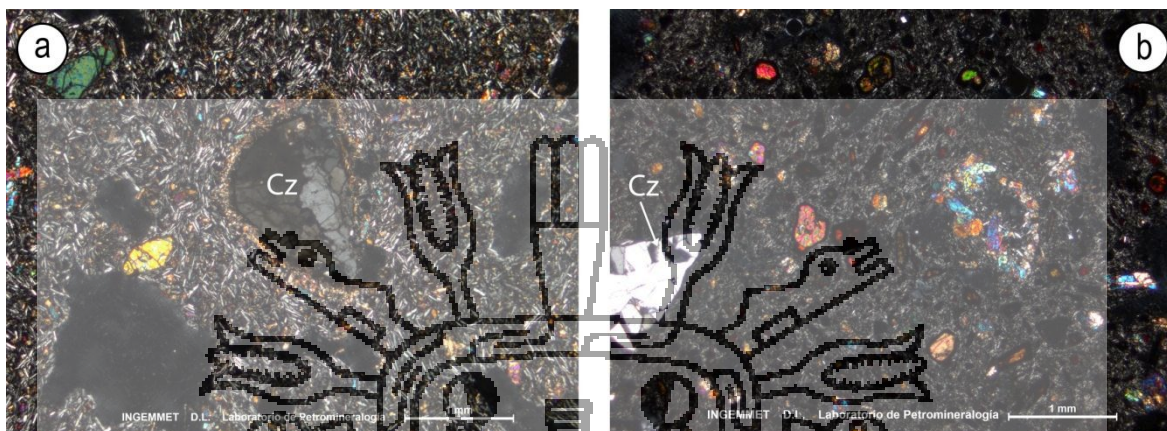


Foto 4.5: Fotomicrografía en Nx de los cristales amorfos de cuarzo residual: a) cuarzo en medio de una matriz con microcristales de plagioclasa bordeado por arcillas – sericita (CVM Jatopampa GR6-12-508). b) cristal de cuarzo en una matriz de plagioclasa con cristales de olivino, piroxeno, biotita y minerales máficos (CVM Pumapuquio GR6-12-510).

## H. ALTERACIÓN

La alteración más resaltante que presentan las rocas volcánicas es oxidación fuerte a débil, producto del reemplazamiento de minerales ferromagnesianos, la alteración de arcillas es débil, también está presente la sericitización en las muestras GR6-12 (503, 506, 508, 509, 511), producto de la alteración de fenocristales y microcristales de plagioclasa, biotización GR6-12 (507, 510) que es débil a moderado.

### 4.3.3 RELACIÓN DE LA PETROGRAFÍA Y EL MODO DE EMPLAZAMIENTO

Los modos de emplazamiento de los CVMs se pueden dividir en dos tipos: El primero fluidal que se encuentra en la falla Ayacucho (CVM de Pacaycasa, La Quinua, Ayacucho, Acocro y Lucho Jahuana Pampa) y el segundo de forma cónica o domo que se encuentra en el sistema de fallas Abancay Andahuaylas-Totos y en la parte norte de la falla Ayacucho (CVM de Churcampa)

Las asociaciones de minerales registradas en las texturas porfíricas de las lavas de los CVM, muestran que las asociaciones que contienen olivino se encuentran en la falla Ayacucho, mientras que las que no contienen se encuentran en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y en la parte norte de la falla Ayacucho (CVM de Churcampa).

Es evidente que las lavas de los CVM que contienen asociaciones mineralógicas con olivino presentan una forma fluidal; en tanto que, las que no lo contienen presenta forma de cono o domo (Fig. 4.1). El olivino y la abundancia de microcristales de plagioclasa indican que las lavas de los CVM ubicados en la falla Ayacucho son de mayor profundidad que las lavas de los CVM ubicados en el sistema de falla Abancay-Andahuaylas-Totos. Cabe resaltar que dentro de la falla Ayacucho se puede diferenciar que las lavas son más someras al norte (CVM de Churcampa), probablemente de la misma profundidad que las lavas del sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos. Es decir que los magmas más profundos se encuentran hacia la unión entre las mencionadas fallas.



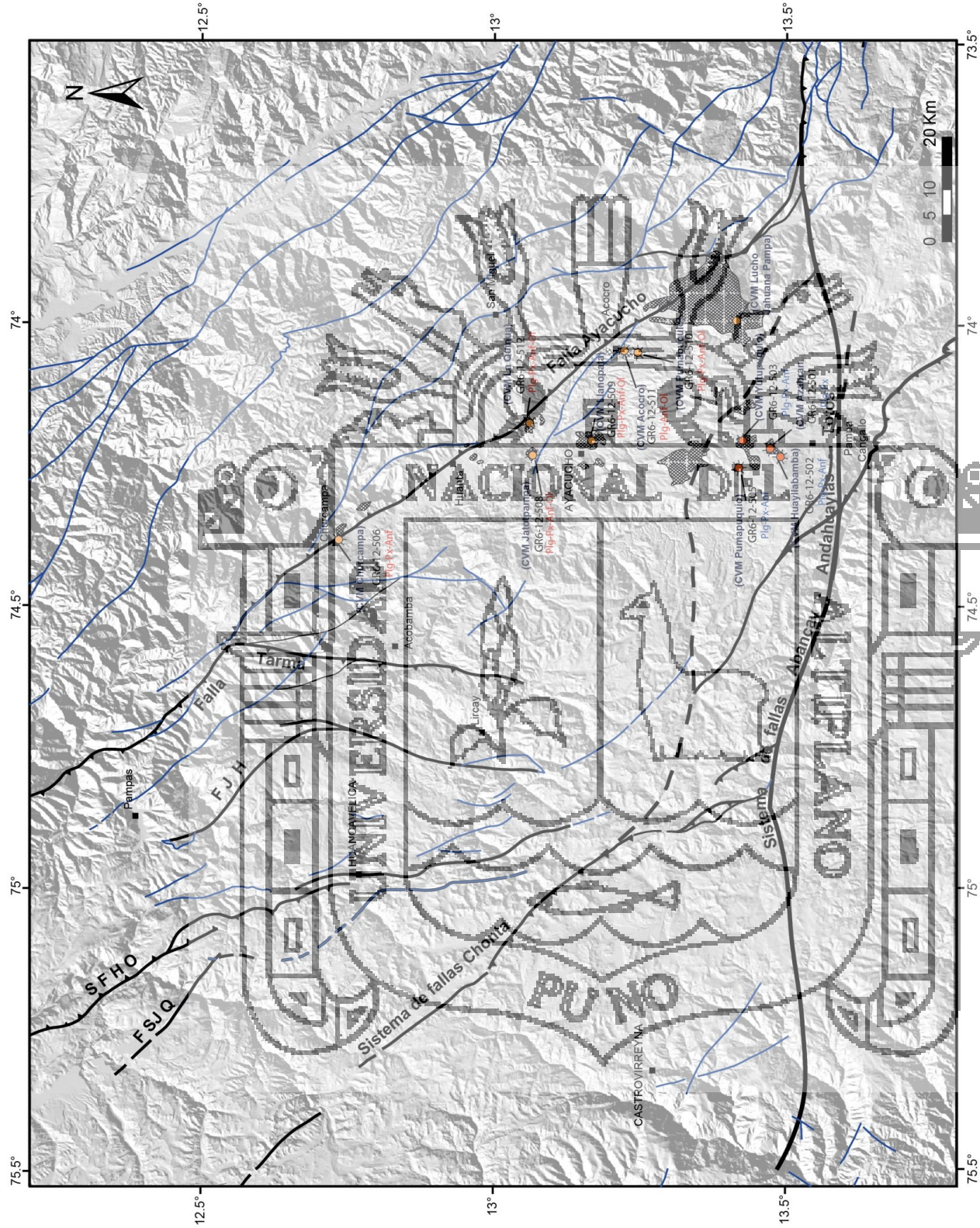
Cuadro N° 4.1 RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA EN LAS ROCAS VOLCÁNICAS

UNIDAD	CVM	CÓDIGO	Min. Principales %		Min. Accesorios %							Min. Secundarios					
			Plg (micio)	PLG	Px	Anf	Oi	Biot	Mol. Cristal	Min. Opac.	Cz	Ox Fe	Ser				
PAMPA CANGALLO	Azabran	GR6-12-501	60	traza	7						10	7			x	x	
	Huayllabamba	GR6-12-502	70		4	1			traza		8	8				x	
	Yutupujio	GR6-12-503	57		10	2	4		5		6	6	x			x	
AYACUCHO	San Francisco	GR6-12-505	56		2	7	3		2		15	3				x	
	Churcampa	GR6-12-506	40		8	5	traza		7				x			x	
	Jatopampa	GR6-12-508	64		3	4	4		8	5			x			x	
	Llanopata	GR6-12-509	63		6	3	5		4	5	4					x	
	Pumapujio	GR6-12-510	51		4	10	5		6	7	5			x		x	
	Acocro	GR6-12-511	40		6	20			5	7	6					x	
	La Quinta	GR6-12-512	60		2	20			8	3				x			x

Plg	Microcristales	Oi	Olivino	Ox Fe	Óxidos de Hierro
PLG	Fenocristales	Biot	Biotita	Min. Opac	Minerales Opacos
Px	Piróxeno	Cz	Cuarzo	Mol. Cristal	Moldes de Cristales
Anf	Anfibol	Ser	Sericita	< ó = 5%	X

Minerales principales que conforman las rocas volcánicas de los centros volcánicos menores de Ayacucho y Pampa Cangallo, los minerales principales y secundarios expresado en porcentajes (%).



LEYENDA		SIMBOLOGÍA	
CVM : Centro Volcánico Menor	Principales Fallas Regionales	—	Principales Fallas Regionales
FSJQ : Sistema de falla San José de Quero	Falla Inversa	—	Falla Inversa
SFHO : Sistema de fallas Huancavelica-Oroya	Falla	—	Falla
SJH : Sistema de fallas Julcani-Huancayo	Pueblos	■	Pueblos
	CVM Sector Ayacucho	☀	CVM Sector Ayacucho
	CVM Sector Pampa Cangallo	☀	CVM Sector Pampa Cangallo

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO                  FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA                  ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		VULCANISMO MONOGRAFICO DEL PERU CENTRAL, AYACUCHO Y HUANCVELICA DEFINIENDO LIMITE DE LOS TIPOS SUBCONTINENTAL	
AUSPICIADO POR: INGENIEMET INSTITUTO GEOLOGICO MINERIO Y METALURGICO		Julio, 2014 N° 4.1	
Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuanca C.		Revisado: Msc. Rildo Rodríguez Mejía	
Librición: Departamento: AYACUCHO HUANCVELICA, Provincia : Chucabambilla, Distrito : Acosta-Juana-Ayacucho		MAPA CON LA UBICACION DE MUESTRAS PETROGRAFICAS	
DTUM: UTM Projection - Grid 18 S WGS 84		Escala: Grafica	

## 4.4 RESULTADOS GEOQUÍMICOS

### 4.4.1 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES

Para la clasificación litológica de las rocas volcánicas se utiliza el diagrama binario TAS (Total Álcalis versus Sílice) de Le Maitre et al., 1989. De acuerdo al contenido de sílice se clasifican en rocas Ultramáficas  $\text{SiO}_2$  ( $< 45\%$ ), Máficas  $\text{SiO}_2$  ( $45 - 52\%$ ), Intermedias  $\text{SiO}_2$  ( $52 - 63\%$ ), Ácidas  $\text{SiO}_2$  ( $63 - 75\%$ ), también sirve para la discriminación del ambiente magmático ya sea toleítico, calcoalcalino, alcalino (serie shoshonítica). Los centros volcánicos menores de Ayacucho-Huancavelica contienen  $\text{SiO}_2 < 65$  (wt%), lo que indica que son rocas máficas a intermedias. Ver (Cuadro N° 4.2).

La correlación de  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{Na}_2\text{O}$  hace referencia a una clasificación entre ultrapotásica ( $\text{K}/\text{Na} = \text{ó} > 2$ ), potásica ( $\text{K}/\text{Na} = 1, < 2$ ), transicional ( $\text{K}/\text{Na} = 0.5, < 1$ ) y sódica ( $\text{K}/\text{Na} < 0.5$ ), teniendo en cuenta esta clasificación las rocas de este estudio se encuentran en el campo de rocas transicionales. Para determinar el contenido de  $\text{FeO}$  tot (hierro total) en las rocas, se utiliza los diagramas de correlación de  $\text{FeO}$  tot vs  $\text{SiO}_2$  y  $\text{FeO}$  tot vs  $\text{TiO}_2$  indicando la presencia de ilmenita, magnetita y titanomagnetita.

Para la determinación en base al contenido de saturación de alumina en las rocas volcánicas se realiza el cálculo matemático con valores de óxidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ )  $\text{Al}/\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}$  y  $\text{Al}/\text{Na}+\text{K}$ , y determinar a qué campo pertenecen, ya que se clasifican en metalumínico, peralumínico y peralcalino. Las muestras de este estudio se encuentran distribuidos en el campo de metalumínico ( $\text{Al}/\text{Ca}+\text{Na}+\text{K} < 1$  y  $\text{Al}/\text{Na}+\text{K} > 1$ ).

#### A. Clasificación de rocas ígneas (TAS)

Mediante el contenido de álcalis total ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) versus sílice ( $\text{SiO}_2$ ) se diferencian tres series magmáticas toleítica, calco-alcalina y alcalina (serie shoshonítica). Le Maitre



et al. (1989), con los parámetros establecidos en el diagrama de total de álcalis vs sílice, proponen una clasificación litológica.

La composición química de las rocas monogenéticas en los Centros Volcánicos Menores de acuerdo al diagrama binario de correlación  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  varían de basalto, basalto andesita y traquiandesita (Fig. 4.1). Existen dos muestras con contenido de  $\text{SiO}_2$  anómalo, las cuales corresponden al CVM Churcampa del sector Ayacucho., estas presentan alteración por procesos meteóricos principalmente. En general el contenido de  $\text{SiO}_2$  varía entre 51 – 68 wt%, siendo las rocas de Pampa Cangallo las que contienen mayor porcentaje de sílice (60 a 61 wt %) y las de los sectores de Ayacucho y Lucho Jahuana Pampa tienen un rango similar (52 a 60 wt %). Con respecto al álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ), este varía entre 4.2 y 8.8 wt%; se observa que las rocas de pampa Cangallo son más enriquecidas (7.0 a 8.8 wt%) que las de Ayacucho y Lucho Jahuana Pampa (4.0 a 7.8 wt%).

La correlación álcalis-sílice (Fig. 4.1) indica que las rocas de Pampa Cangallo son más enriquecidas que las de Ayacucho y Lucho Jahuana Pampa, lo cual sugiere que las magmas de los sectores de Ayacucho y Lucho Jahuana Pampa son más profundos que los de Pampa Cangallo.

La relación de álcalis-sílice con los centros volcánicos mio-pliocénicos, muestra que los CVM de Pampa Cangallo son el resultado de enriquecimiento de magmas desde el Mio-plioceno, los cuales están conformados por los centros volcánicos Tutayac Orcco y Chaupi Orcco. En tanto que los CVM de Ayacucho y Lucho Jahuana Pampa indican un empobrecimiento de los magma en relación con el centro volcánico Molinoyoc. Esto quiere decir que a través de la falla Ayacucho se tienen cada vez magmas menos diferenciados y en las fallas Abancay-Andahuaylas-Totos son más diferenciados.

Según la subdivisión de las series magmáticas estas rocas se encuentran en el campo de la serie magmática alcalina (serie shoshonítica)-calcoalcalina, lo cual indicaría que se habrían originado en un margen continental convergente.

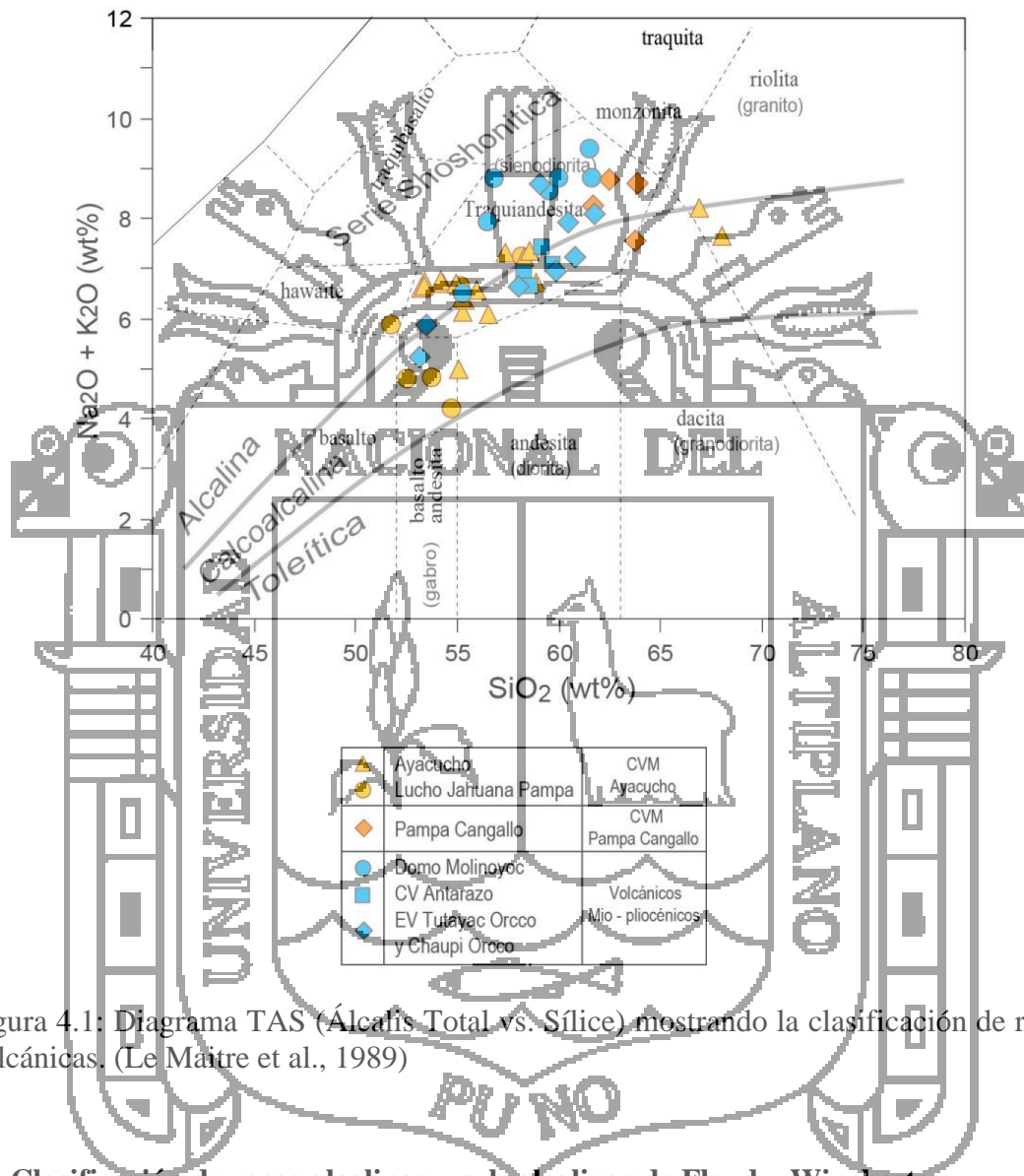


Figura 4.1: Diagrama TAS (Álcalis Total vs. Sílice) mostrando la clasificación de rocas volcánicas. (Le Maitre et al., 1989)

**B. Clasificación de rocas alcalinas y sub-alcalinas de Floyd y Winchester**

La clasificación de rocas volcánicas en base al contenido de  $Zr/TiO_2$  versus  $Nb/Y$  de Winchester & Floyd (1977), permite determinar si la roca ha sido sometida a un proceso de alteración, en comparación con el diagrama TAS, ya que el  $Zr/Ti$  sustituye al  $SiO_2$  y el  $Nb/Y$  sustituye al total de álcalis ( $Na_2O+K_2O$ ), es de mucha importancia comparar con este diagrama para hacer un seguimiento y control de los resultados. En algunas



muestras el tipo de roca difiere, debido al proceso de alteración que han movilizado en cierto porcentaje los minerales primarios (óxidos), principalmente el Na, K y Si ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ). Por ejemplo las muestras GR6-12-506a, GR6-12-506b (CVM Churcampa del sector Ayacucho) en la Figura 4.1 están dispersas respecto a las demás, en cambio con las razones  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  versus  $\text{Nb}/\text{Y}$  (Fig. 4.2) estas no están dispersas.

Las rocas volcánicas de los sectores Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa están dispersas en los campos de basalto subalcalino y basalto alcalino. En cambio las rocas de Pampa Cangallo litológicamente varían entre andesita, traquiandesita y basalto alcalino (Fig. 4.2), lo que indica que estas presentan mayor valor en  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  (0.02-0.03) y menor en  $\text{Nb}/\text{Y}$  0.6-1).

Las rocas volcánicas mio-pliocénicas presentan una similar distribución con resultados variables de  $\text{Nb}/\text{Y}$  distribuidos en los campo de rocas andesita/basalto, basalto alcalino y traquiandesita.

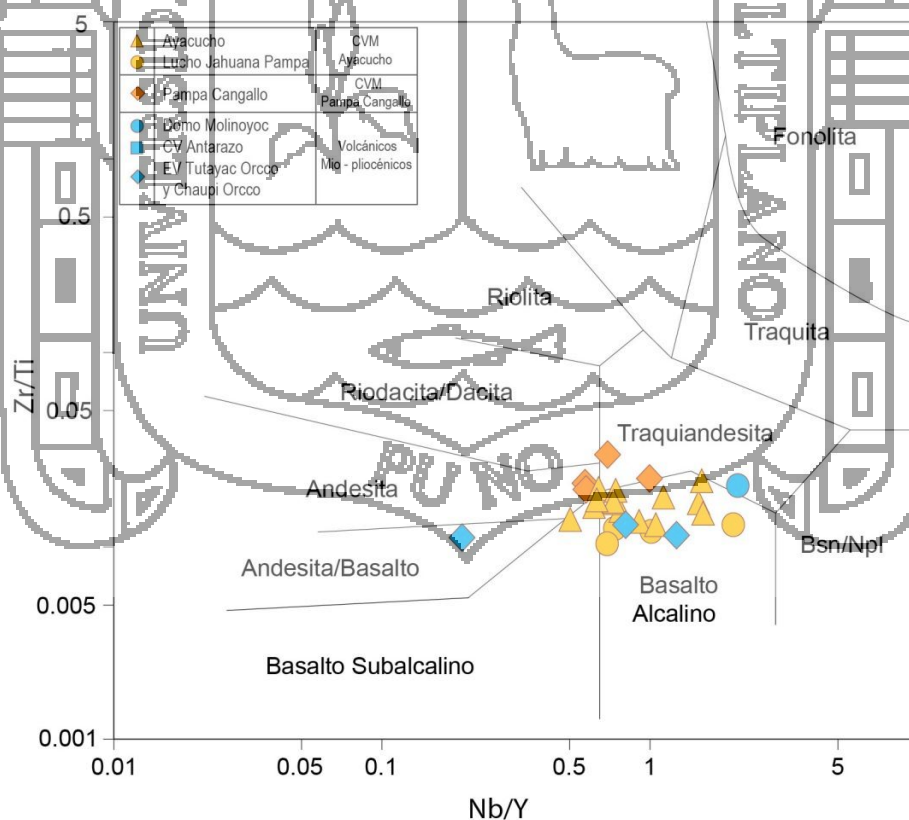


Figura 4.2:  $\text{Zr}/\text{Ti}$  vs  $\text{Nb}/\text{Y}$  diagrama de Winchester & Floyd., 1977.

### C. Clasificación del ambiente y series magmáticas

Según el contenido de sílice, Peccerillo & Taylor (1976) subdividieron a las rocas volcánicas en ultramáficas ( $\text{SiO}_2 < 45 \text{ wt\%}$ ), máficas  $\text{SiO}_2$  (45 – 52 wt%), intermedias  $\text{SiO}_2$  (52 – 63 wt%) y ácidas  $\text{SiO}_2$  (> 63 wt%). La clasificación del ambiente y la serie magmática correspondiente se trata en los diagramas de KS ( $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$ ) y K Na ( $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{Na}_2\text{O}$ ) (Fig. 4.3 a y b). El incremento de  $\text{K}_2\text{O}$  respecto a la  $\text{SiO}_2$  puede indicar el fraccionamiento de plagioclasa y la formación de feldespato potásico en las diferentes unidades volcánicas (Fig. 4.3a). En tanto que el incremento de  $\text{K}_2\text{O}$  está relacionado con la presencia y en incremento progresivo de biotita y sanidina.

En relación al contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  las rocas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa se describen como rocas de composición máfica a intermedia, litológicamente varía entre basalto, basalto andesita y andesita. La composición química respecto al contenido de  $\text{SiO}_2$  varía entre (51.7 – 58.9 wt%) y  $\text{K}_2\text{O}$  (1.6 – 3.5 wt%), pertenecen a la serie calcoalcalina con alto contenido de K y con tendencia a la serie shoshonítica (Fig. 4.3 a). En el sector de Pampa Cangallo son de composición intermedia a ácida con tipos de roca de andesita a dacita y altos valores de  $\text{SiO}_2$  (61.7 – 63.9 wt%) y  $\text{K}_2\text{O}$  (2.6 – 3.8 wt%).

En cuanto al porcentaje de sílice, existe una diferenciación entre los sectores de Pampa Cangallo y Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa, lo cual indica que los CVM de Ayacucho son menos diferenciados que los de Pampa Cangallo. Las rocas volcánicas mio-pliocénicas son de composición intermedia (basalto andesita – andesita) y presentan una similar composición con los CVM del Plioceno.

De acuerdo al contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  en las muestras del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y Pampa Cangallo, se ha realizado el cálculo de K/Na obteniendo resultados < 1 y > 0.5, ubicándose en el campo de rocas transicionales (Fig. 4.3b). Mediante la correlación de ambos elementos se puede ver que las rocas del sector de

Pampa Cangallo son más enriquecidas en  $\text{Na}_2\text{O}$  que las del sector de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa.

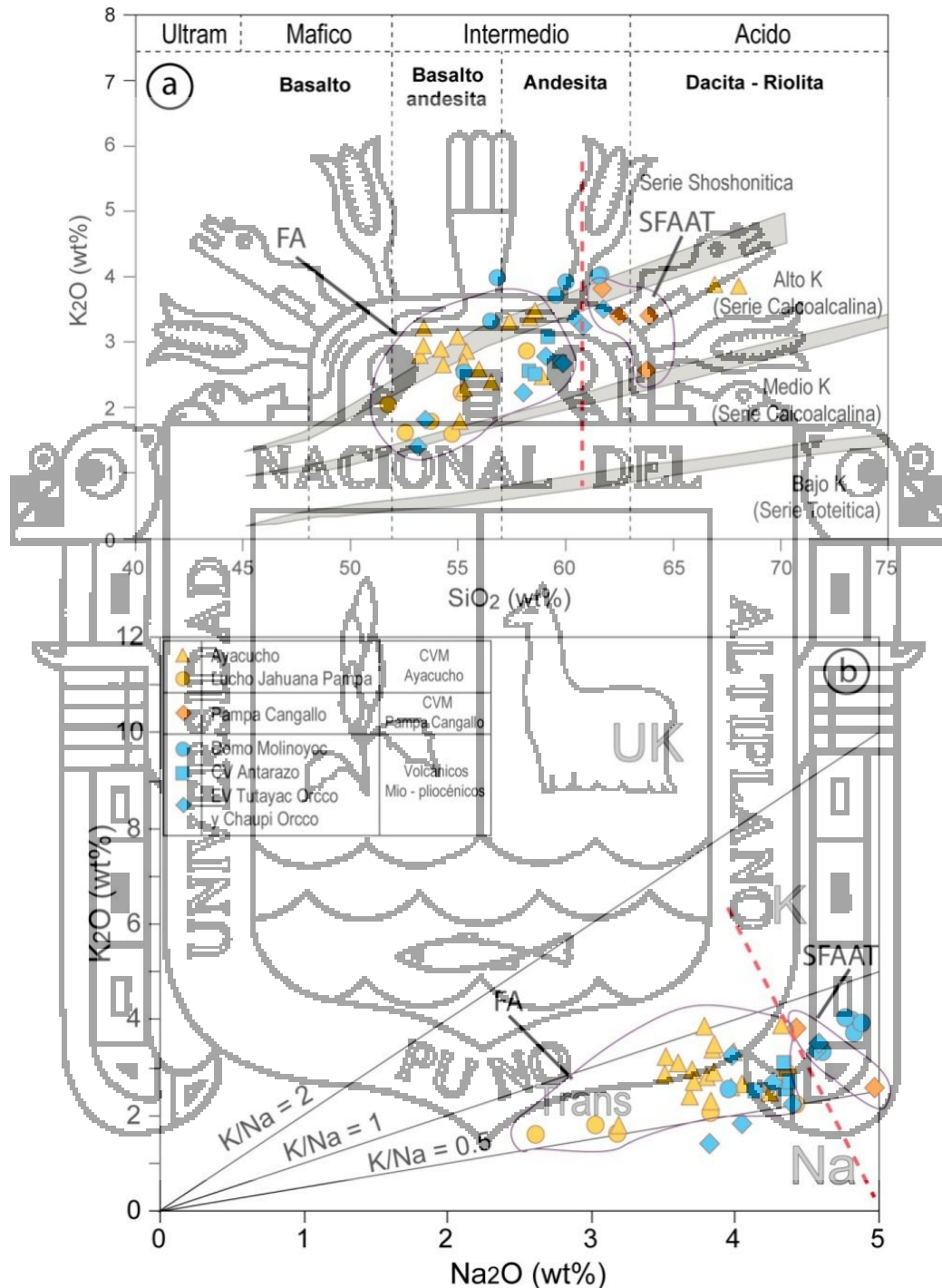


Figura 4.3: (a) Subdivisión de rocas volcánicas utilizando los elementos de  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$ : las subdivisiones en líneas punteadas muestran la clasificación en base al ambiente y tipo de roca (Le Maitre et al., 1989). La clasificación de las series

calcoalcaldas propuesto por Rickwood (1989). Los límites en sólidos diferenciando de la serie shoshonítica, calcoalcaldina y toleítica propuesto por Peccerillo & Taylor (1976). (b) Clasificación de la serie calcoalcaldina  $K_2O$  versus  $Na_2O$  de Peccerillo & Taylor (1976) modificado por Le Maitre (1989) utilizado para las rocas volcánicas de los Centros volcánicos Menores. El contenido de elementos mayores representado por los óxidos han sido recalculados al 100% libre de volátiles.

#### D. Determinación del contenido de FeO total

El contenido de FeO tot es mayor a medida que el magma es más profundo, en tanto que al mayor contenido de  $SiO_2$  nos va indicar el grado de diferenciación y menor profundidad y el mayor contenido de  $TiO_2$  la fraccionación de olivino y magnetita. Para determinar que magma es más profundo con respecto a otro, se usan los diagramas de correlación binaria de FeO tot vs  $SiO_2$  (wt%) y FeO tot vs  $TiO_2$  (wt%).

La correlación de FeO tot vs  $SiO_2$  muestra una variación del contenido de FeO tot en las diferentes unidades volcánicas. Las rocas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa presentan de medio a alto contenido de FeO tot (6 – 8.3), lo que sugiere la fraccionación de olivino y magnetita. En cambio, las del sector de Pampa Cangallo están dentro del parámetro de medio a bajo contenido de FeO tot (Fig. 4.4 a).

En el diagrama FeO tot vs  $TiO_2$  (Fig. 4.4 b), las muestras del sector Ayacucho presenta un incremento proporcional entre ambos óxidos, teniendo alto contenido de  $TiO_2$  y FeO tot, lo cual sugiere las primeras etapas de fraccionación el olivino y magnetita. Los valores más bajos corresponden al sector de Pampa Cangallo con fraccionación de illmenita.

Esta variación del contenido de FeO tot en las rocas volcánicas nos indica que las rocas más profundas y enriquecidas en FeO tot son las que se ubican en sector de Ayacucho y las más someras, con contenido medio a bajo de FeO tot, son las rocas de la zona Pampa Cangallo (Fig. 4.4 a, b).

Las rocas volcánicas mio-pliocénicas no presentan una diferenciación marcada entre los centros de Molinoyoc del sector Ayacucho y los centros de Tutayac Orcco y Chaupi Orcco en el sector de Pampa Cangallo. (Fig. 4.4 b).

Con este análisis se corrobora que las rocas máficas (basalto, andesita, andesita basáltica) del sector de Ayacucho presentan alto contenido de Fe (olivino, magnetita, illmenita) y bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  (cuarzo), a diferencia las rocas intermedias a ácidas del CVMs Pampa Cangallo presentan en menor proporción Fe y alto contenido de  $\text{SiO}_2$ . Los sectores están bien diferenciados ya que espacialmente se encuentran delimitadas por dos estructuras regionales, falla Ayacucho y sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

Las dos muestras alteradas del sector de Ayacucho marcan una clara diferencia con las demás, presentan bajo contenido de FeO tot lo que indica también que el FeO que tenía inicialmente ha sido lixiviado. La variación en estas dos muestras mayormente se nota en los elementos mayores conformado por los óxidos.





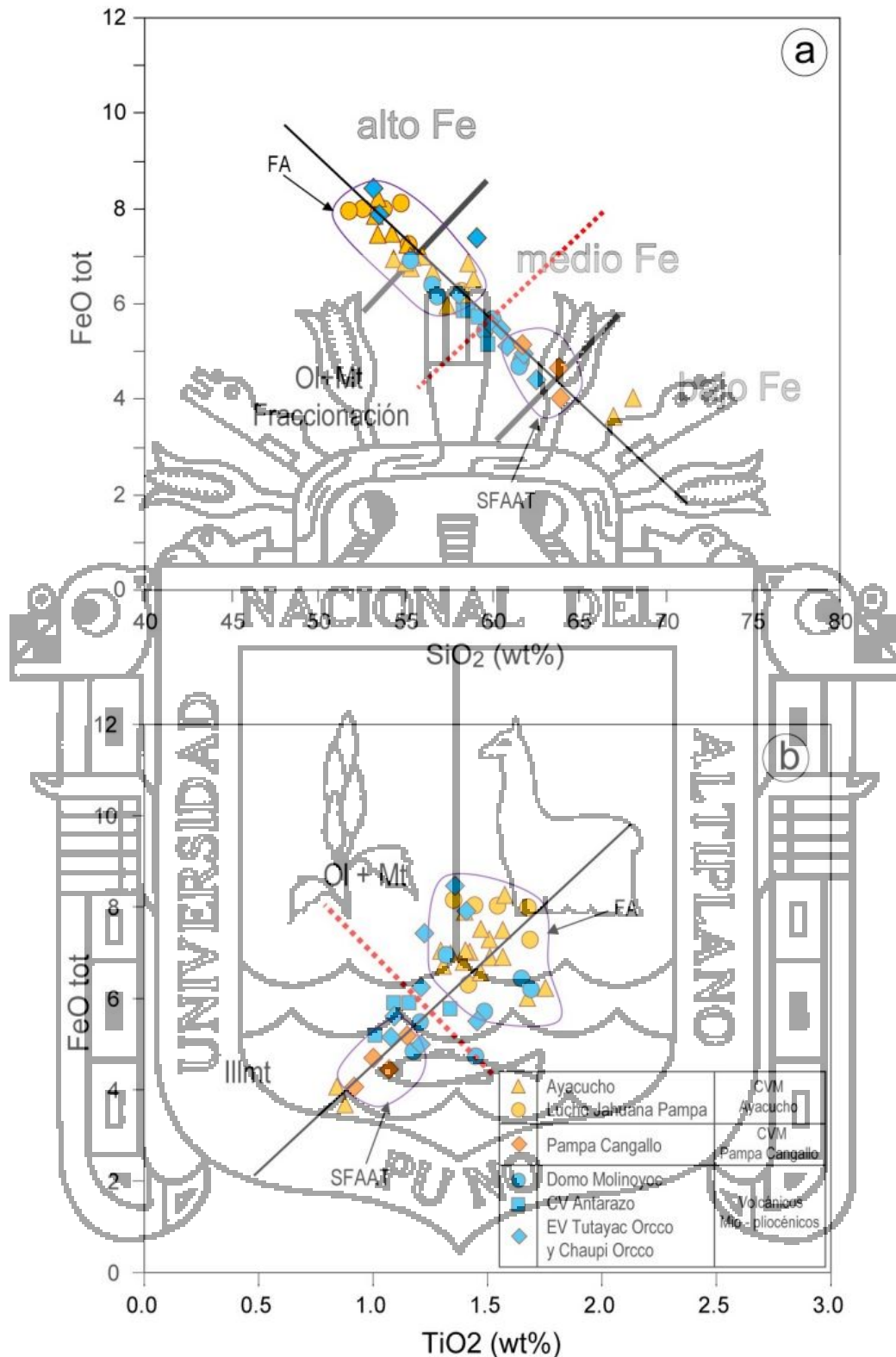


Figura 4.4: (a, b) Diagramas binarios para distinguir el tipo de roca ígnea, serie magmática y contenido de FeO total. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total. FA (falla Ayacucho), SFAAT (sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos).

### E. Diagramas binarios de variación tipo Harker de los centros volcánicos menores

El análisis del comportamiento de los elementos mayores en los diagramas geoquímicos binarios de tipo Harker (Fig. 4.5), es útil para determinar la correlación de rocas volcánicas y el fraccionamiento de los minerales de diferentes composiciones, se puede ver que en los diagramas de variación de tipo Harker las muestras ploteadas presentan tendencias lineales y en algunos casos con cierta curvatura.

#### TiO<sub>2</sub> vs SiO<sub>2</sub>

Presenta una correlación negativa (Fig. 4.5 A), debido a que TiO<sub>2</sub> es introducido en la estructura de minerales de alta temperatura, por ejemplo en el piroxeno; también se puede ver que el mayor contenido de TiO<sub>2</sub> (entre 1.9 – 0.8 wt%) es el sector de Ayacucho y el menor en el sector de Pampa Cangallo.

En estas condiciones se produce el fraccionamiento de la esfena debido a que en su estructura química y mineralógica presenta valores de Ti, de ese modo en la correlación las rocas máficas están enriquecidas en TiO<sub>2</sub> y las rocas intermedias a ácidas estarían empobrecidas en este componente ya que son las más diferenciadas.

#### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs SiO<sub>2</sub>

En esta correlación el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presenta valores de 12.2 – 18.8 (wt%), se observa una línea tendencial casi sub vertical para las muestras del sector Ayacucho en donde se produce la fraccionación de clinopiroxeno (Fig. 4.5 B). En las primeras etapas de cristalización el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no es considerado dentro de los primeros minerales que se forman. Como se puede observar en la (Fig. 4.5 B) las muestras de los Centros Volcánicos Menores presentan un incremento progresivo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt%) lo que indicaría una línea tendencial positiva en donde ocurre el proceso de fraccionación del clinopiroxeno y plagioclasa.

Para las muestras del sector Pampa Cangallo se observa el inicio de la cristalización de la plagioclasa, de esa forma este mineral es incluido en su estructura mineralógica llegando a tener una tendencia lineal negativa.

### MnO vs SiO<sub>2</sub>

Presenta una correlación lineal negativa. El MnO tiene valores de 0.04 – 0.23 (wt%), En las muestras de los Centros Volcánicos Menores y los Volcánicos mio-pleiocénicos, se puede ver que el MnO es incorporado en varios minerales en las primeras etapas de fraccionación como son el olivino, piroxeno. Lo mismo pasa con las muestras del sector de Pampa Cangallo con bajos valores de MnO (< 0.1), que indica la fraccionación de feldspatos (Fig. 4.5 C).

### MgO vs SiO<sub>2</sub>

Se puede notar una correlación negativa respecto al contenido de SiO<sub>2</sub>, el MgO llega a formar parte de los minerales máficos tales como el olivino y el piroxeno en las primeras etapas de la cristalización fraccionada, en tanto que en la fase final de fraccionación se tiene la plagioclasa. La característica más resaltante en este diagrama es el alto contenido de MgO (> 3.5 wt%) en las muestras del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa e indica una asimilación profunda de este componente y para las muestras del sector Pampa Cangallo por sus bajos valores de MgO (1.2 – 1.7 wt%) una asimilación somera que correspondería a magmas no tan profundos (Fig. 4.5 D).

### CaO vs SiO<sub>2</sub>

Tiene una correlación negativa, el CaO en todas las muestras varía de 3.3-9.3 (wt%) (Fig. 4.5 E). La disminución progresiva de CaO se da porque se incorpora a la estructura mineralógica en el proceso de fraccionación así como en los clinopiroxenos y plagioclasa cálcica, esto sucede en las primeras etapas de cristalización.

El CaO en las muestras del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y los Volcánicos mio-pliocénicos se encuentran en las primeras etapas de fraccionación del clinopiroxeno, enseguida se tiene a las muestras del sector Pampa Cangallo con bajos valores de CaO < 4.1 (wt%) con la fraccionación de clinopiroxeno y plagioclasa, llegando a formar parte de la estructura mineralógica.

### Na<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub>

Este óxido presenta una correlación lineal positiva, los valores de Na<sub>2</sub>O varía de 2.6 – 5.0 (wt%). El relativo incremento de este óxido es debido a que no es incorporado en el proceso de fraccionación de la estructura mineralógica en los primeros minerales que cristalizan, pero si se da el proceso de fraccionación de la plagioclasa ya que si está presente en su estructura mineralógica, el enriquecimiento de Na<sub>2</sub>O en las muestras de los Centros Volcánicos Menores y Volcánicos es progresivo (Fig. 4.5 F). La existencia de Na<sub>2</sub>O también podría deberse por la presencia de alteración hidrotermal en el sistema mineralógico.



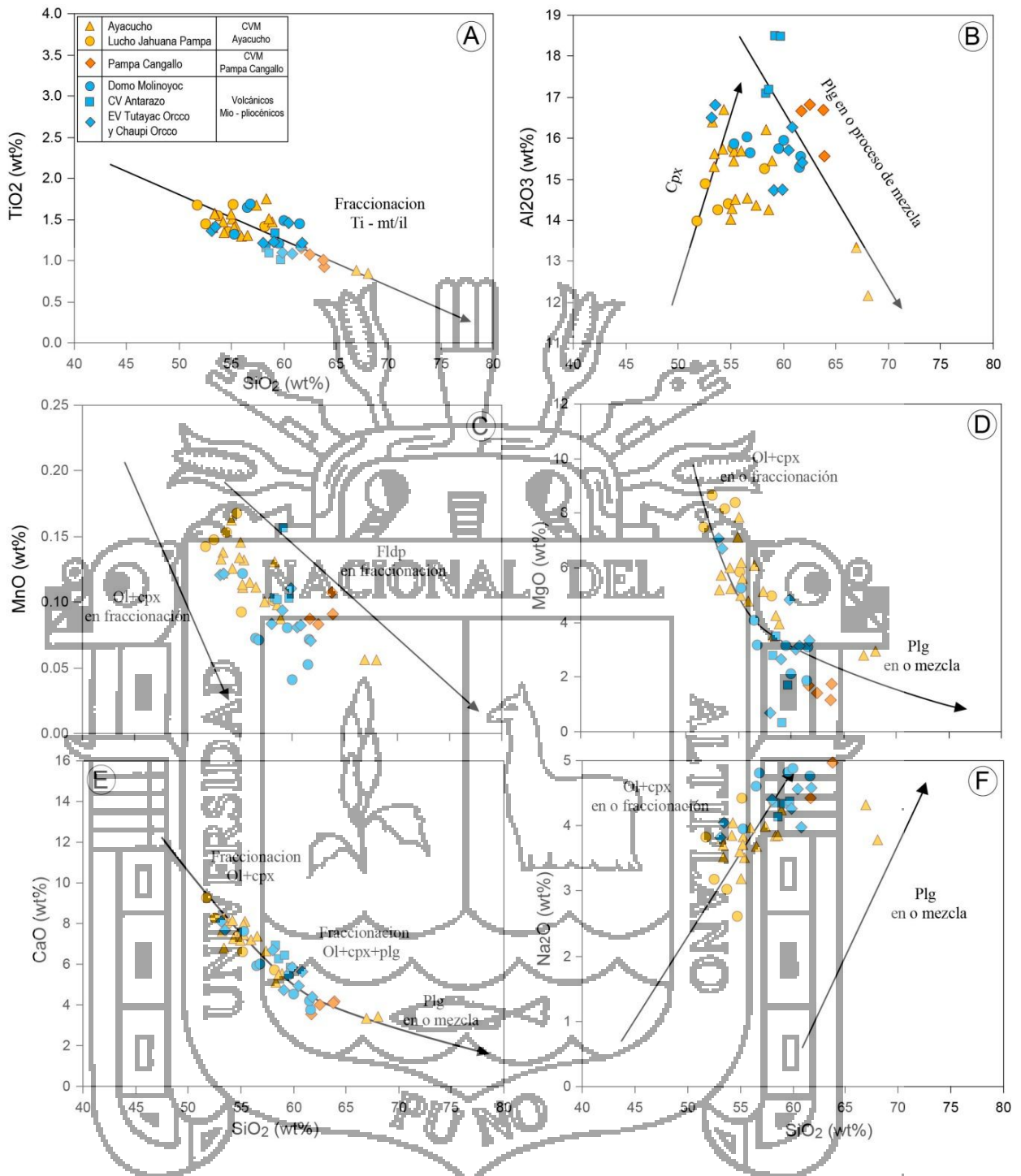


Figura 4.5: Diagramas del tipo Harker para las rocas ígneas de los departamentos de Ayacucho-Huancavelica. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total.



### F. Determinación del contenido de saturación de alúmina en las rocas volcánicas

El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es un componente importante en las rocas volcánicas, es así que el contenido de saturación de alúmina se clasifica en tres tipos de rocas metalumínico, peralumínico y peralcalino (Maniar & Piccoli, 1989). La correlación está dada por el cálculo de valores  $\text{Al}/(\text{Na}+\text{K})$  vs  $\text{Al}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K})$ .

La clasificación mediante el contenido de alúmina en las muestras provenientes de los centros volcánicos menores y rocas volcánicas mio-pliocénicas están clasificados en términos de saturación de alúmina (Fig. 4.6). Los centros volcánicos menores y los volcánicos mio-pliocénicos presentan valores de  $\text{Al}/\text{Ca}+\text{Na}+\text{K} < 1$  y  $\text{Al}/\text{Na}+\text{K} > 1$ , por lo tanto son de carácter metalumínico (Fig. 4.6). Las rocas que se encuentran en este campo no presentan exceso de fusión de  $\text{H}_2\text{O}$  en fuentes máficas lo que indica un bajo grado de diferenciación. Esta signatura indica la presencia de plagioclasas ya que en la estructura mineralógica están presentes los aluminosilicatos de Ca, Na y algunos minerales máficos como la biotita, hornblenda y titanita.

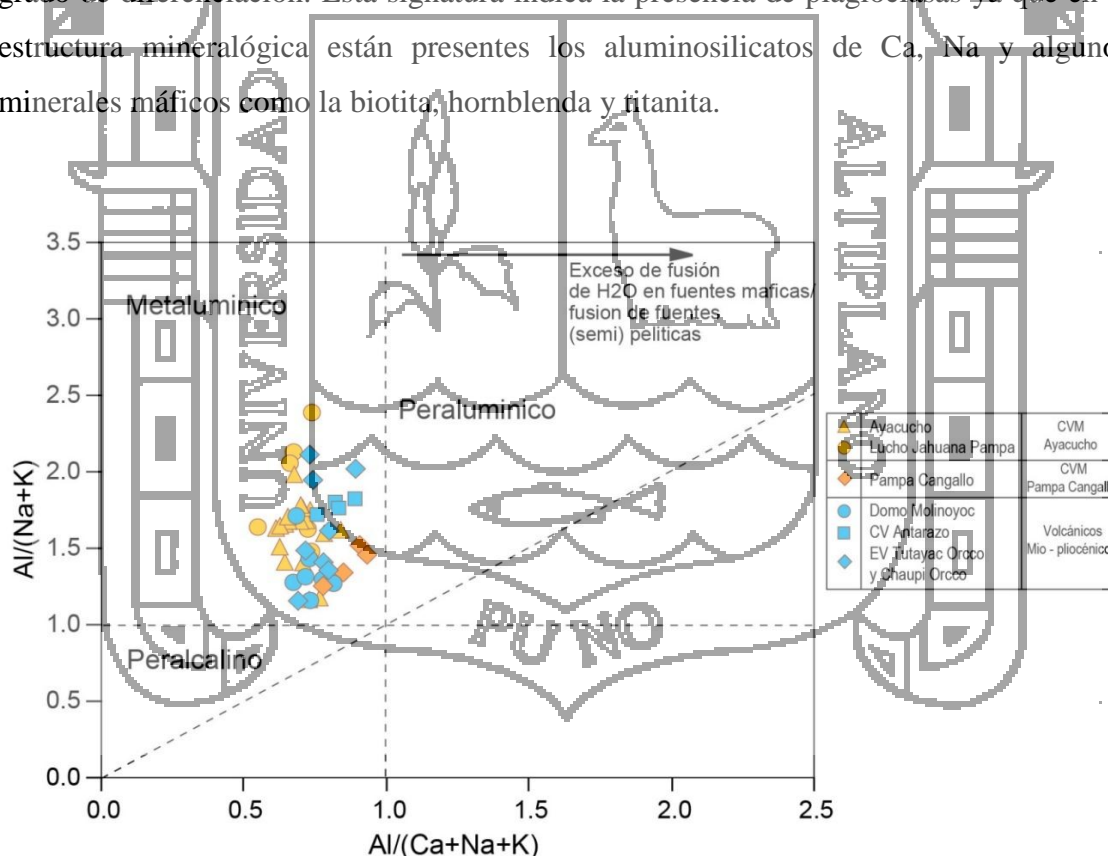


Figura 4.6: Diagrama para determinar el índice de saturación de alúmina en los sectores Ayacucho y Pampa Cangallo. Según las relaciones del contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , clasificándose en tres campos metalumínico, peralumínico y peralcalino de Maniar & Piccoli. (1989).

#### 4.4.2 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA Y ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS

Las rocas volcánicas están enriquecidas en elementos traza compatibles como Ni y V; e incompatibles tales como el Rb, Th, Sr y las LREE La y Ce entre otros (Fig. 4.7). Los elementos incompatibles presentan correlaciones positivas respecto al incremento de SiO<sub>2</sub>, mientras que ocurre los compatibles presente correlación negativa, evidenciando la importante participación de un proceso de cristalización fraccional en la evolución de la serie. Esto se debe a que este tipo de proceso produce un enriquecimiento en elementos incompatibles en el líquido remanente o llamado también fase líquida y un fuerte empobrecimiento en compatibles en el mismo.

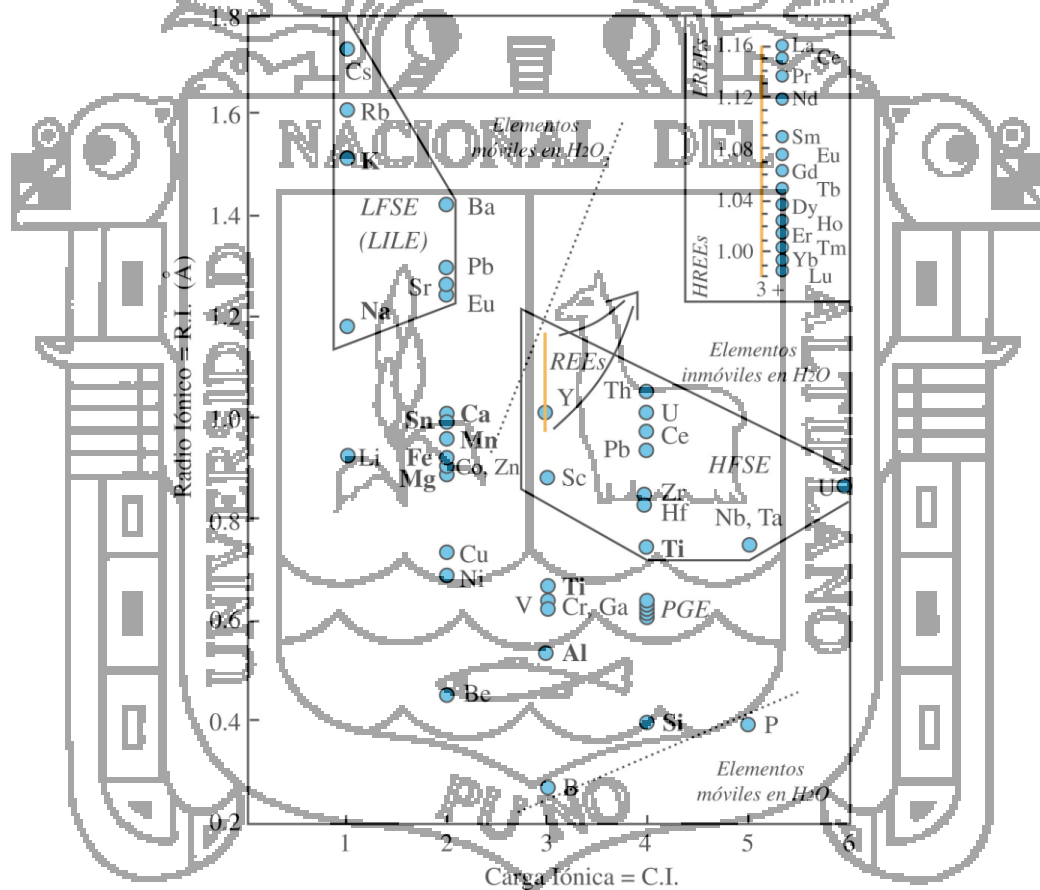


Figura 4.7: Diagrama de clasificación de carga iónica positiva vs el radio iónico de elementos mayores (resaltado) y elementos traza (Rollinson, 1994). Elementos de tierras raras (REEs), en el centro del diagrama son planteados en una escala expandida en la parte superior derecha. De acuerdo al potencial iónico (carga/radio), más elementos pueden ser subdivididos en dos categorías, enmarcados en polígonos, 1) Elementos de potencial iónico bajo (LFSE) más comúnmente llamados elementos litófilos de iones grandes (LILE), en la parte superior izquierda, 2) Elementos de potencial iónico alto (HFSE), en el centro derecho.

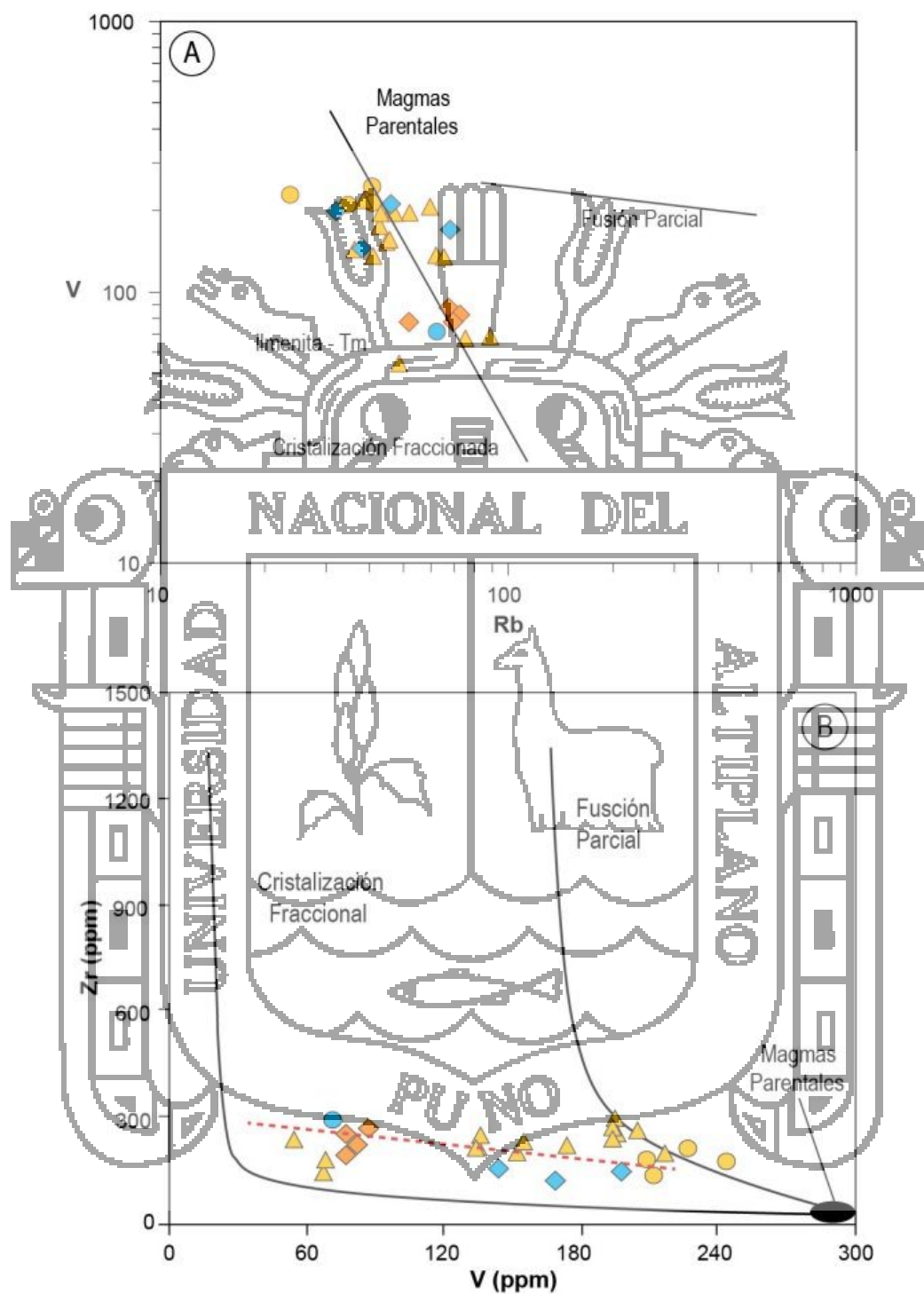
### A. Elementos traza compatibles e incompatibles

Se ha considerado los diagramas de discriminación para diferentes procesos magmáticos y petrogenéticos entre los diferentes CVMs. Los gráficos son a escala logarítmica y representan las concentraciones de un elemento compatible de la serie con respecto al más incompatible, se usa principalmente para diferenciar entre un proceso de cristalización fraccionada o fusión parcial.

#### V vs Rb

En la correlación de V vs Rb, las muestras se encuentran en sentido de línea diagonal, que corresponde al proceso de cristalización fraccionada (Fig. 4.8 A). Además la distribución basada en los elementos de Zr versus V con una distribución subhorizontal, indicando que el proceso de fusión parcial puede ser incompatible con la generación de algunos minerales tal como el piroxeno, el proceso de cristalización fraccional es el más adecuado para toda la variación composicional de las rocas de los CVMs (Fig. 4.8 B). En el diagrama de Rb versus la razón de Rb/V, todas las muestras se encuentran distribuidas formando una curva y consiste de una mezcla de magmas o cristalización fraccional con una correlación positiva (Fig. 4.8 C).

El comportamiento del V (vanadio) debido a sus propiedades como elemento traza compatible, en las rocas varía en sus concentraciones entre (54-244 ppm), rubidio (23.6-88.8 ppm) y el zircón (139-300 ppm). Las rocas volcánicas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa están enriquecidas en elementos compatibles notándose en la dispersión del vanadio entre 134-244 ppm y en menor proporción el rubidio entre 23.6-62.1 ppm, a diferencia de las muestras del sector Pampa Cangallo y algunas muestras del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa presentan bajo contenido de vanadio entre 54-87 ppm y un ligero incremento de rubidio entre 48.5 – 88.8 ppm (Fig. 4.8 A). En relación al Zr como elemento incompatible se tiene una tendencia subhorizontal respecto al contenido del vanadio (Fig. 4.8 B).



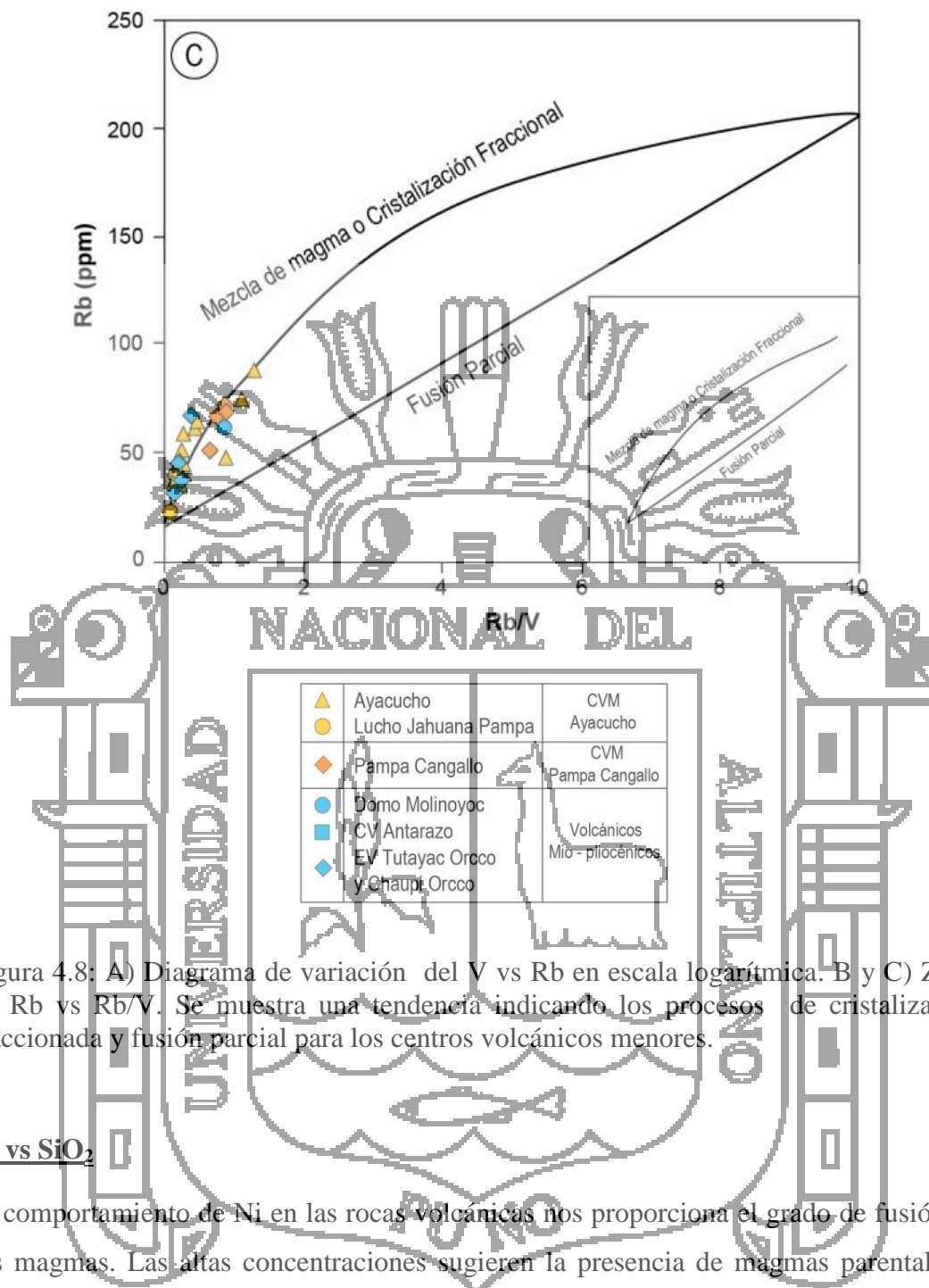


Figura 4.8: A) Diagrama de variación del V vs Rb en escala logarítmica. B y C) Zr vs V, Rb vs Rb/V. Se muestra una tendencia indicando los procesos de cristalización fraccionada y fusión parcial para los centros volcánicos menores.

### Ni vs SiO<sub>2</sub>

El comportamiento de Ni en las rocas volcánicas nos proporciona el grado de fusión de los magmas. Las altas concentraciones sugieren la presencia de magmas parentales o que provienen de una fuente mantélica y la disminución de Ni nos indica la fraccionación del olivino.

En la correlación de Ni vs SiO<sub>2</sub>, se observa tres grupos de concentración que varía en función al Ni y SiO<sub>2</sub>: el primer grupo presenta altos valores de Ni (121 – 191 ppm) y



menor cantidad de SiO<sub>2</sub> (51.7 – 58.6 wt%), está conformado por rocas del sector de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa, provienen de fuentes de magmas parentales cuyo modo de emplazamiento es a manera de flujos de lava; el segundo grupo tiene valores intermedios de Ni (56 – 80 ppm) y SiO<sub>2</sub> (53.2 – 59.9 wt%) también está conformado por el sector de Ayacucho y presentan cierto grado de fraccionación de olivino; finalmente el tercer grupo con bajos valores de Ni (9 – 39 ppm) y SiO<sub>2</sub> (59 – 63.9 wt%) lo conforma el sector Pampa Cangallo (Fig. 4.9), los cuales son más someros y sugiere el fraccionamiento de olivino.

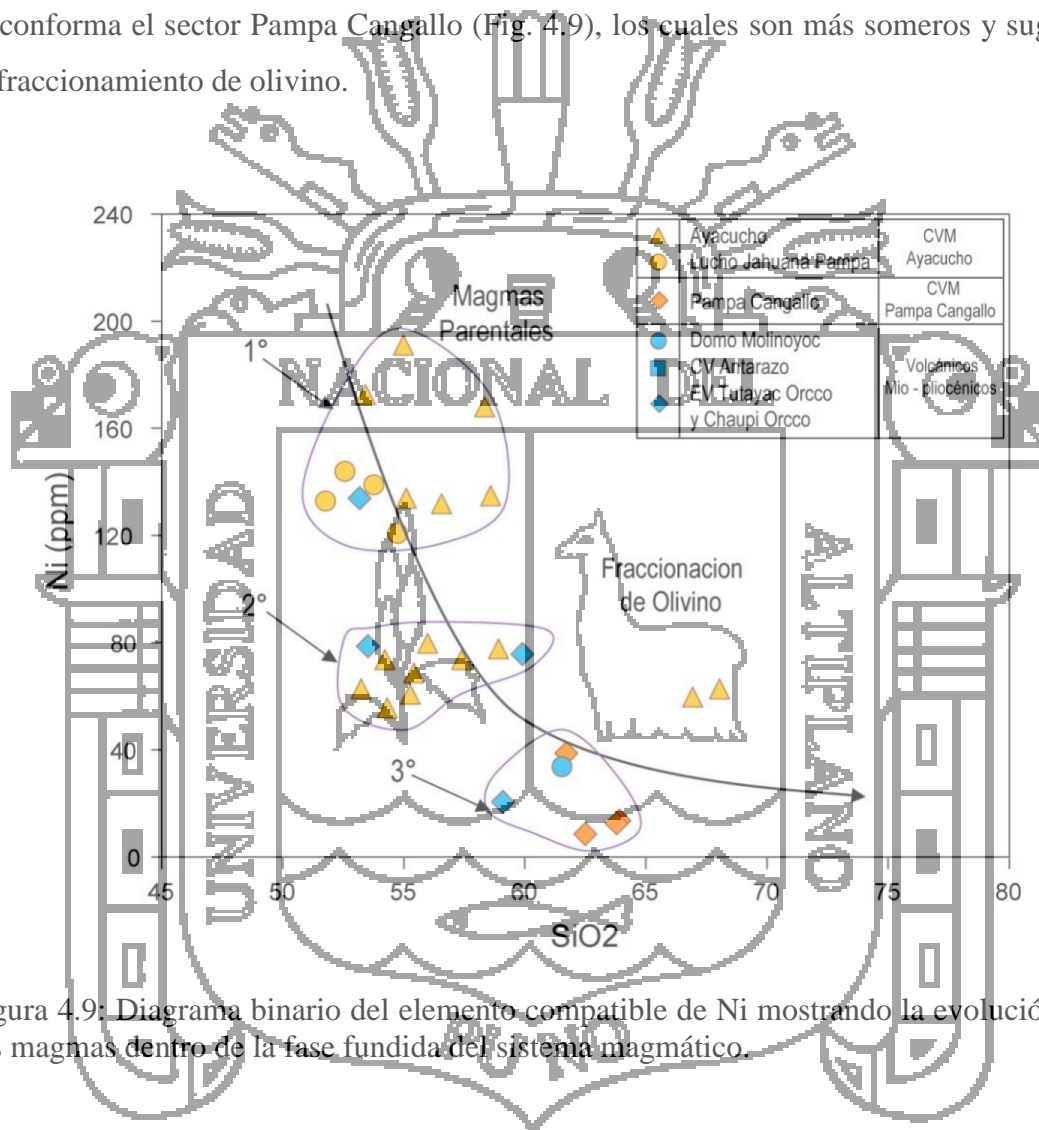


Figura 4.9: Diagrama binario del elemento compatible de Ni mostrando la evolución de los magmas dentro de la fase fundida del sistema magmático.

**Rb vs SiO<sub>2</sub>**

El Rb por su incompatibilidad se encuentra en las fases magmáticas y en el fundido líquido. Este elemento reemplaza al K en micas, feldespato K y hornblenda.

El Rb tiene correlación positiva con el SiO<sub>2</sub>, el incremento de Rb respecto al contenido de sílice es progresivo teniendo en cuenta que los valores más bajos lo tienen las rocas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa (Fig. 4.10).

De acuerdo a la dispersión de los datos en el diagrama binario, las rocas que se emplazan en la falla Ayacucho provienen de magmas parentales con bajos valores de Rb, y las rocas que se emplazan en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos están levemente enriquecidas en Rb.

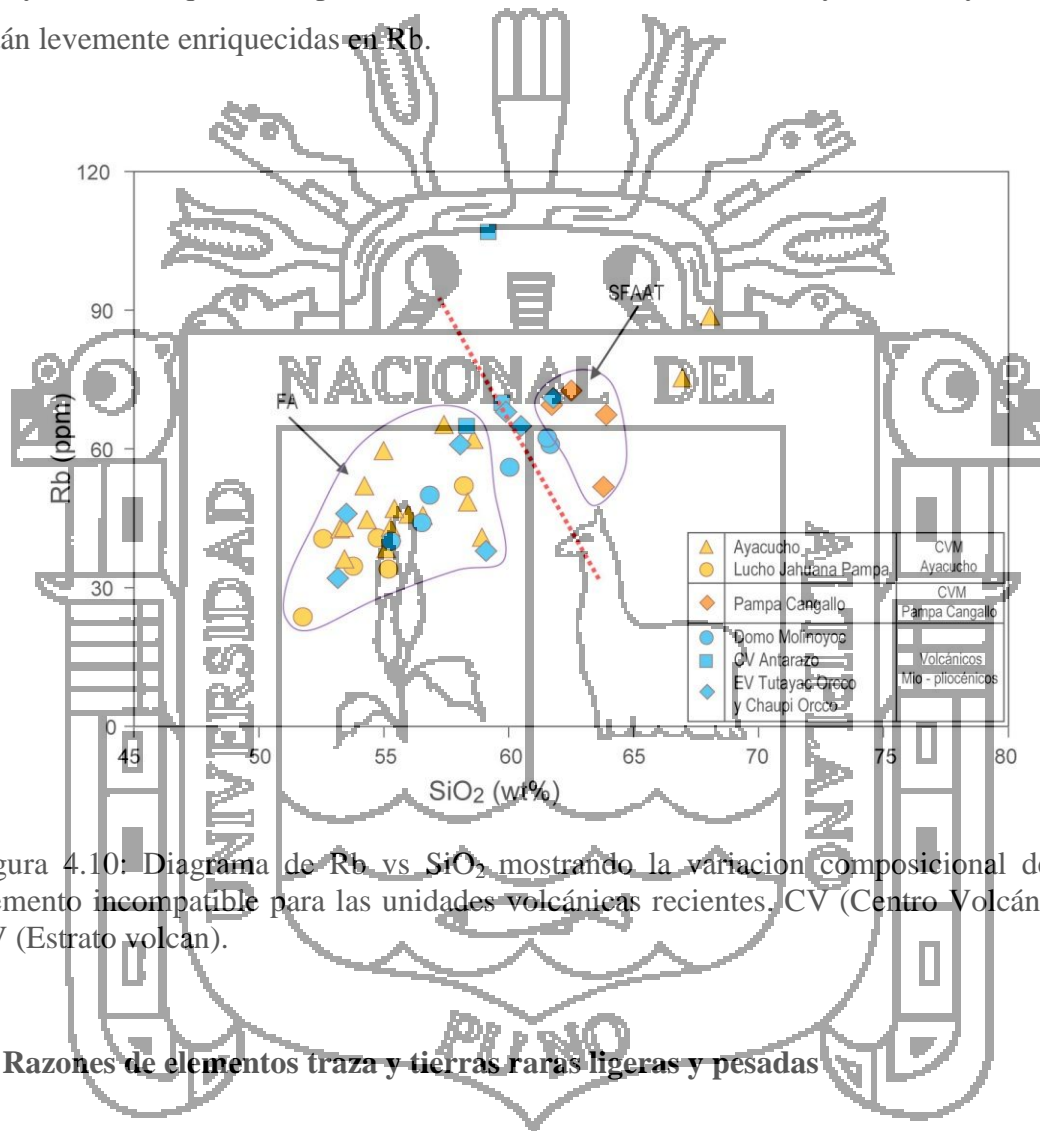


Figura 4.10: Diagrama de Rb vs SiO<sub>2</sub> mostrando la variación composicional de un elemento incompatible para las unidades volcánicas recientes, CV (Centro Volcánico), EV (Estrato volcán).

**B. Razones de elementos traza y tierras raras ligeras y pesadas**

Por el grado de compatibilidad de los elementos traza en tierras raras ligeras y pesadas se realiza una comparación mediante razones geoquímicas para determinar los procesos de cristalización y diferenciación de minerales como clinopiroxeno, anfíbol, plagioclasa y la presencia de granate residual en las rocas volcánicas correspondiente a los CVM del Plioceno y volcánicos del Mio-plioceno.

En las rocas de composición andesita y andesita basáltica se puede ver la distribución de las concentraciones de elementos traza en base a las razones de Sr/Y, Sm/Yb, Dy/Yb vs SiO<sub>2</sub> (Mamani, M et al., 2010) presentando similar correlación (Fig. 4.11). El sector de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa tiene valores de Sr/Y de 9 a 114 y SiO<sub>2</sub> de 52 a 52%; en el sector Pampa Cangallo las concentraciones varían teniendo un incremento gradual de Sr/Y desde 47.5 a 107 y SiO<sub>2</sub> de 61.5 a 64 wt% (Fig. 4.11 A). Estos valores indican la presencia de granate residual debido al aumento de presión. El incremento de Sr/Y en las rocas monogenéticas es progresivo con una correlación positiva respecto a la dispersión de las muestras, esto se debe a la fraccionación de los minerales existentes.

A diferencia la razón de La/Sm vs SiO<sub>2</sub> muestra que las rocas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa son rocas diferenciadas (La/Sm 4.1 – 7.1 ppm) y las del sector Pampa Cangallo con altos valores de La/Sm (6.8 – 7.8 ppm) presentan una afinidad siendo afectado por la fraccionación de plagioclasa. (Fig. 4.11 B)

Las rocas basalto andesita-andesita del sector de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa presentan ratios de Sm/Yb (2.9 – 7.8) y SiO<sub>2</sub> (52 – 58%) que indican la fraccionación de piroxeno, anfíbol y granate residual. En el sector de Pampa Cangallo Sm/Yb (4.7 – 12.4 ppm) y SiO<sub>2</sub> (61.5 – 64%) (Fig. 4.11 C) está afectado por la fraccionación de plagioclasa.

La correlación de elementos traza en las rocas volcánicas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa en Dy/Yb (2.1 – 3.8) indica la fraccionación de anfíbol, y para el sector Pampa Cangallo, por sus altas razones de Dy/Yb (Fig. 4.11 D), sugiere la existencia de granate residual en el fundido.

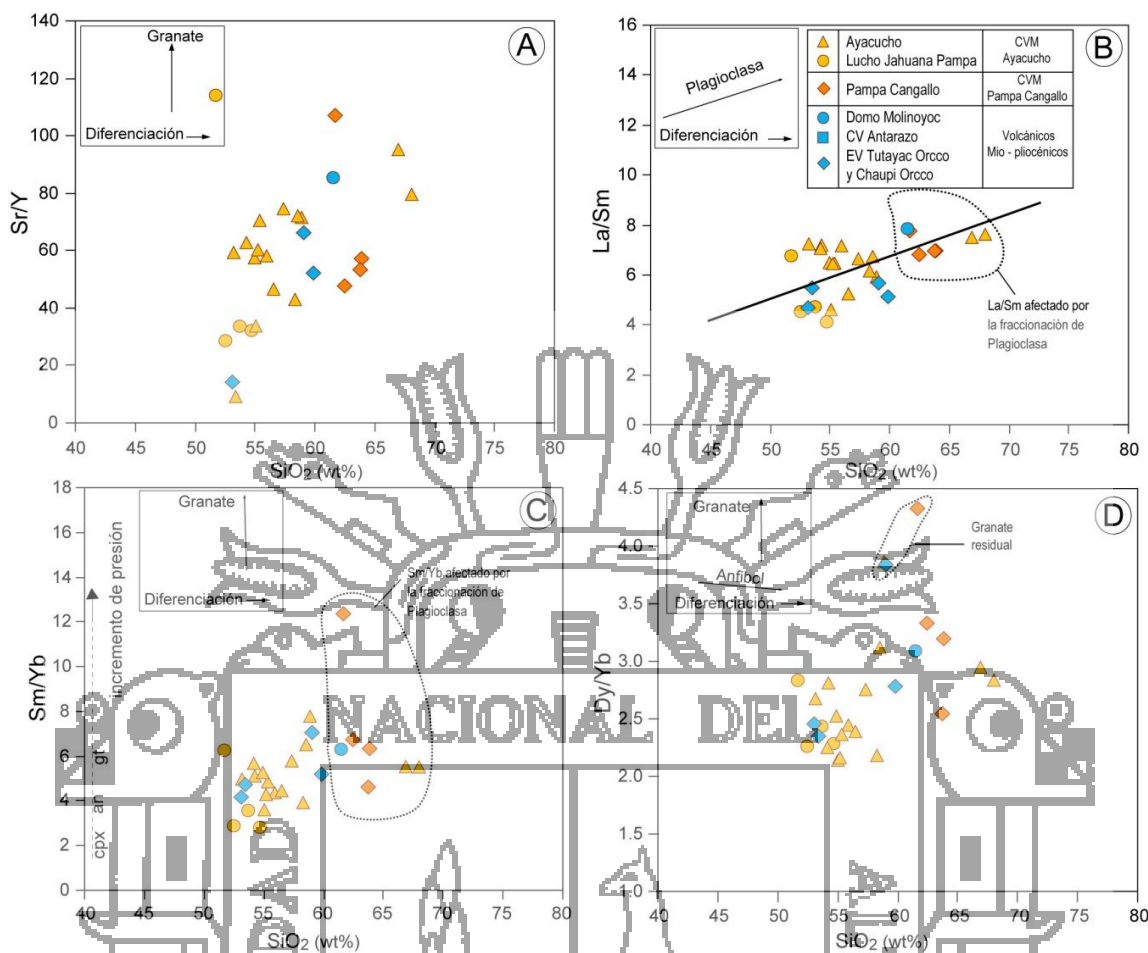


Figura 4.11: Diagramas de razones de elementos traza Sr/Y, La/Sm, Sm/Yb, Dy/Yb (Mamani, M et al., 2010) de los Centros Volcánicos Menores.

- **Profundidad de generación del magma**

De acuerdo al contenido de la razón de Ce/Y vs SiO<sub>2</sub> (Mantle & Collins, 2008), se determina la profundidad en una columna cortical en la que se han generado los magmas.

Las rocas monogénicas de los sectores Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y del Domo Molinoyoc presenta razones de Ce/Y (2 a 7), estos valores nos indican que los magmas se han formado en una corteza con espesor de 80 – 30 km de profundidad, las lavas del sector Pampa Cangallo con valores de Ce/Y (4 a 6) entre 68 – 50 km de profundidad,

los volcánicos mio-pleocénicos con valores medianamente bajos de  $Ce/Y < 4.5$  se han generado a una profundidad de 55 – 20 km. Las ofiolitas presentan razones muy bajas de  $Ce/Y=0.2$ , nos indica que estas rocas se han formado dentro de una corteza  $< 5$  km o sin la presencia de corteza y son las rocas más máficas reconocidas (Fig. 4.12).

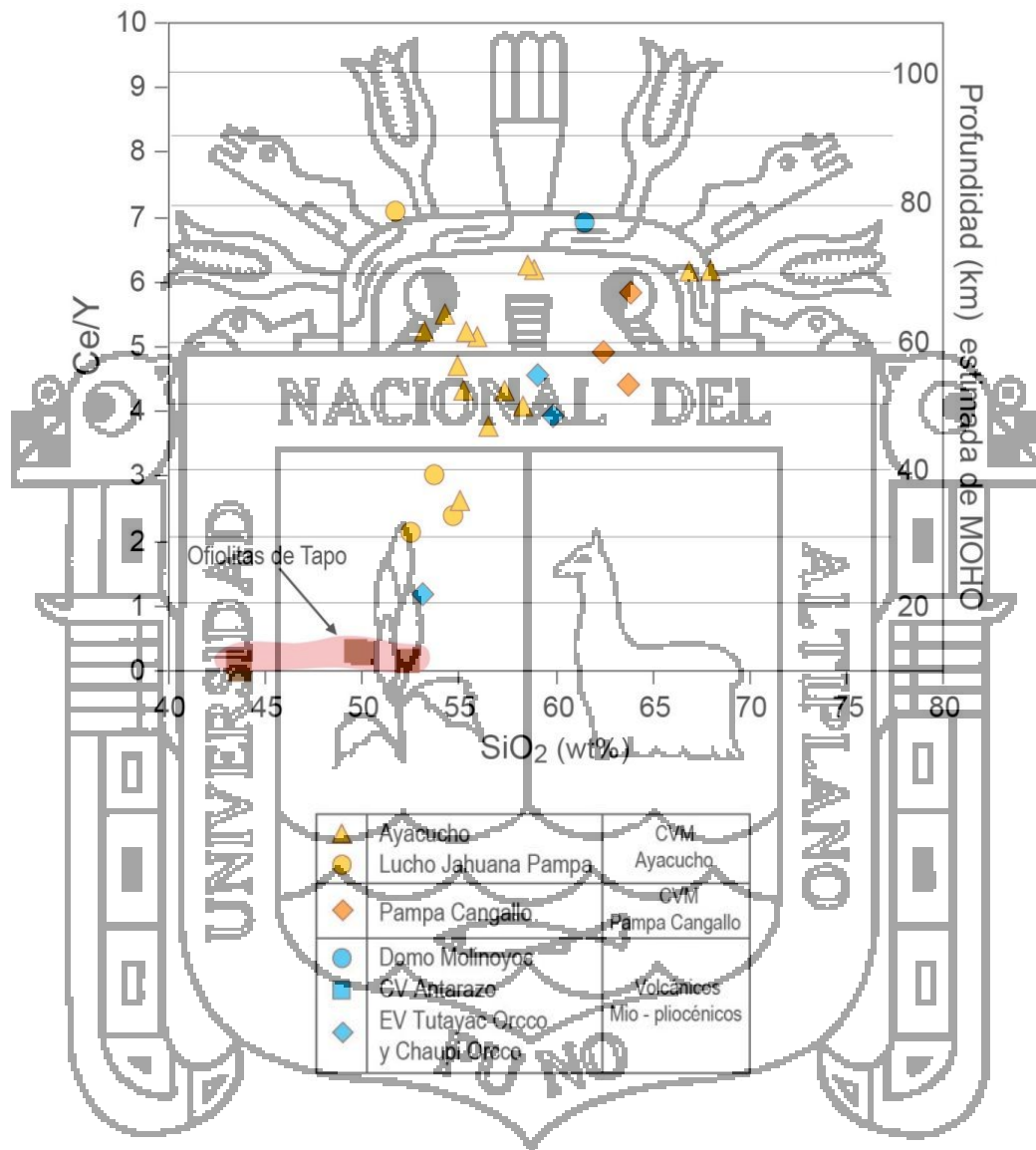


Figura 4.12: Diagrama de razones de elementos traza Ce/Y vs SiO<sub>2</sub> (propuesto por Mantle & Collins, 2008) para determinar la profundidad a la que se ha formado el magma para las rocas monogénicas del área de estudio.



#### - Asimilación de la corteza

Las rocas volcánicas pertenecientes a los CVMs de los sectores de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y Pampa Cangallo presentan razones variables de Sm/Yb y Sr/Y que definen el grado de asimilación de las rocas dependiendo de la composición de la corteza.

Se puede ver que los ratios de Sr/Y y Sm/Yb en las rocas volcánicas son altos. El incremento progresivo y las altas razones de Sr/Y y Sm/Yb se tiene en las rocas del sector Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa.

Se han diferenciado dos grupos o asociaciones de acuerdo a la concentración y la dispersión en base al contenido de ambas razones: el primer grupo presenta altos valores de Sm/Yb (5.6 – 7.8) y Sr/Y (47.5 – 114.1), en las rocas volcánicas estas razones representa los residuos de granate y plagioclasa (sector Ayacucho –Lucho Jahuana Pampa) lo que indicaría que estas rocas han pasado por un proceso de asimilación profunda. El segundo grupo corresponde al sector Pampa Cangallo tiene relativamente altos valores de Sm/Yb (4 – 5.3) y bajos de ~ Sr/Y (42.8 – 60.4) reflejando la estabilidad de granate, anfíbol y plagioclasa residual en las rocas (Fig. 4.13).

De igual modo la razón de Sm/Yb nos ayuda a distinguir entre los diferentes efectos causados por el espesor, la composición de la corteza, la presencia de anfíbol y el granate. La razón Sr/Y indica la presencia o la ausencia de plagioclasa.

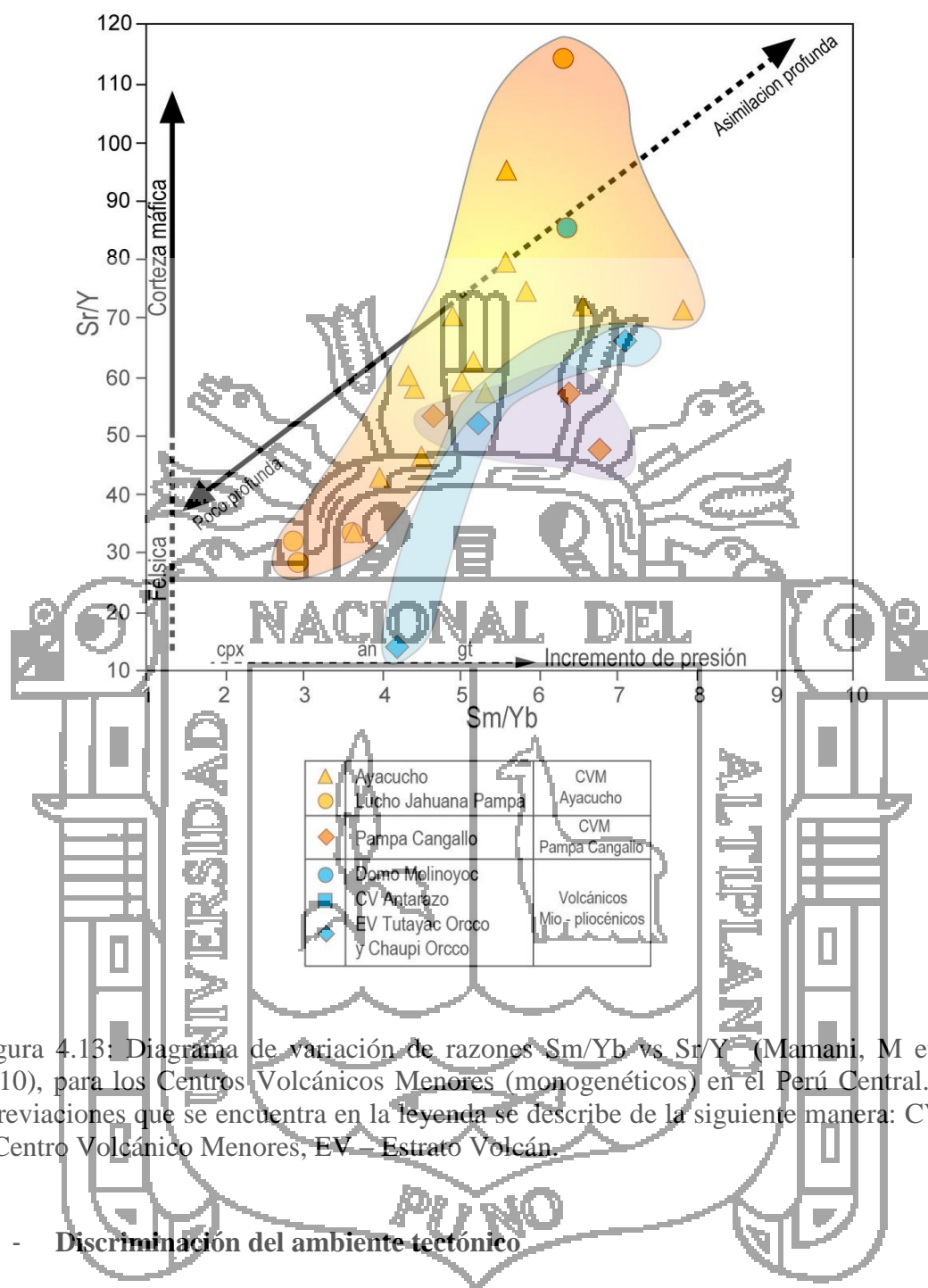


Figura 4.13: Diagrama de variación de razones Sm/Yb vs Sr/Y (Mamani, M et al., 2010), para los Centros Volcánicos Menores (monogénéticos) en el Perú Central. Las abreviaciones que se encuentra en la leyenda se describe de la siguiente manera: CVMs – Centro Volcánico Menores, EV – Estrato Volcán.

- Discriminación del ambiente tectónico

El ambiente tectónico donde se han generado los magmas de los CVMs es determinado mediante el análisis de los elementos incompatibles Th y Nb, ya que estos elementos tienen mayor afinidad a la fase líquida. Las proporciones de Th nos indica la fuente de contaminación del magma mantélico y las de Nb, el material original del magma o magma parental.

Para realizar el análisis es necesario utilizar el Yb (elemento compatible), el cual es un elemento que disminuye los efectos de cristalización fraccionada o fusión parcial, también es posible identificar la naturaleza de las fuentes del manto y la presencia de contaminación cortical (Pearce y Peate, 1995)

Las lavas andesita, basalto andesita y traquiandesita de los CVMs (monogenéticos) del Plioceno presentan altas razones de Th y Nb con un enriquecimiento en la razón de Nb/Yb (9.1 – 39.8). La dispersión de las lavas es paralela al área de MORB (Fig. 4.14), mostrando la confirmación del ambiente tectónico calcoalcalino a alcalino (shoshonítico) en un régimen continental, que también fue determinado con el análisis de elementos mayores (Figs. 4.1 y 4.3).

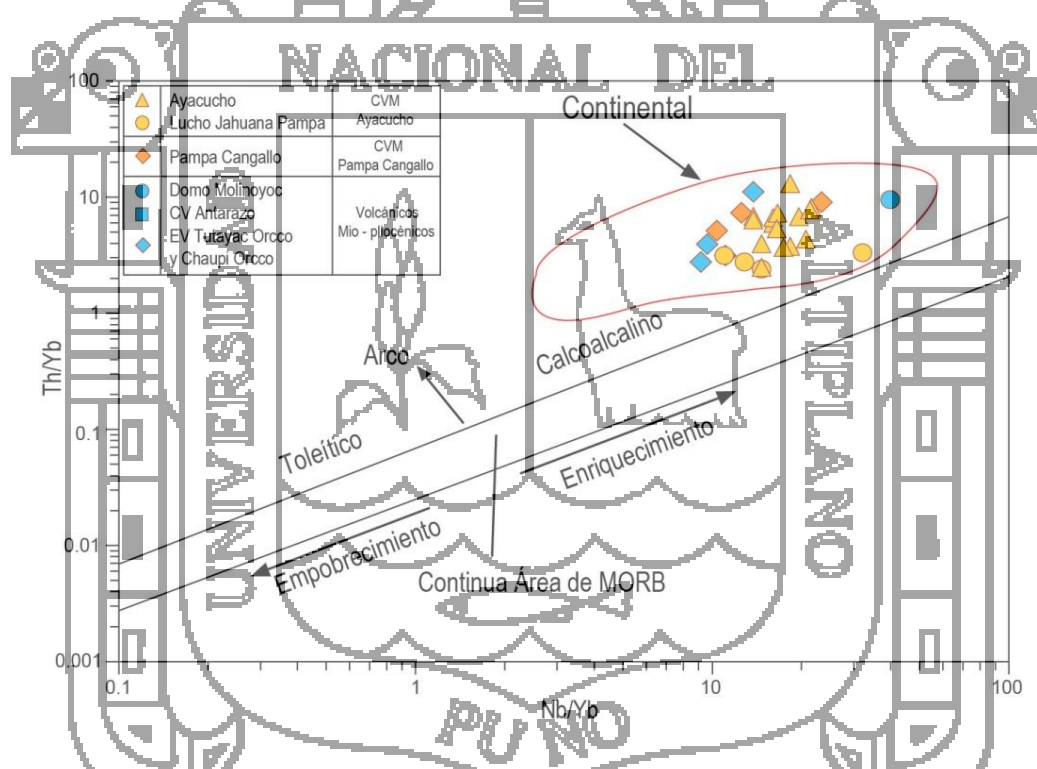


Figura 4.14: Diagrama de Th/Yb vs Nb/Yb con los diferentes tipos de ambiente tectónico MORB (Mid-Ocean Ridge Basaltic) o enriquecimiento por adición de fluidos por subducción o contaminación. (Pearce & Peate, 1995).

- Fuente mantelica

La fuente mantelica de los magmas puede ser determinada mediante el análisis de proporciones de las tierras raras ligeras Yb y La (compatibles) y de la tierra pesada Nb (incompatible). El Nb se decrece a medida que los magmas son más someros, en tanto que el Yb y La se incrementan a medida que el magma es más somero. Acorde a los análisis geoquímicos de rocas volcánicas nos indica la proveniencia o procedencia de los magmas que se han podido generar entre la litósfera y el manto astenosférico.

El bajo contenido de Nb/La y el incremento gradual de La/Yb sugiere que los magmas provienen de una fuente del manto litosférico desde una corteza inferior (Fig. 4.15). En la parte sur del sector Ayacucho, CVM Lucho Jahuana Pampa, se presentan bajos valores de La/Yb (11.7 a 16.71). En tanto que la parte norte y en el sector Pampa Cangallo, el contenido de La/Yb es disperso. De manera general las lavas de todos los CVMs, tienen composición de basalto alcalino que proviene de una fuente del manto litosférico.

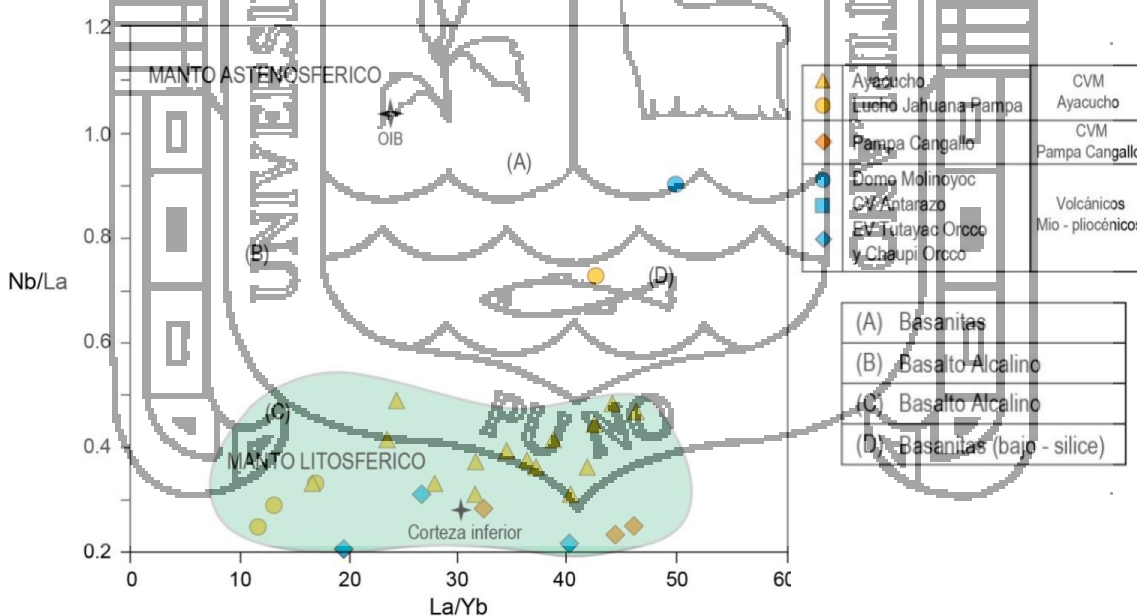


Figura 4.15: Diagrama de proveniencia de magmas. El Nb es comúnmente depletado en el manto litosférico relacionado al La, es así que las bajas razones de Nb/La en los magmas máficos sugiere una fuente del manto litosférico, diagrama modificado de Bradshaw & Smith (1994).

#### 4.4.3 PERFILES DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA Y TIERRAS RARAS

Las concentraciones de elementos traza define los procesos petrogenéticos internos que han pasado los magmas para llegar a formar los CMVs. Los datos procesados para los siguientes diagramas han sido normalizados al Condrito de Sun & McDonough (1989).

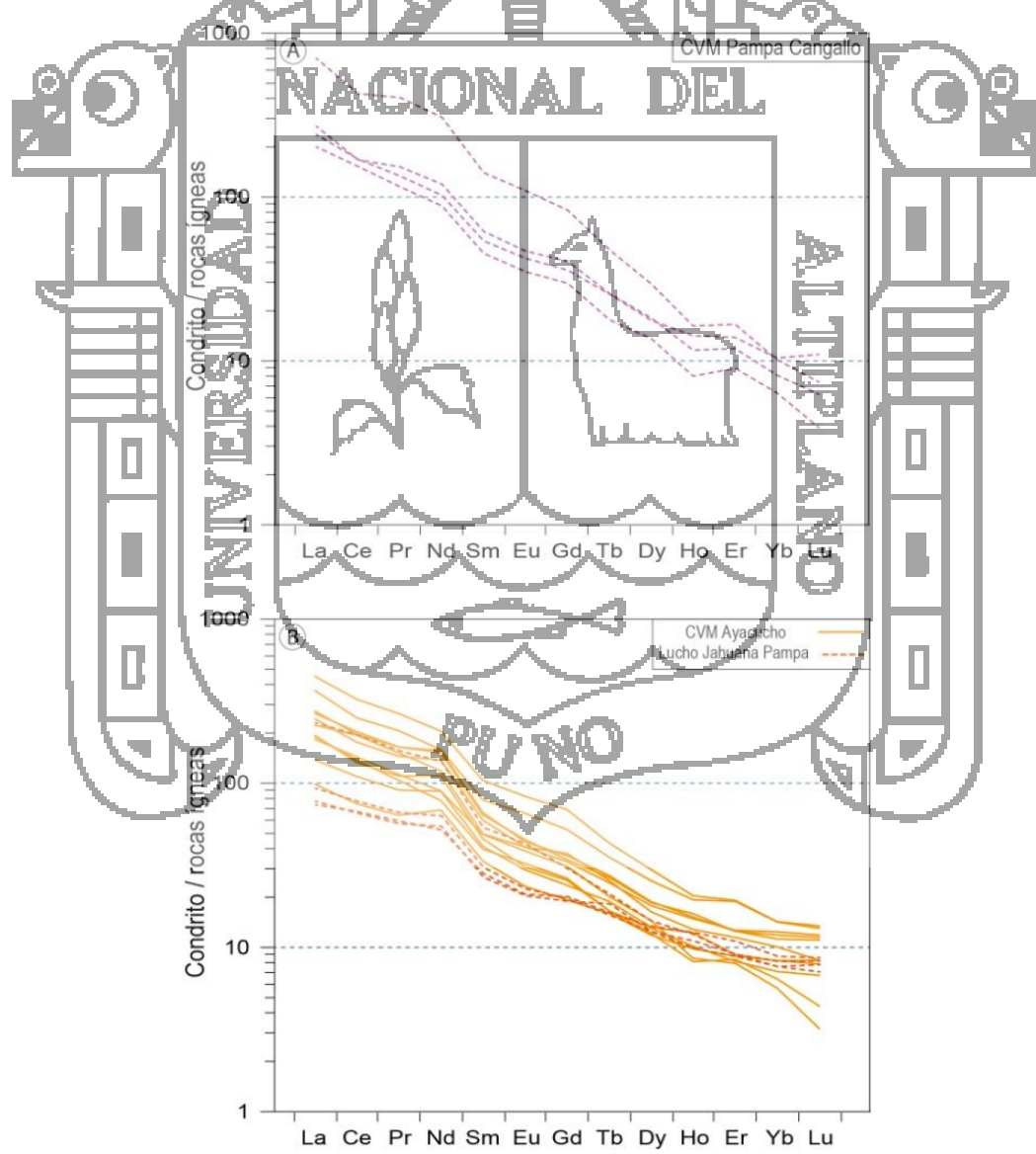
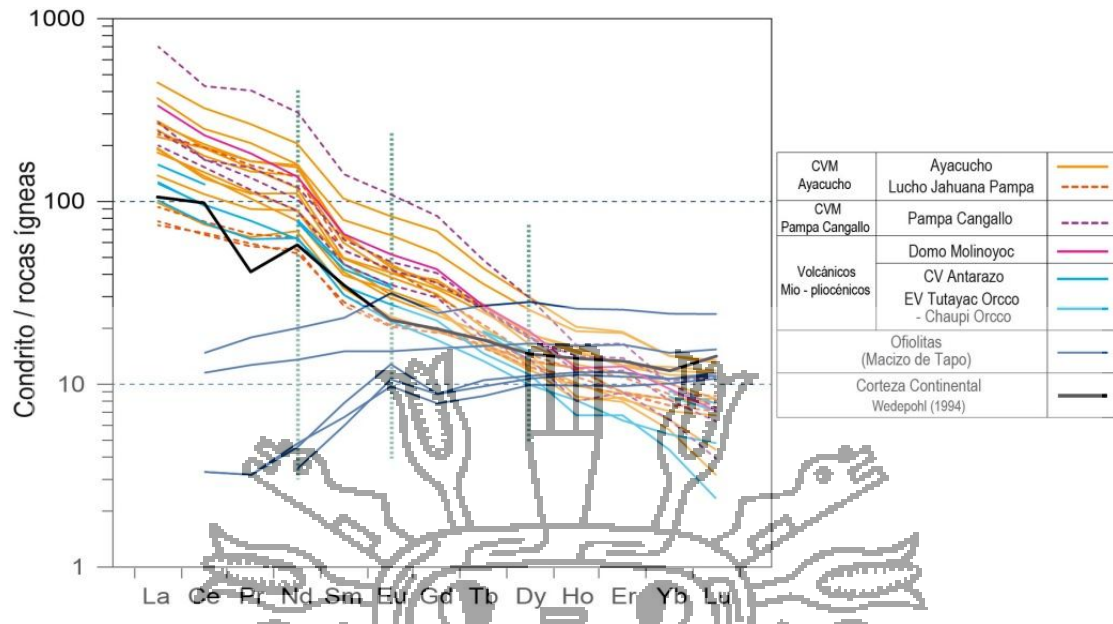
Los perfiles de concentración en las rocas monogenéticas de los Centros Volcánicos Menores del Plioceno y los Volcánicos mio-plioceno muestran una pendiente fuerte, donde es notorio el enriquecimiento de las tierras raras ligeras (La, Ce, Pr, Nd, Sm) y empobrecimiento de las tierras raras pesadas (Eu, Gd, Tb, Dy), las líneas de concentración son casi paralelas y mantienen la misma signatura. (Fig. 4.16). La ausencia de la anomalía negativa de Eu sugiere que este elemento no puede ser incorporado en la plagioclasa y puede reflejar fuertes condiciones de oxidación.

Por otro lado, las Ofiolitas de Tapo, presentan cierto paralelismo y muestran un empobrecimiento de elementos de tierras raras ligeras y enriquecimiento de tierras raras pesada. La intersección de los perfiles con respecto a los sectores de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y Pampa Cangallo se da principalmente en el Dy.

Las proporciones de tierras raras de los CVMs con respecto a las ofiolitas del Macizo de Tapo muestran similitud en las concentraciones de elementos de tierras raras pesadas; sin embargo, a partir del Dy hacia las tierras raras ligeras, los CVMs muestran enriquecimiento y las ofiolitas empobrecimiento, esto debido a que las ofiolitas de Tapo son magmas parentales de una corteza oceánica; en cambio los CVMs son de magmas continentales y guardan relación con la signatura promedio de la corteza continental determinada por Wedepohl (1994).

Las descripciones de los perfiles define que los sectores Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa, Pampa Cangallo y volcánicos Mio-pliocénicos, muestra que la generación de estos magmas se dan a partir de un proceso de cristalización fraccionada en fuentes de magmas parentales a altas profundidades.





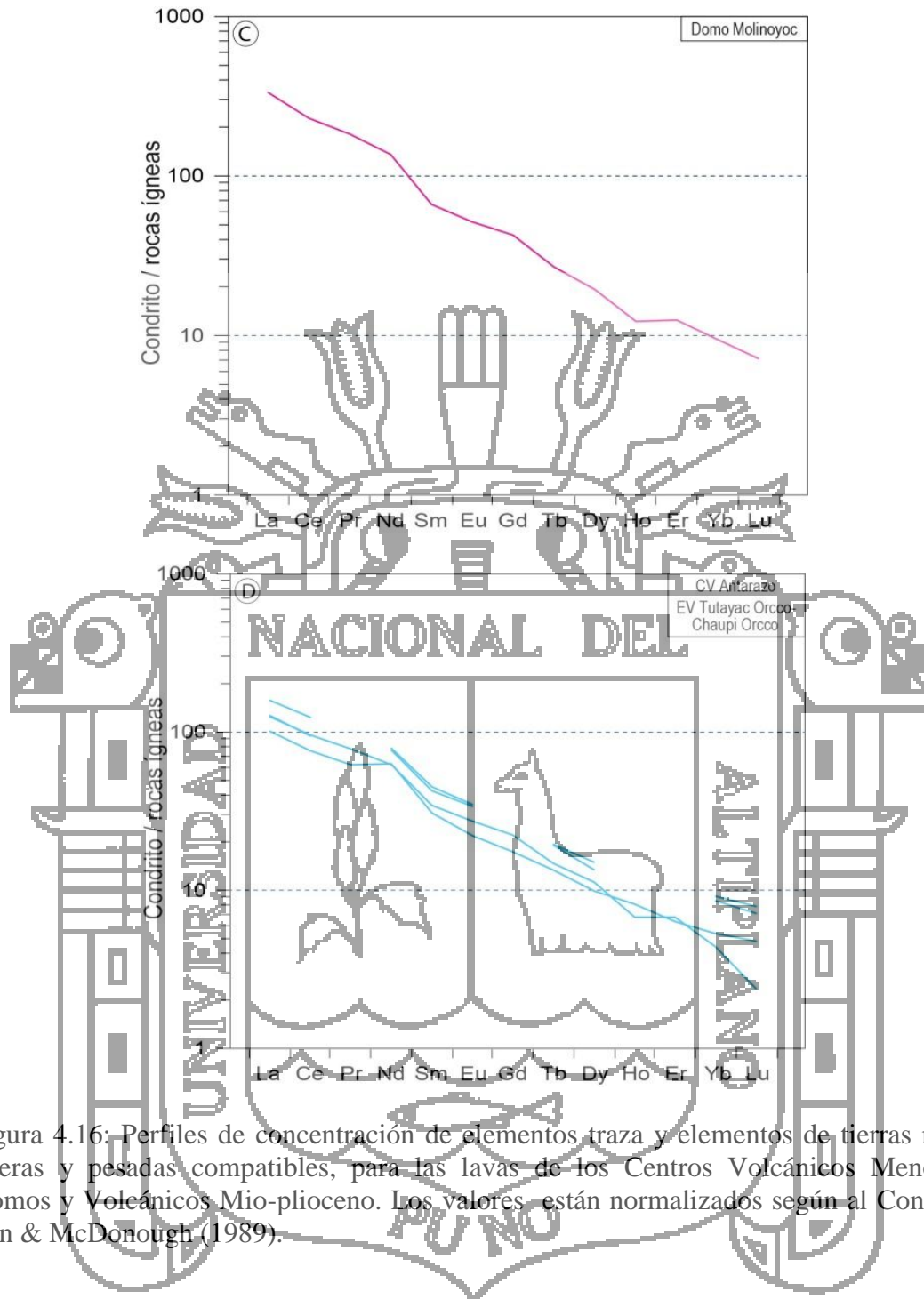


Figura 4.16: Perfiles de concentración de elementos traza y elementos de tierras raras ligeras y pesadas compatibles, para las lavas de los Centros Volcánicos Menores, Domos y Volcánicos Mio-plioceno. Los valores están normalizados según al Condrito Sun & McDonough (1989).

#### 4.4.4 OCURRENCIA DE MINERALES RELACIONADO A LA GEOQUÍMICA DE ROCAS MONOGENÉTICAS

La composición de la corteza inferior varía con el engrosamiento cortical; cuando la corteza es más delgada presenta una composición anfibolítica, en cambio cuando es más

gruesa presenta una composición eclogítica en la base y en la parte superior anfibolítica. La corteza anfibolítica tiene como mineral principal a la hornblenda, la cual se caracteriza por tener alto contenido de agua en su composición (Kay & Mpodozis, 2000). Los magmas que atraviesan la corteza anfibolítica son capaces de transportar metales y/o fluidos mineralizantes. Posteriormente cuando la corteza llega a tener un espesor mayor a 45 km, la composición llega a ser eclogítica presentando granate y piroxenos, los magmas que atraviesan tendrán más granate que anfíbol, el granate no favorece para la formación de depósitos puesto que son magmas con bajo contenido de agua, es decir los magmas son secos.

La razón de un elemento compatible con un elemento incompatible Ce/Y vs Ce (Fig. 4.17 A), teniendo en cuenta que el Y actúa como elemento inmóvil en agua, indica que las lavas de los sectores de Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa y Pampa Cangallo derivan de la fusión parcial de anfibolita; es por eso la presencia de minerales residuales como clinopiroxenos y anfíboles. Una ligera tendencia a fusión eclogítica se observa en algunas muestras de rocas pliocénicas y mio-pliocénicas, teniendo como mineral residual al granate.

Otra manera de identificar el procesos y la historia del fraccionamiento de los magmas parentales es mediante el diagrama de anomalías de Eu/Eu\* versus la razón de Sr/Y (Fig. 4.17 B). Mayormente las rocas volcánicas de los sectores Ayacucho y Pampa Cangallo tienen valores  $< 1$  en razón al contenido de Eu/Eu\* con tendencia al fraccionamiento de hornblenda ubicándose en el campo de magmas húmedos. Existen muestras de ambos sectores que se encuentran en una zona de transición entre magmas secos y húmedos lo que indicaría el paso de un manto anfibolítico rico en agua a un manto eclogítico sin presencia de agua.

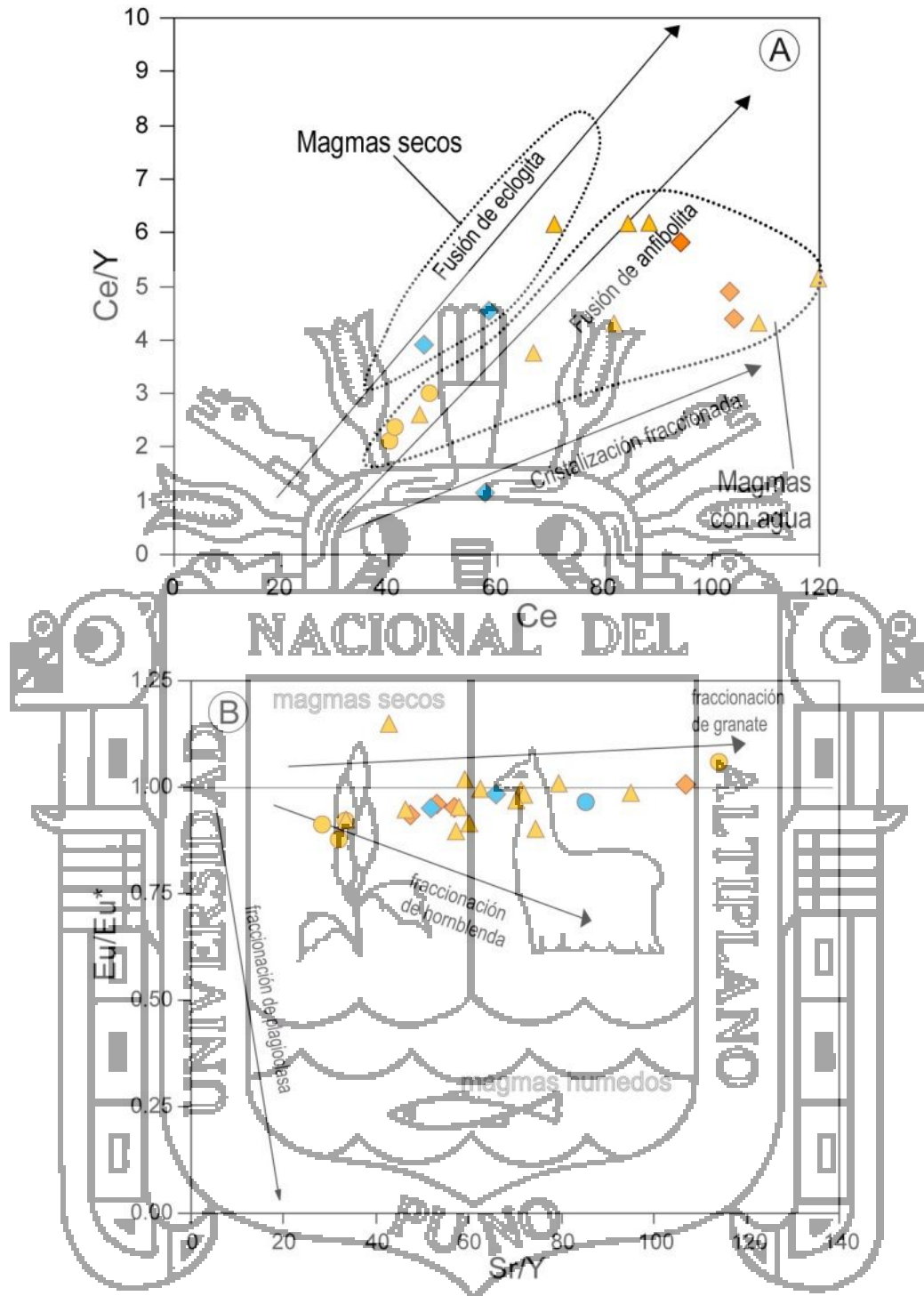


Figura 4.17: A) Diagrama de Ce/Y vs Ce para determinar la proveniencia del magma. B) Eu/Eu\* vs Sr/Y diagrama utilizado para determinar el tipo de magma.

### A) Determinación de la afinidad Adakítica

En base a la razón de Sr/Y vs Y se puede ver que las rocas volcánicas de ambos sectores presentan una signatura adakita a rocas subalcalinas. Las muestras del sector

Ayacucho-Lucho Jahuana Pampa con valores de Sr/Y entre 57.3 – 114.1 y el Y entre 11.5 – 31.9 (Fig. 4.18) ubicándose en el campo de rocas adakita con signatura de magmas fértiles, lo que indicaría que estas rocas podrían estar relacionadas con la presencia de yacimientos. De igual manera las muestras del sector Pampa Cangallo y Ayacucho se encuentran en una zona de transición entre rocas adakita y rocas subalcalinas Sr/Y (42.8 - 57), y en el campo de rocas subalcalinas las muestras de los CVMs Lucho Jahuana Pampa con valores de Sr/Y < 33.4.

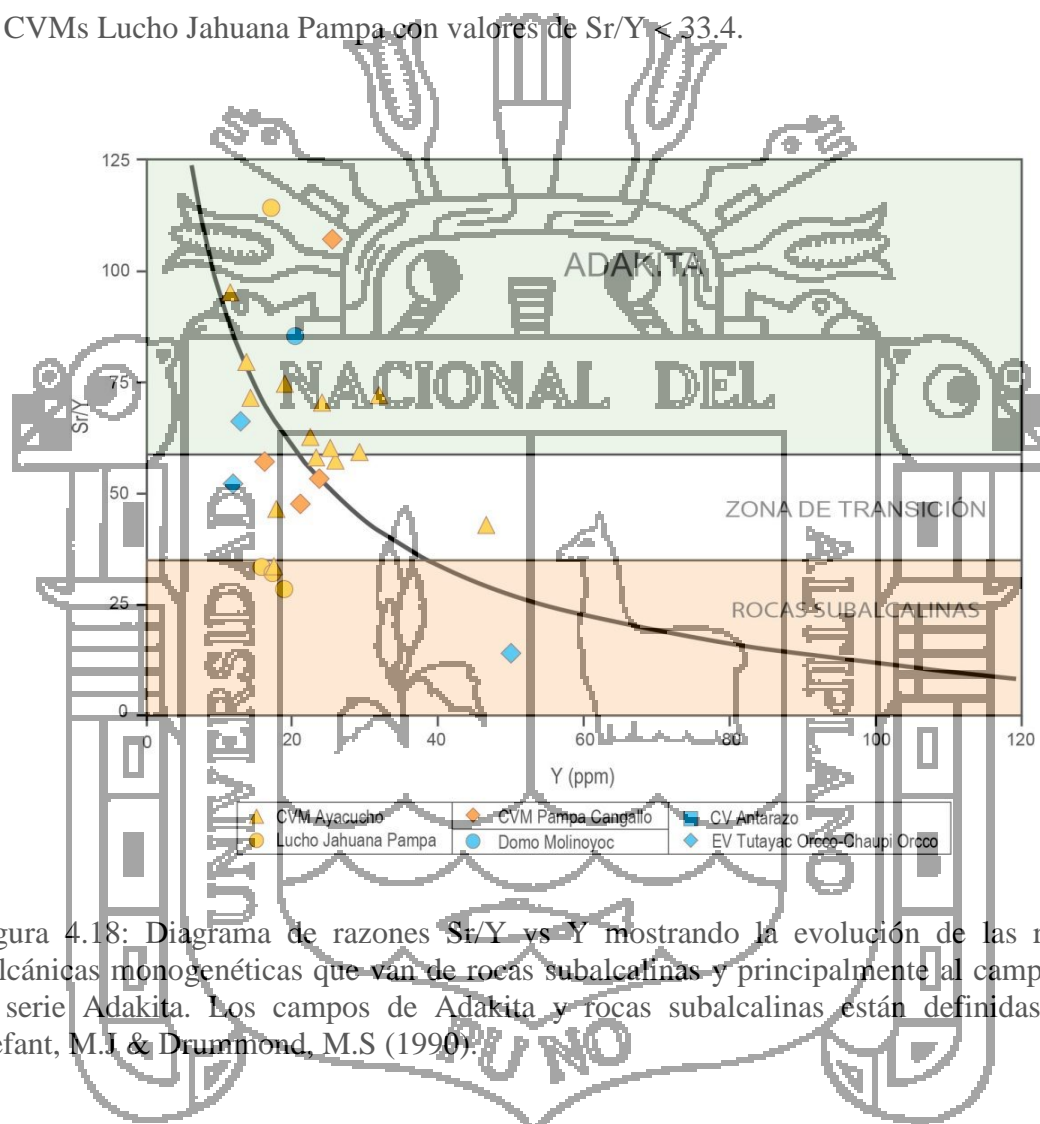


Figura 4.18: Diagrama de razones Sr/Y vs Y mostrando la evolución de las rocas volcánicas monogenéticas que van de rocas subalcalinas y principalmente al campo de la serie Adakita. Los campos de Adakita y rocas subalcalinas están definidas por Defant, M.J & Drummond, M.S (1990).

- Es de mucha importancia el grado de oxidación (contenido de Fe) y las anomalías de Eu/Eu\* de los magmas para determinar la asociación de ensambles metálicos (Fig. 4.19).

Para correlacionar el emplazamiento de rocas volcánicas recientes con la ocurrencia de minerales a lo largo de estas estructuras (Centros Volcánicos Menores y Volcánicos mio-pliocénicos), se utiliza el contenido de FeO total vs Eu/Eu\* para



comparar la ocurrencia de minerales con los yacimientos existentes en la zona de estudio. Mayormente se puede ver que las rocas de los sectores Pampa Cangallo, Ayacucho y volcánicos mio-pliocénicos tienen anomalías de Cu-Zn-Pb (Ag) de naturaleza polimetálica, los CVMs de Lucho Jahuana Pampa indica anomalías de Cu - Au.

Los resultados analíticos y la presencia de yacimientos polimetálicos en la zona de estudio se corrobora con la existencia de este tipo de yacimientos ya que se encontrarían en una zona triangular definida estructuralmente por la presencia de fallas regionales, marcando un límite entre otros tipos de yacimientos ubicados más hacia el norte del área de estudio.

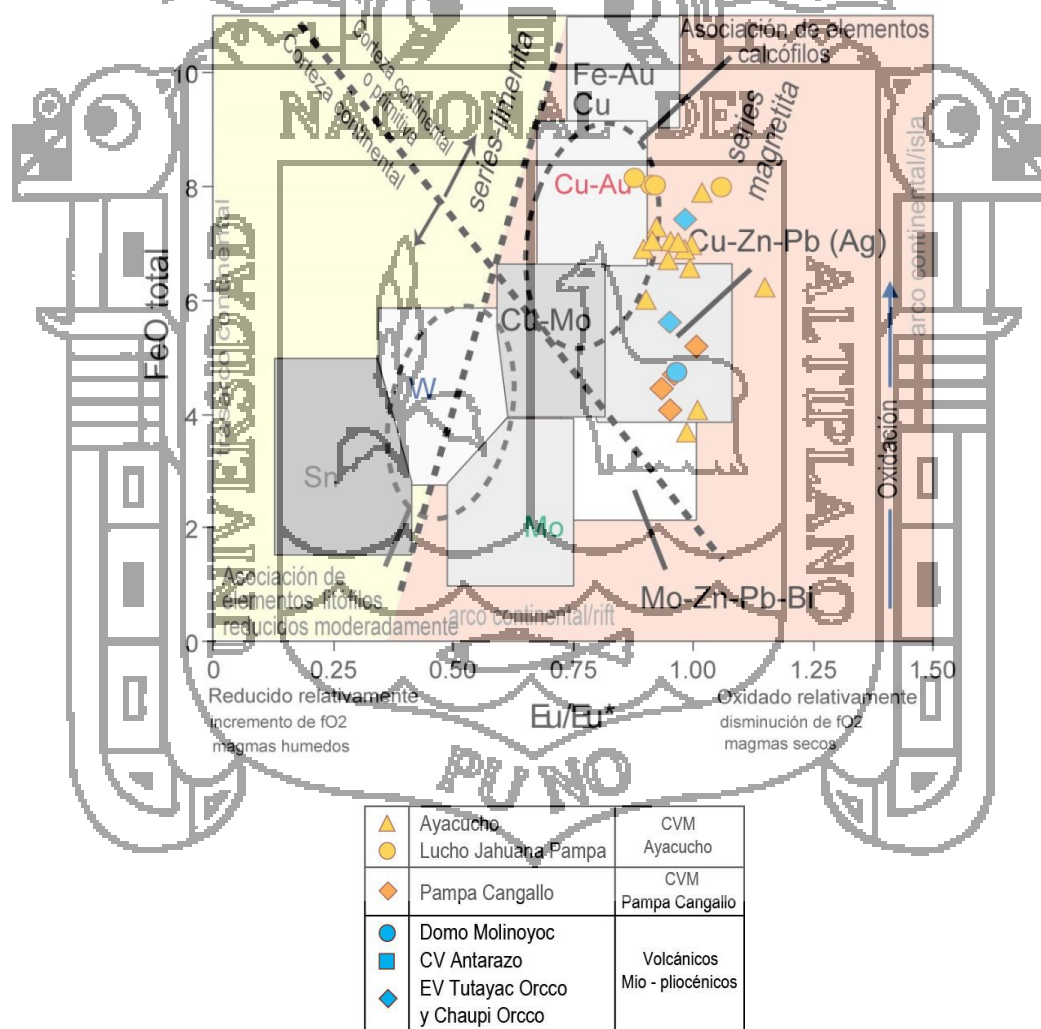


Figura 4.19: Diagrama de FeO tot vs Eu/Eu\* diferenciando el estado de oxidación de los magmas. La correlación de estos valores se encuentran asociados con la ocurrencia de minerales metálicos según Lang & Baker (2001).

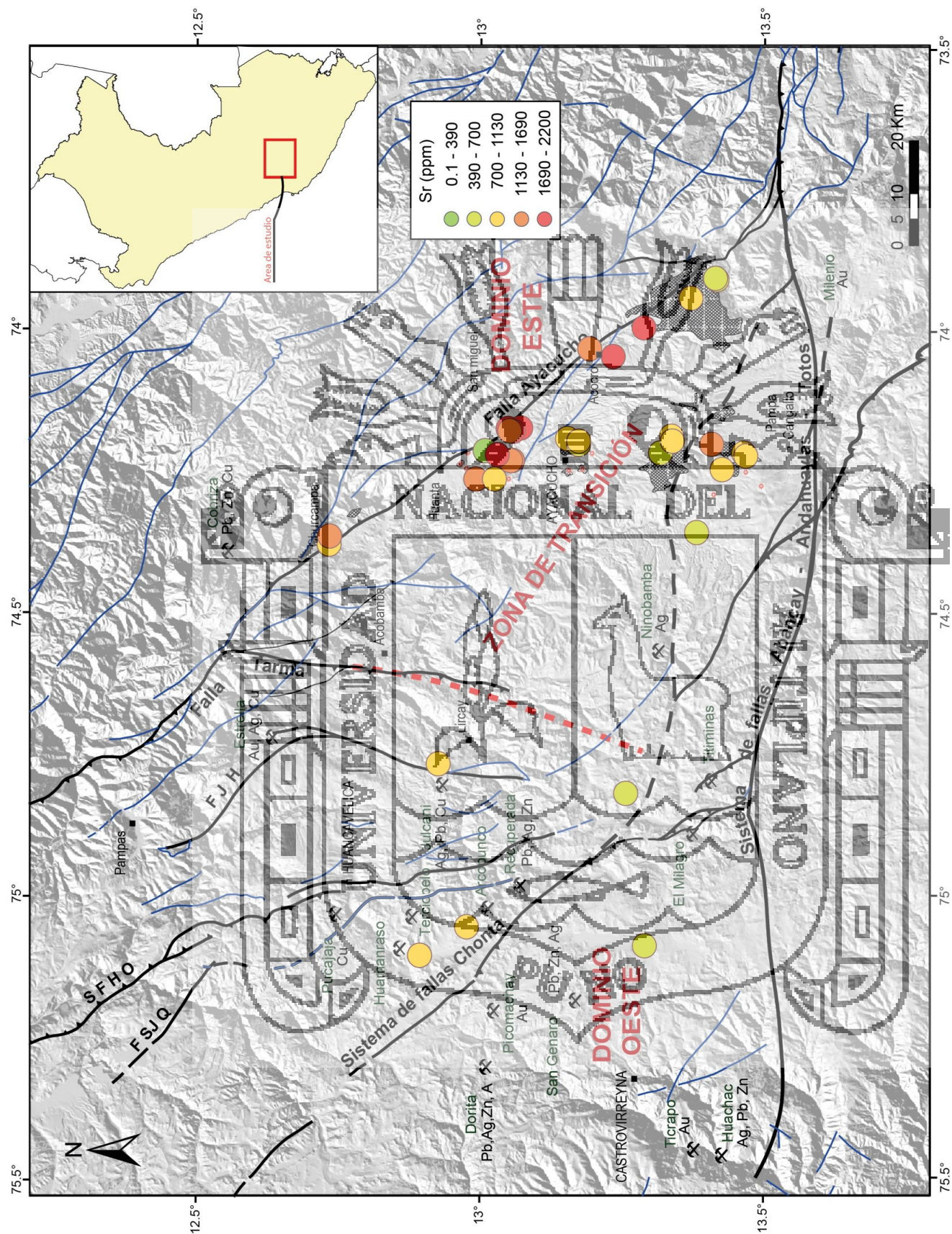
#### 4.4.5 ANOMALÍAS DE ESTRONCIO (Sr) Y CORRELACIÓN CON LOS YACIMIENTOS

En la variación del contenido de Sr se puede ver que espacialmente varía presentando los más altos valores en las muestras de los Centros Volcánicos Menores (monogenéticos) que se emplazan a lo largo de la falla Ayacucho, vale decir que existe cierta disminución en la parte sur este de esta estructura e indicaría para este dominio una corteza espesa. A diferencia de las muestras que se emplazan en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos tienen valores intermedios y se ubicarían en una zona de transición entre una corteza gruesa y delgada puesto que las muestras que se emplazan en el Sistema de Fallas Chonta de medio a bajos valores de estroncio.

La distribución espacial de las muestras de los centros volcánicos menores, las ocurrencias metálicas y las concentraciones de Sr en el área de estudio se puede ver que guardan relación ya que se encuentran limitados por sistemas de fallas de regionales. Los principales yacimientos que se encuentran distribuidos son mayormente de naturaleza polimetálica y los ensambles varían en contenido y ocurrencia (Ag, Pb, Cu-Au, Ag, Cu-Pb, Zn, Ag).







		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
AUSPICIADO POR: 		"VOLCANISMO MONOGENETICO DEL PERU CENTRAL: AVACUCHO Y HUANCVELICA. DEFINIENDO LIMITES DE LITOSFERA SUBCONTINENTAL" Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuanca C. Revisado: MSc. Rildo Rodríguez Mejía Ubicación: Departamento: HUANCVELICA, Huancavelica, PUNO, PERU Proyectada: Huancavelica, Huancavelica, PUNO, PERU Ciudad: Huancavelica	
JULIO, 2014		N° <b>4.3</b>	
DATUM: UTM Proyección - Srt 18 S WGS 84		Escala: Gráfica	

LEYENDA	SIMBOLOGIA
FSJQ : Sistema de falla San José de Quero	— Principales Fallas Regionales
SFHO : Sistema de fallas Huancavelica-Oroya	— Falta inversa
SJH : Sistema de fallas Julcani-Huancayo	— Falta
	■ Pueblos
	⊗ Principales yacimientos

#### 4.5 AMBIENTE MAGMÁTICO Y PETROGÉNESIS

La composición química de las rocas volcánicas está ligado al ambiente en donde se han generado estos magmas, están definidos en base a la mayor predominancia y variación de elementos mayores, elementos tierras raras (compatible e incompatible). Primeramente mediante la caracterización geoquímica en elementos mayores, en base a la correlación del total de álcalis vs sílice ( $K_2O+Na_2O$  vs  $SiO_2$ ) las rocas se encuentran en el grupo de rocas máficas a intermedias y litológicamente está conformado por basalto, basalto andesita, andesita y traquiandesita. Las rocas estudiadas son propiamente de un ambiente calcoalcalino-alcálido (serie shoshonita), estas características indicaría que estos magmas se han generado en una zona de subducción.

El alto contenido de hierro y magnesio en las rocas del CVMs Ayacucho hace referencia a las primeras etapas de fraccionación de minerales profundos ya que el Hierro está incorporado en el sistema mineralógico del olivino y piroxeno, los bajos valores de hierro y magnesio en las rocas del CVM Pampa Cangallo se da en menor proporción la fraccionación de olivino es decir en la fase final de fraccionación se tiene la presencia de plagioclasa. Ambos elementos hacen una correlación negativa de  $FeO_{tot}$  y  $MgO$  (wt%) respecto al  $SiO_2$ . Estas rocas con diferente concentración de elementos se encuentran emplazadas a lo largo de dos estructuras regionales, la falla Ayacucho con dirección andina NW-SE y el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos con dirección E-W.

El enriquecimiento de elementos traza compatibles en las rocas volcánicas tales como el vanadio y el níquel indican que los magmas tienen alto enriquecimiento y es introducido en la estructura mineralógica, aparece en las primeras etapas de fraccionación en el olivino, estos magmas han tenido una asimilación profunda y provienen de magmas parentales. La progresiva disminución de estos componentes en algunas muestras hace referencia a la fraccionación y presencia de plagioclasa. Los elementos incompatibles por su afinidad a la fase líquida nos muestran para el rubidio un ligero incremento en la correlación desde las rocas del CVMs Ayacucho hacia las rocas del CVMs Pampa Cangallo. El mayor enriquecimiento en elementos compatibles se da en las muestras



que se emplazan en la falla Ayacucho, y el empobrecimiento se da en las muestras que se emplazan en el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos.

Con las observaciones realizadas se propone que las rocas de los centros Volcánicos Menores han sido producto de la cristalización fraccionada a partir de un magma parental.

En las razones de elementos de tierras raras de Sm/Yb versus SiO<sub>2</sub>, las razones de Sm/Yb tienen valores > 2.9, lo que muestra la presencia de clinopiroxenos con un incremento de presión y el espesamiento cortical. Los altos valores en la razón de Ce/Y señalan que los magmas se han generado a grandes profundidades. Los elementos incompatibles Th y Nb entre el Yb (compatible) corrobora que estos magmas se han generado en un régimen continental calcoalcalino.

Los elementos de tierras raras normalizados al Condrito Sun & McDonough (1989), muestra en Los perfiles de concentración un subparalelismo en las diferentes rocas confirmando la importancia del proceso de cristalización fraccionada en la evolución de los magmas.

El enriquecimiento en elementos compatibles tierras raras ligeras (La, Ce, Pr, Nd) formando una correlación paralela, un ligero empobrecimiento en (Sm, Eu), y un empobrecimiento en elementos de tierras raras pesadas (Gd, Tb, Dy), los elementos (Ho, Er, Yb, Lu) tienen bajos valores y una correlación sub-paralela respecto a los demás perfiles. En general todas las muestras presentan una misma signatura de acuerdo a sus valores.

Estos resultados guardan relación con la distribución espacial de los diferentes tipos de magmas de los Centros Volcánicos Menores reflejando un proceso de cristalización fraccionada relacionado a una composición similar al manto litosférico como fuente de magma parental.

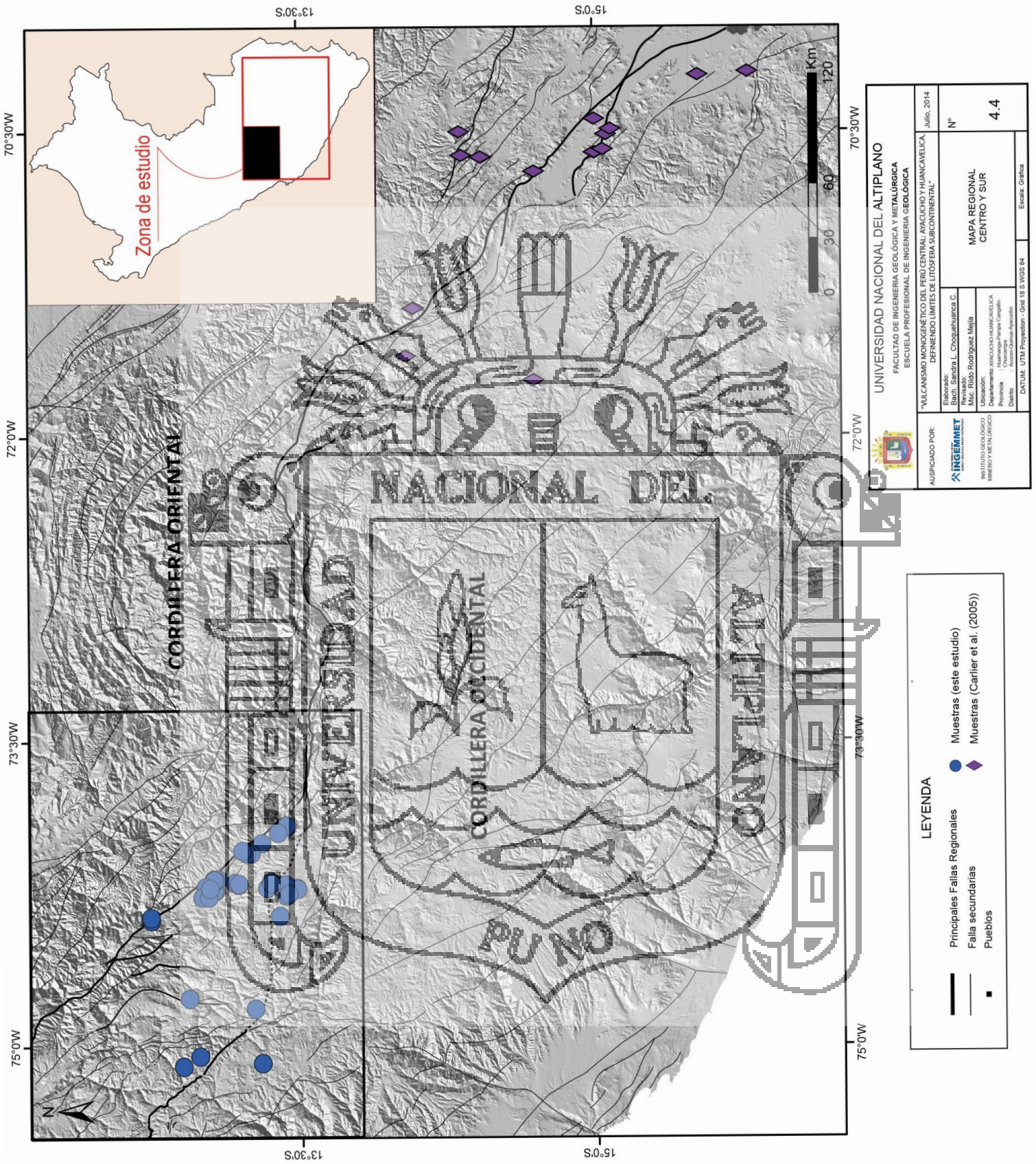


#### 4.6 RELACIÓN CON OTROS CENTROS VOLCÁNICOS RECIENTES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL (Sur del Perú).

Estudios realizados en el sur de Perú por Carlier et al., 2005; Carlier et al., 2003, en la Cordillera Occidental, han identificado afloramientos de rocas volcánicas que evidencian la presencia de rocas máficas definidos geoquímicamente, estas rocas volcánicas están alineados a lo largo sistemas de Fallas Regionales como es el caso del Sur en el Sistema de Fallas Cusco-Vilcanota con dirección andina NO-SE, que limita bloques litosféricos de diferente composición.

Debido a la reactivación del Sistema de Fallas Cusco-Vilcanota en el Cenozoico se ha originado actividad volcánica, cuyos eventos volcánicos se manifiestan a manera de domos, diques, centros volcánicos menores y cuellos volcánicos (necks). Las muestras compiladas han sido estudiadas por medio de análisis geoquímicos de rocas volcánicas provenientes de centros volcánicos, se encuentran en el rango de rocas Potásicas y Ultrapotásicas (K – UK). Carlier et al. (2005)





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
"VOLCANISMO MONOGENETICO DEL PERU CENTRAL: AVACUCHO Y HUANCARELICA, Julio, 2014"	
Elaborado: Bach. Sandra L. Choquehuanca C.	N° 4.4
Revisado: MSc. Rildo Rodriguez Mejia	MAPA REGIONAL CENTRO Y SUR
Dibujado: MSc. FRANCISCO MANRIQUEZA	
Profesora: Humayra Torres Longobardi	
Diseño: Antonio Jesus Ayala	
DATUM: UTM Projection - Grid 18 S WGS 84	
Escala: Grafica	

LEYENDA	
—	Principales Fallas Regionales
—	Falla secundarias
•	Pueblos
●	Muestras (este estudio)
◆	Muestras (Carlier et al. (2005))



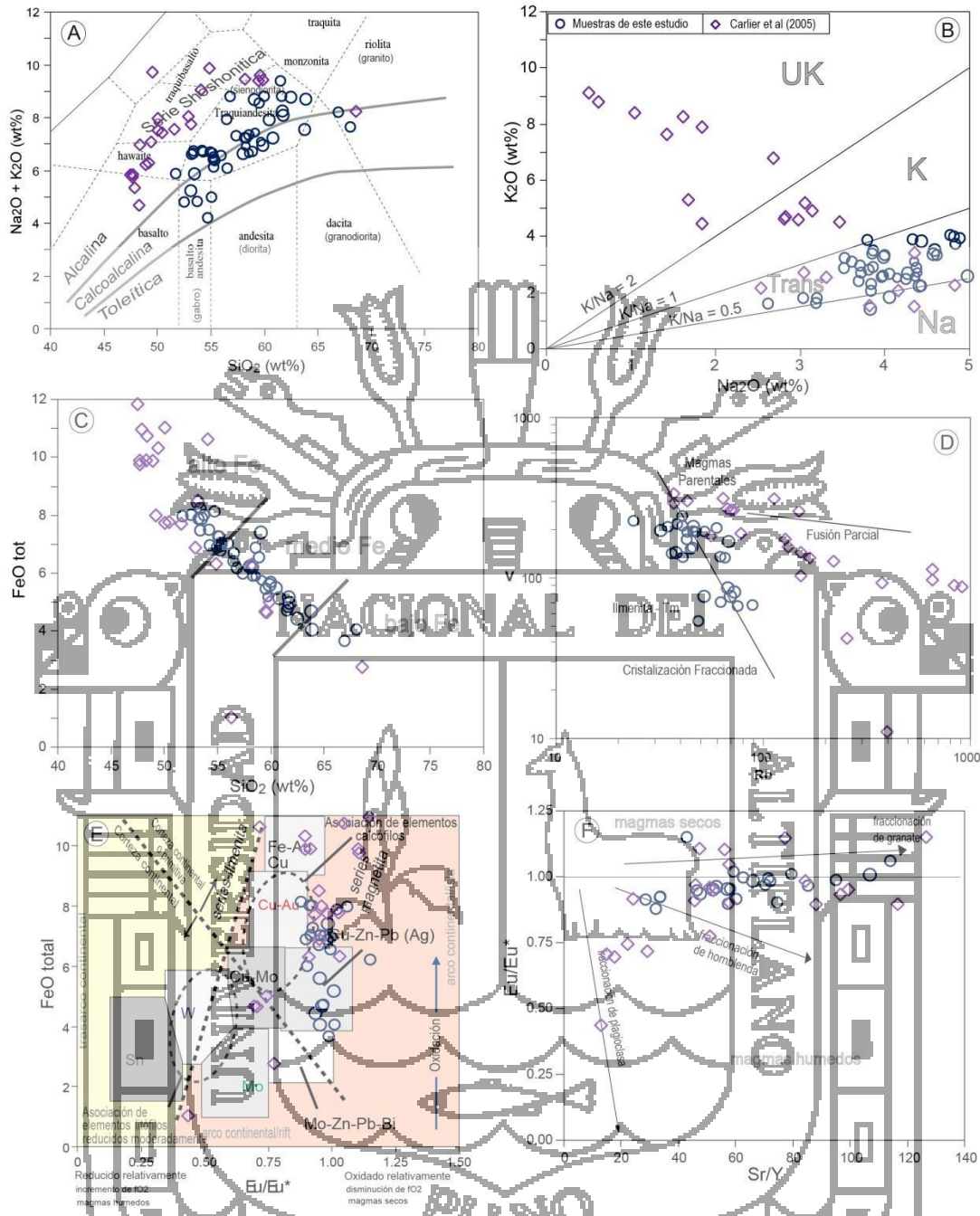


Figura 4.20: A) Diagrama TAS (Álcalis Total vs. Sílice) mostrando la clasificación de rocas volcánicas Le Maitre et al (1989). B) Clasificación de la serie calcoalcalina  $K_2O$  versus  $Na_2O$  de Peccerillo & Taylor (1976) modificado por Le Maitre (1989) utilizado para las rocas volcánicas de los Centros volcánicos Menores. C) Diagramas binarios para distinguir el tipo de roca ígnea, serie magmática y contenido de FeO total. D) Correlación de un elemento compatible y un elemento incompatible. E) Diagrama de FeO tot vs  $Eu/Eu^*$  diferenciando el estado de oxidación de los magmas. La correlación de estos valores se encuentran asociados con la ocurrencia de minerales metálicos según Lang & Baker (2001). F)  $Eu/Eu^*$  vs  $Sr/Y$  diagrama utilizado para determinar el tipo de magma.

## CONCLUSIONES

- Los Centros Volcánicos Menores se encuentran agrupados en dos sectores: Sector Ayacucho, tienen una forma alargada y corresponden a flujos de lava, con textura escorácea y/o amigdaloides, litológicamente corresponden a andesitas y andesitas basálticas de textura fluidal. Los Centros Volcánicos Menores del sector Pampa Cangallo, son flujos de lava de forma cónica a subredondeada y son de composición andesítica.
- Las Centros Volcánicos Menores de los sectores de Ayacucho y Pampa Cangallo presentan características geoquímicas y litológicas diferentes. Los del sector de Ayacucho corresponden a rocas calcoalcalinas alcalinas mientras que los de Pampa Cangallo a rocas transicionales a potásicas, estas características indican que estos magmas se han generado en una zona de subducción. La presencia de minerales ferromagnesianos así como el olivino, piroxeno indican la proveniencia de magmas parentales y profundos principalmente por un proceso de cristalización fraccionada. Los rasgos geoquímicos muestran un grado de contaminación diferente para las rocas de los Centros Volcánicos Menores ya que habrían atravesado litósferas antiguas de composición distinta.
- Los límites de bloques litosféricos están definidos en Dominio Este, Dominio Oeste y la Zona de Transición, a partir de fallas regionales (trascorticales) y como evidencia se tiene el afloramiento de Centros Volcánicos Menores de composición monogenética. Las principales fallas que controlaron el emplazamiento de Centros Volcánicos Menores son: la falla Ayacucho con dirección ha controlado el emplazamiento de los Centros Volcánicos Menores del sector de Ayacucho y el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos con dirección E-W, que ha controlado el emplazamiento de los Centros Volcánicos Menores del sector de Pampa Cangallo.
- Las zonas donde se han emplazado estos magmas se ubican en estructuras regionales entre Ayacucho y Huancavelica producto de reactivación de fallas antiguas denominadas zonas de debilidad o de apertura que sirven para delimitar bloques litosféricos de distinta composición.
- La ausencia de yacimientos minerales en las zonas donde se emplazan los Centros Volcánicos Menores se debe a que el sistema magmático no ha tenido el suficiente tiempo de maduración para poder generar un depósito, a diferencia de la parte este y norte del área de estudio en donde se tienen yacimientos con ocurrencia metálica, tales como Julcani, Recuperada, El Milagro, Arcopunco, Cobriza.

## RECOMENDACIONES

- Ampliar los estudios al norte y este de la Falla Ayacucho, para determinar la presencia o ausencia de centros volcánicos menores y de esta manera delimitar los bloques litosférico en el Centro del Perú.
- La evidencia de más Centros Volcánicos Menores podría ser beneficioso en la realización de estudios isotópicos para zonas específicas y poder determinar a qué tipo de manto corresponde así como la diferencia realizada en el sur de Perú.
- Se recomienda realizar dataciones radiométricas en los diferentes centros volcánicos menores de ambos sectores para determinar el comportamiento magnético espacial y temporal.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bardintzeff, J. M., 1992, *Volcanologie*. Masson S. A. Paris, France. p. 91-126.
- Bayly, B., 1982, *Introducción a la petrología*. Editorial paraninfo: Madrid, p. 136.
- Best, E. y Myron, G., 1982, *Igneous petrology*. Editorial W. H. Freeman & Co. Nueva York. p. 328-330.
- Bowen, N. L., 1928, *The evolution of the igneous rocks*. Princeton University.
- Bradshaw, T.K., Smith, E.I., 1994, Polygenetic Quaternary Volcanism at Crater Flat, Nevada. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 63, p. 165-182.
- Carlier, G., Lorand, J.P., Audebaud, E., Kienast, J.R., 1997, Petrology of an unusual orthopyroxene-bearing minette suite from southeastern Peru, Eastern Andean Cordillera: Al-rich lamproites contaminated by peraluminous granites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 75, p. 59-98.
- Carlier, G., Lorand, J.P., 2003, Petrogenesis of a zirconolite - bearing Mediterranean - type lamproite from the Peruvian Altiplano (Andean Cordillera). *Lithos*, v. 69, p. 15-35.
- Carlier, G., Lorand, J.P., Liegeois, J.P., Fornari, M., Soler, P., Carlotto, V., and Cardenas, J., 2005, Potassic-ultrapotassic mafic rocks delineate two lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano. *Geology*, v. 33, p. 601-604.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Carlier, G., 2008, The lithosphere of Southern Perú: A result of the accretion of allochthonous blocks during the Mesoproterozoic. 7<sup>th</sup> International Symposium on Andean Geodynamic, Extended Abstracts, p. 105-108.
- Carlotto, V., Rodríguez, R., Acosta, H., Cárdenas, C., Jaillard, E., 2009, Alto estructural Totos-Paras (Ayacucho): Límite paleogeográfico en la evolución mesozóica de las cuencas Pucará (Triásico superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico-Cretácico). Volumen Especial N° 7 Víctor Benavides Cáceres, p. 1-46.
- Dalmayrac, B., Laubacher, G., y Marocco, R., 1980, *Géologie des Andes Péruviennes, caractères généraux de l'évolution géologique des Andes Péruviennes*. Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 501 p. Travaux et Documents de l'ORSTOM, 122 p.
- Dalmayrac, B., Laubacher, G., y Marocco, R., 1977, *Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes*. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n. 122, 501 p.

- Davidson, J.P., y de Silva, S., 1992, Volcanic rocks from the Bolivian Altiplano: Insights into crustal structure, contamination, and magma génesis in the central Andes. *Geology*, v. 20, p. 1127-1130.
- Davies, J.H., y Von Blanckenburg, F., 1995, Slab breakoff: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 129, p. 85-102.
- Dickin, A.P., 2000, *Radiogenic isotope geology*. Cambridge: Cambridge University Press. 490 p.
- Defant, M.J., y Drummond, M.S., 1990, Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, v. 347, p. 662-665.
- Foley, S.F., y Peccerillo, A., 1992, Potassic and ultrapotassic magmas and their origin. *Lithos*, v. 28, p. 181-185.
- Griffin, W.L., Pearson, N.J., Belousova, E., Jackson, S.E., van Achterbergh, E., O'Reilly, S.Y., Shee, S.R., 2000, The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, p. 133-147.
- Harris, N.B., Pearce, J.A., y Tindle, A.G., 1986, Geochemical characteristics of collision-zone magmatism, in Coward, M.P., and Ries, A.C., eds., *Collision tectonics: Geological Society of London Special Publication 19*, p. 67-81.
- Isacks, B.L., 1988, Uplift of the Central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline. *J. Geophys. Res.*, v. 93, p. 3211-3231.
- Jarrard, R. D., 1986, Relations among subduction parameters. *Revista Geophysic.*, 24(2), p. 217-283.
- Jimenez, N., y López, S., 2008, Magmatism in the Huarina belt, Bolivia, and its geotectonic implications. *Tectonophysics*. 459, p. 85-106.
- Kay, S., y Mpodozis, C., 2000, Chemical signatures from magmas at the southern termination of the Central Andean Volcanic Zone: The Incapillo/Bonete and surrounding regions. IX Congreso Geológico chileno. Actas, v. 1, p. 626-629.
- Kay, S., Coira, B., Viramonte, J., 1994, Young mafic back arc volcanic rocks as indicators of continental lithospheric delamination beneath the Argentine Puna plateau, central Andes: *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 323-24, 339.
- Lang, J.R., y Baker, T., 2001, Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita* v. 36, p. 477-489.

- Lefevre, C., 1979, Un exemple de volcanisme de marge active dans les andes du Pérou (Sud) du Miocene a l'actuel (zonation et pétrogénese des andesites et shoshonites). Université Des Sciences Et Techniques Du Languedoc. Académie De Montpellier, 555 p.
- Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A.R & Zanettin B., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Loewy, S.L., Connelly, J.N., Dalziel, W.D., 2004, An orphaned basement block: the Arequipa Antofalla basement of the central Andean margin of South America. Geological Society of America Bulletin, v. 116, n. 1-2, p. 171-187.
- Lutgens, F., y Tarbuck, E., 2012, Essentials of geology, Pearson Prentice Hall. Printed in the United States of America, p. 493.
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995, The composition of the Earth, Chem. Geol, v. 120, p. 223-253.
- Macfarlane, A. W., Marcet, P., Lehuray, A. P., Petersen, U., 1990, Lead Isotope Provinces of the Central Andes Inferred from Ores and Crustal Rocks. Economic Geology v. 85, p. 1857-1880.
- Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989, Tectonic discrimination of granitoides. Geological Society of America Bulletin, v. 101, p. 635-643.
- Mantle, G.W., y Collins, W.J., 2008, Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. Geology, v. 36, p. 87-90.
- Mamani, M., Wörner, G., Sempere, T., 2010, Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°C to 18°C): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. Geological Society of America Bulletin, v. 122, p. 162-182.
- Mamani, M., Tassara, A., Wörner, G., 2008, Composition and structural control of crustal domains in the central Andes: Geochemistry, Geophysics, Geosystems. An Electronic Journal of the Earth Sciences. v. 9, n. 3, 13 p.
- Mamani, M., 2011, Dominios Geotectónicos para detectar zonas de interés metalogénico. Revista institucional N° 14
- Mégard, F., 1978, Etude geologique des Andes du Perou Central, contribution a l'etude geologique des Andes No. 1 Memory, n. 86, p. 310.

- Mégard, F., Noble, D., Mckee, E., y Bellon, H., 1984, Multiple pulses of Neogene Compressive Deformation in the Ayacucho Intermontane Basin, Andes of central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, v. 95, n. 9, p. 1108-1117.
- Mégard, F. 1973., Etude géologique d'une transversale des Andes au niveau du Pérou central. These doct., Univ. Sc. Tech. Languedoc, Montpellier, 263 p.
- Morche, W., Albán, C., De La Cruz, J., Cerrón, F., 1995, Geología del Cuadrángulo de Ayacucho. *Bol. Inst. Geol. Min. Met.*, serie A, 120 p.
- Murray, K., 2010, Mafic lavas on the Puna plateau: simple the diverse lithospheric architecture of the long – lived Andean Orogen. The University of Arizona, 34 p.
- Noble, D., Bowman, H., Herbert, A., Silberman, C., Heropoulos, B., Fabbi, P., Hedge, C., 1975, Chemical and isotopic constraints on the origin of low-silica latite and andesite from the Andes of central Peru. *Geology*, v. 3, n. 9, p. 501-504.
- Noble, D.C., Spell, T., Wise, J.M., Vidal, C.E., 2001, Early albian isotopic age on a basalt flow of the Goyllarisquizga Formation, Central Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 22, p. 23-27.
- Oyarzun, J., 2009, *Lexico sobre procesos y estructuras geológicas*. Universidad de La Serena, Chile, 52 p.
- Pearce, J. A., y Peate, D. W., 1995, Tectonic Implications of the Composition of Volcanic ARC Magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 23, p. 251-285.
- Peccerillo, R., Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu área, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol*, v. 58, p. 63-81.
- Ramos, V., 2008, The Basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. *Earth Planetary Science*. p. 289-324.
- Richards, J.P., Chappell, B.W., y McCulloch, M.T., 1990, Intraplate-type magmatism in a continent-island-arc collision zone: Porgera intrusive complex, Papua New Guinea. *Geology*, v. 18, p. 958-961.
- Rickwood, P.C., 1989, Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22, p. 247-263.
- Rodríguez, R., Chacaltana, C., 2003, Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ), Escala 1:50 000. Lima, INGEMMET, 22 p.
- Rodríguez, R., 2008, El sistema de fallas Chonta y sus implicancias metalogenéticas entre 12°15'S y 13°30'S (Huancavelica-Perú). *Red Desir: Master Internacional Aprovechamiento De Los Recursos Minerales*, 102 p.

- Rodríguez, R., Chacaltana, C., Acosta, H., Cueva, E., Jaimes, F., Alván, A., 2010, Límites estratigráficos para las series Triásico-Jurásicas del Perú central: borde este de la Cordillera Oriental y zona subandina. Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, p. 872-875.
- Rollinson, H., 1994, Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Logman Group Limited. 378p.
- Rosas, S., 1994, Facies diagenetic evolution, and sequence analysis along a SW-NE profile in the southern Pucara basin (Upper Triassic-Lower Jurassic), central Peru. Ruprecht-Karls Universität, Heidelberg. 347p.
- Rosas, S., Fontboté, L., Morche, W., 1997, Vulcanismo de tipo intraplaca en los carbonatos del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior, Perú central) y su relación con el vulcanismo del Grupo Mito (Pérmico superior-Triásico). Congreso Peruano de geología, 9, Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial, p. 393-396.
- Sandema, H.A., Clark, A.H., 2004, Commingling and mixing of S-type peraluminous, ultrapotassic and basaltic magmas in the Cayconi volcanic field, Cordillera de Carabaya, SE Perú. Lithos, v. 73, n. 3-4, p. 187-213-
- Stern, R., 1998, A subduction primer for instructors of introductory geology courses and authors of introductory geology text books. Geosci. Educ, v.46, p. 221-228.
- Stern, R., 2002, Subduction zones. Review of Geophysics, v.40, n. 4, 42 p.
- Soler, P., 1990, Cronología y distribución espacial del magmatismo en el Perú Central durante el Cretácico superior y el Cenozoico-Relaciones con las modalidades de la subducción de la placa de Nazca (farallon) debajo del continente Sud-Americano. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 81, p. 81-86.
- Soler, P., 1988, Petrography and geochemistry of lower cretaceous alkali basalts from the high plateaus of Central Peru and their tectonic significance. Symposium on Latin-American Geosciences, Hannover, Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 1989, p. 1053-1064.
- Soulas, J., 1977, Las fases tectónicas del Terciario superior en Perú corte Ayacucho-Pisco. Sociedad Geológica del Perú. Boletín, n. 57-58, p. 59-72.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds.), Magmatism in ocean basins. Geological Society of London. Special Public. N° 42, p. 313-345.



Tassinari, C.C., Castroviejo, R., Rodríguez, J.F., Acosta, J., Pereira, E., 2011, Neoproterozoic age for the chromitite and gabbro of the Tapo Ultramafic Massif, Eastern Cordillera, Central Peru and its tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jsames.2011.03.008

Waldron, 2005, McClay y Dooley, 1995 en Rodríguez, R., 2008, El sistema de fallas Chonta y sus implicancias metalogenéticas entre 12°15'S y 13°30'S (Huancavelica-Perú). *Red Desir: Master Internacional Aprovechamiento De Los Recursos Minerales*, 102 p.

Wedepohl, K. H., 1994, The composition of the continental crust (abstract), *Mineral. Mag.* 58, p. 959-960.

Wilson, M., 2007, *Igneous Petrogenesis, A global Tectonic Approach*. Published by Springer. p. 476.

Winchester, J.A., y Floyd, P.A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, v. 20, p. 325-343.

Wise, J.M., Noble, D.C., 2001, La Falla Chonta del Peru central-una falla inverse con reactivacion de rumbo sinistral respondiendo a un cambio de la oblicuidad relative de convergencia de las placas tectónicas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 92, p. 29-41.


#### Webgrafia

- [http:// earthref.org/Germ/](http://earthref.org/Germ/)
- Sepúlveda, E., 2004 Geomorfología Volcánica (Parte I), On-line pdf, [https://www.ucursos.cl/ingeniería/2004/1/GL54C/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=29350](https://www.ucursos.cl/ingeniería/2004/1/GL54C/1/material_docente/bajar?id_material=29350).
- White, W.M., 2007, "Geochemistry, On-line Textbook, en Trace Element in Igneous Processes (Chapter 7). *Geochemistry*, p. 258-312.  
<http://www.geo.cornell.edu/o> [www.imwa.info/geochemistry](http://www.imwa.info/geochemistry). accesado Septiembre, 2010.
- <http://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/volcanes/tipos-de-volcanes-y-erupciones/>
- <https://wwwf.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/rocklibrary/viewglossrecord.php?gID=00000000340> : Imperial College Rock Library





# ANEXO 1

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-11-501
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>
Flujo de lava Vitrofídica constituida por cristales de piroxenos dispuestos sobre una matriz traquítica e intersectal, formada por microcristales de plagioclasa tabulares y vidrio intersticial. La muestra presenta moldes de cristales que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro.
Piroxenos→ Cristales de formas subhedrales, de tamaños menores a 0,5 mm, algunos presentan macla y zonación, se encuentran ligeramente alterado por óxidos de hierro y minerales opacos. En algunos sectores la roca presenta textura glomeroporfírica constituido en su mayoría por clinopiroxenos.
Moldes de cristales→ Posibles ferromagnesianos de formas subhedrales prismáticos algunos de corte basal hexagonal y tamaños menores a 0,8 mm que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro.
Minerales opacos→ De formas subhedrales y anhedrales de tamaños menores a 0,4 mm se encuentra diseminado en toda la roca.
Plagioclasas→ Cristales de formas subhedrales y tamaños menores a 0,7 mm. (cristales) Microcristales de plagioclasa de formas subhedrales a euhedrales, prismáticos alargados de tamaños menores a 0,3 mm presentando macla polisintética.
Matriz→ de textura traquítica constituido por plagioclasa que se encuentran orientados de forma sub-paralela, vidrio, finos cristales de minerales opacos, piroxenos y por sectores impregnada por óxidos de hierro y arcillas.

<b>TEXTURA</b>	Vitrofídica: porfírica
----------------	------------------------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES %</b>	<b>ACCESORIOS %</b>		<b>SECUNDARIOS</b>	
Plagioclasa (matriz)	60	Clinopiroxenos	7	Minerales opacos
		Moldes de cristales	10	Óxidos
		Plagioclasa (cristales)	traza	Arcillas
		Minerales opacos	7	
		Vidrio	10	
		Óxidos de Fe	1	
		Arcillas	2	

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación→ Débil a moderado
Alteración de arcillas→Muy débil

	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

<b>OBSERVACIONES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los minerales ferromagnesianos (posibles anfíboles o biotitas) que han sido reemplazados por minerales opacos, óxidos.</li> <li>- Las plagioclasas se encuentran a manera de microcristales (microlitos).</li> <li>- En la matriz contiene vidrio porfirítico, interseccional.</li> </ul>

<b>FOTOMICROGRAFIAS</b>
<p>Muestra N° GR6-12-501</p> <p style="text-align: center;">NXs</p>



	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

CÓDIGO	GR6-12-502
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	Andesita

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Los anfíboles han sido alterados a biotita. Textura traquítica, con microcristales de plagioclasa de formas tabulares o prismas alargados que se encuentran orientados de forma paralela a subparalela.	
Flujo de lava con textura traquítica e intergranular constituida por moldes de cristales sobre una matriz traquítica e intergranular, formada por microcristales de plagioclasa de formas tabulares, minerales opacos y vidrio intersticial. Los microcristales de plagioclasa son menores a 0,15 mm.	
Piroxenos → Cristales de formas subhedrales, de tamaños menores a 0,3 mm, algunos cristales presentan macla y se encuentran ligeramente alterado por óxidos cloritas y minerales opacos. En algunos sectores presenta textura glomeroporfirica. Clinopiroxenos mayormente.	
Anfíboles → Cristales subhedrales, prismáticos con corte basal hexagonal y tamaños menores a 0,5 mm. Se encuentran alterados a biotitas y reemplazados por óxidos de hierro, en los bordes de los cristales se tiene minerales opacos.	
Moldes de cristales, posibles ferromagnesianos de formas subhedrales, prismáticos con tamaños menores a 0,4 mm que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro.	
Minerales opacos → De formas subhedrales y anhedrales de tamaños menores a 0,1 mm, se encuentra diseminado en toda la roca.	
Plagioclasa → Microcristales de plagioclasa (matriz) de formas subhedrales a euhedrales, prismáticos alargados con tamaños menores a 0,15 mm presentando macla. Se encuentra orientado de forma subparalela.	
Matriz → Textura traquítica e intergranular constituido por plagioclasa, finos cristales de minerales opacos, vidrio, piroxenos y por sectores impregnaciones de óxidos de hierro y minerales opacos.	

TEXTURA	Traquítica e intergranular
---------	----------------------------

<b>MINERALOGÍA</b>				
ESENCIALES %		ACCESORIOS %		SECUNDARIOS
Plagioclasa (matriz)	70	Clinopiroxenos	4	Minerales opacos
		Moldes de cristales	8	Óxidos
		Minerales opacos	8	Biotitas y cloritas
		Vidrio	6	
		Oxidos de Fe	3	
		Anfíboles	1	
		Biotitas	Traza (< 1%)	
		clorita	Traza	


	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación → Débil
Biotización y cloritización → Incipiente (< 1%)

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍA/S**

Muestra N° GR6-12-502      NXs

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

CÓDIGO	GR6-12-503
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	Andesita

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Roca volcánica de textura porfírica constituida por cristales de plagioclasas y anfíboles, sobre una matriz por sectores traquítica e intergranular, formada por microcristales de plagioclasa tabulares, minerales opacos y vidrio intersticial.	
Plagioclasa → Cristales de forma subhedrales prismáticos de tamaños menores a 1,5 mm se presenta maclados y zonados y algunos con microfracturas. Se encuentran algunos alterados por arcillas.	
Piroxenos → Cristales de formas subhedrales, con tamaños menores a 0,5 mm se encuentran siendo reabsorbidos por la matriz, alterado por óxidos, anfíboles, biotitas y minerales opacos. Mayormente son clinopiroxenos. Los cristales se encuentran microfracturados.	
Anfíboles → Cristales subhedrales, prismáticos con corte basal hexagonal y tamaños menores a 1 mm. Se encuentran alterados a biotitas y óxidos de hierro, en los bordes y zonas de clivaje se encuentran minerales opacos. Los cristales se encuentran microfracturados.	
Minerales opacos → De formas subhedrales y de tamaños menores a 0,2 mm se encuentra diseminado en toda la roca y alterados por óxidos de hierro.	
Plagioclasa → Microcristales de plagioclasa (matriz) de formas subhedrales a euhedrales, prismáticos alargados de tamaños menores a 0,2 mm presentando macla. Por sectores se encuentra orientado de forma sub paralela.	
Matriz → Por sectores presenta textura traquítica e intersectada, constituido por plagioclasa, finos cristales de minerales opacos, vidrio y por sectores impregnaciones de óxidos de hierro.	
Biotita → Cristales subhedrales a euhedrales prismáticos, presenta corte basal hexagonal, con tamaños menores a 0,5 mm. Se encuentran alterados por óxidos y minerales opacos	

TEXTURA	Porfírica
---------	-----------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES %</b>		<b>ACCESORIOS %</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (matriz)	57	Clinopiroxenos	2	
Plagioclasa (cristales)	10	Minerales opacos	6	Óxidos
		Vidrio	12	Anfíboles
		Óxidos de Fe	4	Biotitas
		Anfíboles	4	Cloritas
		Biotitas	5	Arcillas y sericita
		clorita	Traza	
		Arcillas y sericita	Traza	


	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación, biotización → Débil
Urenitización y argilización → Muy débil
Sericitización y cloritización → Incipiente

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍAS**

Muestra N° GR6-12-503      NXs

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

CÓDIGO	GR6-12-504
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	Andesita

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Flujo de lava Vitrofídica constituida por cristales de piroxenos sobre una matriz traquítica e intersectada, formada por microcristales de plagioclasa tabulares con vidrio intersticial. La muestra presenta moldes de cristales que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos.	
Piroxenos → Cristales de formas subhedrales, de tamaños menores a 0.3 mm, ligeramente alterado por óxidos y minerales opacos. En algunos sectores presenta textura glomeroporfirica. Mayormente clinopiroxenos. Los bordes de los cristales están alterados.	
Moldes de cristales → Posibles ferromagnesianos de formas subhedrales, con tamaños menores a 0,5 mm que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro.	
Minerales opacos → De formas subhedrales y anhedrales de tamaños menores a 0.4 mm se encuentra diseminado en toda la roca.	
Plagioclasa → Cristales de formas subhedrales, tamaños menores a 0,5mm.	
Microcristales de plagioclasa (matriz) de formas subhedrales a euhedrales, prismáticos alargados de tamaños menores a 0,3 mm presentando macla polisintética. Se encuentra orientado de forma subparalela.	
Matriz → Textura traquítica e intergranular constituido por plagioclasa, piroxenos, vidrio, finos cristales de minerales opacos y arcillas. Se encuentra alterada por arcillas y óxidos.	


TEXTURA	Porfirítica - Microlítica
---------	---------------------------

<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES %</b>		<b>ACCESORIOS %</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (matriz)	72	Clinopiroxenos	7	Minerales opacos
		Moldes de cristales	4	Óxidos
		Plagioclasa (cristales)	traza	Arcillas
		Minerales opacos	6	
		Vidrio	7	
		Óxidos de Fe	1	
		Arcillas y sericita	3	

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación → Débil a moderado
Alteración de arcillas → Muy débil



 <p>Sector Energía y Minas <b>INGEMMET</b> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico</p>	<p><b>FORMATO</b></p> <p><b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b></p>	
<p><b>OBSERVACIONES</b></p>		
<p>Sin observaciones.</p>		
<p><b>FOTOMICROGRAFÍAS</b></p> 		
<p>Muestra N° GR6-12-504                      NXs</p>		

	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-505
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Andesita

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Roca volcánica de textura porfírica constituida por fenocristales y microcristales de plagioclasa con forma tabular, cristales de anfíboles reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro se encuentra sobre una matriz por sectores traquítica e intergranular, cristales alargados de biotita, minerales opacos y vidrio intersticial.

Plagioclasa → Cristales de formas subhedrales con tamaños menores a 0,6 mm, los cristales se encuentran maclados y presenta ligera fracturación.

Piroxenos → Cristales de forma subhedral con tamaños menores a 0,7mm, los bordes están levemente alterados.

Moldes de cristales → Subhedrales a euhedrales de mineral ferromagnesiano con tamaños menores a 0,8 mm, los cristales se encuentran reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro; algunos bordes están corroídos y/o alterados, otros presentan clivaje perfecto.

Biotita → Cristales subhedrales alargados, con tamaños de 1,5 mm, algunos cristales se encuentran alterados por óxidos de hierro.

Minerales opacos → Formas subhedrales con tamaños menores a 0,3 mm, están distribuidos en la roca y reemplazados por óxidos de hierro.

Plagioclasa → Microcristales de plagioclasa (matriz), de forma subhedral, con cristales prismáticos y alargados con tamaños menores a 2 mm. En algunos sectores los cristales de plagioclasa están alineados de acuerdo a la dirección del flujo y de forma subparalela.

Matriz → Textura traquítica e intergranular constituido por plagioclasa, piroxenos, vidrio, finos cristales de minerales opacos y arcillas. Se encuentra alterada por arcillas y óxidos.

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

**MINERALOGÍA**

ESENCIALES %		ACCESORIOS %		SECUNDARIOS
Plagioclasa (matriz)	57	Moldes de cristales	10	Óxidos de hierro
		Anfíboles (biotita)	5	Biotita
		Plagioclasa (cristales)	2	Arcillas
		Minerales opacos	3	
		vidrio	5	
		Óxidos de Fe	6	
		Arcillas	4	
		Piroxenos	8	

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación → Débil a moderada
Alteración de arcillas → Muy débil

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

**FOTOMICROGRAFÍA/S**

Muestra N° GR6-12-505                      NXs

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-506
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Andesita

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>	
<p>Roca volcánica de textura porfírica constituida por fenocristales y microcristales de plagioclasa con forma tabular e irregular ligeramente alterados, en ciertas zonas los cristales se encuentran maclados, en menor proporción existen moldes que están reemplazados por minerales opacos y óxidos de hierro y en otros sectores están en proceso de alteración. Se encuentra sobre una matriz intergranular, minerales opacos y vidrio.</p>	
<p>Plagioclasa → Cristales subhedrales con tamaños menores a 2 mm, se encuentra maclado, algunos fenocristales presentan exfoliación perfecta, están maclados y zonados.</p>	
<p>Moldes de cristales → Son de formas subhedrales a euhedrales, con tamaños menores a 0,5 mm, los moldes están alterados y reemplazados por óxidos de hierro.</p>	
<p>Piroxenos → De formas subhedrales a anhedrales, con tamaños menores a 1,5 mm, los bordes de los cristales están totalmente alterados.</p>	
<p>Calcita → como relleno de amígdalas, tiene tamaños menores 2,2 mm.</p>	
<p>Amígdalas → Rellenado por calcita, cuarzo, cloritas y biotitas con tamaños menores 2,2 mm. La mayoría relleno por carbonatos y cuarzo secundario.</p>	
<p>Minerales opacos → se encuentran reemplazando a los piroxenos, se tiene algunos cristales de tamaños menores a 0,15 mm que han sido alterados por óxidos.</p>	

<b>TEXTURA</b>	Porfírica con matriz intergranular
----------------	------------------------------------

<u>MINERALOGÍA</u>				
<b>ESENCIALES %</b>		<b>ACCESORIOS %</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa(matriz)	40	Plagioclasa(cristales)	8	Biotita
		Piroxenos	5	Clorita
		Biotita	7	Carbonatos
		clorita	6	Arcillas
		carbonatos	12	Cuarzo secundario
		Arcillas	5	Oxidos de hierro
		vidrio	6	
		Cuarzo secundario	4	
		Oxidos de hierro	6	

<u>ALTERACIONES</u>
Carbonatación → Moderada
Biotización-cloritización-argilización-oxidación → Débil a moderada
Silicificación (cuarzo secundario) → Muy débil



	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	
<b>OBSERVACIONES</b>		
Sin observaciones.		
<b>FOTOMICROGRAFÍA/S</b>		
Muestra N° GR6-12-506		NXs



	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-507
<b>CLASIFICACION DE LA ROCA</b>	Andesita

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Roca volcánica de textura porfírica presenta fenocristales de plagioclasas maclados, los bordes de los cristales están ligeramente alterados y en sectores corroídos, presenta moldes de cristales que han sido reemplazados por minerales ferromagnesianos, la matriz está conformada por fragmentos finos de biotita, plagioclasas y arcillas.

Plagioclasa → fenocristales de forma subhedral, alargados y subredondeados con tamaños menores a 1,8 mm presentan macla y es de tipo polisintética, presenta microfracturas con alteraciones de sericita y clorita.

Anfiboles → son de forma subhedral a euhedral los bordes están siendo reemplazados por minerales ferromagnesianos. Los cristales son de tamaños menores a 0,2 mm.

Moldes de cristales → los moldes son de forma subhedral a euhedral con tamaños menores a 0,9 mm, algunos moldes son alargados, han sido reemplazados por minerales ferromagnesianos y óxidos de hierro. Presenta forma prismática y de corte basal hexagonal.

Plagioclasa matriz → microcristales de forma subhedral con tamaños menores a 0,4 mm la mayoría de los cristales están orientados de acuerdo a la dirección de flujo, estos cristales se encuentran maclados.

Piroxenos → cristales subhedrales microfracturados con tamaños menores a 1 mm están alterados por óxidos y minerales opacos.

Biotita → cristales que han sido reemplazados por minerales opacos y óxidos, así mismo se observa disoluciones de cuarzo y plagioclasa, dentro de los cristales algunos muestran corte transversal hexagonal propio de los anfíboles.

Matriz → la matriz está conformada por microcristales de plagioclasa minerales opacos y como alteración arcillas, óxidos de hierro y biotitas.

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


<b>MINERALOGÍA</b>				
<b>ESENCIALES%</b>		<b>ACCESORIOS%</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (matriz)	65	Plagioclasa (cristales)	10	Biotita
		Piroxenos	3	Arcillas
		Minerales opacos	8	Óxidos de hierro
		biotita	6	
		Arcillas	3	
		Óxidos de hierro	5	

**ALTERACIONES**

Oxidación → Débil a moderada

Biotización → Moderada a fuerte

	<b>FORMATO</b>		
<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>			
Sin observaciones.			
<b>FOTOMICROGRAFIA/S</b>			
Muestra N° GR6-12-507	NXs		

	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

CÓDIGO	GR6-12-508
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	Andesita Basáltica

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>	
Plagioclasa → fenocristales de forma subhedral a anhedral tabulares.	
Anfíboles (moldes) → cristales de forma subhedral, los bordes de los cristales se encuentran alterados y corroídos, algunos moldes están reemplazados por carbonatos y en algunos casos los cristales mantienen su forma.	
Plagioclasa (matriz) → microcristales de forma subhedral alargados y ligeramente alterados. El tamaño de los cristales son menores a 0,2 mm. Los cristales presentan una orientación definida.	
Olivino → cristales de forma subhedral a euhedral, presenta microfracturación, los bordes de los cristales se encuentran ligeramente alterados por óxidos de hierro y sericita. El tamaño de los cristales son menores a 0,5 mm.	
Biotita → cristales de forma subhedral, algunos cristales presentan reemplazamiento por óxidos de hierro.	
Calcita → se encuentra relleno de amígdalas y forma parte de la matriz.	
Minerales opacos → conformada por óxidos de hierro.	
Matriz → conformado por minerales de arcilla y carbonatos.	

TEXTURA	Porfírica
---------	-----------

<u>MINERALOGÍA</u>				
ESENCIALES%		ACCESÓRIOS%		SECUNDARIOS
Plagioclasa (microcristales)	55	Plagioclasa (cristales)	3	Óxidos de Fe
		Anfíboles	4	Arcillas
		Piroxeno	4	
		Olivino	8	
		Biotita	5	
		Cuarzo	3	
		Arcillas	5	
		Calcita	4	
		Óxidos de Fe	3	

<u>ALTERACIONES</u>
Sericitización → Fuerte a débil
Carbonatación → Fuerte
Hematización → Débil

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

<b>FOTOMICROGRAFÍA/S</b>	
Muestra N° GR6-12-508	NXs



	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-509
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>	
Roca volcánica de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, presenta cristales alterados de anfíbol, la matriz está conformada por arcillas, carbonatos y minerales máficos.	
Plagioclasa → cristales subhedrales alargados, presentan una orientación definida.	
Plagioclasa → microcristales de plagioclasa, tabulares y alargados con tamaños menores a 0,05 mm.	
Moldes de cristales → de formas subhedrales a anhedrales, los moldes están reemplazados por arcillas, los moldes tienen tamaños menores a 0,6 mm.	
Anfíbol → los bordes están alterados y reemplazados por arcillas (sericita). Con tamaños menores a 0,5 mm.	
Piroxeno → están alterados por óxidos de Fe y sericita, presenta microfracturación. El tamaño de los cristales tiene tamaños menores a 0,8 mm.	
Carbonatos → en menor cantidad se encuentran rellenando los intersticios.	
Minerales opacos → vidrio volcánico óxidos de Fe y minerales ferromagnesianos.	

<b>TEXTURA</b>	Porfírica – Microlítica
----------------	-------------------------

<u>MINERALOGÍA</u>				
<b>ESENCIALES%</b>		<b>ACCESORIOS%</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (matriz)	61	Plagioclasa (cristales)	6	Biotita
		Anfíbol	5	Óxidos de Fe
		Piroxeno	4	Carbonatos
		Olivino	4	
		Moldes de cristales	5	
		Carbonatos	2	
		Óxidos de Fe	4	
		Arcillas	4	
		Biotita	5	

<u>ALTERACIONES</u>	
Sericitización → Fuerte – débil	
Oxidación → Fuerte – débil	


<u>OBSERVACIONES</u>	
Sin observaciones.	



	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

**FOTOMICROGRAFÍA/S**

Muestra N° GR6-12-509      NXs

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

CÓDIGO	GR6-12-510a
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	Andesita Basáltica

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>	
Plagioclasa (cristales) → de forma irregular y subhedral, tabulares, están alterados. Con tamaños menores a 0,5 mm.	
Anfíboles → algunos cristales mantienen su forma pero de algunos cristales ya han sido reemplazado por óxidos de Fe o alterados por arcillas, los tamaños son menores a 0,4 mm.	
Piroxenos → fenocristales de forma subhedral a anhedral, los bordes de los cristales están corroídos, alterados y microfracturados y algunos en proceso de alteración con tamaños menores a 1,3 mm.	
Plagioclasa (microcristales) → cristales subhedrales, de forma tabular, alargados. Con tamaños menores a 2 mm.	
Biotita → cristales de forma subhedral prismático, estas alterándose y reemplazando por óxidos de Fe (ferromagnesianos).	
Moldes de cristales → alterados y reemplazados por óxidos de hierro, arcillas y minerales ferromagnesianos.	
Carbonatos → se encuentran en los intersticios.	
Arcillas → se encuentra en los intersticios relleno los espacios vacíos.	

TEXTURA	Porfirítica
---------	-------------

<u>MINERALOGÍA</u>				
ESENCIALES%		ACCESORIOS%		SECUNDARIOS
Plagioclasa (microcristales)	51	Plagioclasa (cristales)	4	
Piroxeno	15	Biotita	8	
		Moldes de cristales	5	
		Anfíboles	4	
		Óxidos de hierro	4	
		Arcillas	3	
		Carbonatos	traza	
		Opacos	6	

<u>ALTERACIONES</u>
Oxidación → Moderada a fuerte
Carbonatación → Débil a moderada

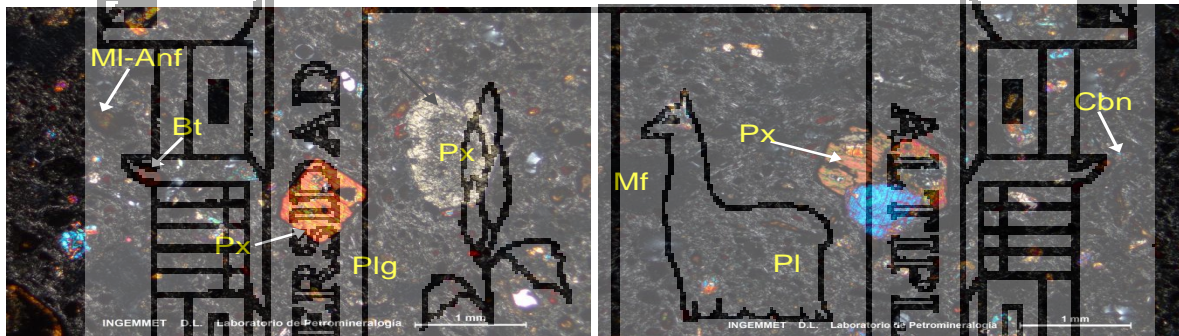
<u>OBSERVACIONES</u>
Sin observaciones.



FORMATO

ESTUDIO PETROGRÁFICO

FOTOMICROGRAFÍAS



Muestra N° GR6-12-510a

NXs

	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-511
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Andesita

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>
Plagioclasa → cristales de forma subhedral alargados.
Plagioclasa (microcristales) → de forma subhedral, tabulares alargados.
Piroxeno → cristales subhedrales a euhedrales, presentan macla, presentan microfRACTURACIÓN en los cristales, los bordes están corroídos, alterados y rotos con tamaños menores a 1,4 – 1,8 mm.
Biotita → cristales con tamaños menores a 0,3 mm de forma irregular, algunos cristales están totalmente rotos y fracturados siendo reemplazados por óxidos de hierro y minerales ferromagnesianos.
Carbonatos → cristales de forma irregular con tamaños menores a 0,4 mm y se encuentran relleno de espacios vacíos.
Moldes de cristales → los bordes están corroídos, hacia la parte interna del molde se observa una alteración posiblemente de arcillas (relleno), hacia el centro del cristal se tiene disolución de cuarzo. Los moldes de los cristales tienen tamaños menores de 0,7 mm.
Arcillas → en la matriz.

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

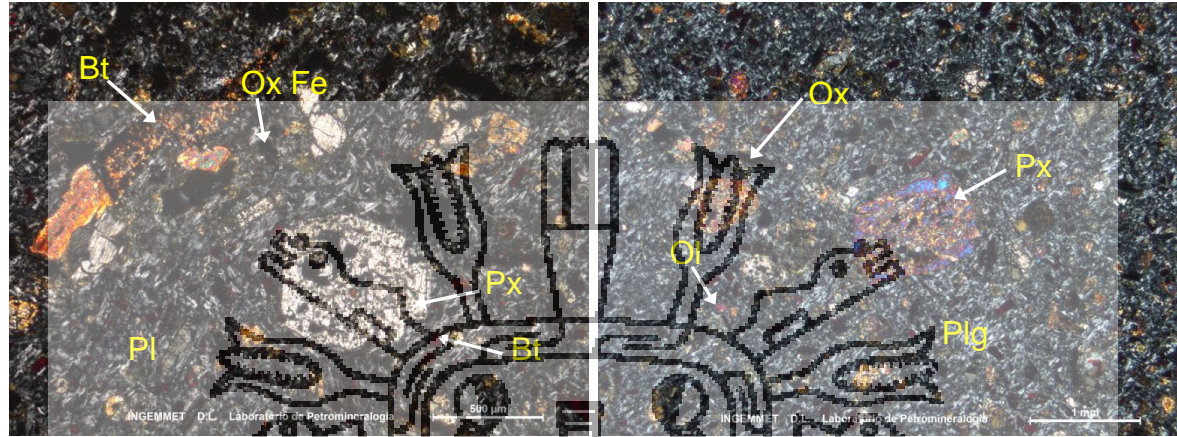
<u>MINERALOGÍA</u>				
<b>ESENCIALES%</b>		<b>ACCESORIOS%</b>		<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (microcristales)	40	Plagioclasa (cristales)	6	
Piroxenos	30	Biotita	7	
		Carbonatos	3	
		Arcillas	4	
		Moldes	6	

<u>ALTERACIONES</u>
Sericitización → Moderada a fuerte
Oxidación → Fuerte

<u>OBSERVACIONES</u>
Sin observaciones.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

FOTOMICROGRAFÍA/S



Muestra N° GR6-12-514 NXs





	<b>FORMATO</b>
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>

<b>CÓDIGO</b>	GR6-12-512
<b>CLASIFICACIÓN DE LA ROCA</b>	Basalto – Basalto Andesita

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Flujo de lava microlítica constituida por cristales plagioclasa, piroxeno. Los cristales de plagioclasa son tabulares. Presenta cristales de anfíboles maclados. La matriz está conformada principalmente por minerales opacos y óxidos de hierro.	
Plagioclasa (cristales) → forma subhedral a euhedral, alargado y tabular con tamaños menores a 0,3 mm.	
Plagioclasa (microcristales) → los cristales son de forma subhedral, alargados y tabulares, presentan macla, en algunos sectores se observa la dirección del flujo con tamaños menores a 0,08 mm.	
Piroxenos → presenta macla, los cristales son de tamaños menores a 0,4 mm.	
Anfíboles → los cristales son de forma subhedral a euhedral con corte basal hexagonal, presenta macla, los bordes están ligeramente alterados, corroídos, presenta microfracturación. El tamaño de los cristales son menores a 0,5 mm.	
Matriz → está conformada por minerales opacos y óxidos de hierro.	

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

<b>MINERALOGÍA</b>			
<b>ESENCIALES%</b>		<b>ACCESORIOS%</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
Plagioclasa (microcristales)	60	Plagioclasa (cristales)	3
Piroxenos	15	Olivino	8
		Cuarzo secundario	4
		Biotita	4
		Arcillas	3
		Oxidos de Fe	3

<b>ALTERACIONES</b>
Oxidación → Débil a moderada
Sericitización → Moderada

<b>OBSERVACIONES</b>
Sin observaciones.

	<b>FORMATO</b>	
	<b>ESTUDIO PETROGRÁFICO</b>	

**FOTOMICROGRAFÍA/S**

Muestra N° GR6-12-512      NXs